



第 61 回電気関係学会九州支部大会

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに

組合せゲーム理論を用いた 囲碁の複合的攻合いの解析法

中村貞吾¹ 二井洋平²

¹ 九州工業大学情報工学部 知能情報工学科

² トップフォームズ (株)

2008 年 9 月 24 日 (木)



研究の背景と目的

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

- 組合せゲーム理論 (Combinatorial Game Theory; CGT)
 - 全体の局面が独立した部分局面の和に分解できるようなゲームの解析に大きな威力
 - Nim, Domineering, Hackenbush, Dots and Boxes, ...
- 囲碁はそういった部分性の強いゲーム
- CGT を囲碁に適用した研究
 - 最終盤のヨセの手止りの解析
 - コウを含むヨセ局面の評価
 - 眼形の解析
 - **攻合い**の解析



研究の背景と目的

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

- 攻合いとは？
 - 眼のない石同士が生きるために互いに相手の石 (対象ブロック) を取ろうとしている局面 ▶ 攻合い局面の例
- 互いの対象ブロックの手数の大小によって攻合いの勝敗が決まる
- 対象ブロックの **手数をスコアとする組合せゲーム**
 - 全体として連結した単一の対象ブロック同士の攻合いを部分局面に分割
 - 各部分局面の解析結果の和として全体の攻合いの勝敗をヨセと同様な計算によって判定 ▶ CGT を用いた解析例



研究の背景と目的

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

- 攻合いとは？
 - 眼のない石同士が生きるために互いに相手の石 (対象ブロック) を取ろうとしている局面 ▶ 攻合い局面の例
- 互いの対象ブロックの手数の大小によって攻合いの勝敗が決まる
- 対象ブロックの **手数をスコアとする組合せゲーム**
 - 全体として連結した単一の対象ブロック同士の攻合いを部分局面に分割
 - 各部分局面の解析結果の和として全体の攻合いの勝敗をヨセと同様な計算によって判定 ▶ CGT を用いた解析例



複数の対象ブロックが絡み合う複合的攻合いへと拡張



複合的攻合い

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

複合的攻合い

関連研究

局面グラフ

単純攻合いの勝敗

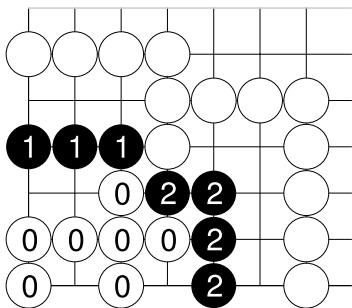
複合的攻合いの局面グ
ラフ

複合的攻合いの勝敗

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

- 複合的攻合いとは？
 - 複数の対象ブロックからなる攻合い





関連研究

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

複合的攻合い

関連研究

局面グラフ

単純攻合いの勝敗

複合的攻合いの局面グ
ラフ

複合的攻合いの勝敗

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

- 複合的攻合いを静的に解析する手法を示した研究
 - Katsuhiko Nakamura: “Static analysis based on formal models and incremental computation in Go programming”, Theoretical Computer Science, Vol.349, pp.184–201, (2005).
- 盤上の石のグループ間の関係を局面グラフと呼ばれるラベル付きグラフを用いて記述
- 隣接するグループ間の局所的な勝敗関係をもとにして、全体の攻合いの勝敗を判定する手法を提案



局面グラフ

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

複合的攻合い

関連研究

局面グラフ

単純攻合いの勝敗

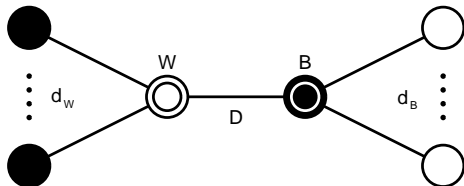
複合的攻合いの局面グラフ

複合的攻合いの勝敗

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに

- ノード：連結した石のブロック
 - 二重丸のノードは攻合いの対象ブロック
 - ノードに付随する値はブロック内部のダメ数
 - 活着していると仮定されるブロックの値は ∞
- リンク
 - 異なる色の2つのブロックが接しているか、または、共通の空点領域に隣接していることを表わす
 - リンクに付随する値はブロック間のダメ数





