十六むさしの強解決

田中哲朗[1,a)]

概要：「十六むさし」は約 400 年前から遊ばれている日本の古いボードゲームである．このゲームは，二人用の二人零和有限確定完全情報ゲームの一つであるため，ゲーム中の各局面のゲーム値を計算することができる．本研究では，標準的な「十六むさし」と 2 つのバリエーションを強解決した．

Sixteen Musashi is Strongly Solved

Tetsuro Tanaka[1,a)]

Abstract: Sixteen musashi is an old Japanese board game, which has been played for about four hundred years. Since the game is one of complete information games for two players, we can calculate the game value of each position in the game. We strongly solved the standard sixteen musashi and two variations of this game.

1. はじめに

「十六むさし」は日本の古いボードゲームであり，ゲーム名は室町時代から多くの書物に現れている．ここでは，以下のルールを標準ルールとする．

- 2 人のプレイヤで遊ぶ．片方を黒プレイヤ，他方を茶プレイヤと呼ぶ．
- 33 つの点を持つボードでプレイする (図 1 の左)．点と点をつなぐ線分がある．
- 16 個の茶駒と，1 個の黒駒でプレイする．各駒はボードの点の上に置かれる．1 点に置かれる駒はたかだか 1 駒．初期配置は図 1 右．
- 各プレイヤは交互にプレイする．最初にプレイするのは茶プレイヤ．
- 茶プレイヤの手番では，茶プレイヤは茶駒の一つを隣接する (線分で結ばれた) 空の (駒が置かれていない) 点に移動させる．
- 黒プレイヤの手番では，黒プレイヤは黒駒を隣接する (線分で結ばれた) 空の (駒が置かれていない) 点に移動させる．移動後の黒駒が，1 対 (2 つ) の茶駒で挟まれた状態になっている場合は，その 1 対の茶駒は取り除かれる．茶駒の複数の対に挟まれた状態になっている場合は，すべての対が取り除かれる．削除される対の数は最大 3 対となっている．
- 黒プレイヤの手番で移動先がない場合は，茶プレイヤの勝ちとする．
- 茶プレイヤが勝つ可能性がなくなったら，黒プレイヤの勝ちとする．

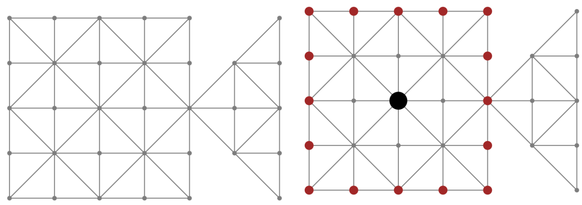

図 1　Sixteen Musashi board and initial position

「茶プレイヤが勝つ可能性がなくなった」ことを判定するのは難しい．いくつかのルール本では，茶駒の数が 6 以下になったら黒プレイヤの勝ちと定義している．しかし，この追加ルールがあっても，このゲームでは無限の繰り返しがしばしば発生するため，ゲームの勝敗を決定するには不十分である．そこで，ここでは茶駒の数に関するルールは用いずに，以下のルールを加える．

[1] 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo
[a)] ktanaka@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

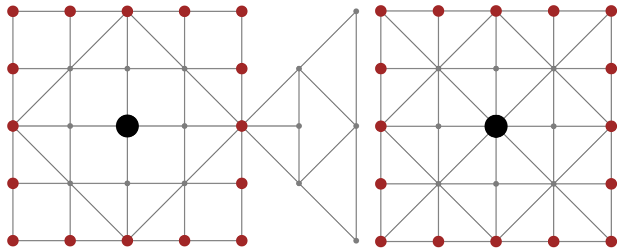

図 2 Two variants of Sixteen Musashi board : BOARD31 on the left and BOARD25 on the right

- 同じ盤面 (手番と駒の配置が同じ) がゲーム中に現れたら，黒プレイヤの勝ち．

また，多くのルール本では茶プレイヤが動かせる駒がない時にどうするかを明確に書いていない．明確化のために，以下のルールを加える．

- 茶プレイヤの手番で動かせる駒がない時は，黒プレイヤの勝ち．

以上の規則のもとで，ゲームは有限回数のプレイで終わり，どちらかのプレイヤの勝利となる．すなわち，このゲームでは引き分けは存在しない．

「十六むさし」には多くのバリエーションがあるが，ここでは標準ボード以外に，2 種類のバリエーションも扱う．1 つ目は，図 2 左の 31 点からなるボードを用いるもので，ここでは BOARD31 と呼ぶ．2 つめは図 2 左の 25 点からなるボードを用いるものである．これは江戸時代の百科事典「和漢三才図会」[1] で「八道行成 (やさすかりむさし)」という名前で紹介されている．ここでは BOARD25 と呼ぶ．33 点からなる標準ルールのボードのことを，BOARD33 と呼ぶ．

この 3 つのバリエーションの「十六むさし」について，強解決 [2]，すなわちすべての局面の勝敗を求めた．初期配置から到達可能という条件を入れると，茶駒の数は n を非負整数として初期配置の茶駒の数 (標準のボードセットを使うと 16) から $2n$ 個減らした局面に限られる．今回はその条件を入れずに，ボード上に 1 個の黒駒，m 個 (ただし，$0 \le m \le$ ボードの点の数 $- 1$) の茶駒を置くすべての配置の黒番，茶番の勝敗を後退解析により求める．

2. ゲームの特徴

十六むさしとそのバリエーションは二人完全情報零和ゲームに分類され，引き分けがないので，各局面から両プレイヤが最善のプレイをした時のゲーム値 (勝敗) を決めることができる．

文献 [2] にあるように，このカテゴリーに属する多くのゲームが強解決されている．以下の後退解析として知られるアルゴリズムによって，このゲームの各局面の勝敗を決定することができる．なお，局面 s は盤面の駒の配置と手番からなり， $\mathbf{turn}(s)$ は局面 s の手番を返す関数として，黒プレイヤの手番の場合は **Black** を返し茶プレイヤの手番の場合は **Brown** を返すものとする，$\mathbf{next}(s)$ はある局面 s から 1 手で遷移可能な局面の集合を返す関数とする．$\mathbf{next}(s)$ が空集合 $\emptyset$ の時は手番のプレイヤの合法手がないことを表すので手番のプレイヤの負けになる．

$S \leftarrow$ { all positions }
$L_0 \leftarrow \emptyset$
for all $s \in S$ **do**
  if $\mathbf{turn}(s) = \mathbf{Black} \wedge \mathbf{nexts}(s) = \emptyset$ **then**
    $L_0 = L_0 \cup \{s\}$
  end if
end for
$S \leftarrow S \setminus L_0$
$L \leftarrow L_0$
$i \leftarrow 0$
repeat
  $i \leftarrow i + 1$
  $L_i \leftarrow \emptyset$
  for all $s \in S$ **do**
    if $\mathbf{turn}(s) = \mathbf{Black} \wedge \forall s' \in \mathbf{nexts}(s).s' \in L$ **then**
      $L_i = L_i \cup \{s\}$
    else if $\mathbf{turn}(s) = \mathbf{Brown} \wedge \exists s' \in \mathbf{nexts}(s).s' \in L)$
    then
      $L_i = L_i \cup \{s\}$
    end if
  end for
  $L \leftarrow L \cup L_i$
  $S \leftarrow S \setminus L_i$
until $L_i = \emptyset$

