

溢れ碁ルールの提案とそれを用いた囲碁の小路盤探索

松本 祐輔^{†1} 小谷 善行^{†2}

囲碁のゲーム研究において、探索空間を狭めた小さいサイズの碁盤での研究が行われている。2003年には Werf らが絶対石群を用いて5路盤を解析し、中川は絶対石群を拡張した絶対死閉領域を提案した。ところが、それらの概念は終局判定にのみ使用されており、途中局面では活用されていない。そこで本論文では、絶対石群と絶対死閉領域のより効率的に活用する溢れ碁ルールを提案した。さらに、溢れ碁ルールを用いて、細部の異なる非同一局面を同一局面として扱う手法や、絶対石群となりうる点の下限を加算し、早い段階での勝敗判定を可能とする手法を提案した。そして、小路盤探索の探索ノード数や探索時間を調べることで、提案ルールと提案手法の性能評価と考察を行った。先行研究と比べ、探索ノード数が最大25%削減することができた。

Use of AFURE Go rules in small board Go search

YUSUKE MATSUMOTO^{†1} and YOSHIYUKI KOTANI^{†2}

In computer Go research, smaller board Go search has been made. Werf solved 5x5 board using the unconditionally alive group, and Nakagawa suggested the unconditional dead closed region for extending it in 2003. However, these ideas were only applied to in end game. In this report, we present AFURE Go rules which is equivalent of Chinese rules in order to use the unconditionally alive group and the unconditional dead closed region more effectively. In addition, we suggest two methods of applying these new rules. One method is to identify different positions as same positions. Another method can judge whether won or lost earlier by adding lower limit of the potentially unconditionally alive group. We make an experiment and evaluate the AFURE Go rules and our two methods. As a result, our new methods are able to cut down the number of search nodes by up to 25% as compared with earlier study.

1. はじめに

ゲーム情報学研究の目標として完全解析がある。既にいくつかのゲームは完全解析され、必勝法が解明されている。例えば、5目並べや、6×6サイズのオセロである。近年では2007年の Schaeffer らによるチェッカーの引き分け証明²⁾が記憶に新しい。本論文では、二人零和完全情報ゲームのひとつである囲碁に注目する。

チェスや将棋などがプロレベルであるのに対し、囲碁はアマレベルを超えることができない。これは、囲碁が他のゲームと比べて、ゲーム木の分岐数が多く、また、途中局面における明確な判定基準がないため良い評価関数を作りづらいというのが理由である。そのため、碁盤のサイズを小さくし、探索空間を狭めた小路盤での研究が行われている。

小路盤解析の分野では、2000年に清らが日本ルールを用いて4路盤を解析³⁾し、2003年に Werf らが中国ルールを用いて5路盤を解析⁴⁾した。5路盤解析では、終局判定を容易にするため、絶対石群⁵⁾⁶⁾という概念が用いられた。一方、中川は2003年に「囲碁の純碁ルールにおける絶対石群の活用⁷⁾」において、絶対石群の概念を拡張し、より早い終局判定を可能にする絶対死閉領域を提案した。

本論文では、ゲーム進行中における絶対石群と絶対死閉領域⁷⁾のより効率的な活用を行うため、中国ルールの等価ルールとして「溢れ碁ルール」を提案する。続いて、溢れ碁ルールの特徴を生かして「着手確約点と埋立による同一局面判定」と「ダメ詰めによる絶対石群の拡大」を提案する。溢れ碁ルールやそれらの手法の導入により、途中局面での着手候補手の削減や、細部の異なる非同一局面の同一局面化による結果の流用などが可能となる。最後に、提案した手法の有効性を確かめるため、小路盤解析を行う。

2. 絶対石群と絶対死閉領域

本章では、小路盤探索の先行研究として効果を発揮した概念である絶対石群と絶対死閉領域について説明する。絶対石群とは、絶対に取りられない石のことであり、盤上の石数を数えやすくし、途中局面での評価付けが容易になる。絶対死閉領域とは、絶対に生きることが

^{†1} 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻

Dept. of Computer and Information Sciences, Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{†2} 東京農工大学大学院 工学府

