「どうぶつしょうぎ」の完全解析

田　中　哲　朗[†1]

「どうぶつしょうぎ」[1)] は 2008 年に女流棋士の北尾まどか初段によって考案されたボードゲームである．将棋に類似しているが，将棋と比べて非常に簡潔なルールになっている．

「どうぶつしょうぎ」は二人完全情報零和ゲームであり，すべての局面の理論値（勝ち，負け，引き分けのいずれか）が決定可能である．

本論文では，後退解析 (Retrograde analysis) をベースにしたプログラムを用いて初期局面から到達可能なすべての局面の理論値を求め，初期局面が後手必勝であり勝ちに要する手数が 78 手であるという結果を得た．また,「敵陣へのひよこ打ち」が有効である局面が存在することなど，いくつかの興味深い性質を確認することができた．

An Analysis of a Board Game "Doubutsu Shogi"

Tetsuro TANAKA[†1]

"Doubutsu Shogi" is a board game invented in 2008 by a professional shogi player Madoka Kitao. Although "Doubutsu shogi" is similar with shogi, its rule is far simpler than that of shogi.

Since "Doubutsu Shogi" is a two-player zero-sum game with perfect information, it is possible to determine theoretical values(Win, Lose, Draw) of all positions.

In this article, we computed theoretical values of all positions reachable from the initial position, by means of making a program based on retrograde analysis. As a consequence, we confirmed that the theoretical value of the initial position is win by white(the second player) with 78 moves. We also obtained some interesting results such that there are positions in which "dropping a hiyoko piece on the promote zone" is the only winning move.

1. はじめに

「どうぶつしょうぎ」[⋆1]は 2008 年に女流棋士の北尾まどか初段によって考案されたボードゲームである．ゲーム名から分かるようにルールは将棋に類似しているが，児童への普及を主目的としているため以下のような簡潔なルールになっている．

道具　図 1 左のような 3×4 のボードを使う．各列は左から A,B,C，行は上から 1,2,3,4 と示され，各マスは [A1], [C4] のように示される．4 行目，1 行目はそれぞれのプレイヤー（先手，後手）の陣地[⋆2]と呼ぶ．駒は以下の 4 種類それぞれ 2 個の計 8 個使う．

ライオン　将棋の玉と同じ動きで 8 近傍に動ける

ぞう　斜めの 4 近傍に動ける．将棋の角と違って隣のマスにしか動けない．

きりん　上下左右の 4 近傍に動ける．将棋の飛車と違って隣のマスにしか動けない．

ひよこ　将棋の歩と同様にプレイヤーから見て前に 1 マス動ける．相手の陣地に入るとにわとりになる[⋆3]．にわとりは斜め後ろ以外の 6 方向に 1 マス動ける．

駒には女流棋士の藤田麻衣子一級のデザインによるイラストが書かれているが，本論文では代わりに駒の種類を表す平仮名，片仮名 1 文字で表現する（図 2）．

進行　プレイヤー 2 人で遊ぶゲームである．図 1 右の初期局面から，交互に 1 手ずつ駒を動かす[⋆4]．自分の手番では，以下のいずれかのプレイをおこなう．

- ボード上の自分の駒を一つ動かす．駒の動ける方向が盤面上で空きマスか敵の駒がある時に動かせる．敵の駒のあるマスに移動することは「捕まえる」と呼び，敵の駒がボード上から取り除かれ自分の持ち駒になる．

---

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

⋆1 商標に関しては 2009 年 5 月 20 日時点では出願中のようだ.