このアルゴリズムの実行後は，黒プレイヤの勝ち局面の集合が S，負け局面の集合が L になっている．黒プレイヤの勝ち局面 W を定義することも可能だが，茶プレイヤの手番で合法手が存在しない時や，繰り返しが発生するとは黒プレイヤの勝ちになるので，W を作らなくてもアルゴリズムの終了後は黒プレイヤの勝ち局面は S に含まれる．

後退解析を実装するにあたって，総局面数を見積もることが必要になる．まずは対称性を考えずに，BOARD33 の局面数を計算してみる．33 点に黒駒は 1 つ存在するので，33 通りある．残りの点は 32 点だが，それぞれに茶駒の存在/非存在で 2 通りあるので，2^{32} 通り．手番が 2 通りなので，$33 \times 2^{32} \times 2 = 283,467,841,536$ となる．同様に，BO-RAD31 と BOARD25 は $31 \times 2^{30} \times 2 = 66,571,993,088$ と $838,860,800$ になる．BOARD33, BOARD31 は上下で対称性があるので約半分になり，BOARD25 は上下，左右，回転の対称性により約 1/8 に減る (図 3 参照)．

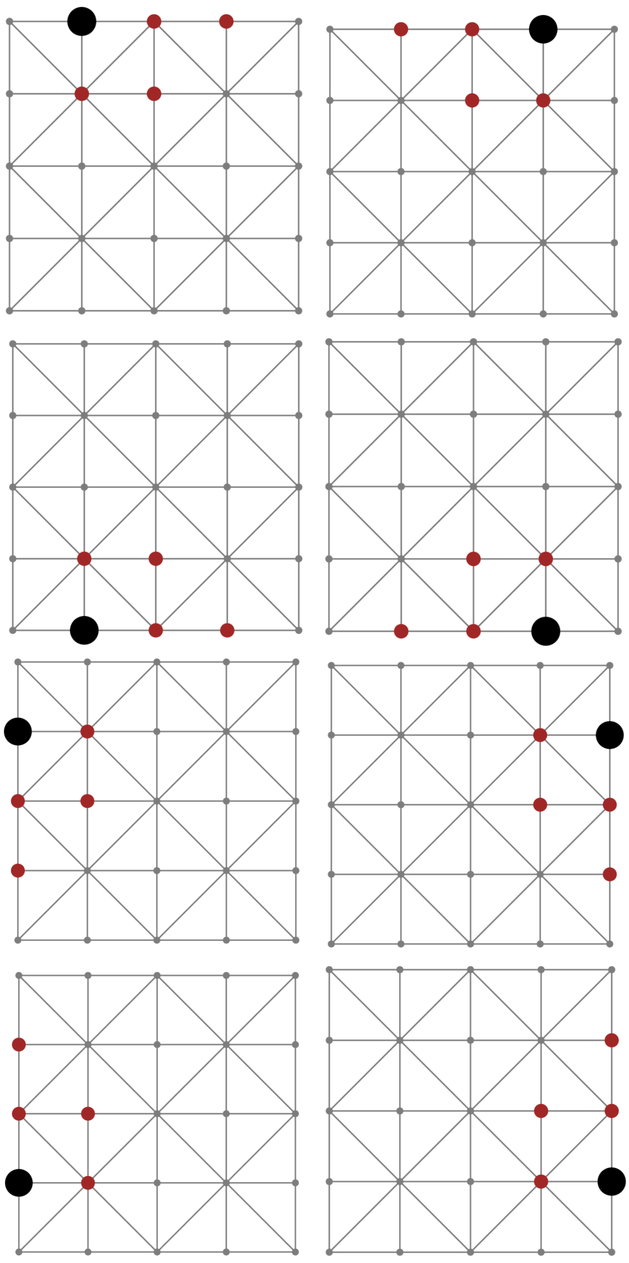

図 3 Equivalent positions in BOARD25

3. 実装

後退解析をおこなうにあたっては，茶色の勝ちとなる局面のそれぞれについて，勝ち局面まで何手必要かも求めることにする．たとえば，必要な手数が 255 手以下と見積もると，各局面ごとに 1 バイトのメモリで記憶することができる．

今回は更に解析中のメインメモリを節約するために，解析中はメインメモリ上にはその局面が茶色の勝ちと確定しているか確定していないかの，1 ビットで表し，1 回の繰り返しごとにファイルに書き出すことにした．この方法は，繰り返し回数に比例したディスク容量を必要とするが，主記憶上の記憶量は大幅に減らすことができる．また，ファイルに書き出した結果から，局面ごとの手数ファイルはファイルの逐次アクセスのみで作成でき，多くのメインメモリを必要としないので，メリットが大きい．

後退解析をおこなう場合，局面の遷移に単調性がある場合は，局面を複数の集合に分けて，ある集合を計算するのに必要な局面だけを主記憶上に置く方法が一般的である．このゲームでも茶駒の数が n 個である局面の集合を S_n とすると，$s \in S_n$ のある局面 s で茶プレイヤが i 手で勝てるかどうかを判定するには，s の手番が茶の時は，S_n のうち手番が黒のものの $i-1$ 手での勝敗だけが必要であるし，s の手番が黒の時は，$S_{n-6}, S_{n-4}, S_{n-2}, S_n$ のうち手番が茶のものの $i-1$ 手での勝敗が必要となる．これを使うと更に解析に必要なメインメモリを減らすことが可能だが，今回は全局面をメモリに置くことが可能な計算機を使ったため，この性質は用いずに実装した．

以下が，作成したプログラムの概要である．

全局面をメモリに置く方針を取るため，局面からインデックスへの効率的な変換をおこなうように局面を整数で表す [*1]．盤面の各点には以下のように 0 から始まる番号をつける．

14	15	16	17	18		19
7	8	9	10	11	12	13
0	1	2	3	4	5	6
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		32

盤面の対称性を考えると，黒駒が 20 以上の時は盤面を上下に反転することによって，同値な局面を得ることができるので，黒駒が 0 以上 19 以下の位置にある局面だけを求めれば良いことがわかる [*2]．黒駒の位置を表す 0-19 は 5 ビットで表し，上位ビット (ビット 33-36) に配置する．

[*1] 茶色の駒の数で集合をわける場合は，茶色の数ごとにインデックスに変換するような表現方法を使う必要がある

[*2] 黒プレイヤの勝ち局面について，「勝つ (繰り返し局面が発生する or 茶プレイヤが手番で合法手がない局面に至る) のに何手を要するか」を求める場合には上下反転した局面を区別する必要があるが，今回はそれは求めないので区別しなくても良い．

