

探索プログラムによる四路盤囲碁の解

清 慎一

ssei@ssl.fujitsu.co.jp

川嶋俊明

kawkaw@ssl.fujitsu.co.jp

(株) 富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ

概要

通常の碁盤 (十九路盤) よりも小さい碁盤 (4×4 以下) における、囲碁の必勝法を探索プログラムにより求めたので報告する。なお本プログラムは、日本ルールである日本囲碁規約に基づいて作成した。プログラム実行の結果、四路盤では持碁 (引き分け)、三路盤では先番の勝ち、二路盤では持碁であった。

A Solution of Go on 4x4 Board by Game Tree Search Program

Shinichi Sei

Toshiaki Kawashima

Fujitsu Social Science Laboratory Ltd.

Abstract

We had made a search program to find a solution of Go on mini-board (4×4 or smaller) based on the Japanese Go rule. This paper describes the solutions and the method of our program. As the result of executions, we found that the solution were draw on 4×4 board, victory of black on 3×3 board, and draw on 2×2 board.

1 はじめに

五目並べや、盤のサイズを 6×6 と小さく設定したオセロなど、ゲーム木探索プログラムを使って必勝法が求められたゲームがある。しかしながら、プログラムを使って囲碁の必勝法を求めたという報告はない。その理由として、囲碁は合法手が多く探索が現実的な時間で終わらないこと、日本の囲碁ルールである日本囲碁規約に曖昧な部分があり、プログラムに向いていないこと、が考えられる。

盤を小さく設定した囲碁については、人間 (プロ棋士) が手で解いたという報告がある [趙 1993]。その文献によると、三路盤: 先番の 8 目勝ち、四路盤: 持碁¹、五路盤: 先番の 24 目勝ちと書かれ

¹ 囲碁用語で引き分けのこと、ジゴと読む

ている²。しかし残念ながら、すべての合法手について調べられた結果ではないので、報告にある解が正しいとは言い切れない。

そこで我々は、小さい碁盤上での囲碁の必勝法をゲーム木探索プログラムにより求める実験を行った。本論文では、まず囲碁ルールの問題点と囲碁ルールをどのようにしてプログラムで扱える形にしたかについて述べる。そして、我々の作ったプログラムの概要と実行結果について記述する。

2 囲碁のルールの問題

囲碁のルールは一つではない。日本、中国、台湾など、国や地域によって異なるルールが存

² コミは 0 目としている

在する。しかし、囲碁というゲームの本質(交互に着手する、地の大小を争う、相手の石を囲んだら盤上から取り除くなど)は同じなので、ルールの異なる国の選手が参加する国際試合が開催されている。本論文では、日本で使われているルール(日本囲碁規約)を基に議論を進める。

日本囲碁規約は、1989年に日本棋院及び関西棋院によって定められた囲碁のルールである[日本棋院1997]。当然のことながら、この日本囲碁規約は人間のためのルールであって、コンピュータ囲碁のために作られたものではない。そのため、このルールをコンピュータ囲碁にそのまま適用するには問題があることが指摘されている[中村1996]。以下、個々の問題について説明し、我々がどのようにプログラムで扱える形にしたかを述べる。

2.1 死活の判定

日本囲碁規約第七条には、死活について次のように定められている。

第七条(死活)

1. 相手方の着手により取られない石、又は取られても新たに相手方に取りられない石を生じうる石は「活き石」という。活き石以外の石は「死に石」という。
2. 第九条の「対局の停止」後での死活確認の際における同一の劫での取り返しは、行うことができない。ただし、劫を取られた方が取り返す劫のそれぞれにつき着手放棄を行った後は、新たにその劫を取ることができる。

人間同士の対戦でよく行われている「二眼あるかどうか」による死活の判断は、処理が複雑であるうえ、例外もある。例えば、石が取られた後の大きなスペースに、新たに相手方に取りられない石を生じるかどうかの判定ができない。

そこで我々は、合法手がある限り対局を続行して、対局の終了時に盤上に石が残るかどうかを調べることにより死活を判定させた。終了時に石が残るのは、囲碁規約第七条第一項の「相手方の着手により取られない」ことを意味するからである。この方法は、終局までの手数は増

えるが、死活の判定は単純であり、コンピュータにとって扱いやすい。

2.2 終局の定義

日本囲碁規約第九条には、終局について次のように定められている。

第九条(終局)

1. 一方が着手を放棄し、次いで相手方も放棄した時点で「対局の停止」となる。
2. 対局の停止後、双方が石の死活及び地を確認し、合意することにより対局は終了する。これを「終局」という。
3. 対局の停止後、一方が対局の再開を要請した場合は、相手方は先着する権利を有し、これに応じなければならない。