Dept. of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

できない領域であり、盤上の地を数えやすくし、途中局面での評価付けを容易にした。最後に、絶対石群・絶対死閉領域と本論文で提案する溢れ碁ルールとの関係について述べる。

2.1 絶対石群

1976年、Bensonは「Life in the Game of Go」⁵⁾の中で、無条件生きの石の集合を定義した。無条件生きの石の集合とは、相手から何手連打されても取られることのない石の集合のことである。これを絶対石群 (unconditionally alive group) と呼ぶ。絶対石群により、石の生死を数学的に判別できるようになった。しかし、計算量が多いという問題点があり、碁盤が大きくなるにつれ、計算時間に見合った結果は望めなくなる。そのため、19路盤などの大きい碁盤では絶対石群は使用されていない。

黒の絶対石群の例を図1、図2に示す。

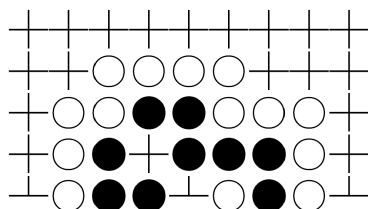


図1 黒の絶対石群の例1

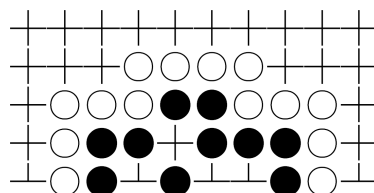


図2 黒の絶対石群の例2

2.2 絶対死閉領域

「囲碁の純碁ルールにおける絶対石群の活用」⁷⁾において、中川は、絶対石群を拡張して絶対死閉領域 (unconditional dead closed region) という新たな概念を提案した。絶対死閉領域は、一方の絶対石群に囲まれた領域で、かつ、相手から何度連打されても相手方の石が生きることができない領域のことである。

絶対石群の眼となる可能性を持った点を8近傍空接点として定義し、8近傍空接点が1つしかない閉鎖領域を絶対死閉領域と呼ぶ。絶対死閉領域は、一方の石の地であることを確認する。

「囲碁の純碁ルールにおける絶対石群の活用」では、8近傍空接点と絶対死閉領域により、早い段階で絶対石群を判定することが可能となった。しかし、終局判断にのみ使用されておらず、ゲーム進行中は活用されていない。

図3では、黒石の右側は絶対死閉領域であり、黒石の左側は絶対死閉領域でない。

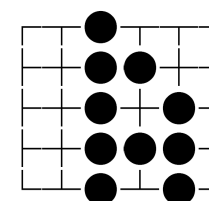


図3 黒の絶対死閉領域の例

2.3 絶対石群・絶対死閉領域と溢れ碁ルールの関係

小路盤探索の分野では、現在5路盤までの解が求められている。小路盤探索は、碁盤のサイズが1つ大きくなるだけで、ゲーム木の大きさは指数的に膨れ上がる。そのため、6路盤以上の解を求めるにはより効率的で高速な探索方法を模索する必要がある。

「囲碁の純碁ルールにおける絶対石群の活用」では、8近傍空接点と絶対死閉領域により、早い段階で絶対石群を判定することが可能となった。しかし、勝敗判定の効率化を行うことで探索ノード数を削減したに過ぎない。

本研究では、絶対死閉領域に対する無駄な着手を減らし、ゲーム進行中での絶対死閉領域の活用を行う。絶対死閉領域への着手を禁じ、領域を確定した地にするために、領域を石で埋めることを考えた。しかし、既存のルールで、無条件に盤面を埋めてしまうと、結果や手番にずれが生じてしまう。そこで、結果や手番を変えずに、盤面を埋めることが可能となるような溢れ碁ルールを提案する。

3. 溢れ碁ルールの提案

本章では、まず、中国ルールを含む三種類の囲碁のルールを比較する。続いて、新たに提案する溢れ碁ルールについて説明する。

3.1 中国ルールとその他の既存ルールの比較

日本ルール⁸⁾、中国ルール⁹⁾、純碁ルール¹⁰⁾の比較を表1に示す。

3.2 溢れ碁ルールの提案

本論文で提案する溢れ碁ルールについて述べる。溢れ碁ルールは、中国ルールをベースにしたルールである。アゲハマや着手放棄により盤上から溢れた石を用いて勝敗判定を行うことから、溢れ碁ルールと名付けた。対局方法や石の生死等は、本節で述べる変更点を除き、中国ルールと同じものとする。

