

「どうぶつしょうぎ」の完全解析

東京大学情報基盤センター

田中哲朗

「どうぶつしょうぎ」とは

- * 2008年に女流棋士の北尾まどか初段がルールを考案したボードゲーム
- * 将棋に類似した簡潔なルール
- * 女流棋士の藤田麻衣子一級のデザインでLPSAから商品化
- * 2009年4月以降、マスコミでも取り上げられてヒットのきざし。



Official websiteより

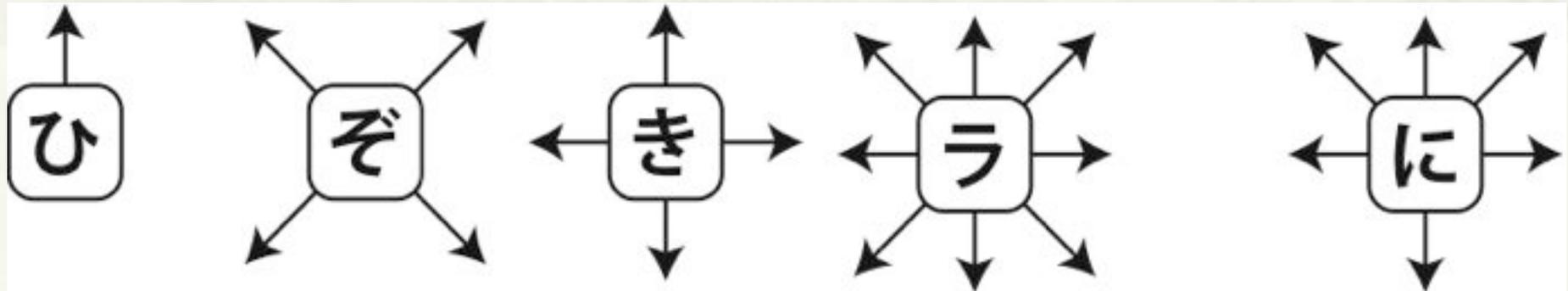
ボード

- * 3x4のボード
- * 4, 1行目は先手, 後手の陣地
- * 先手は4の側に, 後手は1の側に座る

	A	B	C
1			
2			
3			
4			

駒

- * 「ライオン」 8方向に1マス動ける
- * 「きりん」 縦横4方向に1マス動ける
- * 「ぞう」 斜め4方向に1マス動ける
- * 「ひよこ」 前に1マス動ける. 敵陣に入ると「にわとり」になる. 「にわとり」は斜め後ろ以外の6方向に1マス動ける



進行

- * 先手から交互に1手ずつ駒を動かす。パスは許されない
- * 自分の手番では以下のいずれかのプレイ
 - * ボード上の自分の駒を動かす。動かす先はボード上の空きマスか、敵の駒のあるマス。敵の駒のあるマスに移動すると敵の駒を捕まえて持ち駒にする。
 - * 持ち駒を空きマスに置く(打つ)。「にわとり」を捕まえても持ち駒として打つときは「ひよこ」として打つ

	A	B	C
1	キ	ク	ケ
2		コ	
3		ホ	
4	ゾ	ラ	キ

初期配置

ルール

- * **ゲームの目標**
 - * 相手のライオンを捕まえる
 - * 相手の陣地に自分のライオンが入り，直後に捕まえられない(トライ勝ち).
- * **同じ局面に3回目に到達すると引き分け**
 - * 「同じ手順を3回」というのはミスらしい
- * **二歩，打ち歩詰め，一段目の歩打ち，王手千日手に相当する反則はなし**

ゲームの複雑性の評価

* ゲーム木のサイズ

- * 平均分岐数を B 平均深さを D とすると, B^D
- * 別の経路で同じ局面にたどり着いても両方カウント
- * 「どうぶつしょうぎ」に関しては, 勝負がつくのに必要な平均手数が未知