現在のコンピュータにとって、囲碁規約第九条第二項の、「合意することにより対局は終了」というのは不可能である。そのため、プログラムどうしが試合するコンピュータ囲碁大会においては、双方の囲碁プログラムが着手放棄(パス)をした時点で対局の停止とし、双方のプログラムが表示する石の死活及び地が同じならば終局としている。もしも石の死活または地が違う場合、プログラムの操作者(開発者)間の合意をとるか、大会審判長が石の死活及び地を裁定することで、この問題を解決している。

プログラムで囲碁を解く場合には、一つのプログラムが双方の対局者を担当することになるので、「合意する」作業は不要である。従って、双方がパスをした時点で対局の停止となり、同時に終局となる。ただし劫がある場合、対局の停止前には非合法手であった劫を取り返す手が、パスをした後では合法手になるので、双方がパスをしても終局せずに対局を続けなければ死活の判定に誤りが生じることがある(図1)。劫がない場合には、双方がパスをしても状態が全く変わらないので、対局を続けても意味がなく、終局として良い。

2.3 無勝負の判定

日本囲碁規約第十二条には、無勝負について次のように定められている。

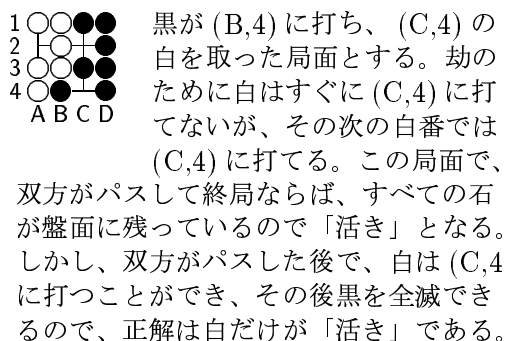


図 1: 双方パスしても終局としてはいけない例

第十二条（無勝負）

対局中に同一局面反復の状態を生じた場合において、双方が同意した時は無勝負とする。

同一局面の定義は日本囲碁規約に記されていない。盤面の石の配置が同じときを意味するのか、手番やアゲハマ³なども考慮に入れるべきなのかが明確になっていないのである。そこで、同一局面の定義をしなければならないという問題がある。

「双方が同意した時」と言うのは、人間同士の対局では同一局面反復の判定が難しい（盤面を正確に記憶できない場合がある）ので、加えられた文句である。無限に勝負を続けたい人のためではないので、この部分は無視して構わない。

同一局面が反復する場合、無勝負という評価値で終了する。プログラムで囲碁を解く場合には、すべてのノードに比較可能な評価値を与えなければならないので、この状態に対しても勝ち／負け／持碁と比較可能な評価値を与えなければならない。

我々は、無勝負に関して、以下のように定義し直した。

1. 同一局面とは、盤面の石の配置、手番、劫の位置、直前手がパスかどうか、アゲハマの差（どちらのアゲハマが何目多いか）の 5 項目が同じときとする。

³ 囲碁用語で、四方を囲むことによって盤上から取り除かれた石のこと

2. 同一局面反復の状態を生じた場合、持碁とする。

3 プログラムの概要

本章では、我々が作成したプログラムの概要について記述する。二路盤、三路盤、四路盤に対して必勝法を求める実験を行ったが、処理の高速化のために、それぞれのアルゴリズムは少し異なっている。

3.1 共通の仕様

- コミはなし。
- 評価値は、勝ち／負け／持碁の 3 値 (最大目数差を求めるプログラムではない) とする。
- 必勝法が一つ求まったところで終了する。
- 左右対称などの対称形は同じ盤面とみなす。
- 同一局面反復のチェックの際に、盤面の石の配置、手番、劫の位置、直前手がパスかどうかの 4 項目が同じ場合、アゲハマの差の変化により、勝ち／負け／持碁の評価値を与える。

現在の局面を A とする。A よりもゲーム木の上方のノードで、盤面の石の配置、手番、劫の位置、直前手がパスかどうかの 4 項目が A と同じ局面を B とする。

もしも、A におけるアゲハマの差と、B におけるアゲハマの差が同じならば、同一局面が反復したので、持碁という評価値を与える。

次に、A におけるアゲハマの差と B におけるアゲハマの差が異なる場合を考える。A と B はアゲハマ以外は全く同じなので、この局面 A よりも先（ゲーム木で言うと下方）に、アゲハマの差がさらに大きくなる局面が無限に出現し続ける。同一局面反復ではないので、この対局は無限に続くように見えるが、アゲハマが有利な方はパスを続けるという必勝戦略が存在する。なぜならば、盤面の大きさは有限なので、盤面が全部相