表 1 囲碁のルール比較

項目\ルール	日本ルール	中国ルール	純碁ルール
ゲーム目的	「地」の多少を争うこと	「地」と「盤上の石」の多少を争うこと	「盤上の石」の多少を争うこと
対局の停止	一方が着手を放棄し、次いで相手方も放棄した時点	なし	なし
終局判定	対局の停止後、双方が石の死活及び地を確認し、合意した時点	一方が着手を放棄し、次いで相手方も放棄した時点	一方が着手を放棄し、次いで相手方も放棄した時点
勝敗判定	終局の合意の後、地の中の相手方の死に石はそのまま取り上げ、アゲハマに加える。アゲハマをもって相手方の地を埋め、双方の地の目数を比較して、その多い方を勝ちとする	終局時点で地の中の相手の石を盤上から取り除く。一方の地の目数と盤上の石を数え、碁盤のサイズの半数を超えるかどうかで勝ちを判定する	終局時点で地の中の相手の石を盤上から取り除く。両者の盤上の石を数え、その多い方を勝ちとする
アゲハマ	考慮する	考慮しない	考慮しない
セキの地	数えない	数える	特殊
コウ	コウ	コウ (スーパーコウ)	コウ (スーパーコウ)

3.2.1 溢れ碁ルールの概要

溢れ碁ルールとは、絶対石群や絶対死閉領域をより効率的に活用することを目的としたルールであり、中国ルールと等価である。溢れ碁ルールは、着手を半義務化し、着手放棄を1目のペナルティとする。そして、アゲハマや着手放棄によるペナルティを溢れ石と定義し、溢れ石の差により勝敗を判定する。なお、中国ルールと等価であるため、従来の中国ルールを採用したプログラムのように、地+盤上の石数の差で勝敗判定を行うことも可能である。溢れ石については第3.3節で説明する。

3.3 溢れ石と終局判定

溢れ碁ルールでは、アゲハマの代わりに「溢れ石」という概念を導入する。溢れ石とは、何らかの理由で盤面から溢れてしまった石のことを表す。例えば、ダメがなくなり盤面から取り除かれた石や、着手放棄により盤面に置かれなかった石が溢れ石にあたる。手番側の選択肢は次のように表すことができる。

手盤側は、盤面に石を配置する（着手）か、溢れ石に1目加える（着手放棄）が選ぶことができる

溢れ碁ルールでは、溢れ石の差で勝敗を判定する。したがって、着手放棄をして溢れ石に1目加えることは、1目のペナルティを支払う（1目損）に等しい。また、手番が来たら必ず着手または着手放棄をしなければならない（図4）。そのため、盤上の石と溢れ石の和は、同じ数だけ着手機会があった場合、白石・黒石ともに等しくなる。

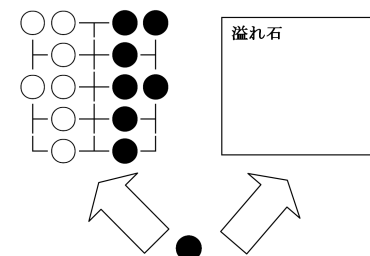


図 4 着手か着手放棄かの選択

溢れ碁ルールでは、終局を次のとおり定義する。

一方が着手放棄をしたあと、他方も着手放棄をしたとき、対局の停止とする。先に着手放棄をした側から交互に自分の地を埋めていく。手番が黒番かつ、すべての地がなくなったとき、終局とする。なお、地を埋めることが出来ない場合、着手放棄とみなし、溢れ石に1目加える。

対局が停止した局面を図5に示す。×で示した点が地である。また、図5を終局まで進めた局面を図6に示す。溢れ石の差により、黒の1目勝ちということが分かる。

4. 55taroの再設計

本章では、55taroの再設計を行い、AFURE-Goを作成する。55taroは、「囲碁の純碁ルールにおける絶対石群の活用」で使用された囲碁プログラムである。AFURE-Goは、溢れ碁ルールの導入により、終局判定や同一局面判定に修正を加え、既存の探索プログラムよりも

