モンテカルロ木探索における差分ゲームを用いた最善手探索

中村貞吾[1]　石田竹至[2]

[1] 九州工業大学 大学院情報工学研究院

[2] 九州工業大学 情報工学府

第 20 回ゲームプログラミングワークショップ

2015 年 11 月 6 日 (金)

研究の背景と目的

- モンテカルロ木探索 (MCTS) $\Longrightarrow$ コンピュータ囲碁の実力向上
  - 現在はアマ高段者レベル
- 残る問題点
  - 死活や攻合いの探索
  - 形勢が開いた状態での着手
    - 勝率に基づく局面評価
    - 形勢が一方に大きく傾いている状況では，どの着手を選択してもプレイアウトの勝率に差がない
    - 有効な着手が発見できない
  - 終盤のヨセ
    - 勝敗に関係ない部分のヨセがルーズ
    - (棋力に合わない) おかしな着手や損な着手 $\Longleftarrow$ 改善したい

研究の背景と目的

- DAKV (Dynamically Adjusting Komi Value)
  - 置碁などの形勢に偏りがある場合でも有効な着手を発見
  - 仮想的なコミ (dynamic komi) を用いて勝敗の境界をずらして，プレイアウトの勝率を 50% 近くになるよう調整
  - dynamic komi の調整法
    - Linear-Handicap, Score-Situational, Value-Situational
    - 調整幅，調整のタイミングのパラメータ
  - 置碁の対戦実験で有効性を示した
    - 置碁の黒番と白番では有効な手法が異なる
    - 局面 (有利さの度合) が違えば有効なパラメータも違ってくる
- もっと簡便かつ有効な方法はないか？

研究の背景と目的

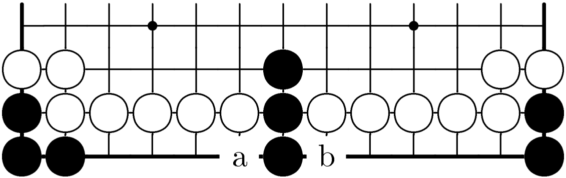
- 組合せゲーム理論 (CGT)
  - 全体の局面が独立した部分局面の和に分解できるゲームの解析に大きな威力
  - Nim, Domineering, Hackenbush, Dots and Boxes, ...
  - 囲碁はそういった部分性の強いゲーム
    - ヨセ局面の解析 解析例, 眼形の解析，攻合いの解析
  - 差分ゲーム を用いた解析手法
    - 任意の局面に対して，その「反転」との和 $\Longrightarrow$ 形勢互角の局面
    - 着手の大小比較 $\Longleftrightarrow$ 局面の勝敗比較
- 差分ゲームを用いることにより，MCTS の弱点であった「形勢が開いた (ヨセ) 局面の探索」性能の改善

研究の背景と目的

- 組合せゲーム理論 (CGT)
  - 全体の局面が独立した部分局面の和に分解できる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
    - ヨセ局面の解析 ▸ 解析例, 眼形の解析，攻合いの解析
  - 差分ゲーム を用いた解析手法
    - 任意の局面に対して，その「反転」との和 $\Longrightarrow$ 形勢互角の局面
    - 着手の大小比較 $\Longleftrightarrow$ 局面の勝敗比較
- 差分ゲームを用いることにより，MCTS の弱点であった「形勢が開いた (ヨセ) 局面の探索」性能の改善

差分ゲーム

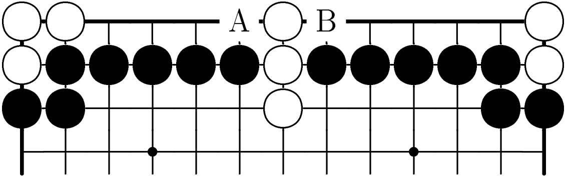
G :



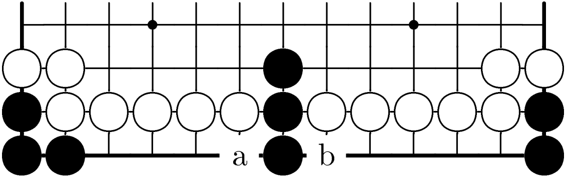
黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

差分ゲーム

$\overline{G}$:



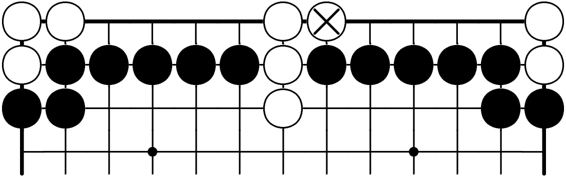
G :