茶駒の配置の表現には下位 33 ビットを使う．ある点に茶駒が存在する場合はその点に対応するビットを 1 とし，存在しない場合は 0 とする．

局面をあらわすには，盤面の配置に加えて手番の情報も表現する必要がある．この目的に，茶駒の配置の表現に使っている 33 ビット中の黒駒の位置に対応するビットを用いる．このビットが 0 の時は，黒駒の手番，1 の時は茶駒の手番とする．

この表現により，すべての局面は 0 以上 $20 \times 2^{33} - 1 = 171,798,691,839$ 以下のインデックスで表すことができる．

この後退解析をマルチスレッドで実行するプログラムを作成し，実行した [*3]．

4. 結果

後退解析は，128GB を積んだ AMD Ryzen Threadripper 2990WX のマシン上でプログラムを 60 並列で動かしては 21 時間で終了した．

4.1 BOARD33 の結果

図 1 が茶駒の数と茶プレイヤが勝つまでの手数で分類した局面数の表である．「茶勝ち」の 0 手というのは，黒プレイヤの手番で合法手がない局面を表す．偶数手数での「茶勝ち」は黒プレイヤの手番，奇数手数での「茶勝ち」は茶プレイヤの手番を表す．上下反転して一致する局面を同一と数えた時の局面数は 141,737,590,784 となった．

以下が，結果の概要である．

- 初期配置は茶プレイヤの 35 手での勝ちとわかった．図 4 は双方がベストを尽くしたときのシーケンスの一つを示している．
- 茶プレイヤの手番で勝ちまでに要する手数が最大なのは 57 手で，そのような局面は茶駒 5 個で 4 局面，茶駒 7 個で 1 局面ある．該当する局面を図 5 にあげる．
- 黒プレイヤの手番で黒が勝てる局面で茶駒の数が最大なのは，12 個の時．図 6 のように，次の黒の手で 4 個以上の茶駒を取れる時に限られる．
- 茶プレイヤの手番で黒が勝てるケースとして，図 7 のように，茶駒の数が 32 個, 24 個，8 個で動かせる駒がなく黒勝ちの局面がある，それを除くと茶駒の数が 8 個の時が最大となる．そのような局面の例を図 8 に示す．

4.2 BOARD31 の結果

図 2 が BOARD31 での　茶駒の数と茶プレイヤが勝つまでの手数で分類した局面数の表である．上下反転して一致する局面は同一と数えた時の局面数は 33,287,831,552 と

[*3] プログラムは https://github.com/tanakat01/16musashi で公開している

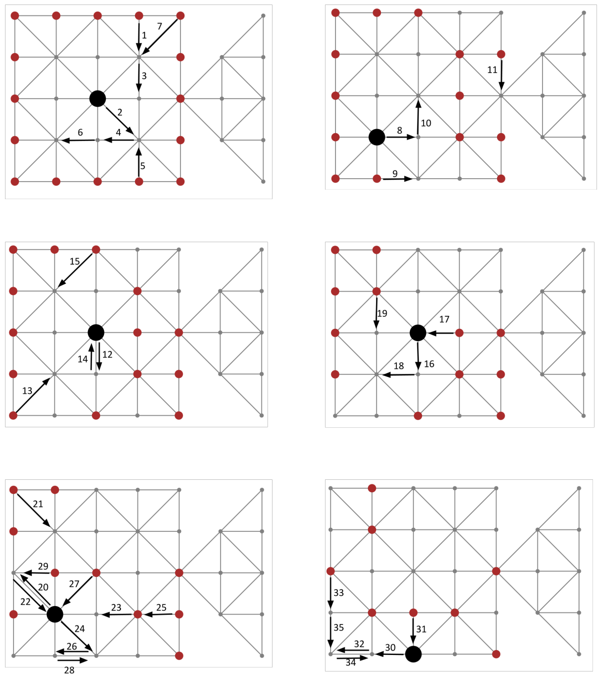

図 4　One of the best sequences from the initial position

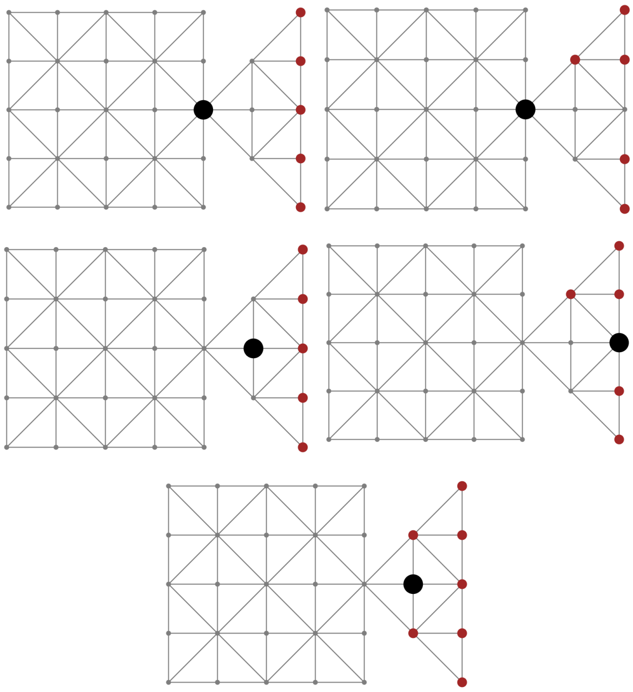

図 5　The brown player needs 57 moves to win from these positions

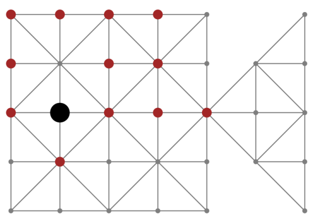

図 6　Black player can win against 12 brown pieces

表 1　茶駒の数と茶プレイヤが勝つまでの手数で分類した局面数 (BOARD33)