⋆2 将棋における 1-3 段目，7-9 段目にあたる

⋆3 ひよこの駒を裏返すとにわとりの絵柄になっている

⋆4 将棋にならって，ゲームの最初に駒を動かすプレイヤーを「先手」，他方のプレイヤーを「後手」と呼ぶ

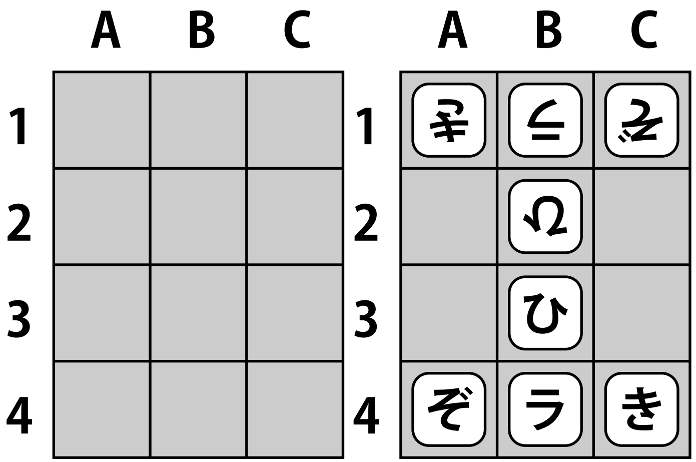

図 1　「どうぶつしょうぎ」のボードと初期局面

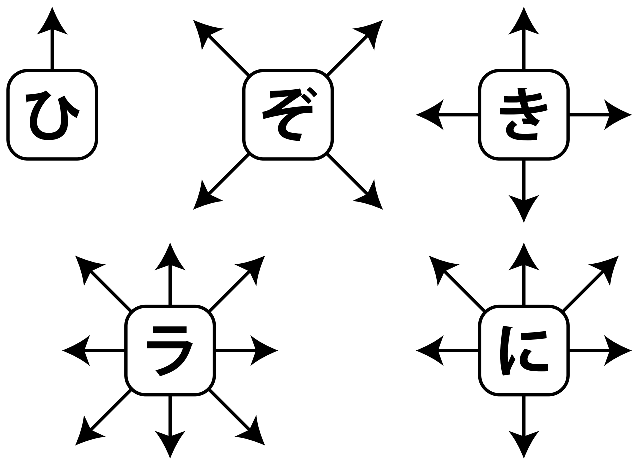

図 2　駒の動き

- 自分の持ち駒をボード上の空いているマスに置く（打つ）．敵のにわとりを捕まえた場合も持ち駒として打つ場合はひよことして打つ．

ゲームの目標　相手のライオンを捕まえるか[⋆1]，相手の陣地に自分のライオンが入り，直後に捕まえられることがなければ（トライと呼ばれる）勝ち．

詳細　同じ局面に 3 回目に到達すると引き分けになる[⋆2]．将棋の二歩，打ち歩詰め，1 段目の歩打ち，王手千日手に該当する反則はない．

将棋のバリエーションは多数あり，小さい盤面でおこなう類似ゲームとして 5 五将棋[2] が知られているが，「どうぶつしょうぎ」は子供にもなじみやすいデザインと，女流棋士の考案という話題性もありヒット商品となっている．

2. 解析の方針

ゲームの複雑性を評価する指標として，一般にゲーム木のサイズと総局面数という二つの指標が用いられる．「どうぶつしょうぎ」に関しては，手数の上限がなく，また人間のエキスパートによる棋譜も十分な数がないため，ゲーム木のサイズの予測は難しい．

一方，総局面数に関しては，上限を計算することが可能である．まずは，初期局面からの到達可能性を考えずに可能な駒の配置の数だけを数えてみることにする．両者の持ち駒がない場合の盤面の配置は，以下のように計算できる．

ライオン　ライオンはボード上に各プレイヤー一つずつ配置されている．置ける場所は 12 カ所なので，置き方は ${}_{12}P_2 = 132$ 通り．

きりん　持ち駒がない場合は，ボード上のライオンが置かれていない 10 マスのうちの 2 カ所に置かれる．それぞれの駒がどちらのプレイヤーの駒かによって 2^2 通りに分かれるので，${}_{10}C_2 \times 2^2 = 180$ 通り

ぞう　持ち駒がない場合は，ボード上のライオン，きりんが置かれていない 8 マスのうちの 2 カ所に置かれる．それぞれの駒がどちらのプレイヤーの駒かによって 2^2 通りに分かれるので，${}_{8}C_2 \times 2^2 = 112$ 通り