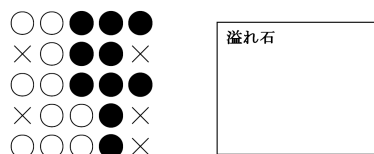


図5 白が着手し、対局が停止した局面

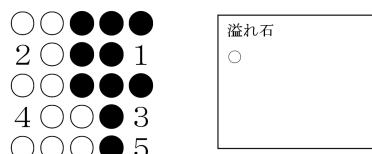


図6 白が溢れ石に1目加え、対局が終了した局面

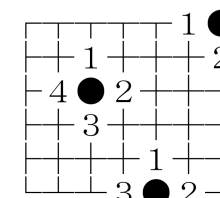


図7 中央、辺、隅にある石のダマ数

早く探索を終了させることができる。

4.1 55taro と AFURE-Go の比較

55taro と AFURE-Go の比較を表2に示す。

	55taro	AFURE-Go
探索方法	AND/OR 木探索による深さを閾値とした反復深化法	
候補手の並び替え	手作業の評価値	位置による優先度と手の内容による優先度
コミ	なし	なし
評価値	黒勝ち/白勝ちの2値	
引き分け時の処理	黒勝ち/白勝ちのどちらも返さない	白勝ち
探索の終了	必勝法が求まった時点	

4.2 手の優先度による候補手の並び替え

複数の着手候補があるとき、どの手を選択するかは、探索において非常に重要である。AFURE-Go は必勝法が求まった時点で終了し、解を返す。そのため、勝ちに近い手から先に探索することで、より早く探索を終了させることができる。

55taro では、3×3路盤、3×4路盤、3×5路盤の三種類の基盤に対し、手作業の優先度が設定されていた。AFURE-Go では、位置による優先度と、手の内容による優先度という2種類の優先度を使用する。

4.2.1 位置による優先度

小路盤では、中央に近い点に打つ手ほど勝ちに近い手と言える。なぜなら、盤面における石の影響を考えたとき、石の持つ影響力は、経験的にその石からの距離で表現できる。したがって、盤面の小さい小路盤では、中央に石を置くことは、盤面の端に石を置くよりも盤面全体に影響を持つことができる。また、図7に示すように、盤端にある石は中央にある石に比べてダマの数が少なく取られやすいため中央に石を置くほうが安全である。

したがって、中央に打つ手の優先度を高く、端に打つ手の優先度を低くすることで、勝ちに近い手を打ちやすくなる。中央に近い手ほど優先度を上げるために、盤端（横）からの距離と、盤端（縦）からの距離の和を見る。ここでは、盤の角の位置による優先度を1にするため、全体の優先度から1引いている。3×3路盤、3×4路盤、3×5路盤の位置による優先度を図8に示す。

1	2	1	1	2	2	1	1	2	3	2	1
2	3	2	2	3	3	2	2	3	4	3	2
1	2	1	1	2	2	1	1	2	3	2	1

図8 3×n路盤の位置による優先度

4.2.2 手の内容による優先度

次に、手の内容による優先度について述べる。手の評価基準として、位置だけでなくどのような手であるかというのも重要である。一般に価値の高い手として、自分の石をつなげる手、眼を作る手、石を取る手などがある。今回、AFURE-Go では、石を取る手について考える。

手の内容による優先度の付け方の簡単な流れを示す。すべての候補手に対して、4近傍を調べる。4近傍に相手の石があり、その石が候補手によって取ることができる場合、その候補手の優先度を1増やす。したがって、最低0、最大4の優先度が各候補手に付けられることになる。黒の候補手★に対する優先度の例を図9、図10に示す。