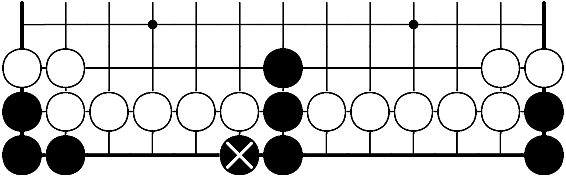
差分ゲーム： $G + \overline{G}$

差分ゲーム

$\overline{G_B}$:



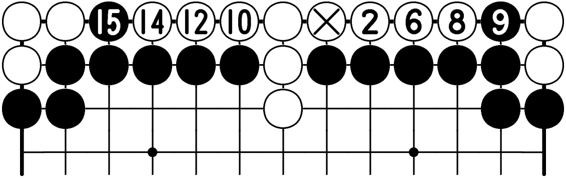
G_a :



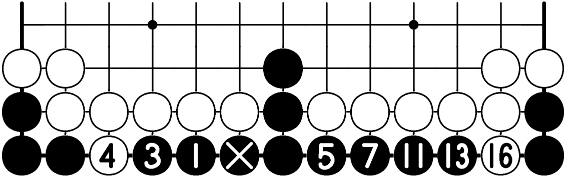
$$G_a + \overline{G_B}$$

差分ゲーム

$\overline{G_B}$:



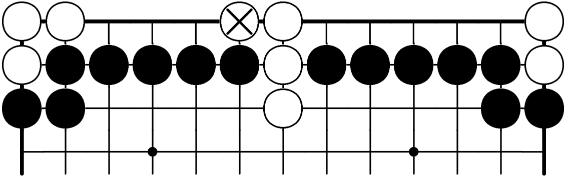
G_a :



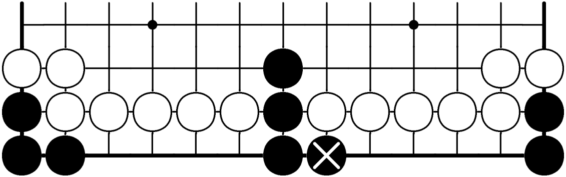
$G_a + \overline{G_B}$ ：ジゴ

差分ゲーム

$\overline{G_A}$:



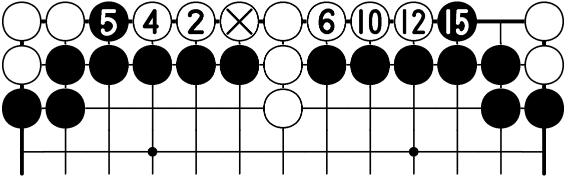
G_b :



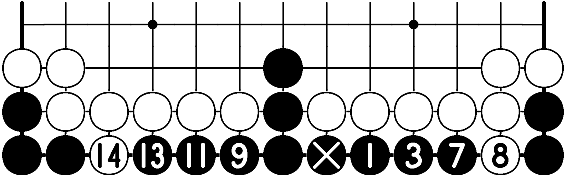
$$G_b + \overline{G_A}$$

差分ゲーム

$\overline{G_A}$ ：



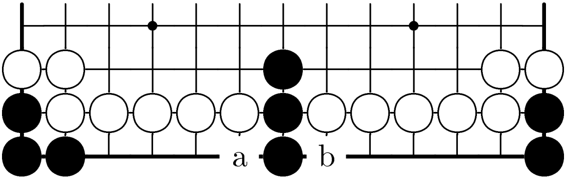
G_b ：



$G_b + \overline{G_A}$ ：黒 1 目勝

差分ゲーム

G :

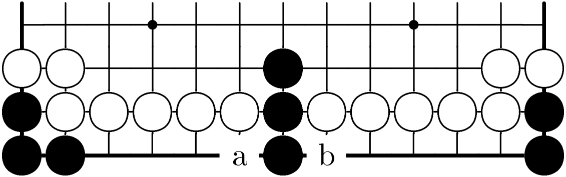


黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$
\begin{cases}
G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\
G_a + \overline{G_B} & \text{は 黒先ジゴ} \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち}
\end{cases}
$$

差分ゲーム

G :



