

不確定性多人数ゲームのプログラミング: 四人制チャツランガを題材として

武下 信夫, 橋本 剛, 飯田 弘之

静岡大学情報学部

概要

本稿は、インドの最古のチェス種として知られているチャツランガのプログラミングについて論じる。チャツランガは四人制の完全情報ゲームであると同時に、ダイスを用いるので偶然性のあるゲームである。本稿では、まず最初に、チャツランガとはどういうゲームなのかを詳しく説明する。次に、セミランダムプレイを定義して、それを使った自動プレイにより、チャツランガのゲーム情報学的性質を調査する。最後に、チャツランガのプログラミングについて検討する。戦略、ヒューリスティックについて議論する。チャツランガのプログラミングの一般的性質について考察する。

Programming Multi-player Games with Chance: A case study using Chaturanga(Four-Handed)

Nobuo Takeshita, Tsuyoshi Hashimoto and Hiroyuki Iida

Department of Computer Science, Shizuoka University

Abstract

This paper explores programming of Chaturanga, which is known for an ancient Indian chess-like game. Chaturanga is a four-handed complete-information game and is a chance game because of use of dice. In this paper, first, we explain what Chaturanga is in detail. We then give a definition of semi-random self-play for Chaturanga and investigate game-informatics of Chaturanga, using it. Last, we examine programming of Chaturanga. We discuss the strategy and heuristics. We consider the general characteristics of programming of Chaturanga.

1 はじめに

将棋種(チェス、将棋、象棋など)の起源はまだ明らかになっていない。その起源は古代インドのチャツランガであると言われているが、チャツランガについてよく分かっていない。まだ不明確なところが多い。

そういうわけで、将棋種の起源が従来の説通りチャツランガであるかどうかをゲーム情報学の視点から探究する。

最近ゲームの進化論について盛んに研究されている[9][10]が、ゲームの進化論について論じるため

にはゲームの起源について知ることが重要である。この研究の目的は以下の通りである。

- (1) チャツランガを題材として、多人数不確定完全情報ゲームにおけるセミランダムプレイを定義する。二人完全情報ゲームでのセミランダムプレイ[5]の概念を四人不確定完全情報ゲームに拡張する。
- (2) ゲーム情報学の観点から多人数不確定ゲームの統計的特徴を得る/解析する。チャツランガのセミランダム自動プレイのコンピュータプログ

ラムを使った実験をする。

- (3) 多人数不確定ゲームと多人数確定ゲーム — 例
えば、四人将棋 — との特徴を比較する。また、
チャツランガとチェスや将棋や象棋 (中国将棋)
の関係を論ずる。
- (4) 歴史の変遷とチェスライクゲームの起源を調査
する。将棋種の起源・変遷を明らかにすること
が目標の一つである。

2 将棋種の歴史

2.1 将棋種の進化の歴史

将棋種の起源はインドのチャツランガにあるとい
われている。チャツランガは最古の四人制将棋とか、
古代インドの四人制さいころ将棋と言われる。それ
がペルシャに渡って二人制のシャトランジとなり、
世界各地に伝播し様々な将棋が誕生して、あるもの
は進化し、あるものは消滅していった。チャツラン
ガは中国経由で東に伝わって日本では将棋 (日本将棋)
になり、ペルシャを経由して西へ伝わったものは西
洋将棋 (チェス) となった。源は同じであっても現在
ではかなり異なった形になっている。チェスは、四
人制将棋を直接の源流とし、ペルシア、アラブを経
て伝えられた。将棋は、最初から二人制将棋を源流
とした [12]。

しかし、ミュンヘン大学インド学研究所のレナ
ー・ジッド教授によると、四人制チャツランガは二
人制チャツランガから発展し、12世紀になっても遊
ばれていたようだ [6]。最近になって、四人制チャ
ツランガは10世紀頃に来た、二人制の派生型に過ぎ
ないという説も出てきた。

2.2 チャツランガとは何か

世界最初の将棋とされているチャツランガは、発
祥の地は北インドのガンジス川の上、中流地方にあ
ると推定されている。紀元前2～3世紀頃成立した
と推定されている [8] が、[13] には紀元後6世紀に成
立したとあり、それぞれの研究者が異なった年代を
推測しているので、はっきりした年代については今
でも分かっていない。[11] には次のように書いてあ
る。「チェスの起源は、前3世紀ころからインド北
西部で行われていたチャツランガという戦争ゲーム
で、四人で行われたと考えられている。」

