Amazons 終盤の部分ゲームデータベースの構築とその利用

岡田悠[†]　黒田久泰[††]　金田康正[††]

[†] 東京大学大学院新領域創成科学研究科
[††] 東京大学情報基盤センター

概　要

Amazons は二人零和完全情報ゲームの一種であり、終盤においてはゲーム全体をいくつかの部分ゲームに分割できるという性質を有するため、近年では研究対象として注目を浴びているゲームのひとつである。Amazons は有限ゲームであるがゆえに、終盤に進むにつれてデータベースに基づいた局面の評価が有効になると考えられる。本論文では Amazons の終盤に現れる、盤面の大きさが 10 以下のすべての部分ゲームの評価と最善手のデータベースを構築し、これを用いてゲーム全体の評価を行う手法を提案する。また、実装が可能なデータベースの規模についての考察を行う。

Subgame Database for Amazons

Yuu Okada[†], Hisayasu Kuroda[††], Yasumasa Kanada[††]

[†] Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo
[††] Information Technology Center, The University of Tokyo

Abstract

Amazons is a two-person, zero-sum, perfect information game. The game of Amazons has the feature that it can be divided into several subgames in endgame situations, so it is one of the games that get attention these days. Since Amazons is a finite game, it can be effective to evaluate positions based on an endgame database. In this paper, we propose a method to evaluate game positions using the database of subgames up to size 10.

1. はじめに

Amazons は二人零和完全情報ゲームの一種である。ゲームの序盤はそれぞれの駒の動きの自由度が重視され、チェスに似た性質を持つ。一方、終盤ではそれぞれが独立した部分ゲームに分割することができるため、囲碁に似た性質を持っている。このような 2 種類の性質を有していることもあり、Amazons は研究対象として近年注目を浴びている。

Amazons は有限ゲームであるため、終盤のデータベースを構築してそれを実際のゲームで利用することは有効であると考えられる。しかしながら、数多くの局面をデータベースに登録しても、実用に耐えられない規模のものになってしまう。

そこで本論文では、盤面の大きさが 10 以下の部分ゲームを登録したデータベースを構築し、それを利用してゲーム全体の評価値を見積もる手法を提案する。また、データサイズをできるだけ小さくすることによって実装が可能なデータベースの規模についても検討する。

2. Amazons と部分ゲーム

2.1 Amazons のルール

Amazons は 10×10 の盤面上で、二人のプレイヤーがそれぞれ 4 つずつの駒を持ってゲームを開始する。各プレイヤーは交互に手を指し、先に手を指すことができなくなったプレイヤーが負けとなる。