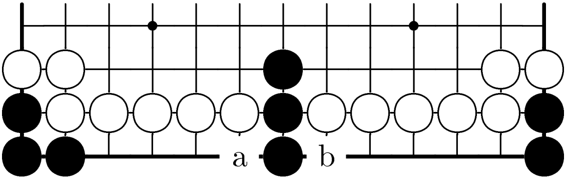
黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$\begin{cases} G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\ G_a + \overline{G_B} & \text{は 黒先ジゴ} \\ G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち} \end{cases}$$

$\Longrightarrow$ 黒 b が大きい

差分ゲーム

G :

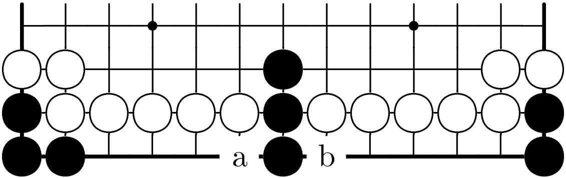


黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$\begin{cases} G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\ G_b + \overline{G_A} & \text{は 白先ジゴ} \\ G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち} \end{cases}$$

差分ゲーム

G :

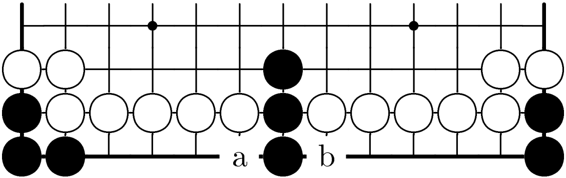


黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$
\begin{cases}
G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 白先ジゴ} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \geqq 0 \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \mathrel{|\!\rhd} 0
\end{cases}
$$

差分ゲーム

G :



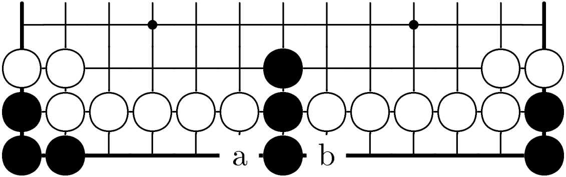
黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$\begin{cases} G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\ G_b + \overline{G_A} & \text{は 白先ジゴ} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \geqq 0 \\ G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \mathrel{|\!\rhd} 0 \end{cases}$$

$$G_b + \overline{G_A} > 0$$

差分ゲーム

G :



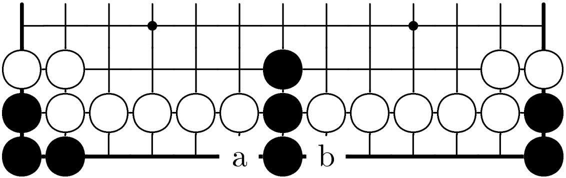
黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$
\begin{cases}
G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 白先ジゴ} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \geqq 0 \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \mathrel{|\!\rhd} 0
\end{cases}
$$

$$
G_b > G_a \quad \Leftarrow \quad G_b + \overline{G_A} > 0
$$

差分ゲーム

G :



黒 a と 黒 b のどちらが大きい?

$$
\begin{cases}
G + \overline{G} & \text{は 全くの互角} \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 白先ジゴ} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \geqq 0 \\
G_b + \overline{G_A} & \text{は 黒先黒勝ち} \quad \Leftrightarrow \quad G_b + \overline{G_A} \mathrel{|\!\rhd} 0
\end{cases}
$$

黒 b が大きい $G_b > G_a \quad \Leftarrow \quad G_b + \overline{G_A} > 0$

差分ゲームを用いたモンテカルロ木探索

- DAKV では dynamic komi を動的に変化させることで勝率 50% 近くになるよう調整
- 差分ゲームの手法では，G がどんな (に形勢が開いた) 局面であっても，形勢互角の局面は $G+\overline{G}$ として簡単に作れる
- その中で，特定の着手 a と b の比較は前述の手法で行なえる
- 通常の意味での探索は，この比較を全ての着手に対して行なえばよい