ひよこ，にわとり　持ち駒がない場合は，ボード上のライオン，きりん，ぞうが置かれていない 6 マスのうちの 2 カ所に置かれる．それぞれの駒がどちらのプレイヤーの駒かによって 2^2 通り，それぞれがひよこかにわとりかによって 2^2 通りに分かれるので ${}_{6}C_2 \times 2^2 \times 2^2 = 240$ 通りとなる．なお，敵陣に進んだ時，

⋆1 将棋のように「次にライオンが捕まえられる状態になる手が反則」で「反則でない手がない」ので負けになるのではなく，ライオンが捕まえられて負けになる

⋆2 公開されているルールでは同じ手順 3 回と書かれているが，本論文では「1day どうぶつしょうぎカップ」等で用いられているルールを用いる．

表 1　持ち駒総数ごとの局面数

持ち駒総数	局面数
0	638,668,800
1	638,668,800
2	242,161,920
3	44,098,560
4	4,134,240
5	190,080
6	3,564
Sum	1,567,925,964

> ひよこはにわとりになるので「敵陣のひよこ」は組み合わせに入れる必要がなさそうに思えるが，将棋と違って持ち駒から敵陣にひよこを打つことが認められているので，組み合わせに入れる必要がある．

以上の考察を元に両者の持ち駒がない場合の盤面の配置は $132 \times 180 \times 112 \times 240 = 638,668,800$ となる．

きりん，ぞう，ひよこの持ち駒のパターンはそれぞれ（先手の持ちコマ数，後手の持ちコマ数 ）$= \{[0,0],[0,1],[1,0],[1,1],[0,2],[2,0]\}$ の 6 通りで 6^3 のパターンそれぞれに関して同様の計算をおこなうと表 1 のようになる．

ある局面の勝ち負け引き分けを決める際には，どのような経路をたどってその局面に到達したかの情報はいらない，また，ゲームの手番に関する対称性[⋆1]により，次の手番を先手と固定しても一般性を失わない．次の手番が後手の場合は，盤面を 180 度回転した盤面を考えれば良いからだ．したがって，盤面パターンの上限は局面数の上限にもなっている．

また,「どうぶつしょうぎ」の駒の動きはボードの役割は左右に関して対称なので，図 3 のようにボードの左右を入れ替えた局面は勝ち負け引き分けに関して同等である．この対称性を使うと扱う局面数を約半分に減らすことが可能になる．