茶駒の数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
黒勝ち (黒番)	20	549	8277	78780	555265	333288	2116227	216409	1327486	57275	325556	192	1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黒勝ち (茶番)	20	549	8257	73138	493386	2006	26044	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20
茶勝ち (0 手)	0	0	1	37	642	6982	54041	318105	1485300	5660004	17964597	48208897	110620594	218899122	375956021	563076981	737860572	847726680	854703747	756095391	586101126	397111242	234267675	119671387	52540892	19627524	6154695	1590267	329862	52862	6167	471	20
茶勝ち (1 手)	0	0	4	201	3758	41197	314223	1798313	8089777	29511414	89250462	227415735	494167512	924142324	1497615862	2113786376	2607761249	2818338764	2671040409	2219523400	1614868860	1026022915	566930781	270844898	110987600	38597070	11228740	2679935	510584	74630	7866	539	0
茶勝ち (2 手)	0	0	1	37	631	6716	50573	288702	1304320	4801068	14697729	37988431	83828511	159252974	262062136	375181033	468649473	511564817	488126750	406763446	295368322	186213093	101382860	47317135	18742019	6215191	1693636	369354	61988	7517	587	22	0
茶勝ち (3 手)	0	0	6	266	4290	43378	306817	1633176	6843705	23270831	65598054	155706498	314842906	547032750	821956953	1072997671	1220656036	1212176663	1051191145	795302643	523718343	298998650	147139148	61910071	22028308	6529726	1579802	303108	44203	4582	300	6	0
茶勝ち (4 手)	0	0	3	132	2032	19815	138001	733984	3107081	10762261	31100783	76038942	158907535	285989638	445648837	603497145	711831204	732013016	656132648	511865410	346585009	202827625	101988561	43715397	15804675	4752027	1165765	227188	33822	3618	249	7	0
茶勝ち (5 手)	0	0	15	586	9142	86152	566706	2807594	10974053	34896980	92226271	205686348	391453676	640938539	908143293	1117970780	1198646162	1120351128	912493877	646405250	396908733	210150667	95246555	36585784	11750206	3097402	652854	105849	12408	937	28	0	0
茶勝ち (6 手)	0	0	0	36	910	11004	86203	490271	2151868	7566785	21852076	52730297	107646358	187600221	280941698	363227750	406714457	395145958	333350980	244111692	154967675	85076919	40244099	16315484	5625799	1631657	391544	75826	11397	1247	88	3	0
茶勝ち (7 手)	0	0	0	292	6406	68027	468824	2350841	9119852	28423792	72977553	157071269	286976610	449147413	606143816	708604805	719729013	636140050	489403727	327381716	189951122	95201918	40963893	14999902	4616315	1173041	239853	37959	4373	328	20	2	0
茶勝ち (8 手)	0	0	0	75	1703	18729	135738	723610	3006047	10076456	27886744	64743533	127556035	215074621	312309898	392367372	427892791	405925214	335361574	241314002	151086410	82122965	38605344	15604572	5377710	1561025	375086	72735	10956	1204	86	3	0
茶勝ち (9 手)	0	0	0	527	9548	87368	530256	2384462	8420980	24197216	57904216	117260339	203214004	303744967	393655796	443839608	436098889	373521005	278569105	180437322	101085537	48686702	19994110	6923530	1991410	466073	86206	12069	1192	75	2	2	0
茶勝ち (10 手)	0	0	0	33	742	10024	85429	509115	2268123	7903094	22232360	51662683	100853220	167487136	238857945	294572412	315707286	294958428	240528672	171081927	105839797	56656697	26038124	10162482	3319652	890125	190788	31466	3758	291	11	2	0
茶勝ち (11 手)	0	0	0	114	2442	31807	255897	1419978	5836488	18644706	47897362	101446977	180443500	273233390	355719789	400897261	392786363	335226045	249193925	161015242	90074013	43363774	17817396	6179110	1782155	419007	78096	11071	1118	71	2	0	0
茶勝ち (12 手)	0	0	0	99	2216	25535	182248	931422	3668054	11608913	30321286	66528225	124140991	198732927	274637831	329028029	342641406	310547017	244953347	167941077	99827762	51248990	22599956	8498378	2698190	713547	154208	26494	3479	330	21	1	0
茶勝ち (13 手)	0	0	0	269	5604	64093	428458	2010005	7207884	20735227	49312124	98839475	169071377	248820550	316705623	349833621	336090511	281188194	204963576	130091576	71752923	34247727	14042795	4889874	1421644	336933	62988	8869	880	55	3	0	0
茶勝ち (14 手)	0	0	0	132	2646	27391	184364	918068	3601808	11522996	30686716	68974398	132228594	218030983	311316489	386939980	420162435	399388022	332469107	242087338	153763455	84813467	40369885	16438589	5659086	1620183	376875	68822	9361	870	47	1	0
茶勝ち (15 手)	0	0	0	415	7359	68161	409433	1840512	6593101	19444086	47971419	99956583	177254018	269475759	353687807	403298362	401525087	350148712	267688530	179110653	104437745	52703574	22802157	8356689	2555166	639101	127269	19374	2110	145	5	0	0
茶勝ち (16 手)	0	0	0	159	3105	28504	185639	954939	3951804	13251686	36333385	82599562	157960056	257465186	361523322	440918071	469741290	438726492	359839642	259175914	163631912	90219295	43181575	17789731	6236437	1832841	443029	85906	12920	1432	106	4	0
茶勝ち (17 手)	0	0	0	481	8251	62311	354820	1682976	6583499	20809541	53142213	111239480	194240764	287792300	366993059	407177518	395863662	338520248	254908184	168872296	98183732	49896101	22025291	8363517	2691575	717956	153655	25152	2926	212	7	0	0
茶勝ち (18 手)	0	0	0	383	5800	46434	287459	1436889	5828134	19073541	50900375	112806666	210845920	336952487	465061886	558477621	586389090	539860133	436221611	309104160	191595629	103455032	48382604	19449550	6657214	1916782	457236	88418	13410	1499	108	4	0
茶勝ち (19 手)	0	0	0	947	12389	88520	533402	2596788	9955232	29897242	71627766	140714335	232092538	327980106	402872525	434230238	412762868	346620634	256944005	167651901	95820094	47648027	20434968	7475350	2300309	584674	119863	19132	2259	179	8	0	0
茶勝ち (20 手)	0	0	0	474	5894	44536	309896	1708077	7272611	23835477	62366135	134557258	244440246	380198725	511117370	598023636	611086868	546473086	427609559	292354129	174124096	89942893	40049844	15250205	4911879	1317603	286997	48824	6010	469	17	0	0
茶勝ち (21 手)	0	0	0	1360	13693	96057	659616	3353561	12626934	35852975	80706462	150517357	239225116	330551268	400616216	427951236	403428485	335625627	245960025	158275351	88979499	43392834	18193295	6488920	1945038	482769	97085	15200	1702	105	2	0	0
茶勝ち (22 手)	0	0	0	838	8745	68602	508374	2706452	10786774	32955021	81601821	169121311	298673649	456449781	607312766	708662657	727100541	657387833	523714900	367160022	225890360	121436542	56689160	22787488	7799206	2239530	529918	100463	14726	1548	103	3	0
茶勝ち (23 手)	0	0	0	1597	10974	95177	841270	4370629	15639371	41297829	87603700	157008888	244775405	337001034	411777670	447620582	432469125	370588405	280638086	186938813	108929415	55157734	24072254	8960060	2804395	724412	151025	24703	3083	280	14	0	0
茶勝ち (24 手)	0	0	0	548	3037	40678	508981	3153234	13103245	40062741	98959795	202861672	353814610	532581491	698272612	803141512	812768824	725739074	571585739	396749189	241956812	129092057	59899680	23991951	8210418	2367978	564976	109048	16454	1868	140	6	0
茶勝ち (25 手)	0	0	0	1222	5395	114322	1122007	5507430	17922800	43785897	88172853	153136477	234638756	319948976	389218889	422618139	408861714	351536941	267684086	179743484	105799178	54170487	23882546	8950092	2803676	717755	145501	22327	2378	149	4	0	0
茶勝ち (26 手)	0	0	0	375	890	78083	951960	5186278	19291731	55192700	129809860	256633346	434248724	638433382	820813561	928570376	926842557	818008774	638856917	441568814	269722237	145215438	68563529	28158495	9942274	2969253	733388	144847	21811	2295	154	5	0
茶勝ち (27 手)	0	0	0	653	1491	202318	1618769	6616613	18581137	41265212	78289452	131209683	196127863	262245193	313904549	335934807	320785720	272770343	205988144	137679767	81121993	41902211	18844057	7310371	2414391	665257	148145	25471	3173	262	12	0	0
茶勝ち (28 手)	0	0	0	45	90	149721	1454085	6907227	23670455	64763008	146144037	278810652	458908799	659265556	832523399	928205776	915293890	798571077	615761449	418773449	250441364	131237941	59970464	23771426	8112417	2361649	577715	116000	18459	2215	183	8	0
茶勝ち (29 手)	0	0	0	115	220	314767	1884728	6294527	15253263	30524372	53528786	84110224	119512711	153456809	178078502	186005660	174356589	146015029	108834184	71912116	41930138	21456746	9561600	3668791	1193077	323817	72004	12784	1709	148	8	0	0
茶勝ち (30 手)	0	0	0	0	0	290647	2000448	8150396	25513141	64028441	133975955	240107997	375764885	519623847	640059090	704133421	692663436	608156221	475057293	328624851	200172287	106648250	49313139	19607553	6634815	1884848	442389	83975	12419	1365	93	4	0
茶勝ち (31 手)	0	0	0	0	0	436009	1829425	4747342	9235587	15330204	23061462	32017545	41485863	49744902	55072831	55512362	50687573	41517890	30324494	19612335	11157156	5550806	2394736	883709	275373	70687	14440	2228	247	25	1	0	0
茶勝ち (32 手)	0	0	0	0	0	430397	2137321	7673293	20827957	45469176	83742454	133445867	189945345	243206771	284419728	303409600	295968720	262324693	210461538	151569806	97278731	55071703	27215154	11594645	4196731	1268727	313444	61817	9438	1037	80	4	0
茶勝ち (33 手)	0	0	0	0	0	466778	1353305	2538320	3455376	4137222	4718136	5279917	5884714	6315699	6499536	6183617	5403775	4257224	2990574	1832404	966702	432590	162568	50919	12918	2680	424	42	3	0	0	0	0
茶勝ち (34 手)	0	0	0	0	0	524084	1744656	5536009	11968568	21215145	30933474	39700674	46459995	50213851	51741343	50362195	46831533	40850017	33284880	24924351	16998054	10390198	5630342	2656003	1076149	366552	102516	22800	3861	473	37	1	0
茶勝ち (35 手)	0	0	0	0	0	401717	761018	985647	882168	668492	469065	350605	278600	229184	188395	143804	102127	64877	37411	19264	8789	3540	1140	286	51	3	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (36 手)	0	0	0	0	0	493469	996044	3330954	5303113	7650971	8270390	8013884	6707589	5190648	3753670	2607893	1798199	1213933	822976	536151	341663	206298	117237	61397	28044	11321	3745	1023	217	43	5	0	0
茶勝ち (37 手)	0	0	0	0	0	257005	373135	372866	242937	115422	44987	17973	7821	4351	2450	1616	676	284	79	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (38 手)	0	0	0	0	0	313099	461046	1783041	2270240	2981481	2641901	2134546	1405558	808445	397825	171657	65548	26966	10156	4408	1266	358	58	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (39 手)	0	0	0	0	0	143819	179576	149943	77082	25877	5941	1180	207	27	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (40 手)	0	0	0	0	0	171488	210560	930966	1050007	1332403	1058540	799289	469845	235208	91820	26420	4950	604	81	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (41 手)	0	0	0	0	0	82006	83613	57479	23357	5842	883	106	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (42 手)	0	0	0	0	0	100828	101374	518715	486860	621418	434971	318452	169330	75676	24654	5126	499	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (43 手)	0	0	0	0	0	41517	35576	20491	6889	1240	105	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (44 手)	0	0	0	0	0	49156	41267	252452	202330	272267	169807	127261	62656	25992	7443	1210	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (45 手)	0	0	0	0	0	18646	14145	6653	1736	231	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (46 手)	0	0	0	0	0	21775	17649	114834	84991	111959	66821	47504	22403	7761	1665	151	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (47 手)	0	0	0	0	0	7661	5026	1801	339	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (48 手)	0	0	0	0	0	9009	5755	47352	29644	43437	22925	17747	7889	2592	519	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (49 手)	0	0	0	0	0	3251	1459	356	42	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (50 手)	0	0	0	0	0	3762	2009	20003	9390	16249	6962	5748	2074	436	33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (51 手)	0	0	0	0	0	915	334	54	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (52 手)	0	0	0	0	0	1115	478	5753	2143	4568	1588	1553	490	84	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (53 手)	0	0	0	0	0	233	63	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (54 手)	0	0	0	0	0	331	121	1528	383	1105	247	341	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (55 手)	0	0	0	0	0	51	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (56 手)	0	0	0	0	0	60	4	256	0	205	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (57 手)	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (58 手)	0	0	0	0	0	11	0	29	0	22	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