単純攻合いの勝敗

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

複合的攻合い

関連研究

局面グラフ

単純攻合いの勝敗

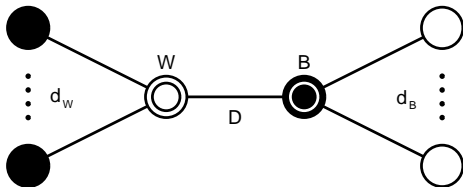
複合的攻合いの局面グラフ

複合的攻合いの勝敗

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに

- 攻合いの勝敗は d_B, d_W, D, B, W の値で決まる
- 例えば $W = B = 0$ の場合 (対象ブロックに眼のない場合)
 - $d_B \geq D + d_W - 1$ ならば **黒攻合い勝ち**
 - $d_W \geq D + d_B - 1$ ならば **白攻合い勝ち**
 - $|d_B - d_W| < D - 1$ ならば **セキ**
- これ以外の場合 ($B = 0, W > 0$ や $B > 0, W > 0$) も同様に判定可





複合的攻合いの局面グラフ

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

複合的攻合い

関連研究

局面グラフ

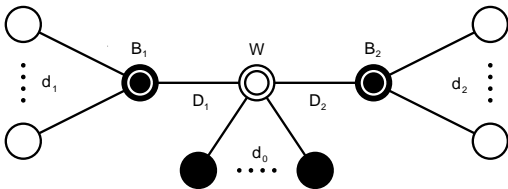
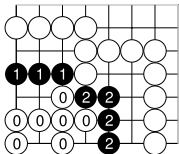
単純攻合いの勝敗

複合的攻合いの局面グラフ

複合的攻合いの勝敗

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに





複合的攻合いの勝敗判定表

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

複合的攻合い

関連研究

局面グラフ

単純攻合いの勝敗

複合的攻合いの局面グ
ラフ

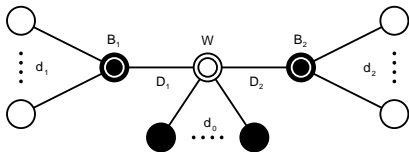
複合的攻合いの勝敗

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

- (1) $X1 \leftarrow Y \Rightarrow X2$: Y の勝ち
- (2) $X1 \Rightarrow Y \leftarrow X2$: X の勝ち
- (3) $X1 \Rightarrow Y \Rightarrow X2$: Y の勝ち
- (4) $X1 \leftarrow Y \leftarrow X2$: Y の勝ち
- (5) $X1 \leftarrow Y \Rightarrow X2,$
 $X1 \leftarrow Y \leftarrow X2$: Y の勝ち
- (6) $X1 \leftarrow Y \leftarrow X2$: Y の勝ち
- (7) $X1 \leftarrow Y \leftarrow X2$: 先着勝ち
- (8) $X1 \leftarrow Y \Rightarrow X2$: Y の勝ち
- (9) $X1 \leftarrow Y \leftarrow X2$: 先着勝ち

($X \Rightarrow Y$: X の勝ち
 $X \leftarrow Y$: 先着側の勝ち
 $X \leftarrow Y$: セキ)





CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

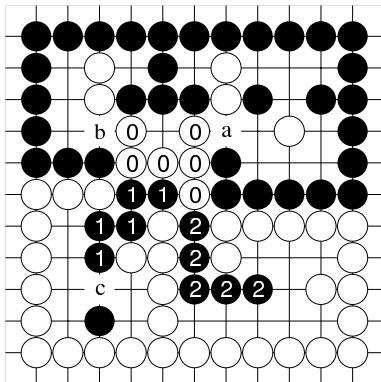
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに





CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

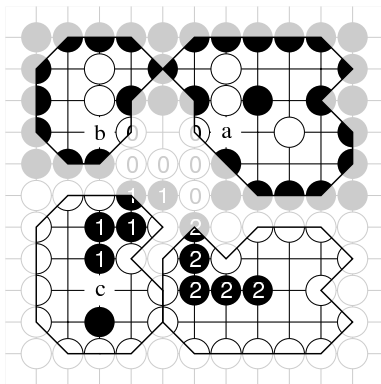
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに





CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

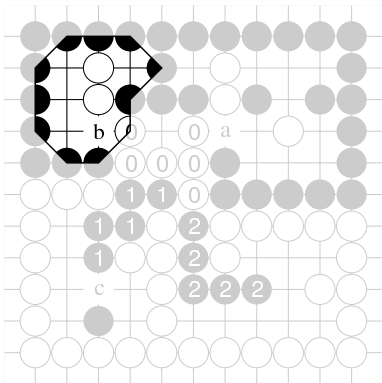
研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



ゲーム : $\{0 \mid -4\}$

冷却値 : -2^*



CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

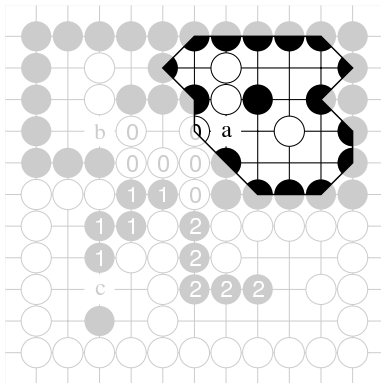
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



ゲーム : $\{0 \parallel -2 \mid -6\}$

冷却値 : $-2\uparrow$



CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

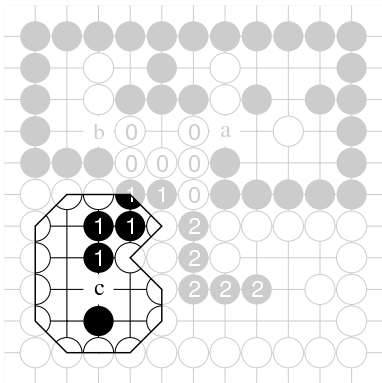
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



ゲーム : $\{6 \mid 2\}$

冷却値 : 4^*



CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

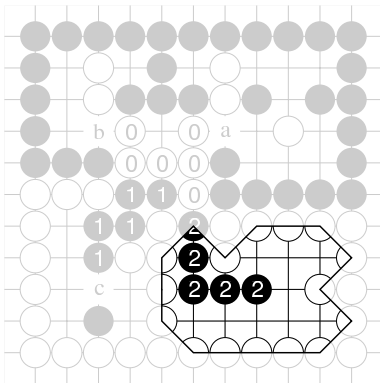
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



ゲーム : 5

冷却値 : 5



CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

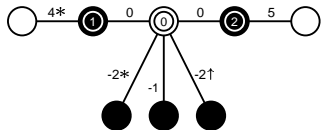
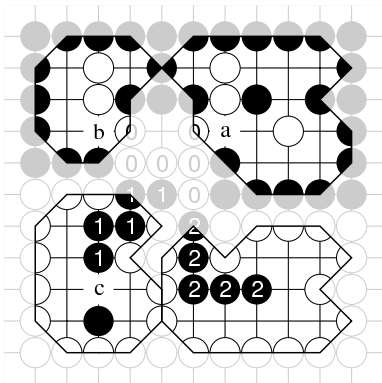
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに





CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

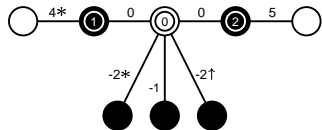
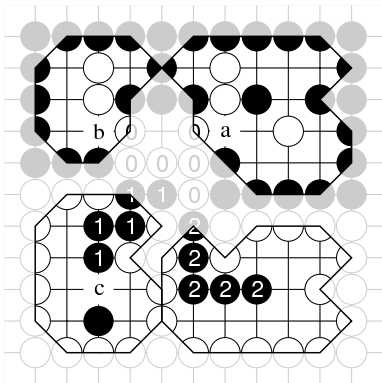
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