⋆1 連珠のように黒白によって合法手が違うゲームでは成り立たない．

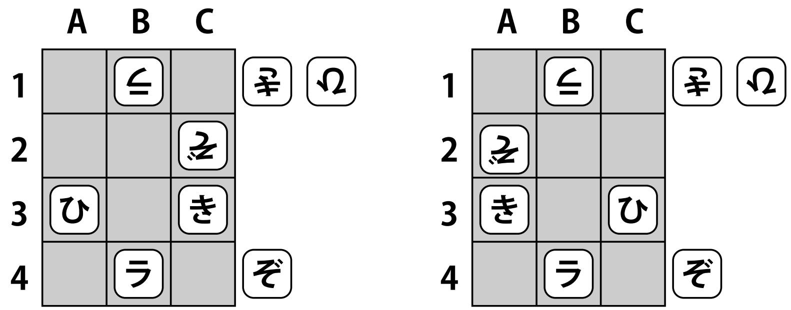

図 3　左右入れ替えると等しくなる局面

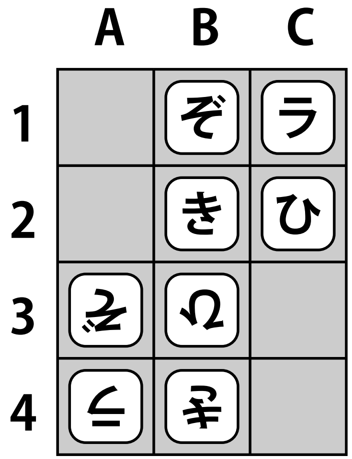

図 4　初期局面から到達不可能な局面

この方法で作成した局面の中には図 4 のように勝負のついた局面を両者が見逃したり，2 手指しをしないと初期局面から到達できないようなものも含まれている．

そこで，次節以降では，初期局面から開始して「手番のプレイヤーが相手のライオンを捕まえられる時は必ず捕まえて勝つ」,「ライオンがトライした時はゲームを終了する」として到達可能な局面（以下では単に初期局面から到達可能な局面と呼ぶ）のみを対象として解析をおこなうことにする．

3. 解析の概要

本節では，解析のために作成したプログラムの概要を述べる．

3.1 盤面の表現と全局面の列挙

それぞれのマスは空白か各プレイヤの 5 種類の駒が存在するかの 11 状態なので 4bit で表現可能である．盤面のマスの数は $3 = 12$ 個なので $4 \times 12 = 48$bit で盤面の状態は表せる．持ち駒は各プレイヤ 3 種類で駒の数は $0, 1, 2$ の 3 種類なのでそれぞれ 2bit の計 $6 \times 2 = 12$bit で表せる．手番は固定しても一般性を失わないので，計 60bit で盤面が表現できる．

図 3 のように左右を入れ替えた局面は同じと見なすことができるが，これは 64bit 整数として表現した時に小さい方の値で正規化することで自然に実現できる．

勝負のついた局面（以下では末端局面と呼ぶ）は,「手番のプレイヤーが敵のライオンを捕まえられる」局面（以下では勝ち確定局面と呼ぶ）,「勝ち局面でなく敵のライオンが自陣にいる」局面（以下では負け確定局面と呼ぶ）とした．これは，トライ勝ちの時に即座に勝ちとならず，相手に手番が渡ってから相手の負けとなる分，手数が 1 手ずれるが，プログラムの作りやすさからこちらを採用した．

メモリ 16GB の Opteron 2.6GHz マシンで初期局面から到達可能な局面を求めたところ約 19 分でプログラムが終了し，局面数が $246, 803, 167$ と求まった．前節で求めた局面数と比較するとかなり減っていることが分かる．なお，このうちの半分以上は末端局面であり，末端局面を除いた局面数は $99, 485, 568$ となった．

3.2 後退解析による局面の勝ち負けの確定

すべての局面を数え上げた後は，後退解析 (retrograde analysis) により，すべての局面の勝ち負けを求めることができる[3]．後退解析は以下のようにおこなう．

(1) 勝負のついた局面の集合から開始する．

(2) 勝負のついた局面の 1 手前の局面を求める．

- （手番のプレイヤーの）負け局面から 1 手前の局面は（手番のプレイヤーの）勝ち局面
- 勝ち局面から 1 手前の局面の勝敗が未確定の時は，そこから可能な手がすべて勝ち局面に移行する時は，負け局面とする．

(3) 操作を繰り返して，勝ち局面の集合も負け局面の集合がそれ以上増えなくなったら終了する．

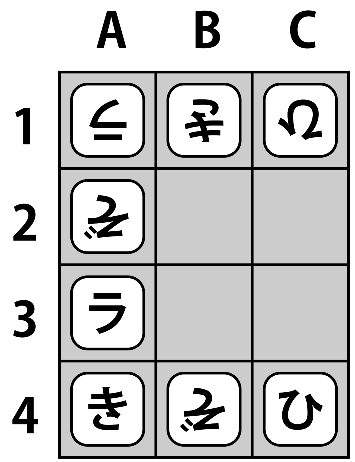

図 5 勝つまでの手数が 173 手必要な局面

大きな問題を後退解析で解くためには，一般には多数の局面をなるべく少ないビット数で表し，ディスク上でもアクセスできるようにアクセスを局所化したり，並列化するなど様々なテクニックが必要となるが[4]，ここでは局面全体が主記憶に収まるため，特に工夫をしないで実装した．その結果，メモリ 16GB の Opteron 2.6GHz のマシンで約 5.5 時間で求めることができた．その結果，末端局面を除いた $99, 485, 568$ 局面のうち，手番の勝ちは $56, 474, 473$ 局面，引き分けは $2, 682, 700$ 局面，負けは $40, 328, 395$ 局面と分かった．