手を指す際のルールは次の通りである。

(1) 各プレイヤーは自分の手番になると、4 つの駒のうち 1 つを移動させる。

(2) それぞれの駒はチェスのクイーンと同じように

移動する。

(3) 駒は移動した直後に、その駒が次に移動できるマス目のいずれか1つに矢を放つ。

(4) 駒および矢は、他の駒や矢があるマス目に到達することや、それらを飛び越えて移動することはできない。

以下、先手および後手のプレイヤーの駒の色をそれぞれ黒、白とし、各々の手番を黒番、白番と呼ぶことにする。

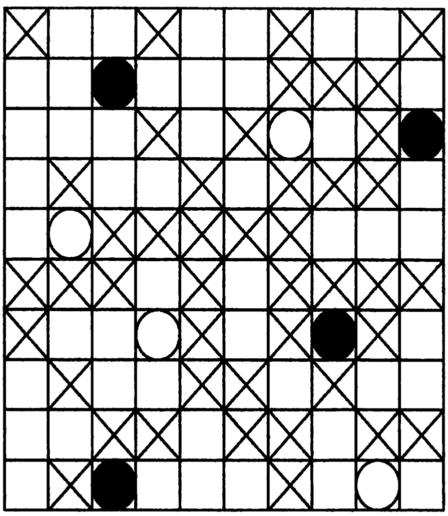


図1　Amazons 終盤の局面の例

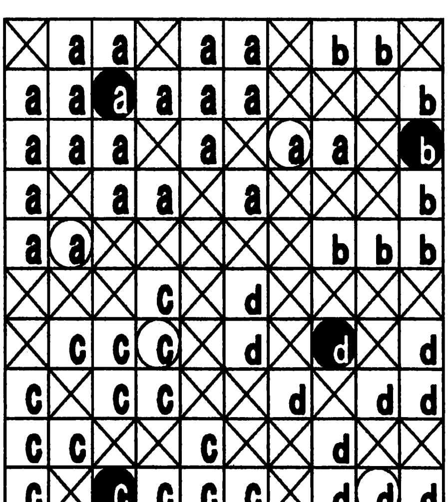


図2　Amazons の部分ゲームの例

2.2 盤面の分割と部分ゲーム

Amazons の局面全体の分析には、膨大な計算量を必要とする。しかしながら、ゲームの終盤においては、盤面全体をいくつかの小さな部分ゲームに分割することが可能となる。そして、各部分ゲームを分析することにより、局面全体を近似的に評価することが可能となる。Amazons 終盤の局面の例を図1に、それを部分ゲームに分割したものを図2に示す。この局面ではゲーム全体を a, b, c, d の4つの部分ゲームに分けて考えることができる。

2.3 部分ゲームの評価

ゲーム全体では各プレイヤーの手番が交互に回ってくるが、部分ゲームに関しては、必ずしも各プレイヤーが交互に手を指すとは限らない。なぜなら、一方のプレイヤーがある部分ゲームで手を指したとしても、相手プレイヤーは他の部分ゲームで手を指せば、最初のプレイヤーは同じ部分ゲームで連続して手を指すことが可能となるからである。

したがって、本来ならば部分ゲームを分析する上では、手番が連続する可能性を考慮する必要がある。だが、本論文ではデータベースの実装可能性も考慮して、各部分ゲームで双方のプレイヤーが交互に手を指すことを仮定した場合の、最善手および部分ゲームの評価値（先手プレイヤーが後手プレイヤーに対して何手多く指せるか）をデータベースに登録することにした。

なお、次節で述べるゲーム全体の評価の手法においては、いずれかのプレイヤーがある部分ゲームで指し手がなくなることにより、手を指す部分ゲームが強制的に決定されるという状況が重要となるため、指し手が存在しない部分ゲームについては評価値として null 値を与えている。

3. 部分ゲームの評価値に基づくゲーム全体の評価

本節では、前節で述べた部分ゲームの評価値をもとにゲーム全体の評価値の範囲を求め、勝ちを判定するなどの形勢判断に用いる手法について述べる。

まず、各部分ゲームで双方のプレイヤーが交互に手を指すことを仮定した場合の評価値をもとに、黒番のプレイヤーがある条件のもとに手を指し続けた場合、ゲーム全体の評価値がある範囲内にあることを示す手法について説明する。

なお、以下の説明の逆を考えることにより、白番の局面についても同様のことが言える。

3.1 評価の境界値を保証する指し手

本論文で扱うデータベースに登録されているのは、

それぞれの部分ゲームで双方のプレイヤーが交互に最善手を指した場合の評価値および最善手である。

したがって、ある部分ゲームでいずれかのプレイヤーが連続して手を指した段階で、その部分ゲームの評価値は不明となり、ゲーム全体の評価もわからなくなってしまう。これを避けるために、プレイヤーは以下に述べる条件にしたがって手を指さなければならない。

(1) 1つの部分ゲームで相手プレイヤーに2手連続で指させないようにする。

(2) 1つの部分ゲームで自分が2手連続で指さないようにする。

したがって、自分の手番である局面の第1手以外については、原則として相手が手を指した部分ゲームで手を指さなければならない。ただし、ある部分ゲームでいずれかのプレイヤーの指し手がなくなった場合には状況が変化する。特に、ある部分ゲームで自分の指し手がなくなったとき、別の部分ゲームで連続して指さざるを得なくなり、評価値が不明となってしまう。ゆえに、各部分ゲームで指すことのできる手数が相手プレイヤーより多ければ多いほど、評価の境界値も保証されやすい。