W_0 と B_1 の攻合い: $-1\uparrow$

W_0 と B_2 の攻合い: $\uparrow*$

$B_1 \longleftrightarrow W_0 \longleftrightarrow B_2$

▶ 複合的攻合いの勝敗



CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

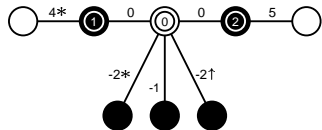
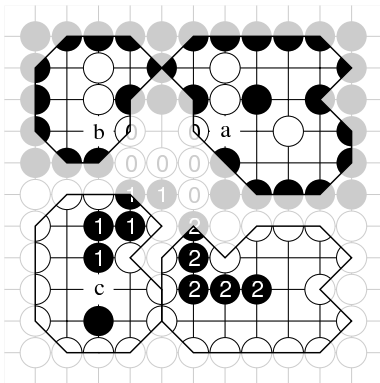
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



W_0 と B_1 の攻合い: $-1\uparrow$

W_0 と B_2 の攻合い: \uparrow^*

$B_1 \longleftrightarrow W_0 \longleftrightarrow B_2$

▶ 複合的攻合いの勝敗

先着勝ち?



CGT を用いた複合的攻合いの解析

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

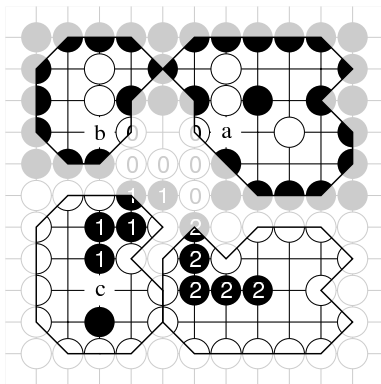
研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに



W_0 と B_1 の攻合い: $-1\uparrow$
正解手は a

W_0 と B_2 の攻合い: $\uparrow*$
正解手は b または c

正解手が異なるため、黒は1手で両方を同時に満たすことができない \Rightarrow 黒は勝てない



勝ち手を考慮した複合的攻合いの勝敗判定

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

複合的攻合いの解析例
勝敗判定手順

おわりに

- ① 解析対象となる複合的攻合い局面の局面グラフを作成する．ただし，リンクの値（ブロックの手数）は，以下のステップで与える．
- ② ノードとなる対象ブロックを部分局面に分割し，各部分局面内の手数 of 冷却値を基にして，リンクの値を計算する．
- ③ 隣接する2つのノード間の局所的な攻合いの勝敗と勝ち手の集合を求める．
- ④ 判定表の分類にしたがって，全体の攻合いの勝敗判定を行なう．
 - ここで，(7) の場合は，2つの部分的攻合いの勝ち手集合に共通要素があるかどうかをチェックし，一方のプレイヤーのみが共通の勝ち手を持っている場合は，そのプレイヤーの勝ちとし，両方が共通の勝ち手を持っている場合は先着勝ちと判定する．



おわりに

組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに

まとめ

- 手数に組合せゲーム的要素を含む囲碁の複合的攻合い局面を解析する手法を示した．
- 部分局面の勝ち手を考慮した勝敗の判定手順を与えた．

今後の課題

- 一般の場合の攻合いの判定
- コウを含む複合的攻合いの解析



組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



攻合い局面の例

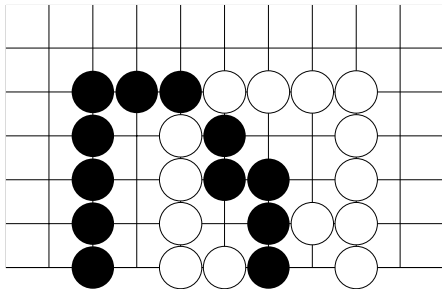
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに





攻合い局面の例

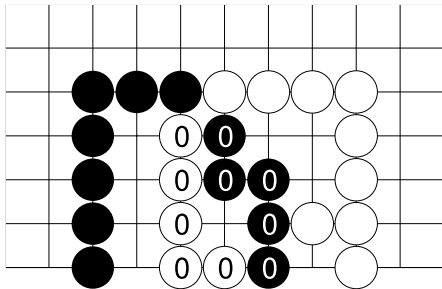
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



印は対象ブロック



攻合い局面の例

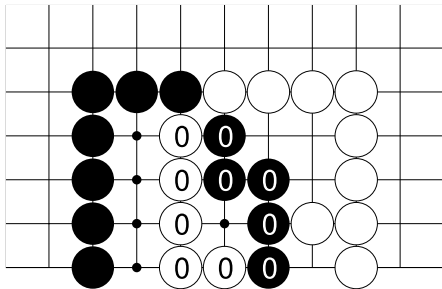
組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGTを用いた複合的攻合いの解析

おわりに



白：5手

印は対象ブロック



攻合い局面の例

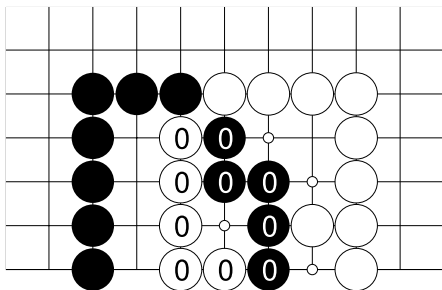
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



黒：4手

印は対象ブロック



攻合い局面の例

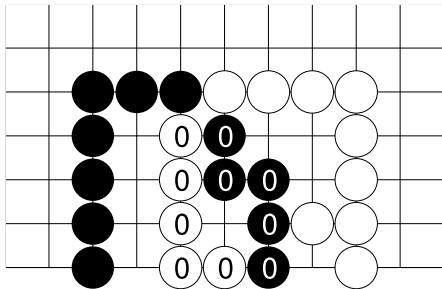
組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGTを用いた複合的攻合いの解析

おわりに



印は対象ブロック

黒4手 对白5手

白攻合い勝ち

戻る



組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



CGT を用いた攻合い解析の例

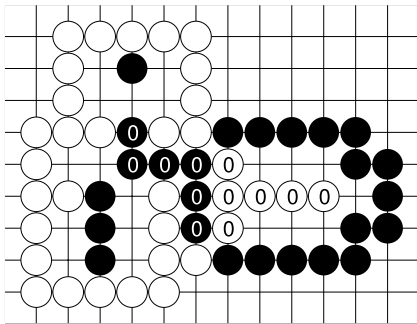
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに





CGT を用いた攻合い解析の例

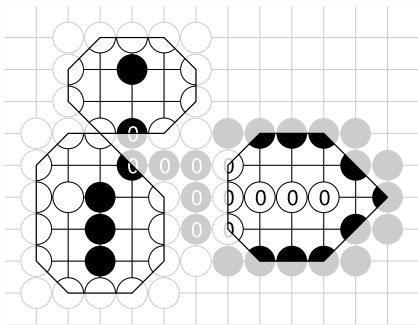
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに





CGT を用いた攻合い解析の例

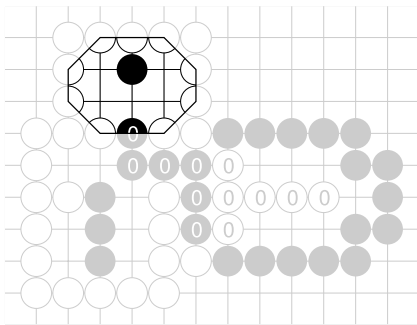
組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

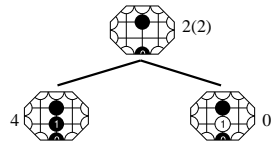
複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに



部分局面 A:



ゲーム : $\{4 \mid 0\}$

冷却値 : 2^*



CGT を用いた攻合い解析の例

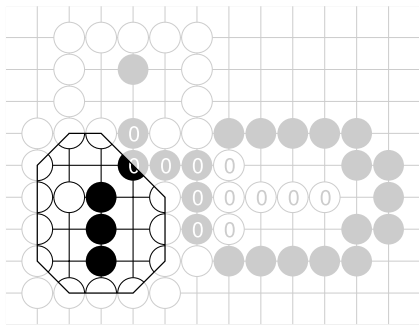
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