勝ち負けに要する手数も記録するようにしたところ，勝ち局面で勝つまでに要する手数の最大値は 173 であることが分かった．図 5 に勝つまでに 173 手必要な局面を示す．

4. 解析結果の検討

この節では解析結果の中で人間にとって興味深いと思われるいくつかの話題を取り上げる．

4.1 初期局面の勝敗

初期局面である図 1 右は後手勝ちで 78 手要することが分かった．先手の 4 つの合法手それぞれへの後手の応手は以下のようになる．

B2 ひよこ　「同ぞう」で後手勝ち（初手から 76 手）．以下「B3 ぞう」，「A2 きりん」,「同ぞう」,「同ライオン」,「B3 きりん」,「C2 ぞう」,「B2 きりん」,「同ライオン」,「A3 ぞう」,「A2 ライオン」,「C3 きりん」,「B2 ひよこ」,「B2 ぞう」,「同ライオン」,「B3 ひよこ」,「B1 ライオン」,「A3 ライオン」,「A2 きりん」,「B4 ライオン」のように進むのが最長の応答になる．ここまでの後手の応手は必然手（違う手を選ぶと先手勝ちか引き分けになる）だが，次は,「A3 ぞう」（初手から 76 手で後手勝ち）,「A1 きりん」（初手から 84 手で後手勝ち）,「C1 ライオン」（初手から 84 手で後手勝ち）と複数の勝ち筋がある．

C3 きりん　「A2 きりん」以下後手勝ち（初手から 78 手）.「C4 きりん」の後,「B3 ひよこ」（初手から 78 手で後手勝ち）,「A1 ライオン」（初手から 82 手で後手勝ち）,「A1 きりん」（初期局面に戻る）,「C2 ライオン」（初手から 82 手で後手勝ち）と複数の勝ち筋がある．

C3 ライオン　「A2 きりん」（初手から 78 手）,「B3 ひよこ」（初手から 78 手）のどちらかで後手勝ち．

A3 ライオン　「A2 きりん」（初手から 78 手）,「B3 ひよこ」（初手から 78 手）,「C2 ライオン」（初手から 82 手）のどれでも後手勝ち．

4.2　合法手の数

末端局面を取り除いた $99,485,568$ 局面に関して合法手の平均を求めたところ，約 9.435 手となった．勝ち局面，負け局面ごとの勝敗を表 2 に示す．

合法手がなく，かつ末端局面でない局面は図 6 のように作ることはできる．ただ，図 6 は 1 手前に相手がトライ済みの状態からしか到達しない．条件を満たす他の局面も初期局面から到達が不可能なので表 2 の合法手 0 の局面数は 0 になっている．

合法手の数の最大値は 38 で局面数は 34 あり，すべて手番の勝ち局面である．そのうちの一つを図 7 に示す．この局面が勝ちであることは容易に分かるだろう．

4.3　ツークツワンク (ZugZwang)