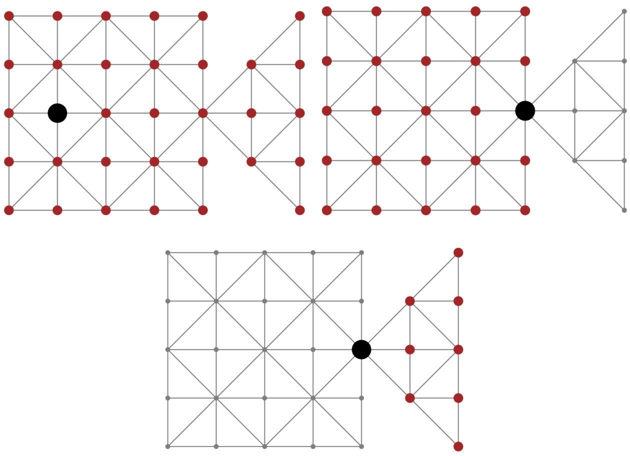

図 **7**　Brown pieces cannot move

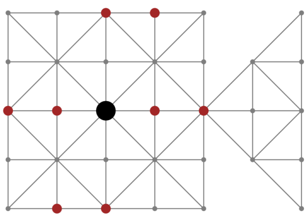

図 **8**　Brown player cannot win with 8 pieces

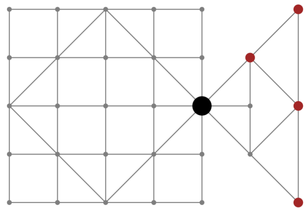

図 **9**　The brown player needs 49 moves to win from these positions

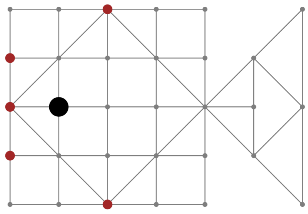

図 **10**　Brown player cannot win with 5 pieces

なった．

以下が，BOARD31 での結果の概要である．

- 初期配置は茶プレイヤの 17 手での勝ち．
- 茶プレイヤの手番で勝ちまでに要する手数が最大なのは 49 手で，そのような局面は図 9 の 1 局面のみである．
- 黒プレイヤの手番で黒が勝てる局面で茶駒の数が最大なのは，12 個の時．図 6 のように，次の黒の手で 4 個以上の茶駒を取れる時に限られる．
- 茶プレイヤの手番で黒が勝てるケースとして，茶駒の数が 30 個, 24 個，6 個で動かせる駒がなく黒勝ちの局面がある，それを除くと茶駒の数が 5 個の時が最大となる．そのような局面の例を図 10 に示す．