使う駒は、古代インドの象軍、騎兵隊、戦車隊、
歩兵隊の軍団編成を模した将棋だった。

四人制将棋は、サンスクリット (古代インド語)
でチャツランガとよばれた。チャツルは「四つ」と
いう意味で、アングは「要素、組」等の意味である。
チャツランガはこれを合成した言葉で、四つの要素、
四つの組と直訳することができる。

このゲームではダイスが使われたが、これは賭博
(ギャンブル) と関係しているようだ。

四人制チャツランガにはいくつかの欠点があった。
欠点の一つはダイスを用いることであった。その欠
点を改善するために、四人制チャツランガは二人制
チャツランガへと生まれかわった。そのゲームでは
ダイスは使用されなかった [12]。

3 チャツランガのルール

チャツランガは、将棋種の起源と考えられている
古代インドのゲームである。このゲームには4人が
プレイヤとして参加し、2人ずつのチームに分かれ
て対戦する。ゲームの進行において、ダイスの出目
にしたがって動かせる駒が限定される。また、各プ
レイヤに全ての情報が完全に見えている。それゆえ、
チャツランガは多人数不確定完全情報ゲームに分類
される。

チャツランガのルールは、[1] [2] [3] [4] [7] [12] を
参考している。

3.1 盤・駒・ダイス

盤は8×8路盤を用い、マス目の中に駒を配置す
る。駒は全部で5種類あり、各プレイヤごと8個ず
つ計32個を用いる。駒の動かし方を表1に示す。各
プレイヤの駒を区別するために、赤、緑、黄、黒で
色分けする。赤、緑、黄、黒の順で時計周りに座り、
赤と黄、緑と黒がペアを組む。初期配置を図1に示
す。ダイスは目が4つ (2～5) のものを2つ用いる。
ダイスには、2の裏に5が、3の裏に4が書いてあ
る。

3.2 ルールとプレイ方法

赤からプレイを始め、時計周りに進行する。手番
のプレイヤは、まず最初に2個のダイスを振る。出
目にしたがって、動かせる駒を動かす (表2参照)。こ
の場合、プレイヤは出目のどちらか1つだけを使っ
て駒を動かすか、両方を使って2つの駒 (ゾロ目な
ら同じ駒) を動かしてよい。あるいは、両方の出目
の合計を一つの出目として駒を動かしてもよい。例
えば2と3が出たとすると5とみなしてよい。また、
パスすることもできる。出目に相当する駒がない場
合、何も動かすことはできず、パスせざるを得ない。

表 1: チャツランガにおける駒とその動き.

名前	翻訳	個数と動き
ラージャー (Raja)	King 王	各プレイヤーに1つ. チェスのキングと同じ動き方.
ハステイ (Hasty)	Elephant 象	各プレイヤーに1つ. チェスのルークと同じ動き方.
アシュワ (Ashwa)	Horse 馬	各プレイヤーに1つ. チェスのナイトと同じ動き方.
ロカ (Roca)	Boat 船	各プレイヤーに1つ. 斜めに2マス進む. 間に駒があっても飛んで進む.
バダチ (Padati)	Foot soldier 歩兵	各プレイヤーに4つ. チェスのポーンと同じ動き方. ただし, 初手に2マス進めない.

8	gRCgP				yRyHyAyRC			
7	gAgP				yPyPyPyP			
6	gHgP							
5	gRgP							
4						bPbR		
3						bPbH		
2	rPrPrPrP					bPbA		
1	rRCrArHrR					bPbRC		
	A	B	C	D	E	F	G	H

図 1: チャツランガの初期配置.

r: 赤, g: 緑, y: 黄, b: 黒,

R: ラージャー, H: ハステイ, A: アシュワ,

RC: ロカ, P: バダチ

表 2: ダイスの出目と動かせる駒.

ダイス	動かせる駒
2	ロカ
3	アシュワ
4	ハステイ
5	ラージャーかバダチ

このようにして, ダイスの出目によって動かせる駒が決まり, その駒を使って可能な指し手を選択する. 利きのマスにある自分以外の駒を取ることができる. このとき, 取った駒は再使用しない.

ラージャーを取られると, そのプレイヤーは駒を動かすことができなくなる.