ツークツワンクは主にチェスで使われている用語で，自分がパスをすることが許されれば勝ちだが，手を進めなくてはいけないために負けるという局面を指す．

初期局面から到達可能な全局面で以下の条件を満たす局面をすべて列挙した．

- 末端局面でない負け局面で
- 手番を入れ替えた局面が初期局面から到達可能で手番から見て負け局面になっている

表 2　合法手の数と局面数

合法手数	負け局面数	引き分け局面数	勝ち局面数	局面数
0	0	0	0	0
1	92	0	147	239
2	15,963	708	5,606	22,277
3	1,742,936	14,221	89,107	1,846,264
4	3,163,013	97,017	659,010	3,919,040
5	6,407,088	245,839	2,305,676	8,958,603
6	5,597,493	366,545	4,201,273	10,165,311
7	5,080,974	390,737	5,952,724	11,424,435
8	4,061,680	331,233	6,490,291	10,883,204
9	3,194,579	263,742	5,766,889	9,225,210
10	3,068,976	232,468	5,283,750	8,585,194
11	2,663,020	217,037	4,981,546	7,861,603
12	1,905,104	170,928	4,756,221	6,832,253
13	1,237,822	128,509	4,363,954	5,730,285
14	685,732	80,141	3,421,832	4,187,705
15	429,623	44,780	2,314,939	2,789,342
16	197,032	22,108	1,384,359	1,603,499
17	325,724	24,262	966,603	1,316,589
18	130,868	13,529	693,051	837,448
19	210,078	17,215	791,370	1,018,663
20	80,402	8,319	649,083	737,804
21	65,271	6,550	534,984	606,805
22	26,340	2,901	349,927	379,168
23	10,890	1,435	196,699	209,024
24	9,203	905	96,337	106,445
25	2,299	307	45,437	48,043
26	6,095	419	38,908	45,422
27	3,722	387	29,009	33,118
28	1,748	83	26,908	28,739
29	3,048	203	32,868	36,119
30	698	90	18,219	19,007
31	385	17	11,940	12,342
32	419	46	9,562	10,027
33	35	12	3,475	3,522
34	23	1	1,531	1,555
35	20	5	958	983
36	0	1	192	193
37	0	0	54	54
38	0	0	34	34
計	40,328,395	2,682,700	56,474,473	99,485,568
平均	7.808255846	8.81524658	10.62654947	9.43525667

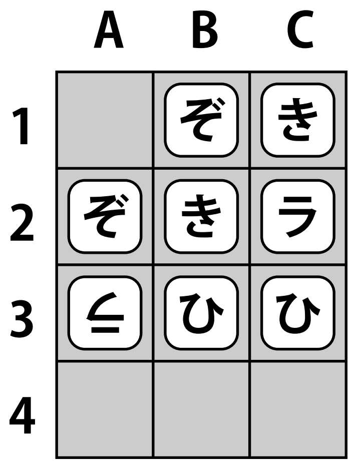

図 6　先手からの合法手がない局面

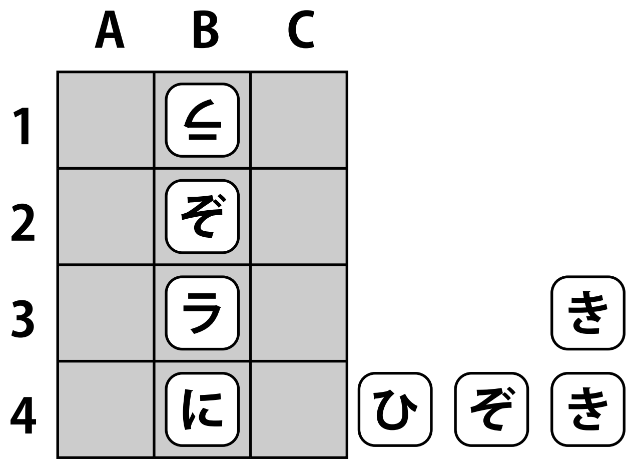

図 7　合法手の数が最大 (38) の局面

その結果，21,839 個のツークツワンク局面を見つけることができた．

その中には，図 8 のように手番を入れ替えた局面が元の局面と対称な局面も 71 個含まれている．

なお，手番を入れ替えた局面が初期局面から到達可能でないツークツワンクもあり得るので，21,839 個というのはツークツワンク局面の個数の下限を与えるに留まっている．

4.4　敵陣へのひよこ打ちの有効性

「どうぶつしょうぎ」においては将棋と違い，敵陣に（進めない）ひよこを打つ手が禁止されていない．これは，ルールを単純にするための選択だと考えられるが，将棋のように長い利きを持つ駒がない「どうぶつしょうぎ」では，多くの場合は敵陣へのひよこ打ちは良い手ではないが，有効な場合もあると考えられる．