手の地になっても、アゲハマの差でそれを上回ることができるからである。従って、盤面の石の配置、手番、劫の位置、直前手がパスかどうかの四項目が同じ場合、手番側が優勢になるようにアゲハマの差が広がるならば、勝ちという評価値を与える。同様に、手番側に劣勢になるようにアゲハマの差が広がるならば、負けという評価値を与える。

- 高速化のためにトランスポジションテーブルを使用する。トランスポジションテーブルと局面を比較する際に、局面の優越関係も考慮する。

例えば、盤面の石の配置、手番、劫の位置、直前手がパスかどうかの4項目が同じで、アゲハマの差だけが異なる場合を考える。白番で、トランスポジションテーブルに書かれているアゲハマの差が3目(黒のアゲハマが3個多い)で白勝ちならば、探索中の盤面におけるアゲハマの差が4目以上でも白勝ちとする。

3.2 二路盤の仕様

ミニマックス法を使った深さ優先探索プログラムを作成した。以下のような候補手の優先順位付けを行う。

- 四方が自分の石で囲まれているとき、その中心に打つ手の優先順位を低くする。
- 相手石を盤上から取り除く手の優先順位を高くする。
- 直前手がパスならば、パスの優先順位を高くする。それ以外はパスの優先順位を低くする。

3.3 三路盤の仕様

ミニマックス法を使った深さ優先探索プログラムを作成した。以下のような候補手の優先順位付けを行う。

- 四方が自分の石で囲まれているとき、その中心に打つ手の優先順位を低くする。

さらに、斜めの四点が、自分の石/相手石/空点かで優先順位を細かく付けている。

- 座標が中央に近いほど優先順位を上げる。
中央:(2,2) > 辺:(1,2),(2,1),(2,3),(3,2) > 隅:(1,1),(1,3),(3,1),(3,3)
- 相手石を盤上から取り除く手の優先順位を高くする。
- 直前手がパスならば、パスの優先順位を高くする。それ以外はパスの優先順位を低くする。

3.4 四路盤の仕様

アルファベータ枝刈法を使った探索プログラムを作成した。以下のような候補手の優先順位付けを行う。

- 四方が自分の石で囲まれているとき、その中心に打つ手の優先順位を低くする。
さらに、斜めの四点が、自分の石/相手石/空点かで優先順位を細かく付ける。
- アキ三角をつぶす手の優先順位は下げる(図2)。


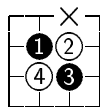
 左図のように同色の石が直角三角形になっているとき、囲碁用語で「アキ三角」と言う。アキ三角をつぶす手とは、空いている1点に打って、同色の石の正方形を作る手のことである。

図2: アキ三角をつぶす手

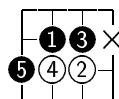
- 隣に相手石がいるときは優先順位を上げる。
- 座標が中央に近いほど優先順位を上げる。
- 相手石を捕獲できるならば優先順位を上げる。
- 劫による着手禁止手があるならば、パスの優先順位を低くする。劫による着手禁止手がないとき、直前手がパスならば、パスの優先順位を高くする。

- パスを続けても勝てる時は、パスの優先順位を高くする。

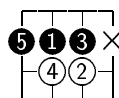
囲碁は地の多い方が勝ちである。地は盤面上の自分の石に囲まれた点の数と、アゲハマの合計である。従って、もしも自分がパスを続けることによって、盤上にある自分の石が全て相手に取られて相手の地になっても、アゲハマの差が相手の地を上回っているならば、勝ちになる。従って、盤上に石を打つ必要はなく、パスをする手は有効な着手となる。



次に黒が (3,1) に打つと勝ち。白は 4 手目をどこに打つても黒の勝ち。



次に白が (4,2) に打つと持碁



次に白が (4,2) に打つと持碁

図 3: 四路盤の実験結果の一部

4 実験結果

実験に使ったコンピュータは、Ultra SparcII 360MHz、実メモリ 2GB である。プログラム言語は C である。

4.1 二路盤の結果

どの位置に打つても対称形となるので 1 手目は (1,1) とパスの 2 通りしかない。黒が第 1 手目を (1,1) に打つと、持碁になった。黒がパスしても、手番が代るだけなので、持碁である。展開したゲーム木を付録 1 に記す。