また、相手プレイヤーの指し手については、自分にできるだけ上記(1), (2)の条件に反する手を指させる場合を考えるべきである。

3.2 2つの部分ゲームで構成される局面の評価

各部分ゲーム$S_i\left(i=1,2,\ldots,n\right)$において、双方のプレイヤーが交互に手を指すことを仮定した場合に、黒番および白番のプレイヤーが先に手を指す場合の、もとの局面の評価値をそれぞれa_i，b_iとし、$S_i=\left(a_i \mid b_i\right)$と表すことにする。本項では$n=2$の場合を考え、次項で一般の場合について考える。

3.2.1 黒番の局面における評価の下限値

黒番のプレイヤーがゲーム全体の評価の下限値が保証されるように最善を尽くし、逆に相手の白番のプレイヤーがそれを可能な限り妨害するような手順について考察する。

まず、a_i, b_iにnull値が含まれない場合を考える。

$b_1<0$とすると、黒は1番の部分ゲームで第1手を指さなければならない。なぜならば、黒が2番の部分ゲームで第1手を指すと、白は第1手目、第2手目で2つの部分ゲームにそれぞれ1手ずつ指す場合が考えられる。前項(1)の条件により黒は白が直前に手を指した部分ゲームで手を指さなければならない。これ以降、白が1番の部分ゲームで手を指し続けると、黒もそれに応じなければならない。ところが、$b_1<0$であるために、1番の部分ゲームで先に指し手がなくなるのは黒である。このときに、黒は2番の部分ゲームで手を指さざるを得ず、その結果2番の部分ゲームで黒が連続して手を指すことになり、評価値の保証は失われてしまう。したがって、黒は1番の部分ゲームで第1手を指さなければならない。

ここで、$b_1<0$かつ$b_2<0$であれば、黒は第1手目で1番、2番の両方の部分ゲームで手を指さなければならないということになり、これは不可能であるため評価値の保証はなされない。

a_iについても同様で、$a_i \leq 0$のときは第1手目をi番の部分ゲームで指してはならないため、$a_1 \leq 0$かつ$a_2 \leq 0$，$a_1 \leq 0$かつ$b_1<0$，$a_2 \leq 0$かつ$b_2<0$のときは評価値の保証はされない。

$a_1>0$，$a_2>0$，$b_1 \geq 0$，$b_2 \geq 0$のときは黒は第1手目で1番の部分ゲームで手を指してa_1+b_2以上の評価値を確保することもでき、2番の部分ゲームで手を指してa_2+b_1以上の評価値を確保することもできるので、それらの最大値が評価値の下限となる。

なお、部分ゲームの評価値にnull値が含まれている場合は、その部分ゲームの価値は不変なので、各プレイヤーにとって最善手順は一意に定まる。

以上、評価値の下限をまとめると、表1のようになる。便宜上、a_1，b_1，a_2，b_2をそれぞれA, B, C, Dと表記している。表中の“unknown”は評価値の保証がないことを、“—”印はそのような評価値の組み合わせは存在し得ないことを表す。