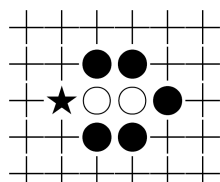


図 9 優先度+1 の例

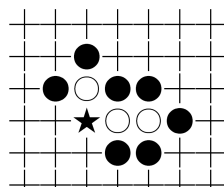


図 10 優先度+2 の例

4.2.3 優先度の重み付け

続いて、これまでに説明した二つの優先度の重み付けを考える。位置による優先度と、手の内容による優先度の重みを決定するため、3×3路盤に対して予備実験を行ったところ、優先度を式(1)で表すとき、最も良い結果となった。

$$\text{優先度} = \text{位置による優先度} \times 9 + \text{重みによる優先度} \quad (1)$$

5. 溢れ碁ルールを活用する二手法の提案

本章では、着手確約点と埋立による同一局面判定とダメ詰めによる絶対石群の拡大について述べる。

5.1 着手確約点と埋立による同一局面判定

両者が7手ずつ着手し、同一の領域を占有しあう絶対石群を作った局面の組合せは、図11を一例として、全部で24通りある。従来の探索手法や同一局面判定では、回転や反転、色の反転により、図12に示す8局面にまで減らすことができる。

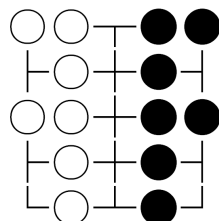


図 11 お互いに7手着手し同一の領域を持つ絶対石群を作った局面の一例

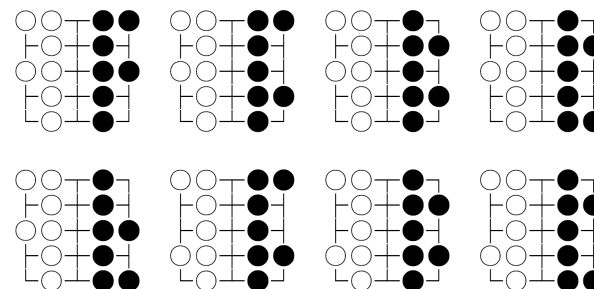


図 12 回転等を用いて同一局面を排除し、別局面として判定される局面

これらの8局面は、同一の領域を占有しているにもかかわらず、すべて別の局面として扱われてしまう。そこで、絶対死閉領域と絶対石群に対し、着手確約点と確定石、埋立という概念を提案する。

これらの概念により、図12のような勝敗結果に影響を及ぼさない別局面を同一局面と判定させ、大幅に探索ノード数を削減する。また、埋立により着手候補数が減るため、無駄な探索が削減できる。

5.1.1 着手確約点

絶対石群の眼と絶対死閉領域内の点を着手確約点と呼ぶ。着手確約点は、対局の停止後に必ず着手される点であり、対局中に打つ必要はない点のことである。なぜなら、一方の着手確約点は相手方の石によって着手されることがなく、また、地を構成する点であるからである(対局の停止後、終局までにすべての地を埋める手順がある)。たとえば、黒の絶対石群の眼(着手確約点)へは、白は着手できない。また、黒の絶対死閉領域(着手確約点)へ白が着手したとすると、白は対局の停止までに必ず石を盤面から取り除かれてしまう。そのため、白は着手確約点へ着手することができない(または、着手しても着手放棄と同じ扱いになる)。

5.1.2 確定石と埋立

着手確約点を実際に埋めることで局面を単純化させることを埋立と呼ぶ。図13の×で示した点は、すべて着手確約点である。図14は、図13の着手確約点を埋立した盤面である。このように、着手確約点を埋立した石の集合を確定石と呼ぶ。確定石は、絶対に取りられない石の集合として扱い、図15のように、相手方の石ですべてのダメを詰められても取られない。

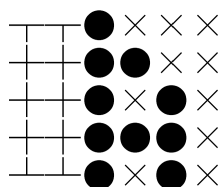


図 13 着手確約点の例

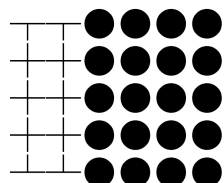


図 14 埋立による確定石の発生

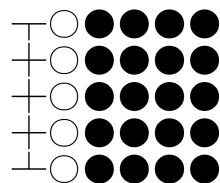


図 15 ダメが詰まっても取られることはない

溢れ碁ルールでは、白と黒が交互に石を盤面に配置するか、溢れ石に1目加える石を加える必要がある。図14で、黒は10個の着手確約点を埋立し、確定石を生み出した。埋立により、黒が終局までに盤面に配置できる着手数は10手減るため、10手分の着手放棄をしなければいけない。これにより、埋立前と埋立後で、白に対し10石分の不利が生じることになる。そこで、埋立によるポイントを導入する。着手確約点を埋立したとき、埋立した点の数と同数だけ、相手方の溢れ石を増やす。図14では、白の溢れ石を10子追加する（白は10手の着手放棄を行う）ことで、埋立を行わずに着手確約点を埋めていったときと同様の勝敗結果になる。