そこで，進めないひよこ打ちのみが正解（勝ちの局面で勝ちを維持できる，引き分け局面で引き分けを維持できる）である局面を全局面の中から見つけたところ，68 局面存在した．その一つを図 9 に示す．

ここでの勝つための唯一の手は「B1 ひよこ」でそれ以外の手は負けとなる．「B1 ひよこ」のあと，「同ライオン」は「B3 ライオン」で，「B4 きりん」は「同きりん」で，それ以外の手は「A2 ライオン」で勝ちとなる．一方，「B1 ひよこ」以外の手では「A1 ぞう」が最も長い手延ばしだが，45 手後に負けとなる．

敵陣へのひよこ打ちを認めないとゲーム全体への影響がどの程度あるかを確認するために，敵陣へのひよこ打ちを認めないルールの上で後退解析をおこなってみた．その結果, 全体のうちの 4,301 局面で勝敗，引き分けが変わることが分かったが，その中には初期局面は含まれず，また，初期局面で勝ちに要する手数も 78 手で変化がないことが分かった．

4.5　詰みのある局面

将棋においては，攻める側が「王手」の連続で勝つ局面のことを「詰みがある」局面と呼び,「詰将棋」というパズルの対象として広く楽しまれている．

「どうぶつしょうぎ」でも,「相手がパスしたら次にライオンを捕まえられる」または「相手がパスしたら次にトライできる」手の連続で攻めて勝てる局面を「詰みのある局面」と定義することができる．これも後退解析ですべて求めることが可能である．

表 3 に手数ごとの「詰みのある局面」数を示す．勝ち局面の約 30%が「詰みのある局面」であるという結果になったが，反面，手数の長い詰み局面はそれほどなく，最長でも 23 手詰めであることが分かった．

図 10 に 23 手の詰みのある 4 つの局面を示す．図 10 左上の局面は以下の手順で

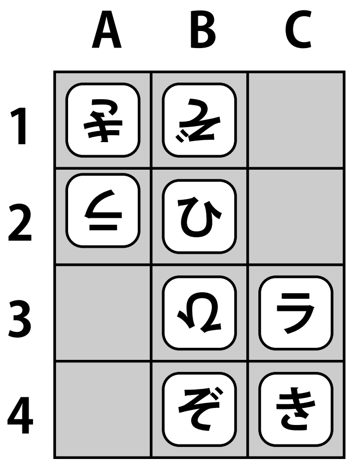

図 8　自己対称な zugzwang 局面

表 3　詰みのある局面の数

手数	局面数
1	11,520,862
3	3,579,697
5	1,314,521
7	495,384
9	194,087
11	71,563
13	27,699
15	7,487
17	2,173
19	386
21	134
23	4
計	17,213,997

詰む.
C1 にわとり　(A1 にわとりでも詰み)
同ライオン
C2 きりん
B1 ライオン

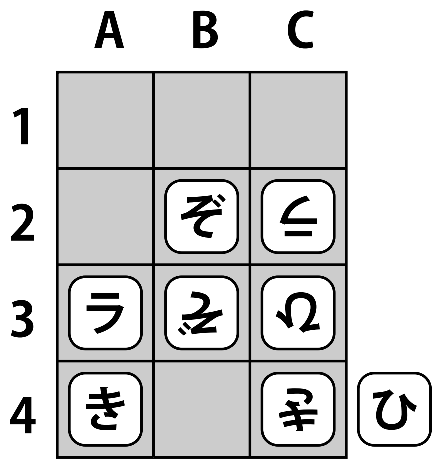

図 9　敵陣へのひよこ打ちが有効な局面

B2 きりん
C1 ライオン
C2 きりん
B1 ライオン
A1 にわとり
同ライオン
B2 ぞう
同ぞう
A2 きりん
B1 ライオン
B2 きりん右　(B2 きりん左でも詰み)
C1 ライオン
C2 きりん
B1 ライオン
C1 きりん　(A1 きりん，B2 きりんでも詰み)
同ライオン
B2 ぞう