3.2.2 黒番の局面における評価の上限値

上で述べたのとは逆に、白番のプレイヤーがゲーム全体の評価の上限値が保証されるように最善を尽くし、逆に相手の黒番のプレイヤーがそれを可能な

限り妨害するような手順について考察する。

結果は表2のようになる。手番が黒であるため第1手目の選択権が白番のプレイヤーにないので、評価の上限値が保証されない場合が多くなっている。

3.3 多数の部分ゲームで構成される局面の評価

部分ゲームの個数が3つ以上の一般の場合に拡張すると、ゲーム全体の評価値の下限値は以下の手順により、一定の条件を満たす場合に求めることができる。

S_iのうち、$a_i = null$ かつ$b_i = null$ の部分ゲームについては、ゲーム全体に影響を与えないので考慮の対象外とする。また、

$$C = \sum_{b_i = null} a_i + \sum_{a_i = null} b_i$$

とおく。以下、$a_i \neq null$ かつ$b_i \neq null$ の部分ゲームについてのみ考え、その個数をnとする。

このとき、ゲーム全体の評価値を$score$とすると、以下に示す条件下で、その下限値を求めることが可能な場合がある。

$n = 0$ のとき $score = C$

$n = 1$ のとき、上の条件を満たす唯一の部分ゲームをS_dとしておく。

表1　2つの部分ゲームで構成される黒番局面の評価の下限値

		C>0			C≦0			C=null		
		D≧0	D<0	null	D≧0	D<0	null	D≧0	D<0	null
A>0	B≧0	max{A+D,B+C}	B+C	max{A,B}+C	A+D	unknown	—	—	unknown	A
	B<0	A+D	unknown	A+C	A+D	unknown	—	—	unknown	A
	null	A+max{C,D}	A+C	A+C	A+D	A+max{C,D}	—	—	A+D	A
A≦0	B≧0	B+C	B+C	B+C	unknown	unknown	—	—	unknown	A
	B<0	unknown	unknown	max{A,B}+C	unknown	unknown	—	—	unknown	A
	null	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A=null	B≧0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	B<0	unknown	unknown	B+C	unknown	unknown	—	—	B+D	B
	null	C	C	C	C	C	—	—	D	0

表2　2つの部分ゲームで構成される黒番局面の評価の上限値

		C>0			C≦0			C=null		
		D≧0	D<0	null	D≧0	D<0	null	D≧0	D<0	null
A>0	B≧0	unknown	unknown	unknown	unknown	unknown	—	—	A+D	A
	B<0	unknown	unknown	unknown	unknown	unknown	—	—	A+D	A
	null	unknown	unknown	A+C	unknown	unknown	—	—	A+D	A
A≦0	B≧0	unknown	unknown	unknown	A+C	A+C	—	—	A+D	A
	B<0	unknown	unknown	unknown	A+C	A+C	—	—	A+D	A
	null	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A=null	B≧0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	B<0	B+C	B+C	B+C	B+C	B+C	—	—	B+D	B
	null	C	C	C	C	C	—	—	D	0

3.3.1 黒番の局面におけるスコアの下限値

$C<0$ の場合は評価不能

$n=1$ のとき

$C=0$ ならば $score \geq a_d$

$C>0$ ならば $score \geq \max\{a_d, b_d\}+C$

$n \geq 2$ のとき

1. $\max\{a_i\} \leq -C$ の場合は評価不能

2. $b_i < -C$ となる部分ゲームが 2 つ以上存在する場合は評価不能

3. $b_i < -C$ となる部分ゲームがただ 1 つ存在する場合

この局面を S_k とおく。

(1) $a_k \leq -C$ ならば評価不能(2) $a_k > -C$ のとき

ア) $a_k + \sum_{i \neq k} b_i - \max_{i \neq k}\{b_i\} > -C$ ならば

$$score \geq a_k + \sum_{i \neq k} b_i + C$$

イ) $a_k + \sum_{i \neq k} b_i - \max_{i \neq k}\{b_i\} \leq -C$ ならば評価不能

4. $\min\{b_i\} \geq -C$ の場合

(1) $a_k > -C$ かつ $a_k + \sum_{i \neq k} b_i - \max_{i \neq k}\{b_i\} > -C$

を満たす S_k が存在するならば

$$score \geq \max_{a_k > -C,\, a_k + \sum_{i \neq k} b_i - \max_{i \neq k}\{b_i\} > -C} \left\{ a_k + \sum_{i \neq k} b_i + C \right\}$$

(2) $a_k > -C$ かつ $a_k + \sum_{i \neq k} b_i - \max_{i \neq k}\{b_i\} > -C$

を満たす S_k が存在しないとき評価不能

3.3.2 黒番の局面におけるスコアの上限値

$C>0$ の場合は評価不能

$n=1$ のとき

$$score \leq a_d + C$$

$n \geq 2$ のとき

1. $\max\{a_i\} > -C$ の場合は評価不能

2. $\max\{a_i\} \leq -C$ の場合

$\sum a_i - \min\{a_i\} \leq -C$ ならば

$$score \leq \sum a_i + C$$

$\sum a_i - \min\{a_i\} > -C$ のとき評価不能

3.3.3 白番の局面におけるスコアの評価

白番の局面におけるスコアの上限値と下限値はそれぞれ、盤上の駒を相手の駒で置き換え、すべての部分ゲーム S_i において a_i と b_i の値を入れ替え、符号を変えた黒番の局面を考えることで得られる。