4.2 三路盤の結果

黒が第 1 手目を中央 (2,2) に打つと、黒の勝ちとなった。黒が第 1 手目を中央 (2,2) に打つと、白がどこに打つても、黒がその白を取ることができた。展開したゲーム木を付録 2 に記す。展開したノード数は、約 500 であった。

4.3 四路盤の結果

黒が第 1 手目を (2,2) に打つと、持碁になった。黒の第 1 手目が (2,2) 以外で、黒が勝つ手は存在しなかった。展開したゲーム木の一部を (図 3) に記す。展開したノード数は、約 1,400 万であった。実験では、候補手の優先順位付けのヒューリスティクスを洗練させることによって展開するノード数を減少することができた。逆に、少しでも優先順位付けをいい加減に行うと、ノード数は軽く 1 億を越えてしまった。

我々の方法では、合法手がある限り打ち続けるために、ほとんどすべての可能な石の配置がノードとして出現すると予想される。四路盤では、 4×4 の 16 個所の点に黒/白/空点の 3 通りの状態があるので、 $3^{16} = 43,046,721$ 通りの石の配置の組み合わせがある。対象形は同じ配置と考えたり、着手禁止点によりルール上ありえない配置があるので、実際に可能な組み合わせは 3,047,783 通りである。しかし、劫のあるなし、直前手がパスかどうか、アゲハマの差によって、実際に展開するノード数は、それを上回った。