4.3　BOARD25 の結果

図 3 が BOARD25 での　茶駒の数と茶プレイヤが勝つまでの手数で分類した局面数の表である．上下，左右，回転の対称性によって一致する局面は同一と数えた時の局面数は 104,940,576 となった．

以下が，BOARD25 での結果の概要である．

- 初期配置は茶プレイヤの 31 手での勝ち．
- 茶プレイヤの手番で勝ちまでに要する手数が最大なのは 37 手で，そのような局面は 31 個ありすべて茶駒の数が 5 である．その一つを，図 11 に示す．
- 黒プレイヤの手番で黒が勝てる局面で茶駒の数が最大なのは，12 個の時．
- 茶プレイヤの手番で黒が勝てるケースとして，茶駒の数が 24 個で動かせる駒がなく黒勝ちの局面がある，それを除くと茶駒の数が 8 個の時が最大となる．そのような局面の例を図 12 に示す．

表 2 茶駒の数と茶プレイヤが勝つまでの手数で分類した局面数 (BOARD31)

茶駒の数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
茶勝ち (黒番)	19	486	6830	61415	19880	161440	7277	56393	1036	7204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (茶番)	19	486	6810	58246	31	660	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	19
茶勝ち (0)	0	0	3	89	1264	11533	76000	384920	1557819	5171415	14344528	33697283	67708705	117219896	175766167	229074960	260026126	257247942	221670235	166041911	107739314	60245973	28822630	11681608	3957415	1100195	244578	41853	5197	422	19
茶勝ち (1)	0	0	12	442	6337	57303	370923	1833177	7198803	23075877	61548360	138520433	265797538	438177248	624028173	770616542	826996448	771846332	626101977	440501147	267829021	139964275	62391313	23479078	7355209	1881614	382639	59474	6648	481	0
茶勝ち (2)	0	0	1	27	461	4923	36361	199623	853998	2939414	8324345	19711426	39487299	67494316	99030447	125228551	136788763	129147983	105293980	73937484	44517654	22830434	9879220	3560278	1049267	246399	44350	5747	478	19	0
茶勝ち (3)	0	0	3	150	2413	23643	159448	799915	3131403	9872693	25623607	55606308	102039612	159614383	214020961	246863482	245372739	210173660	154873959	97832621	52677159	23976876	9118899	2851363	716591	140088	20274	2005	117	1	0
茶勝ち (4)	0	0	3	153	2485	23970	159758	794904	3095951	9738435	25282329	55015422	101464195	159858417	216325016	252287174	253980642	220706084	165284650	106322596	58446247	27254355	10672866	3462010	912823	190505	30257	3436	248	7	0
茶勝ち (5)	0	0	12	457	6523	57036	348959	1607352	5830298	17154190	41781419	85453331	148241854	219643125	279204382	305255887	287244743	232416954	161270370	95532655	47991192	20254375	7089476	2021429	457679	79212	9855	790	24	1	0
茶勝ち (6)	0	0	0	50	1130	12373	87322	446077	1754881	5522070	14248992	30666564	55700702	86084209	113834395	129263430	126304519	106273078	76964299	47894894	25532423	11603850	4463507	1437697	381672	81550	13513	1636	127	6	0
茶勝ち (7)	0	0	0	275	5474	52643	327871	1483540	5187275	14557143	33614921	64959598	106270050	148314354	177455568	182524378	161546070	122953133	80291092	44801388	21223654	8455299	2794133	750818	159337	25549	2885	197	13	2	0
茶勝ち (8)	0	0	0	96	1898	18793	122061	582033	2162316	6482698	16039762	33241175	58290123	87108724	111506176	122701290	116316980	95055489	66900342	40431936	20872706	9130110	3344910	1009994	245817	46737	6628	643	39	1	0
茶勝ち (9)	0	0	0	441	7299	60370	329810	1336048	4273661	11204512	24641258	46073790	73768151	101464177	120001945	121976416	106383158	79391008	50481508	27181436	12284308	4601574	1403263	339399	62590	8258	690	29	1	1	0
茶勝ち (10)	0	0	0	45	1160	13005	90976	456681	1769592	5502494	14076574	30079932	54251095	83208579	109155167	122994436	119378827	99947783	72169507	44860173	23913402	10864923	4169249	1333597	348869	72556	11468	1285	89	4	0
茶勝ち (11)	0	0	0	203	4335	41401	253720	1142862	4056504	11708416	27965912	55761753	93371694	131984375	158260473	161678573	141215305	105696507	67842651	37292035	17482653	6936138	2300252	626031	136141	22733	2738	214	9	0	0
茶勝ち (12)	0	0	0	31	1047	13992	110957	612580	2557172	8401468	22287919	48581223	88211368	134933725	175479718	195391020	187193799	154742718	110456015	67994139	35972797	16261840	6226424	1993794	524464	110504	17989	2144	170	7	0
茶勝ち (13)	0	0	0	111	2659	30626	225421	1181336	4688824	14480995	35615298	71007402	116527834	159455436	183910640	180305484	151151788	108687084	67050799	35395938	15904377	6035180	1913923	500147	105503	17377	2114	173	7	0	0
茶勝ち (14)	0	0	0	78	1458	18240	152464	874460	3686475	11900535	30488628	63600696	110202677	161019260	200619541	214818455	198636542	158944027	110008931	65665421	33619957	14643476	5364253	1627206	400189	77490	11328	1169	76	2	0
茶勝ち (15)	0	0	0	306	5042	55538	399820	1986178	7283402	20548724	46134689	84486535	128655651	165312984	181152557	170486616	138276921	96681300	58124190	29893505	13055274	4795368	1463944	366011	73525	11546	1351	105	5	0	0
茶勝ち (16)	0	0	0	206	3367	38114	285345	1505650	5926583	18073685	44201777	88840543	149684610	214410589	263591044	279712807	256879985	204261463	140439555	83250873	42360030	18384508	6747500	2070157	522598	106098	16740	1945	151	7	0
茶勝ち (17)	0	0	0	550	8203	83970	566044	2647834	9197580	24622579	52491679	91254694	131922208	161043118	167999556	151133127	118006945	80318996	47731215	24726413	11099876	4269562	1382444	367384	77357	12287	1375	97	4	0	0
茶勝ち (18)	0	0	0	289	4496	50752	392526	2089095	8159749	24317752	57734123	112177247	182337553	251504007	297175327	302602134	266525139	203490429	134752953	77338101	38366194	16371154	5963095	1832916	467191	96293	15423	1812	142	6	0
茶勝ち (19)	0	0	0	808	11516	117086	767654	3447272	11186890	27305330	52292255	80956130	103812168	112498761	104843039	85245986	61196697	39141869	22428834	11526252	5288990	2142351	751665	222488	53617	9997	1328	111	5	0	0
茶勝ち (20)	0	0	0	418	6318	84776	666356	3404146	12298075	33405953	72363206	128841793	193025126	246352600	270363581	256779123	212242950	153333911	97107961	53967033	26270369	11143606	4080899	1271347	329913	69215	11231	1307	96	4	0
茶勝ち (21)	0	0	0	610	10625	156228	1054972	4296575	11974301	24576213	39131111	50079293	52946575	47397910	36682863	25001543	15262399	8460690	4307011	2026378	880736	351014	126248	39882	10756	2416	439	56	4	0	0
茶勝ち (22)	0	0	0	200	5114	119807	986194	4546538	14458886	34740526	66932359	106127679	141157189	159190387	153650268	128051582	92879962	59023919	33037125	16325734	7121586	2732222	913984	262934	64099	12918	2116	272	24	1	0
茶勝ち (23)	0	0	0	445	13964	231451	1314593	4221895	9178999	14702508	18159872	17932527	14565412	9973951	5870894	3016153	1368274	552427	200395	66263	20471	5923	1562	362	75	13	3	1	0	0	0
茶勝ち (24)	0	0	0	155	9684	230726	1463402	5346808	13899175	28058874	45643932	61322039	68643219	64769462	52025424	35964589	21596108	11350804	5256728	2149346	777549	247970	69210	16863	3465	571	67	3	0	0	0
茶勝ち (25)	0	0	0	208	25137	331404	1347433	3169832	5071239	6042585	5550610	4094055	2533610	1368136	664344	293136	115462	39449	11318	2619	458	51	3	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (26)	0	0	0	0	20413	347382	1564422	4494711	9595402	16269973	22183490	24968712	23340142	18612496	12955542	8090054	4626769	2443203	1183617	513249	193171	61254	15807	3163	462	42	2	0	0	0	0
茶勝ち (27)	0	0	0	0	41451	358974	988800	1675043	1946728	1659234	1080570	562945	257757	113941	50549	22171	9107	3505	1240	402	104	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (28)	0	0	0	0	42284	408620	1291421	3097058	5535649	7836798	8803334	8091714	6228712	4157449	2506618	1411302	756346	390924	189871	85962	34844	12326	3573	828	137	17	1	0	0	0	0
茶勝ち (29)	0	0	0	0	64338	292419	517915	584261	452814	248106	99572	29118	6323	1003	112	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (30)	0	0	0	0	67699	341116	785448	1607190	2285906	2543247	2199026	1518393	856776	399147	153112	47497	12534	3157	790	200	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (31)	0	0	0	0	74498	167434	178951	128074	69752	26900	6880	1123	119	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (32)	0	0	0	0	84612	201050	427994	706336	769328	667560	463642	250449	111228	36716	8226	1095	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (33)	0	0	0	0	65641	68461	46174	20837	8117	1946	257	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (34)	0	0	0	0	73351	80786	254475	264913	245511	165205	94598	39988	14292	2820	282	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (35)	0	0	0	0	42155	19813	8674	2269	516	55	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (36)	0	0	0	0	46338	23729	147486	76231	82309	35836	19312	5989	1448	115	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (37)	0	0	0	0	19527	3946	1092	87	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (38)	0	0	0	0	21258	4957	68639	15437	29017	6034	4772	719	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (39)	0	0	0	0	6395	563	101	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (40)	0	0	0	0	7216	828	23259	2092	9162	666	1252	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (41)	0	0	0	0	1613	109	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (42)	0	0	0	0	2013	152	6167	471	2348	155	301	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (43)	0	0	0	0	397	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (44)	0	0	0	0	539	26	1561	45	574	9	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (45)	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (46)	0	0	0	0	158	0	399	0	174	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (47)	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (48)	0	0	0	0	41	0	96	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (49)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (50)	0	0	0	0	7	0	15	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3 茶駒の数と茶プレイヤが勝つまでの手数で分類した局面数 (BOARD25)