4. 部分ゲームデータベースの構築

4.1 データ構造

データベースに登録する内容は、盤面の大きさが 10 以下の部分ゲームの盤面の情報、黒および白の各プレイヤーを先手として部分ゲームで交互に手を指したときの最善手と局面の評価値とする。

盤面の情報としては、その盤面が縦、横の長さがいくらの長方形の枠内に納まるかという情報をそれぞれ $4bit\left(10<2^4\right)$ で表し、あるマス目の状態（黒駒、白駒、空白）と 1 つ前のマス目の相対位置をまとめて $5bit$ で表す。相対位置というのは、図 3 に示すように、盤面を左上から横方向に見てゆく際の、あるマス目から次のマス目までの距離で表す。盤面は対称性を考慮して、縦長の長方形および正方形の枠内に納まるもののみを登録しているため、10×10 の正方形の枠内にしか納まらないものを除けば、マス目とマス目の間の距離は 10 以下すなわち高々10 通りとなる。これに、次のマス目の状態が

3 通り考えられるので、$10 \times 3 < 2^5$ より $5bit$ でマス目の情報を表すことができる。なお、各盤面の最も左上にあるマス目の相対位置については長方形の枠内の最も左上にあるマス目との距離で表す。したがって、盤面の情報量は最大で$58bit$ となる。

評価値については、大きさが 10 の部分ゲームについては-9 から 9 まで 19 通り考えられるので、やはり $5bit$ 必要となる。

最善手については、駒の識別子に $2bit$（黒駒、白駒はそれぞれ 4 つずつなので $4 = 2^2$）、駒および矢が到達するマス目の識別子をそれぞれ $4bit$（マス目は最大 10 マスなので $10 < 2^4$）で表す。マス目の識別子は相対位置同様、盤面を左上から横方向に見てゆく際にマス目が存在する順序によって決定する。したがって、最善手1手につき $2 + 4 + 4 = 10bit$ 必要となる。

黒、白それぞれのプレイヤーについて最善手と局面の評価値を登録するので、部分ゲーム1つあたりのデータ量は、

$$58bit + 5bit \times 2 + 10bit \times 2 = 88bit = 11Byte$$

となる。

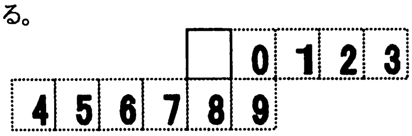


図3 マス目の相対位置

4.2 データベースの規模

盤面の大きさが 10 以下の部分ゲームの総数は、表3に示すとおりである。ただし、盤面の対称性を考慮して、回転や裏返しによって重なるものは1局面しか登録していない。また、黒の駒の数が白の駒の数よりも多いまたは駒の数が等しい盤面のみを登録している。部分ゲーム 1 つあたり $11Byte$ のデータであるから、データベースのサイズは

$$11Byte \times 17{,}275{,}854{,}477 \approx 190GByte$$

となり、現在市販されているハードディスク 1 台に収まる程度となる。

表3 サイズが 10 以下の部分ゲームの総数

黒駒	白駒	盤面の大きさ										合 計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0	1	2	5	22	94	524	3031	18770	118133	758381	898963
1	0	1	2	11	62	422	2922	20794	148269	1059619	7568717	8800819
2	0	0	2	11	100	836	7344	62272	519114	4237238	34059629	38886546
3	0	0	0	5	62	836	9680	103631	1036639	9884214	90807456	101842523
4	0	0	0	0	22	422	7344	103631	1296587	14825680	158918958	175152644
1	1	0	2	18	176	1626	14466	124121	1036355	8470914	68104165	77751843
2	1	0	0	11	176	2448	28896	310250	3108389	29646620	272408080	305504870
3	1	0	0	0	62	1626	28896	413414	5180035	59288658	635606880	700519571
4	1	0	0	0	0	422	14466	310250	5180035	74111758	953405758	1033022689
2	2	0	0	0	100	2448	43476	620302	7771760	88935420	953429072	1050802578
3	2	0	0	0	0	836	28896	620302	10359290	148220358	1906800488	2066030170
4	2	0	0	0	0	0	7344	310250	7771760	148220358	2383525582	2539835294
3	3	0	0	0	0	0	9680	413414	10359290	197620560	3177982536	3386385480
4	3	0	0	0	0	0	0	103631	5180035	148220358	3177982536	3331486560
4	4	0	0	0	0	0	0	0	1296587	74111758	2383525582	2458933927
合計		2	8	61	782	12016	203934	3519293	60262915	1006971646	16204883820	17275854477