5 おわりに

探索プログラムを用いて、二路盤、三路盤、四路盤の解を求めた。今後は、さらに大きな盤での必勝法及び、日本ルール以外のルールの基での必勝法を求めてみたい。

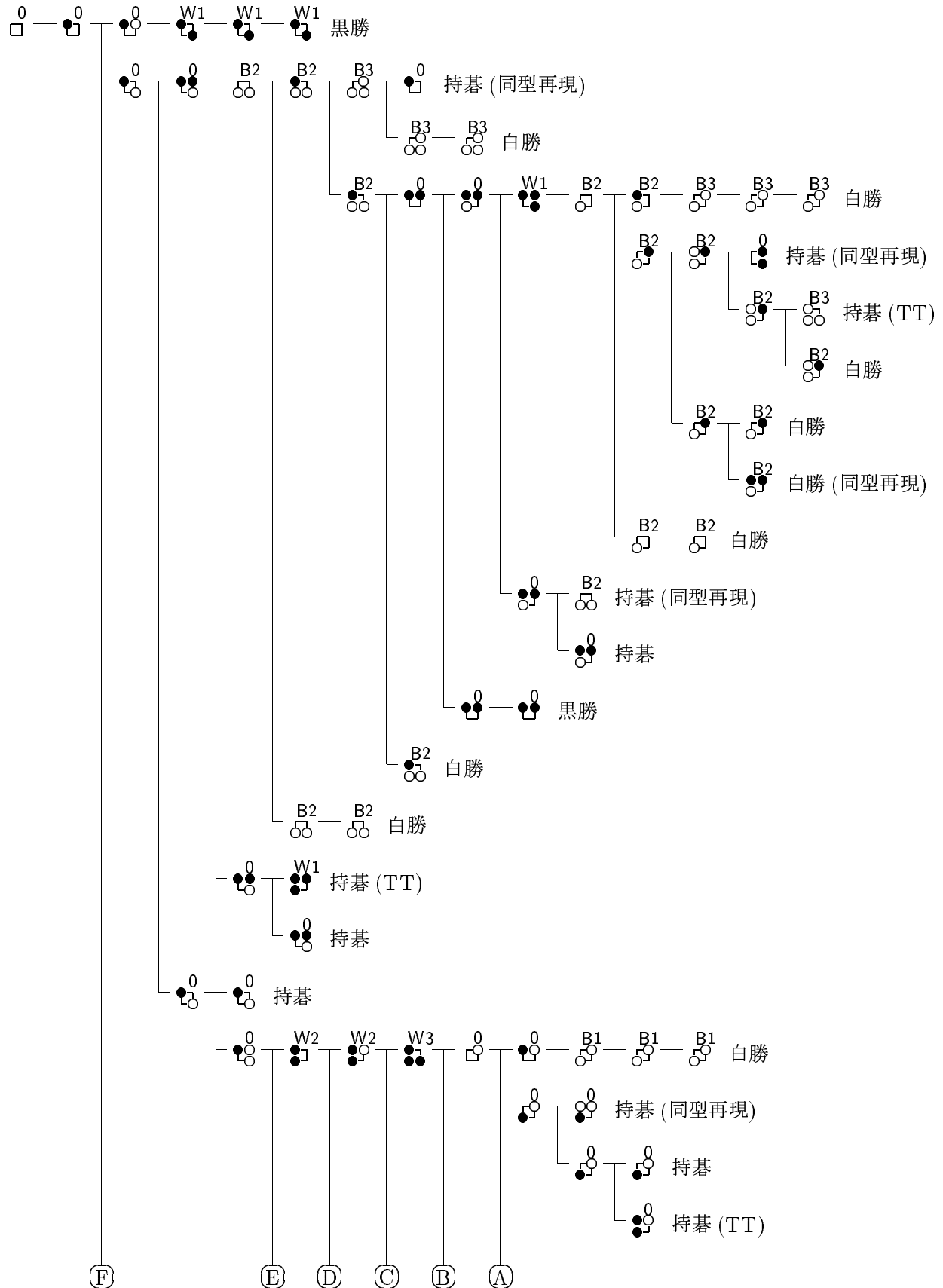
参考文献

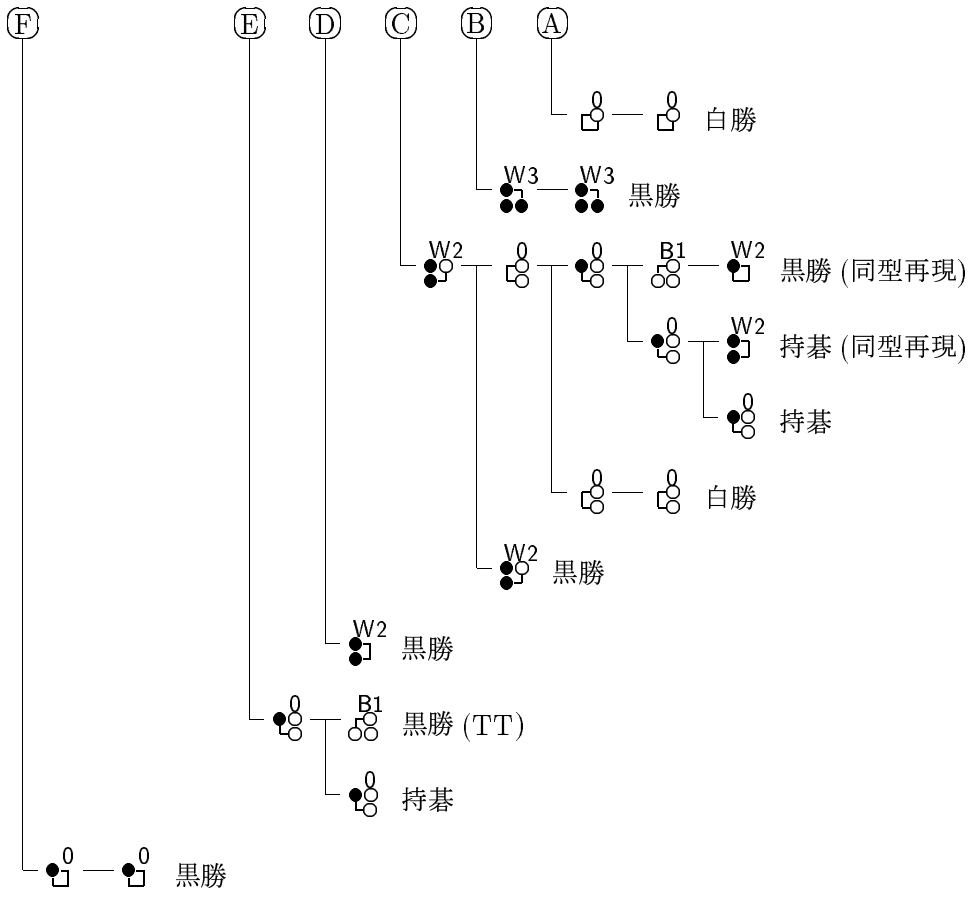
- [趙 1993] 趙 治勲：趙治勲のスマールワールド、週間碁,1993.9-1994.4 に連載
- [日本棋院 1997] 日本棋院：新・早わかり 用語小事典, 1997
- [中村 1996] 中村貞吾：コンピュータ囲碁のためのルール作りに向けて、雑誌「囲碁」,1996 年 12 月号,pp.80-81

付録 1：二路盤のゲーム木

TT は、トランスポジションテーブルと一致したことを表す。

盤面の上の B1(W1) は、黒(白)のアゲハマが 1 多いことを表す。0 はアゲハマが同数。





付録 2：三路盤のゲーム木

TT はトランスポジションテーブルと一致、アゲハマの記述は省略