* 局面数

- * ルールから上限を求めるのは容易

総局面の見積もり

* 持ち駒が無い時

* ライオン ${}_{12}P_2 = 132$ 通り

* きりん ${}_{10}C_2 \times 2^2 = 180$ 通り

* ぞう ${}_{8}C_2 \times 2^2 = 112$ 通り

* ひよこ, にわとり ${}_{6}C_2 \times 2^2 \times 2^2 = 240$ 通り

* 合計 638, 668, 800

持ち駒総数ごとの局面数

- * 簡単なプログラムで計算(右の表1)
- * すべての局面を保持しても十分メインメモリに収めることは可能
- * ただし, 局面をコンパクトに

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

局面数の削減

- * 手番の固定化
 - * 先手と後手でルールが対称なので、手番のプレイヤーが先手になるようにして、必要に応じてボードを反転
- * 左右の対称性
- * 初期配置から到達可能な局面のみの扱い

左右の対称性

すべての駒の動きが左右対称なので、左右反転した局面は同一と見なせる
局面数を約半分に削減

	A	B	C		
1		≦		≧	↺
2			≧		
3	ひ		き		
4		ラ		ぞ	

	A	B	C		
1		≦		≧	↺
2	≧				
3	き		ひ		
4		ラ		ぞ	

到達不可能な局面のカット

- * 初期配置から「捕まえられるライオンを捕まえない」、「トライを見逃す」などなしに到達できない局面が多数存在
- * かなりの局面数削減が期待
- * 条件を満たす局面にシステムチックにインデックスを作る(たとえば完全ハッシュを作る)のは困難
- * 条件を満たす局面全体の集合を作って、局面に番号を振る.

	A	B	C
1		ぞ	ラ
2		き	ひ
3	ぞ	Ω	
4	ㄥ	ㄝ	

盤面の表現

- * 各マス11状態を 4bit で表現
 - * 12マスで48bit
- * 持ち駒各プレイヤー3種類, 2bitで12bitで表現
- * 計60bitなので64bit整数で表現
- * 左右を入れ替えた局面と整数値で比較して小さい方に正規化

全局面列挙

* 目標

- * 初期局面から到達可能な全局面を含んだソート済み配列を作る

* アルゴリズム

- * 初期局面から一手で移行可能な局面を集合に入れていく
- * 集合から取り出した局面が末端局面(敵のライオンが取れる or 敵のライオンが自陣にいて取れない)以外なら, そこから一手で移行可能な局面を集合に入れる.
- * 集合が増えなくなったら終了して, ソート済み配列に入れる.

全局面列挙の結果

- メモリ16GB, Opteron 2.6GHzマシンを使用
- 約19分で終了, メモリは最大13GB程度使用
- 局面数は 246,803,167
 - 1局面8byteで記録しても, 2GBのメモリで記録可能, ファイルに保存して再利用
- 末端局面以外は 99,485,568
 - 実はこちらを保存するだけでも良かった.

全局面の勝敗の決定

- * 局面の勝敗だけでなく勝敗に要する手数も求めたい.
 - * -> 後退解析(retrograde analysis)
- * 後退解析
 - * 末端局面集合から始めて, 勝敗判定済みの局面集合を増やしていく
 - * Chess, Checkersでは, piece3個, piece4個, ...のように作っていけるが, どうぶつしょうぎでは, 局面集合全体を相手にする必要がある.

アルゴリズム

- * 局面集合を以下の3つに分ける
 - * W_0 - 手番プレイヤーが相手のライオンを捕まえられる
 - * L_0 - 相手のライオンが自陣にあり捕まえられない
 - * U_0 - それ以外
- * i を0から増やししながら，以下を繰り返す
 - * $W_{i+1}=W_i, L_{i+1}=L_i$
 - * $S \in U_i$ について，一手後の局面集合を $n(S)$ とする
 - * $\exists T \in n(S). T \in L_i$ なら， S を W_{i+1} に加える
 - * $\forall T \in n(S). T \in W_i$ なら， S を L_{i+1} に加える
 - * それ以外の S は U_{i+1} に加える
- * $(W_i, L_i, U_i) = (W_{i+1}, L_{i+1}, U_{i+1})$ となったら終了，それぞれ勝ち局面，負け局面，引き分け局面となる。