上述したルールで試合を進め, 一方のチームの両プレイヤーのラージャーが取られてしまうとチーム同士の勝負の決着がつく. それから今度は, チームを組んだ者同士が戦い, 最後にラージャーを残したプレイヤーが最終的なその試合の勝者となる.

3.3 特殊ルール

プロモーション バダチは反対の最終列に達したら, 次のルールで成ることができる.

そのプレイヤーのもっているバダチが3つか4つなら, 最終列に達しても成れない. そのプレイヤーのもっているバダチが2つか1つのとき, 自分か自分のパートナーのハステイの配置された筋に入ったバダチはハステイに, アシュワの配置された筋に入ったバダチはアシュワに成る. そのプレイヤーがラージャー以外に1つのバダチ, または, 1つのバダチとロカしか持っていないなら, そのバダチは, ロカの筋に入ったならロカに成ることができるし, ラージャーの筋に入ったならラージャーに成ることができる.

最終列に入って成ることのできないバダチはそのままそこに残され, 取られるか, あるいは条件が整って成るまで動けない.

ロカの総取り 4つのロカのどれもお互いに攻撃できない. しかし, 3つのロカが, 隣接する4マス

のブロックの3つを占める状態になり、4つ目のロカが最後の4つ目のマスに入ればこの3つのロカを一度にすべて取ることができる。パートナーのロカも取ることになる。これは5ヶ所でしか起こり得ないし、まず起こりそうにない。

ラージャーの復活 あるプレイヤーのラージャーが取られた場合、もしもそのパートナーが相手のラージャーの一つを取れば、そのパートナーは取られたラージャーを交換してもよい¹。そして、ラージャーが戻ってきたプレイヤーは、ラージャーを動かせる目が出た最初の手番のとき、ラージャーをどこかの空いているマスに置く。

ラージャーを取られた回数が1回と2回するとき、二度目に取られたラージャーをもっているプレイヤーは交換を要求できる。そのとき一度目に取られたラージャーをもっているプレイヤーは交換を要求できず、向こうが要求してくれば、交換を断ることもできない。二度目に取られたラージャー同士は再び交換されない。

あるプレイヤーのラージャーが取られてボードの外にある間、そのプレイヤーは駒を動かすことができず、取られるだけである。

引き分け 1人のプレイヤーの駒がラージャーだけになると引き分けである。

パートナー陣へのラージャー入り ラージャーを、自分のパートナーのラージャーのマス(王座)に入れた場合、自分の手番のとき、自分の駒のかわりにパートナーの駒を動かしてもよい。これを **SINHASANA** と呼ぶ。これはパートナーがラージャーを取られて駒を動かすことができないとき大きな威力を発揮する。この時に前述の引き分けの状態になった場合、引き分けにならずこのルールが優先される。すなわち、自分のパートナーの駒を動かすことによってゲームが続行する。

3.4 ルールの不明な点

チャツランガの正確なルールは専門の歴史学者でさえよくわかっておらず、ここ数年前から論争中である。そのため、ルールを確定するのは難しい。例えば、駒の動き方は、はっきりしないものがあり、今でもまだよくわかっていない。また、[12]の著者

¹ラージャーの交換の詳細は文献から判断しにくい。この研究では残った二人がラージャーを取っていて、かつ、その二人が敵同士であるときにみに交換できることにした。

である増川によると、主に参照した[4]は正確とはいえない。それゆえに、本研究では四人制のもっともらしいルールを選んだ。

ロカとハスティの動きが[4]と[7]とで反対になっている。駒の動きの違いは多分誤解の結果である。本研究においては、ハスティがルークのように動き、ロカが斜めに2マス動くものとした。

チャツランガにおいては、ダイスが動かせる駒を限定するが、例えば、パダチがアシュワにプロモーションした場合、アシュワを示す3で動かすか、パダチを示す5で動かすか、という問題がある。この例の場合には、プロモーションしたパダチは3で動かすこととした。

4 チャツランガのプログラミング

4.1 チャツランガのゲーム情報学的性質

4.1.1 セミランダムプレイによる自動プレイ

セミランダムプレイは先読みが導入されたランダムプレイである。二人完全情報確定ゲームでのセミランダムプレイ[5]の概念に基づき、チャツランガを題材として、多人数不確定性ゲームでのセミランダムプレイを定義する。

定義 1 (セミランダムプレイ)