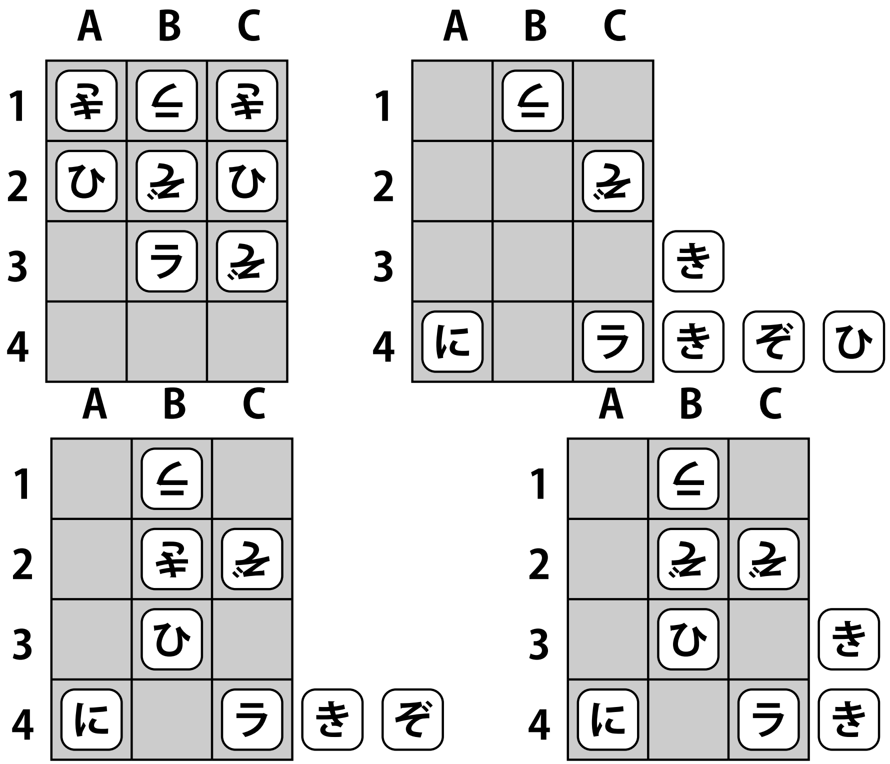

図 10　最長手数（23 手）の詰みのある局面

B1 ライオン
A1 きりん
ただし，この手順は長いことは長いがパズル的な面白さはない.「面白い」詰み局面が存在するかどうかは更なる検討が必要になるだろう.

なお，詰みにこだわらなければこの局面は「C1 にわとり」,「同ライオン」の後「A1 にわとり」,「同ぞう」,「C2 きりん」,「B1 ライオン」,「C1 きりん打」という 7 手で勝つことができる.

5. ま と め

本研究では,「どうぶつしょうぎ」のすべての局面の勝敗を求める解析をおこなった．その結果,「どうぶつしょうぎ」が後手必勝であることを示すだけでなく，勝ちに要する手数が 78 手であること,「敵陣へのひよこ打ち」が有効である局面が存在することなど，いくつかの興味深い性質を求めることができた.

3×4 という狭い盤面で，これだけ複雑な世界を構築しているという事実は，持ち駒制度の有効性を示すと共に，駒の動きや初期局面等のルール設定が適切に行われたことを示していると言えるだろう.

参 考 文 献

1) どうぶつしょうぎ official website, http://www.doubutsushogi.jp/ .
2) 日本 5 五将棋連盟, http://www.geocities.co.jp/Playtown-Spade/8662/ .
3) 田中哲朗: ボードゲーム「シンペイ」の完全解析, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 11, pp. 3470–3476(2007).
4) J. Romein and H. Bal: Solving the Game of Awari using Parallel Retrograde Analysis, IEEE Computer, Vol. 36, No. 10, pp. 26 – 33(2003).