後退解析の結果

勝ち局面	引き分け局面	負け局面	計
56,474,473	2,682,700	40,328,395	99,485,568

- メモリ16GBのOpteron 2.6GHzのマシンを使用
- 5.5時間
- 繰り返しは173回で終了(勝ちに要する最大手数
数は173)

	A	B	C
1	≦	≧	Ω
2	≧		
3	ラ		
4	き	≧	Ω

勝ちに要する手数が173の局面
(報告集図5のC4のヒヨコは後手
が正しい). 勝つ手はB4ライオン

初期局面の勝敗

- * 後手勝ちで78手を要する
- * 最最少手数での証明グラフのサイズは2,431,444(局面を暗記すれば常に勝てる)
- * 最短の応手
 - * 「B2ひよこ」 -> 「同ぞう(76手)」
 - * 「C3きりん」 -> 「A2きりん(78手)」
 - * 「C3ライオン」, 「A3ライオン」 -> 「A2きりん」, 「B3ひよこ(78手)」

	A	B	C
1	キ	レ	ニ
2		Ω	
3		ひ	
4	ぞ	ラ	き

合法手の数

- * 平均 9.435手(報告集 表2参照)
- * 合法手がない局面は到達不可能
- * 合計手の最大値(非末端局面中)は38

	A	B	C
1		ぞ	き
2	ぞ	き	ラ
3	ㇿ	ひ	ひ
4			

合法手がない到達不可能局面

	A	B	C
1		ㇿ	
2		ぞ	
3		ラ	
4		に	

ひ ぞ き

合法手38手の局面

ツークツワンク局面

- * 次の手番だけパスできたら勝ちになる負け局面
- * 21,839個見つかる(手番を入れ替えると到達不能のものは除く)
- * 手番を入れ替えた局面が元と対称な局面も71個
 - * このうちの 하나가初期配置

	A	B	C
1	㊦	㊧	
2	㊨	㊩	
3		㊪	㊫
4		㊬	㊭

対称なツークツワンク局面

敵陣へのひよこ打ち

- * 一般には悪手だが将棋と違って禁止はされていない
- * チェックするプログラムを作成
 - * ひよこ打ちのみが有効な局面は68
- * 敵陣へのひよこ打ちを禁止するルールにすと、4301局面で勝敗が変わる。ただし、初期局面の後手78手勝ちに変化せず

	A	B	C
1			
2		ぞ	㇏
3	ラ	㇑	㇒
4	き		㇓

ひ

敵陣へのひよこ打ちが有効な局面

詰みのある局面

- * 「詰み」の定義
 - * 相手がパスすると次の手で勝つ(敵ライオンを捕まえる or 自ライオンがトライする)手(王手)の連続で勝てる
- * すべての「詰み」局面の列挙
 - * 「王手」のみで勝つ局面を後退解析で求める
 - * 勝ち局面の約30%に詰みあり

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

23手詰み局面

	A	B	C
1	𐄂	𐄃	𐄂
2	ひ	𐄄	ひ
3		ラ	𐄄
4			

	A	B	C
1		𐄃	
2			𐄄
3			
4	に		ラ

	A	B	C
1		𐄃	
2		𐄂	𐄄
3		ひ	
4	に		ラ

	A	B	C
1		𐄃	
2		𐄄	𐄄
3		ひ	
4	に		ラ

詰み以外の短い勝ちがある

その他の初期配置

- * 初期配置は引き分けが望ましいか？
- * 別の初期配置の勝敗は？

	A	B	C
1	𐌲	𐌸	𐌶
2	𐌵		
3			ひ
4	ぞ	ラ	き

先手55手勝ち

	A	B	C
1	𐌲	𐌸	𐌶
2			𐌵
3	ひ		
4	ぞ	ラ	き

引き分け(後手に選択権あり)

結論

- * 3x4という狭いボードで十分複雑なゲームになっている
- * 「敵陣へのひよこ打ち」などの細かいルールに関する有効性を確かめる
- * 「正解」が分かっているある程度大きな探索空間のゲームなので、探索アルゴリズム、評価関数の機械学習の評価に使える。