5.1.3 同一局面判定における埋立の活用

着手確約点の埋立により、図12で示した8局面はすべて同じ局面として扱われる。埋立による別局面の同一局面化の例を図16、図17に示す。

5.2 ダメ詰めによる絶対石群の拡大

従来の絶対石群の活用は、一方の絶対石群の石数と絶対石群の眼の数を数え、それが盤面のサイズの半数を超えていれば、探索を打ち切り、一方の勝ちという評価値を返す。なぜなら、絶対石群は取られることがないため、盤面のサイズの半数を超えている時点で、相手方は同量の着手数を満たすことができないからである。

図18では、白黒両者とも盤面のサイズの半数を超えていないため、従来の手法では探索

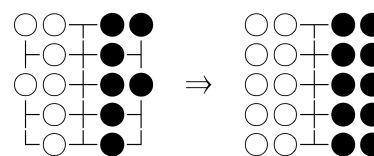


図 16 埋立による別局面の同一局面化 1

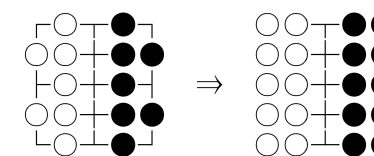


図 17 埋立による別局面の同一局面化 2

を終了することはできない。

しかし、自分の絶対石群に接するように着手した石は、絶対石群になることを考えると、手番側である白は、白の絶対石群のダメである×に着手することで、絶対石群の数を増やすことができる。図18では、白の絶対石群のダメは5つある。白の絶対石群のダメを白と黒が交互に着手した図を図19に示す。

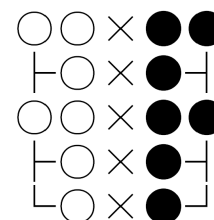


図 18 従来手法では探索を終了できない例 (手番:白番)

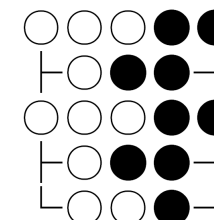


図 19 ダメを交互に詰めた局面

このとき、白の絶対石群の石数と絶対石群の眼の和は、盤面のサイズ25の半分である12.5を超え、白の勝ちであることが判明する。従来のアルゴリズムでは、図19のように5手着手した局面でないと勝敗を判定することができない。5つのダメを交互に着手していく方法は120通りあり、それらをすべて探索するのは効率的ではない。交互着手のルール上、絶対石群のダメの半数には、必ず着手することができる。そのため、絶対石群の石数と絶対石群の眼を数える際に、ダメの半数分を考慮に入れることで、探索をせずにダメを交互に詰めた局面における絶対石群の石数とその眼の和を求めることができるのではないかと考えた。

図18において、手番側の白について考える。白の絶対石群のダメの数は5つである。ここで、絶対石群の数7目と絶対石群の眼3目に、絶対石群のダメの数の半数2.5目を加える。すると、合計値は12.5目となる。このとき、白は手番側であるため、目数を繰上げし、

13目 $> 5 \times 5 \div 2 = 12.5$ となり、白の勝ちが確定できる。

また、ダメの判定にはチェックボードを使用し、一度カウントしたダメは計算に含めないようにする。例えば、図 20 のように、2つ以上の絶対石群に対し、共通のダメが存在するとき、単純に、両者のダメの半数の和 $7/2 + 7/2 = 7$ と計算することはできない。チェックボードの使用により、 $9/2 = 4.5$ と正しく計算することが可能となる。