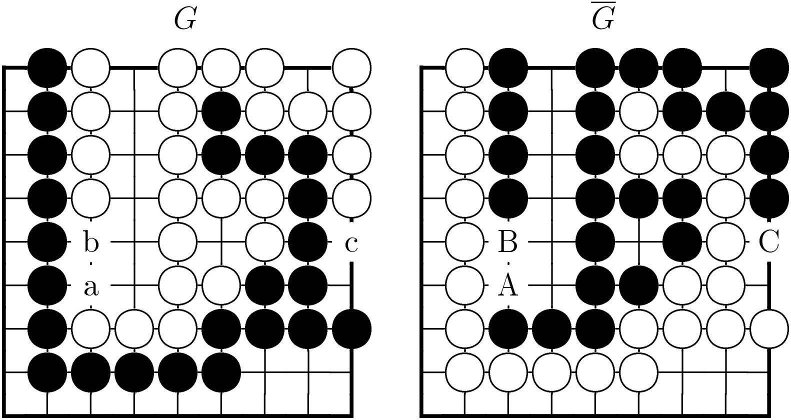
差分ゲームを用いたモンテカルロ木探索

- 通常の MCTS のプレイアウト部を以下の手順に置換える

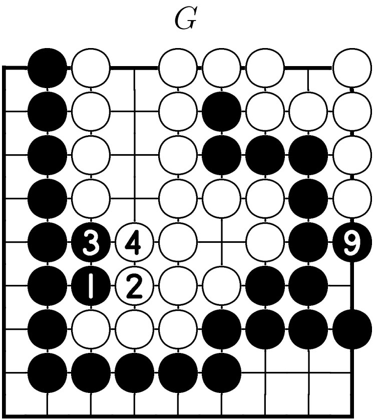
【差分ゲームを用いたプレイアウト】

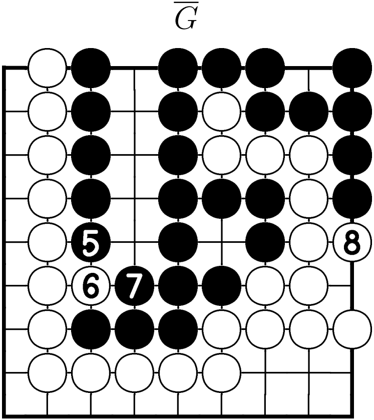
- 探索のルート局面 G に対して，反転 $\overline{G}$ を作成
- 手番のプレイヤは G か $\overline{G}$ のいずれか一つを任意に選んで着手
  - 先手プレイヤの初手は G 内に着手
  - 後手プレイヤが $\overline{G}$ に先着する場合は，先手プレイヤの G の初手の真似着手は禁止
- それ以外は，通常のルールどおりに両方の盤面を自由にプレイしてよく，最終的にパスパスで終局
- 終局時に，G のスコアと $\overline{G}$ のスコアの合計値により勝敗判定

差分ゲームによる解析例：P1-B



差分ゲームによる解析例：P1-B

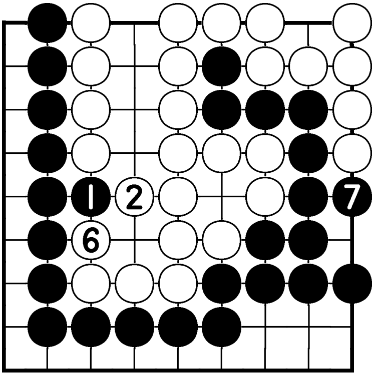


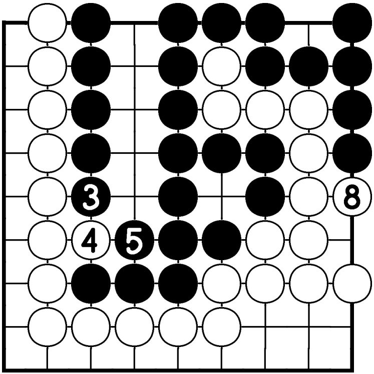


黒 a： 黒 1 目勝

差分ゲームによる解析例：P1-B

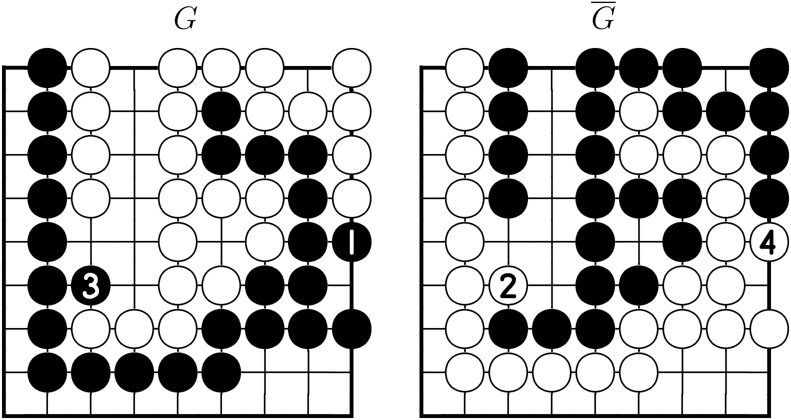
G $\overline{G}$





黒 b： ジゴ

差分ゲームによる解析例：P1-B



黒 c：　ジゴ (同形)