茶駒の数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
茶勝ち (黒番)	6	85	904	6409	32962	24734	108171	15380	63899	3707	13881	28	184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (茶番)	6	85	904	6235	30050	315	2696	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
茶勝ち (0)	0	0	0	2	34	333	2120	9679	33526	91256	199948	358268	530678	654114	673220	578774	414548	245920	119636	47002	14588	3449	596	67	6
茶勝ち (1)	0	0	0	13	276	2543	14894	62127	196054	485746	968144	1577844	2125842	2383766	2232114	1745578	1136570	612014	269516	95441	26501	5562	836	83	0
茶勝ち (2)	0	0	0	2	40	383	2326	10070	33000	84915	175592	296229	411560	473285	451140	355713	230680	121809	51560	17085	4272	760	86	5	0
茶勝ち (3)	0	0	0	18	278	2365	12772	49108	142549	323788	588783	869929	1054071	1052611	867426	588505	326675	146754	52451	14535	3003	435	40	1	0
茶勝ち (4)	0	0	0	5	84	742	4232	17379	54191	132564	259623	412422	535667	571143	500221	358889	209613	98630	36801	10639	2301	353	35	2	0
茶勝ち (5)	0	0	0	34	531	4059	19984	70726	190296	402355	682389	940593	1062199	986750	754461	473305	241831	99339	32123	7906	1400	161	8	0	0
茶勝ち (6)	0	0	0	6	102	851	4567	17573	51068	115647	208093	301353	354185	339694	266902	172360	91806	40447	14718	4368	1018	175	19	1	0
茶勝ち (7)	0	0	0	51	721	5030	22573	72556	176541	335840	509741	625521	626158	514408	348145	194363	89291	33459	10035	2320	388	40	4	1	0
茶勝ち (8)	0	0	0	11	137	959	4536	15861	42598	89758	150446	202526	220692	195941	142534	85254	41914	16810	5392	1334	240	28	2	0	0
茶勝ち (9)	0	0	0	84	960	5586	21456	60280	130134	222087	305083	341490	314182	238637	149414	76426	31400	10096	2447	423	47	4	0	0	0
茶勝ち (10)	0	0	0	0	3	297	2646	12097	36477	80550	137632	188138	210468	195443	151548	97714	51612	21783	7110	1728	299	34	2	0	0
茶勝ち (11)	0	0	0	0	25	1474	10529	39346	97864	180044	259628	303428	292584	234378	155754	85204	37834	13326	3592	698	91	6	0	0	0
茶勝ち (12)	0	0	0	0	27	579	3408	13007	36740	80535	140422	197802	227428	214114	164707	102814	51520	20415	6275	1439	233	23	1	0	0
茶勝ち (13)	0	0	0	0	163	2778	12415	35283	77982	141515	212343	262474	267056	223666	154387	87536	40234	14565	3961	745	85	4	0	0	0
茶勝ち (14)	0	0	0	0	10	371	3129	15917	54078	132176	245395	359933	427740	417904	337808	226100	124834	56357	20490	5830	1235	179	15	1	0
茶勝ち (15)	0	0	0	0	103	1561	8313	32973	97581	208891	338765	433153	451234	391157	284433	172782	86426	34838	11010	2628	446	46	3	0	0
茶勝ち (16)	0	0	0	0	63	356	5292	28942	93919	209903	358852	489493	549070	511662	399196	260939	141979	63393	22687	6288	1293	188	18	1	0
茶勝ち (17)	0	0	0	0	321	1174	14293	63788	170145	310261	439299	507437	492377	402522	276173	158028	75142	29644	9544	2389	424	45	2	0	0
茶勝ち (18)	0	0	0	0	19	816	13376	57666	159787	322059	511204	663964	716995	650472	497609	320102	171853	76268	27599	8016	1825	311	35	2	0
茶勝ち (19)	0	0	0	0	53	2051	31475	109125	239021	379919	491286	530408	486627	379059	250845	140106	65161	24682	7427	1724	304	38	3	0	0
茶勝ち (20)	0	0	0	0	0	1430	23712	78336	195529	354651	540938	665410	687361	588501	422272	251919	124127	49900	16067	4022	728	80	3	0	0
茶勝ち (21)	0	0	0	0	0	5535	50113	127246	234472	342570	436536	463018	421140	323251	212722	118232	54587	20507	6163	1438	239	22	1	0	0
茶勝ち (22)	0	0	0	0	0	4865	38511	102508	241877	423792	621050	742247	750986	640369	466024	286236	149108	65315	23672	6933	1599	278	32	1	0
茶勝ち (23)	0	0	0	0	0	12318	62264	122500	209686	302087	379884	410199	385578	310571	213735	123197	59499	23412	7323	1781	333	49	5	0	0
茶勝ち (24)	0	0	0	0	0	8427	47069	112668	292342	484751	729240	859816	886454	745146	534658	316377	156261	63160	20929	5597	1199	205	27	3	0
茶勝ち (25)	0	0	0	0	0	19576	60265	105964	173955	245640	300036	320637	298489	235338	157551	88831	41384	15720	4756	1053	157	16	2	0	0
茶勝ち (26)	0	0	0	0	0	15498	57141	153006	361546	579881	828002	954954	937896	773662	543636	318630	158468	65078	21737	5895	1180	162	11	0	0
茶勝ち (27)	0	0	0	0	0	24190	44948	81035	118144	155198	170989	172389	143389	105374	63242	31536	12941	4444	1208	286	61	7	0	0	0
茶勝ち (28)	0	0	0	0	0	20278	53061	161731	318769	492029	661476	722569	693153	571442	401748	242531	121365	49846	16489	4096	770	98	10	1	0
茶勝ち (29)	0	0	0	0	0	22711	24473	41473	41900	48653	46482	43405	32407	22328	12113	5387	1828	419	82	8	2	0	0	0	0
茶勝ち (30)	0	0	0	0	0	24898	34447	143722	173751	291361	292682	320439	275614	228527	159080	99959	52962	23658	8727	2473	555	84	9	1	0
茶勝ち (31)	0	0	0	0	0	14311	7443	9239	4456	4621	3663	3120	2091	1246	588	234	47	6	2	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (32)	0	0	0	0	0	18127	12596	81513	52878	96139	55457	63062	38263	33205	20618	14884	8162	4429	1749	630	146	28	3	0	0
茶勝ち (33)	0	0	0	0	0	5091	708	449	65	35	53	25	14	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (34)	0	0	0	0	0	8063	1275	31465	4781	20666	3114	5699	1029	445	183	55	38	7	2	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (35)	0	0	0	0	0	676	26	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (36)	0	0	0	0	0	1287	25	4512	94	2776	57	678	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (37)	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茶勝ち (38)	0	0	0	0	0	81	0	193	0	134	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