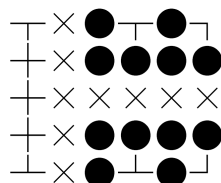


図 20 共通のダメが存在する局面

6. 小路盤の解析実験

本章では、溢れ碁ルールと提案手法を評価するために、小路盤の解析実験を行う。解析対象を 3×3 路盤、 3×4 路盤、 3×5 路盤として、それぞれの探索ノード数、探索時間、探索速度を調べた。実験結果は、 3×3 路盤、 3×4 路盤は 5 回、 3×5 路盤は 2 回実行し、結果の平均をとった。

6.1 実験概要

実験は、先行研究である 55taro と、それを再設計した AFURE-Go(Base), Base に着手確約点と埋立による同一局面判定を加えた Promise, Promise にダメ詰めによる絶対石群の拡大を加えた All の 4 種類で行った。

実行環境を表 3 に示す。

表 3 実行環境

本体	IBM/PC 互換機
OS	Microsoft Windows XP Professional SP3
CPU	Intel Core2Duo 3.00GHz, 2.99GHz
メモリ	1.96GB

6.2 実験結果

3×3 路盤、 3×4 路盤、 3×5 路盤の実験結果を表 4、表 5、表 6 に示す。また、それぞれの碁盤における、Base に対する Promise, All の探索ノード数、探索時間の割合を図 21、図 22 に示す。

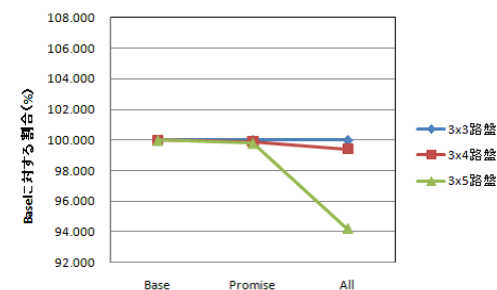


図 21 Base に対する探索ノード数の割合

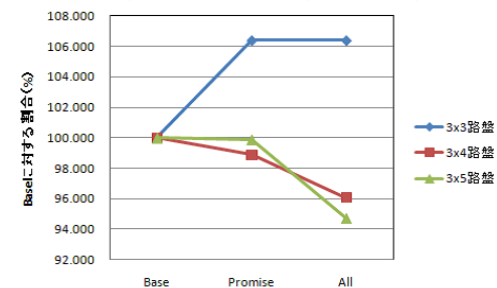


図 22 Base に対する探索時間の割合

3×3 路盤では、溢れ碁ルールを用いたものはすべて同じ結果となった。Promise では、絶対死閉鎖領域の出現回数は 0 回だった。また、碁盤サイズが 9 と小さく、絶対石群が出現した時点で盤面の半数以上の地を持ってしまうため、ダメ詰めによる絶対石群の拡大が効果を発揮しなかったと思われる。55taro と比べ、約 22% の探索ノード数が削減され、探索時間は約 30% になった。

表 4 3 × 3 路盤探索による性能評価

プログラム名	探索ノード数	探索時間 (sec)	探索速度 (node/sec)
55taro	12,459	0.422	29,524
Base	9,660	0.125	77,280
Promise	9,660	0.133	72,631
All	9,660	0.133	72,631

表 5 3 × 4 路盤探索による性能評価

プログラム名	探索ノード数	探索時間 (sec)	探索速度 (node/sec)
55taro	1,078,302	29.171	36,955
Base	864,967	10.546	82,018
Promise	864,201	10.446	82,730
All	859,817	10.132	84,861

表 6 3 × 5 路盤探索による性能評価

プログラム名	探索ノード数	探索時間 (sec)	探索速度 (node/sec)
55taro	511,400,262	28,080.433	18,212
Base	407,969,970	6,190.837	65,899
Promise	407,135,049	6,183.610	65,841
All	384,304,365	5,862.890	65,548

3 × 4 路盤では、Promise、All とともに手法追加前よりも探索ノード数を削減することができた。Base と All の結果を比べると、探索ノード数は 0.595%削減できた。55taro と比べ、約 20%の探索ノード数が削減され、探索時間は約 35%になった。

3 × 5 路盤では、55taro と比べ、約 25%のノード (約 1 億 2000 万ノード) の削減に成功した。探索時間は、55taro の 20%まで抑えることができた。Base から Promise では 0.205%のノード数の削減、Promise から All では 5.608%の探索ノード数の削減を実現した。