実験

- オープンソースの libEGO に提案手法を実装
- ヨセの次の一手問題を解く実験
- 使用した問題
  - 囲碁関西 2013 年 1 月号〜12 月号に掲載された棋力認定問題 (級位者の部) の中のヨセ問題を元にして，実験用に配置を修正
  - A 題は (唯一の) 正解手以外では勝てない問題
  - B 題は最善手以外に着手しても勝敗に影響しない問題
- 性能比較のため
  - Fuego (ver.1.1)
  - Pachi (ver.10.00 Satsugen)　DAKV 有/無 のオプション

にも同じ問題を解かせた

実験

問題	Fuego		Pachi				libEGO			
			DAKV 無		DAKV 有		オリジナル		**提案手法**	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
P1	100	6	100	0	99	0	100	0	100	**83**
P2	100	29	100	0	100	0	100	0	59	**99**
1	100	100	100	97	100	100	100	93	**35**	93
2	100	100	100	100	99	99	100	100	97	97
3	100	100	100	100	98	100	100	48	100	**100**
4	100	100	100	94	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100
6	100	10	100	100	100	100	100	100	**43**	73
7	100	100	100	0	100	19	100	0	87	**91**
8	100	3	100	20	100	**79**	100	0	**4**	0
9	100	0	100	0	93	0	97	0	**4**	1
10	100	100	100	59	99	**99**	100	0	100	**98**
11	100	0	100	0	100	**50**	100	58	98	56
12	100	0	100	0	84	18	88	0	**0**	0

表中の数字は正解率

まとめ

- モンテカルロ碁の弱点であった，
  - 形勢が開いた状態での着手
  - 終盤のヨセのルーズさ

を解消するために，差分ゲームを用いた探索手法を提案

- libEGO に実装しヨセ問題を解く実験
  - 形勢が開いた局面で，かつ，fuego や pachi が発見できない正解手を発見できた (一定の成果)
  - 局面によって正解できるものとできないものがある
  - 正解の発見が勝敗を左右する問題で通常の探索で発見できていた正解手を差分ゲームの探索では見逃す場合もあった
  - 原因の分析が必要

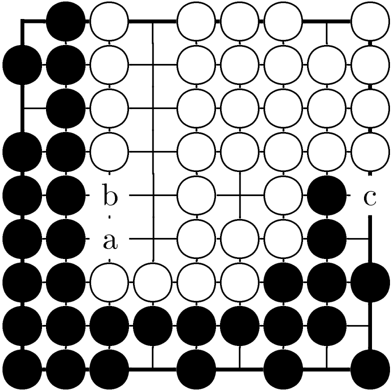
失敗原因 (?)

- 全体局面 G がいくつかの部分ゲームの和

$$G = H_1 + H_2 + H_3 + \ldots + H_n$$

- $H_1 = \left\{H_1^L \mid H_1^R\right\}$ と $H_2 = \left\{H_2^L \mid H_2^R\right\}$ への着手の大小比較
- 差分ゲーム：$G + \overline{G}$ で考慮されるのは，$H_1^L + \overline{H_2^L}$ と $H_2^L + \overline{H_1^L}$ の勝ち負け
- 残りの $H_3, \ldots, H_n$ には関係なく H_1 と H_2 のみから定まる
- 実際には，$(H_3 + \overline{H_3})$, $\ldots$, $(H_n + \overline{H_n})$ も加えて探索するが，各々の和は 0 なので，H_1 と H_2 の着手の優劣を測っている
- H_1 と H_2 が比較不能 ($H_1 \parallel H_2$) の場合は，それ以外のどんな局面と合わさるかによって最善手が変わるはずだが，差分ゲームではそれ以外の局面が除外されるので誤る可能性