以下の **R1**, **R2** によってチャツランガでのセミランダムプレイを定義する。

R1: 全合法手を列挙して候補手リストにいれる。与えられた深さのゲーム木を作る。このとき、相手プレイヤーのいかなる応手に対しても、そのプレイヤーのラージャーを取る指し手(勝てる手)があれば、それを選択せよ。そのような手が複数ある場合は、その中からランダムに選択せよ。そのときには最も取れる確率が高いものを選択せよ。2つのラージャーを取れる手があればそれを最優先せよ。そうでなければ、**R2**へ。

R2: ある候補手を指した後、自分(と味方のパートナー)の指し手に関係なく、自分のラージャーが取られようならば、その候補手を候補手リストから削除する。このようにしてできた候補手リストからランダムに指し手を選択せよ。ただし、候補手リストの集合が空であれば、削除する前のリストからランダムに指し手を選択せよ。

基本的にセミランダムプレイはランダムプレイである。勝つ手があれば、それを選択するし、敗ける手は選ばない。

表 3: セミランダムプレイのモデルの対応：二人完全情報ゲームと多人数不確定性ゲーム (チャツランガ)。

モデル	二人完全情報ゲーム	チャツランガ
P0	先読みなし・ランダム	先読みなし・ランダム
P1	1 手先読み	1 手先読み
P2	2 手先読み	n 手先読み
P3	3 手先読み	n+1 手先読み
P4	4 手先読み	2n 手先読み
Pi ($i \geq 1$)	i (奇数) 手先読み	$\frac{i-1}{2}n + 1$ 手先読み
Pj ($j \geq 2$)	j (偶数) 手先読み	$\frac{j}{2}n$ 手先読み

ただし, n はチャツランガでプレイ中の人数である。

表 4: 各駒の動かせる確率：一度に一回動かすとき。

名前	確率
ロカ, アシユワ	$\frac{7}{16}$
ハステイ	$\frac{8}{16}$
パダチ, ラージャー	$\frac{9}{16}$

合法手の中には何も動かさない手 (パス) も入れる。なお、合法手を列挙する際、一度に二回動かすのを一セットで数える。一回動かすだけの場合は、二回目にはダミーを入れる。

4.1.2 実験

チャツランガのセミランダム自動プレイプログラムを計算機上に実装した。コンピュータプログラム P_i ($0 \leq i \leq 4$) が実装された。この実験では P_i というのは、全てのプレイヤが P_i であるということの意味する。 P_i は表 3 にあるような深さまで先読みするようなセミランダムプログラムである。そのとき平均合法手、平均終了手数、引き分け率などの統計データを得た。

このコンピュータプログラムは UNIX 上の C を用いて実装した。

ラージャーの復活が可能なときは $\frac{1}{2}$ の確率でそれを要求する。ラージャーを置くマスは相手プレイヤの駒の利きがないところからランダムに選択する。

それぞれの駒が動かせる確率は表 4, 5 のようにした。

最大合法手は理論的に 5,000 以上であると考えられるので、このセミランダムプログラムは定義通りに作ると実行時間がかかりすぎる。したがって、忠実な実装は難しい。そこで、前述のようにセミランダムプレイを定義したが、実際には最初 (一手目) に

表 5: 各駒の動かせる確率：一度に二回動かすとき。

駒の種類	確率
同じ	$\frac{1}{16}$
異なる	$\frac{2}{16}$

動かす駒の手のみに着目して先読みするようなプログラムを実装した。つまり、その駒がラージャーを取ることと取られることにどう影響するのかを調べる。先読みの目的は勝つ手と負ける手を選ぶだけなので、この方法でも同様の結果が得られると思われる。

4.1.3 実験結果

P_0 から P_4 の実験結果を表 6 に示す。 P_0 は、先読みなしに合法手リストの中から全くランダムに指し手を選ぶ。ラージャーが他のプレイヤの駒の利きがあるところへ移動する手など、あらゆる指し手を含む。また、終了手数が 1,000 を超えたものは一つもなかった。

セミランダムによる自動対戦を 1,000 回試行した。平均合法手 (ダイスを振る前) とは、全ての駒を動かせるとしたときのデータである。平均合法手 (ダイスを振った後) とは、動かせる駒が決定された後のデータである。

セミランダムによる自動対戦の実験結果から次のようなことが分かった。 P_0 が示すピュアランダムプレイヤの平均終了手数が、他の先読みをするプレイヤ ($P_1 \sim P_4$) よりかなり大きい値となった。 $P_1 \sim P_4$ の引き分け率はほとんどゼロとなった。

P_4 が強いことを示すために、黒プレイヤのみ $P_0 \sim P_4$ に変化させて、他のプレイヤは P_0 に固定した実験も行った。その結果を表 8 に示す。黒プレイ

表 6: セミランダムプレイの結果 (P0-P4).