5. 実　験

前節で構築した部分ゲームのデータベースに登録された値をもとに、前々節で述べた手法を用いて、ランダムに作成した複数の部分ゲームの和のスコアについて評価を行う。

5.1 部分ゲーム2つで構成される局面の評価

まず、盤面の大きさが8で黒駒と白駒を2つずつ含む部分ゲーム2つから構成される局面と、盤面の大きさが9で黒駒3個と白駒1個を含む部分ゲームと、やはり大きさが9で黒駒1個と白駒3個を含む部分ゲームから構成される局面各 10,000 通りについて、手番が黒の場合の評価値の上限値と下限値を3.2 項で述べた手法を用いて求め、通常の α-β 探索によって得られる評価値と比較した。各部分ゲームは構築したデータベースからランダムに選んだ。なお、大きさが9で黒駒1個と白駒3個を含む部分ゲームは、データベースから同じ大きさ9で黒駒3個と白駒1個を含む部分ゲームをランダムに選び、黒駒と白駒を互いに相手の駒と置き換えることによって生成した。

この結果を表4および表5に示す。また、上限値や下限値を得たものの、その値が実際の評価値と一致しなかったものについて、その差を表6に示す。この結果から、上限値や下限値の評価を行うことのできない局面が多いものの、評価を行うことができた局面については実際の評価値に比較的近い値が得られることがわかる。

表4 大きさ8の部分ゲーム2つの局面の評価

下限＼上限	評価値と一致	評価値より大	評価不能	計
評価値と一致	25	0	3,431	3,456
評価値より小	0	0	488	488
評価不能	1,551	387	4,118	6,056
計	1,576	387	8,037	10,000

表5 大きさ9の部分ゲーム2つの局面の評価

下限＼上限	評価値と一致	評価値より大	評価不能	計
評価値と一致	194	0	2,567	2,761
評価値より小	0	0	197	197
評価不能	1,465	36	5,541	7,042
計	1,659	36	8,305	10,000

表6 上限値／下限値と実際の評価値との差

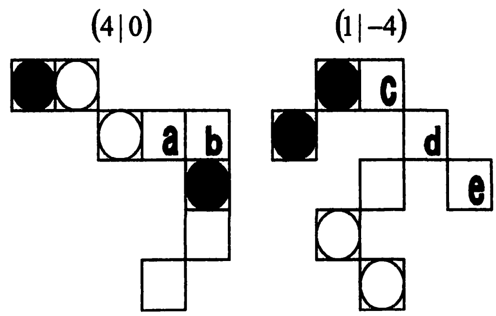
(盤面の大きさ: 8)

差	1	2	3	4	計
上限	148	223	5	11	387
下限	307	173	8	0	488

(盤面の大きさ: 9)

差	1	2	3	4	計
上限	18	12	5	1	36
下限	103	80	10	4	197

盤面の大きさが8の部分ゲーム2つから成る局面を扱った際に、評価の下限値が実際の評価値を3下回ったものの1つは、下の図4に示す2つの部分ゲームから成る局面である。



評価の下限値：1　　真の評価値：4

図4 得られる下限値の精度の悪い局面

左側の部分ゲームだけで考えると、右の黒駒は図のa, bのマス目を自分自身と矢によって占めることにより、白駒の動きを封じることができ、この部分ゲームで4手分得することができる。一方白駒はaのマス目に移動してbのマス目に矢を放つことができれば、この部分ゲームでの指し手の数は黒と等しくなる。

右側の部分ゲームだけを考えると、黒は図のcのマス目に移動してdのマス目に矢を放ち、白駒2つを左下のエリアに閉じこめる手が最善であり、このとき黒はこの部分ゲームで白より1手多く手を指すことができる。一方白は図のdのマス目に移動してcのマス目に矢を放てば4手分得することができる。