着手確約点と埋立による同一局面判定は、碁盤サイズが大きくなるにつれ、探索ノード数を削減することができたが、削減できた探索ノード数はわずかであった。絶対石群を作るには、最低 6 石が必要である。碁盤サイズが小さい場合、このような絶対石群が出現したとき、非同一局面を同一局面として判定するより前に、盤上の石数により勝敗が決まってしまう。そのため、埋立があまり行えなかったのではないかと考えられる。したがって、3 × 6 路盤や 4 × 4 路盤など、大きい碁盤のほうが、領域の大きい絶対死閉領域が出現しやすく、よりノード数が削減できると考えられる。

一方、ダメ詰めによる絶対石群の拡大は、碁盤サイズが大きくなるにつれ、大幅な探索ノードの削減を実現した。

7. おわりに

本論文では、小路盤探索で効果を発揮した絶対石群と、絶対石群を拡張した絶対死閉領域のより効率的な活用のため溢れ碁ルールを提案した。溢れ碁ルールは、中国ルールの等価ルールであり、アゲハマや着手放棄によるペナルティを溢れ石と定義し、溢れ石の差により勝敗を判定する。

そして、溢れ碁ルールを活用する二つの手法を提案した。着手確約点と埋立による同一局面判定は、絶対死閉領域に対する着手を候補手から外し、また、本質的に同一であるが細部の異なる局面を同一局面として扱うことを可能にした。ダメ詰めによる絶対石群の拡大は、盤上の確定した領域を計算するときに、着手すれば必ず絶対石群になる点の下限を計算し加

算することで、探索を行うことなく勝敗の判定を可能にした。

これらの手法をすべて実装したプログラムは、先行研究と比べ、3 × 3 路盤では約 22%、3 × 4 路盤では約 20%、3 × 5 路盤では約 25%の探索ノード数の減少に成功した。また、探索時間は、3 × 3 路盤では約 70%、3 × 4 路盤では約 65%、3 × 5 路盤では約 80%の減少に成功した。

今後の課題として、碁盤サイズを大きくした 3 × 6 路盤や 3 × 7 路盤、もしくは 4 × 4 路盤などを解くことが考えられる。碁盤が大きくなるにつれて、本研究の土台となっている絶対石群の高速化や絶対死閉領域の高速化も必要になってくるだろう。また、小路盤探索以外の研究への溢れ碁ルールを採用なども考えられる。

参考文献

- 1) 松原仁, 竹内郁雄: "ゲームプログラミング", 共立出版, 1988
- 2) Jonathan Schaeffer, Neil Burch, Yngvi Bjornsson, Akihiro Kishimoto, Martin Muller, Robert Lake, Paul Lu, Steve Sutphen: Checkers Is Solved, Science, 14 Vol. 317. no.5844, pp1518-1522, 2007.
- 3) 清 慎一, 川嶋 俊明: "探索プログラムによる四路盤囲碁の解", 情報処理学会ゲーム情報学研究会報告, pp.69-76, 2000
- 4) E.C.D. van der Werf, H.J. van den Herik, J.W.H.M. Uiterwijk: "Solving Go on Small Boards", ICGA Journal Vol.26 No.2, pp.92-107, 2003
- 5) DAVID B.BENSON: "Life in the Game of Go", INFORMATION SCIENCES Vol.10 No.1, pp.17-29, 1976
- 6) OKA: "Benson による無条件活きの定式化とアルゴリズム", <http://www.fides.dti.ne.jp/oka-t/benson-algorithm.html>
- 7) 中川太郎: "囲碁の純碁ルールにおける絶対石群の活用", 東京農工大学工学部情報コミュニケーション工学科 2003 年度卒業論文, 2004
- 8) 日本棋院: "日本囲碁規約", <http://www.nihonkiin.or.jp/joho/kiyaku/kiyaku.htm>
- 9) ASADA's Web Page: "中国ルールの勉強", <http://sowhat.ifdef.jp/igo/chinese/>
- 10) 碁に夢中!: "王銘エン九段著「純碁」", <http://park6.wakwak.com/igo/golax/jungo/ohmei.html>