	P0	P1	P2	P3	P4
合法手の期待値の平均	24.3	22.5	21.7	20.3	21.2
平均合法手 (ダイスを振る前)	179	163	157	146	153
平均合法手 (ダイスを振った後)(B)	24.2	22.4	21.6	20.5	20.8
平均終了手数 (D)	122	22.5	29.4	16.7	18.6
引き分け率 (%)	19.2	0.0	0.4	0.0	0.0
$\frac{\sqrt{B}}{D}$	0.04	0.21	0.16	0.27	0.25

表 7: 将棋の歴史的変種に対する自動プレイの結果.

ゲーム	アルゴリズム	B (平均合法手)	D (平均終了手数)	\sqrt{B}/D	draw(%)
平安将棋	1 (ランダムプレイ)	24.0	213.7	0.0229	87.12
平安将棋 + 大駒	1 (ランダムプレイ)	29.5	268.8	0.0202	84.60
平安将棋 + 持駒	1 (ランダムプレイ)	41.5	343.8	0.0187	46.14
将棋	1 (ランダムプレイ)	53.0	408.2	0.0178	17.76

アルゴリズム 1: 完全にランダムに指し手を選択.

ヤのみを強くした理由は、黒プレイヤーが手番が最後のプレイヤーであって、四人将棋のように不利なのではないかと思われたからである。

4.2 考察

われわれは次の知見を得た。

- 表 6 の P1 から P4 で平均終了手数が少ないのは自分の左側のロージャーを取りやすいからであると思われる。P0 の平均終了手数が他よりも多いのはおそらく後半になるにつれてダイスの空振りが多くなることが影響しているからであろう。
- あるプレイヤーは自分の前のプレイヤー、すなわち右側のプレイヤーを攻撃することが難しい。
- ロージャーの復活は $\frac{1}{2}$ の確率で要求するので、最初の交換チャンスでの実際に交換される確率は $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ となる。ロージャーの交換はそれほど起こっていないと思われる。
- 表 6 の P1 から P4 の結果はお互によく似たものとなった。

- 表 6 の $\frac{\sqrt{B}}{D}$ という値は [10] でチェスライクゲームにおける重要な指標となることが示されている。それはゲームの平均的な面白さを表す。その値はプレイヤーの強さが上がるほど増加するはずだが、P2 と P4 で減少している。これは、これらのプログラムは危険な手を回避するので終了手数が増加してしまうからだと思われる。表 7 は佐々木ら [10] によってまとめられたものを抜粋したものであるが、表 6 と表 7 を見ると次のことが分かった。ランダムプレイの $\frac{\sqrt{B}}{D}$ はチャットラングで 0.04、将棋の歴史的変種が平安将棋から 0.0229 → 0.0202 → 0.0187 → 0.0178 となっており、この仮説に従うと、チャットラングがより原始的で、平安将棋はより面白さが進化しており、さらに進化が進んで現代将棋になったと言える。

- 表 8 を見ると、黒プレイヤーは最大でも約 82% しか勝てなかった。ゆえに、このダイスを使ったゲームではパーフェクトプレイヤーを作るのは難しいかもしれない。偶然性のあるゲームでは、(全くの)ランダムプレイヤーでさえ強いプレイヤーを打ち負かすことがある。また、先読みが深くなると勝率が増加しているので確かに強くなっ

表 8: セミランダムプレイの結果: P_i (黒) 対 P_0 (他の三つ).