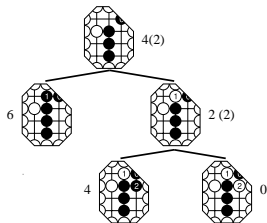
複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



部分局面 B:



ゲーム : $\{6 \parallel 4 \mid 0\}$

冷却値 : $4\uparrow$



CGT を用いた攻合い解析の例

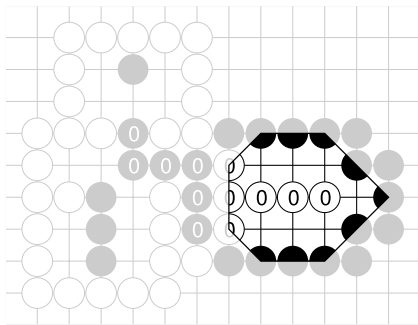
組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



部分局面 C:

ゲーム : -7

冷却値 : -7



CGT を用いた攻合い解析の例

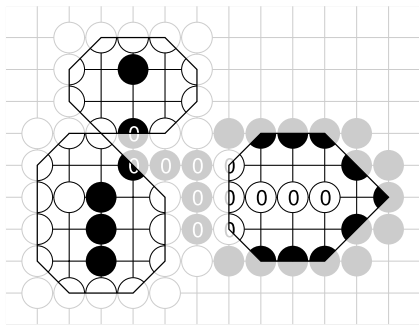
組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに



冷却値の合計: $-1\uparrow*$

$$(2* + 4\uparrow - 7 = -1\uparrow*)$$

先着勝ち



CGT を用いた攻合い解析の例

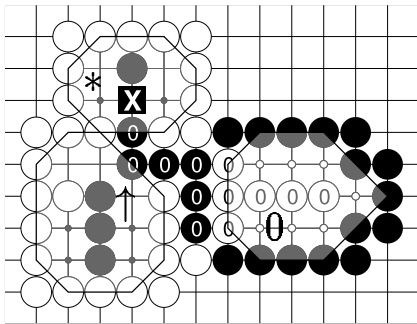
組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに



冷却値の合計: $-1\uparrow^*$

$(2^* + 4\uparrow - 7 = -1\uparrow^*)$

先着勝ち

◀ 戻る



組合せゲーム
理論を用いた
囲碁の複合的
攻合いの解
析法

研究の背景と
目的

複合的攻合い
の解析

CGT を用いた
複合的攻合い
の解析

おわりに



複合的攻合いの勝敗

組合せゲーム理論を用いた囲碁の複合的攻合いの解析法

研究の背景と目的

複合的攻合いの解析

CGT を用いた複合的攻合いの解析

おわりに

- (1) $X1 \leftarrow Y \Rightarrow X2$: Y の勝ち
- (2) $X1 \Rightarrow Y \leftarrow X2$: X の勝ち
- (3) $X1 \Rightarrow Y \Rightarrow X2$: Y の勝ち
- (4) $X1 \Leftrightarrow Y \Leftrightarrow X2$: Y の勝ち
- (5) $X1 \Leftrightarrow Y \Rightarrow X2,$
 $X1 \Leftrightarrow Y \leftarrow X2$: Y の勝ち
- (6) $X1 \Leftrightarrow Y \leftarrow X2$: Y の勝ち
- (7) $X1 \leftrightarrow Y \leftrightarrow X2$: **先着勝ち**
- (8) $X1 \leftarrow Y \Rightarrow X2$: Y の勝ち
- (9) $X1 \leftarrow Y \leftarrow X2$: 先着勝ち

($X \Rightarrow Y$: X の勝ち
 $X \leftarrow Y$: 先着側の勝ち
 $X \Leftrightarrow Y$: セキ)