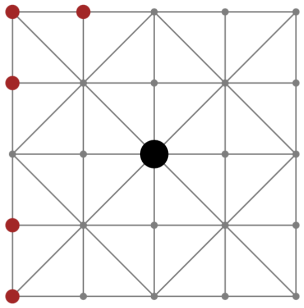

図 11　The brown player needs 37 moves to win from these positions

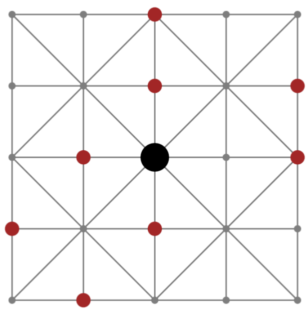

図 12　Brown player cannot win with 8 pieces

4.4　まとめ

「十六むさし」の 3 つのバリエーションについて，茶駒の数に制限をつけないすべての配置についてのゲーム値を求め，初期配置の勝敗のみでなく茶プレイヤが勝つまでに要する手数の最大値，石の数ごとの勝敗，勝ちに要する手数の分布を求めた．

黒プレイヤの勝ち局面について，勝つ (繰り返し局面が発生する or 茶プレイヤが手番で合法手がない局面に至る) のに何手を要するかをすべての局面で求めるというのは興味深い課題ではあるが，今回は研究の対象とはしなかった．両プレイヤが協力してなるべく多くの手数で黒プレイヤが勝つ手順を探すという問題は最長単純道問題 (longest simple path problem) でありグラフが一般の形をしている時には，NP-hard な問題になっている．今回の問題は協力ゲームではなく，黒プレイヤは短い手数で繰り返そうとして，茶プレイヤは長い手数で繰り返そうとするので，グラフとして良い性質がない場合は，更に難しい問題である可能性がある．

後退解析の結果を使って，局面から game value, best move を検索できるページを https://gps.tanaka.ecc.u-tokyo.ac.jp/16musashi/ で公開している．茶プレイヤを持って茶プレイヤが勝てる局面からスタートすると，ゲームのルールを理解した人間プレイヤならば，すぐにわかるような見落としをしなければまず負けないであろう．そういう意味では，このゲームは人間がプレイして面白いゲームではない．ただ,「最短手数で勝つ」という制約を課すと意外な手が正解となることもあり楽しめる問題も作成できるかもしれない．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 18K11600 の助成を受けて行われた．

参考文献

[1] 寺島良安：和漢三才図会，平凡社東洋文庫 (1985).
[2] Van Den Herik, H. J., Uiterwijk, J. W. and Van Rijswijck, J.: Games solved: Now and in the future, *Artificial Intelligence*, Vol. 134, No. 1-2, pp. 277–311 (2002).