プログラムの深さ (i)	黒プレイヤーの勝率 (%)
0	22.4
1	57.0
2	77.1
3	81.5
4	80.4

ている。

4.3 チャツランガの戦略

このゲームでは、プレイヤーは動かしたい駒を必ずしも動かせるとは限らない。自分のラージャーが取られそうでも回避できないことがある。加えて、ラージャーの防御は弱い(初期配置をみればわかる)。それゆえに、自分の駒を積極的に敵のラージャーに近づけることはよい戦略であるように見える(もし、ダイスの目が2,2が出ると、ロカが $A1 \rightarrow C3$, $C3 \rightarrow A5$ と進み、緑プレイヤーは何も動かすことなく終了してしまう)。

この種のゲームの基本的なヒューリスティックはチャツランガにも当然有効であると思われる。それは駒の損得である。もし敵の駒を取れるなら、そうする。もし自分の駒が敵に取られそうなら、それを回避する。

5 まとめ

5.1 結論

本研究では、われわれはチャツランガのコンピュータプログラムを実装するために、そのルールをほとんど説明することができた。われわれはチャツランガのためのセミランダムプレイを定義することができた。チャツランガのコンピュータプログラムを実装することができた。そして、セミランダム自動プレイを使って実験を行い、チャツランガのいくつかの統計をとることができた。

実験からもわかったが、明らかにそれぞれのプレイヤーは序盤から左側のプレイヤーのラージャーを取りやすい(これは初期配置を見ても分かる)。それゆえに、このゲームはかなり早く終了してしまう。われわれには、このゲームはそれほど興味深くないように感じられた。この研究の主な結論はチャツランガは、ゲームの歴史の中で進化してルールがより面白

く、よりエキサイティングになるように変化して将棋やチェスになった、ということである。

最近の研究では四人制チャツランガは二人制チャツランガから派生したとか、四人制チャツランガは二人制チャツランガのバリエーションの一つに過ぎないと言われている [6]。しかし、われわれの実験の結果からは二人制チャツランガは四人制チャツランガから誕生したと思われる。というのは、二人制チャツランガはチェスにかなり近いといえるが、四人制チャツランガが面白くなるように改良され、二人制チャツランガになったと考えるのが自然だからである。

5.2 今後の課題

今回の実験では基本的に四人のプレイヤーを全員同じ強さにして実験を行った。 P_0 から P_4 をいろいろ組み合わせて実験をしてそのデータをとる予定がある。そして、多人数ゲームのプログラミングに関する新しい知見を得る。

セミランダムプレイでもっと深くまで読むプログラムを実装することも考えられる。

多人数(あるいは四人制)の不確定完全情報ゲームの一般的特質を研究する。

二人制チャツランガのプログラムも作り、四人制と比較する。

われわれは、偶然性をもったチャツランガというゲームで古代インドの人々は何を楽しんだかを言葉ではなく数値で表したい。

参考文献

- [1] D. B. Pritchard: *THE ENCYCLOPEDIA OF CHESS VARIANTS*. Games & Puzzles Publications, 1994, pp. 48-49.
- [2] Edward R. Brace: *An illustrated Dictionary of Chess*. Hamlyn, 1977, pp. 61.

- [3] H. J. R. MURRAY: *A HISTORY OF CHESS*. OXFORD, 1913.
- [4] J. Gollon: *Chess Variations: Ancient, Regional, and Modern*. Charles E. Tuttle Company, Tokyo, Japan, 1968, pp. 27-40.
- [5] Y. Kajihara, M. Sakuta and H. Iida: Semi-Random Self-Play in Game Playing. *Proceedings of Joint International Conference on Advanced Science and Technology (JICAST'99)*, Hangzhon, China, 1999, pp. 205-208.
- [6] 飯田弘之: 将棋の進化論的変遷 — 平安将棋のコンピュータ解析 —. 遊戯史研究 第11号, 1999, pp. 1-9.
- [7] 梅林勲: 世界の将棋 古代から現代まで. 将棋天国社, 1997, pp. 84-87.
- [8] 岡野伸: 世界の主な将棋. プリンプリント, 1999.
- [9] 佐々木宣介、橋本剛、梶原羊一郎、飯田弘之: チェスライクゲームにおける普遍的指標, 情報処理学会研究報告, vol. 99, No. 53, pp. 91-98.
- [10] 佐々木宣介、橋本剛、飯田弘之: 自動プレイによるチェスライクゲームの歴史的進化の研究, ゲーム・プログラミングワークショップ'99 論文集, 1999, pp. 39-45.
- [11] 下中弘 編: 世界大百科事典 17. 平凡社, 1988.
- [12] 増川宏一: 将棋 1. 法政大学出版局, 1977.
- [13] 松田道弘: 世界のゲーム事典. 東京堂出版, 1989.