ところがこのゲーム全体における黒の最善手は、右側の部分ゲームでcのマス目に移動し、eのマス目に矢を放つ手である。こうすることによって、次に白が左右いずれの部分ゲームで手を指しても、黒はゲーム全体で白よりも4手多く指すことができるのである。

このように、ゲーム全体の最善手がそれを構成す

るどの部分ゲームの最善手とも一致しない場合には、得られるスコアの上限値や下限値は精度の悪いものとなってしまう。

5.2 部分ゲーム4つで構成される局面の評価

次に、盤面の大きさが6および10で黒駒と白駒を1つずつ含む部分ゲーム4つから構成される局面各10,000通りについて、手番が黒の場合の評価値の上限値と下限値を3.3項で述べた手法を用いて調べた。

表7 大きさ6の部分ゲーム4つの局面の評価

下限値＼上限値	評価可能	評価不能	計
評価可能	32	2,201	2,233
評価不能	979	6,788	7,767
計	1,011	8,989	10,000

表8 大きさ10の部分ゲーム4つの局面の評価

下限値＼上限値	評価可能	評価不能	計
評価可能	3	1,428	1,431
評価不能	655	7,914	8,569
計	658	9,342	10,000

結果を表7および表8に示す。

これを見ると、やはりスコアの上限値や下限値を評価することが可能な局面の数は少ないようである。なお、大きさ10の部分ゲーム4つで構成される局面のうち上限値も下限値も評価可能であった3つの局面は、いずれも4つの部分ゲームのうち3つはいずれか一方のプレイヤーしか手を指すことができないものであった。

次に、大きさ10の部分ゲーム4つで構成される局面のうち、上限値または下限値の少なくとも一方が評価可能であった2,086局面について、値の正負を調べた。結果は表9に示した通りである。

表9 局面の評価の上限値・下限値の正負

	負	0	正	評価不能	計
上限値	597	28	33	9,342	10,000
下限値	34	17	1,380	8,569	10,000

ここで、局面の評価値の上限が負であれば、そのゲームは白番のプレイヤーが勝つことができるということがわかり、逆に評価値の下限が正であれば、ゲームは黒番のプレイヤーが勝つことができるということになる。表9からわかる通り、スコアの上限値が負である局面は全10,000通りのうちの約6%、スコアの下限値が正である局面に至っては14%近く存在している。

盤面の大きさが10で黒駒と白駒を1つずつ含む部分ゲーム4つから構成されるゲーム全体を完全に探索すると最悪の場合32手の深さまで指し手を読まなければならない。これは現実的には不可能である。そこで、3.3項で述べた手法を用いれば、そのような局面のうちの一部については短時間で勝敗を判定できるものと思われる。

6. おわりに

6.1 まとめ

本論文では、盤面の大きさが10以下であるAmazonsの部分ゲームのデータベースを構築し、これを用いて複数の部分ゲームからなる局面の評価値の上限と下限を求める手法を提案した。また、この手法とデータベースに基づいた実験の結果、Amazonsの局面の一部についてはゲームの途中で勝敗を判定できる可能性を示唆した。

6.2 今後の課題

本論文で提案した局面の評価値の範囲を求める手法では、評価値の上限や下限を与えることのできない局面が過半数、多いときには調べた局面の9割にも及んだ。今後の課題としては、このような局面の数を減らすために、各部分ゲームのデータベースに最初の数手の手番をすべて網羅した評価値を登録しておき、それに基づいて複数の部分ゲームから構成される局面に関するより厳密な評価を行う手法を確立することなどが挙げられる。

参考文献

[1] M. Müller and T. Tegos. Experiments in Computer Amazons. In R. Nowakowski, editor, More Games of No Chance, pages 243-260. Cambridge University Press, 2002.

[2] Elwyn R. Berlekamp. Sums of N×2 Amazons. Institute of Mathematical Statistics, 2000.

[3] Martin Muller. Solving 5×5 Amazons. Game Programming Workshop, pp. 64-71, 2001.

[4] 副田俊介, 田中哲郎: Amazons 終盤の局面評価におけるデータベースの利用, ゲーム・プログラミング・ワークショップ, pp.124-131, 2002.