ヨセ局面の解析例：P1-A



戻る

左の局面：G

$$Cool(G,1) = \{G_a, G_b \mid G_B\} - 4$$

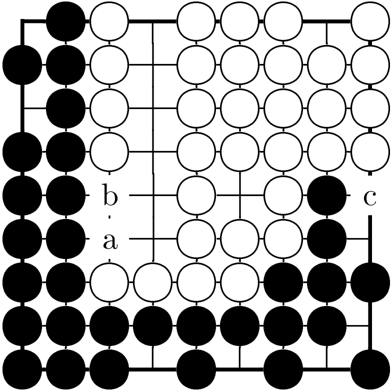
$$\begin{cases} G_a &= \{\boldsymbol{\vdash\!\dashv}_6 \mid 0^3\} \\ G_b &= \{\boldsymbol{\vdash\!\dashv}_6 \mid 0^2 \parallel -\frac{1}{2}\} \\ G_B &= \{\boldsymbol{\vdash\!\dashv}_8 \mid 0^5\} \end{cases}$$

$G_a > G_b$ なので G_b は枝刈り

$$\begin{aligned} Cool(G,1) &= \{G_a \mid G_B\} - 4 \\ &= \{\boldsymbol{\vdash\!\dashv}_6 \mid 0^4\} - 4 \end{aligned}$$

ヨセ局面の解析例：P1-A

戻る



右の局面：H

$$H = \{1 \mid 0\}$$

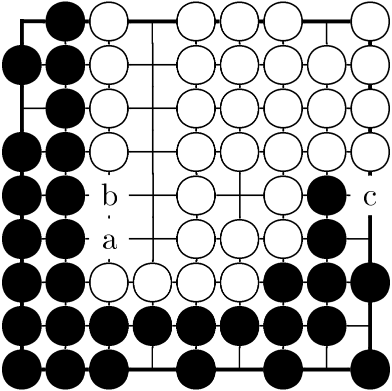
$$\begin{aligned} Cool(H, 1) &= \{1 - 1 \mid 0 + 1\} \\ &= \{0 \mid 1\} \\ &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

G の温度 $= 1$, H の温度 $= \frac{1}{2}$

黒 a が最善

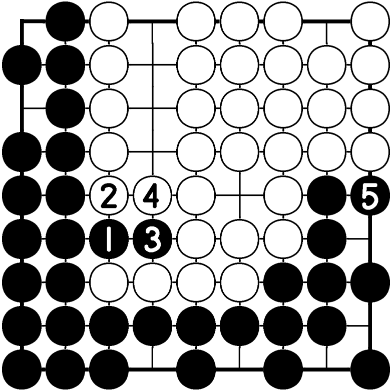
ヨセ局面の解析例：P1-A

◂ 戻る



正解手順

ヨセ局面の解析例：P1-A



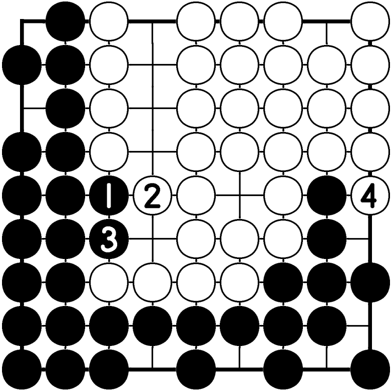
戻る

正解手順

黒 7 目，白 6 目 $\Longrightarrow$ 黒 1 目勝

ヨセ局面の解析例：P1-A

戻る

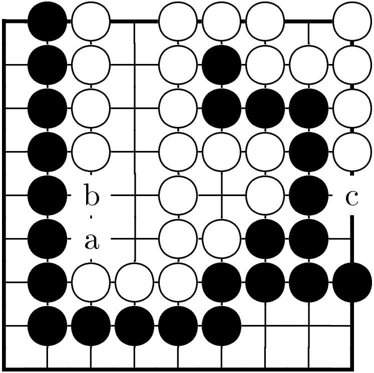


黒の失敗

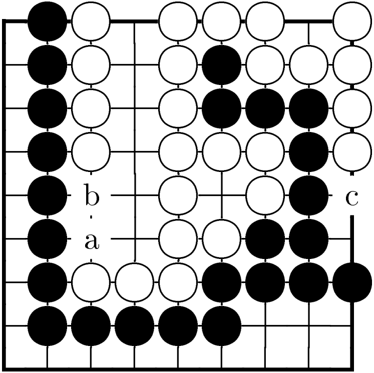
黒 6 目，白 6 目 $\Longrightarrow$ ジゴ

ヨセ局面の解析例：P1-B

戻る



ヨセ局面の解析例：P1-B



戻る

左の局面：G

$$\begin{aligned} Cool(G,1) &= \{G_a G_b \mid G_B\} - 4 \\ &= \{\text{⧿}_6 \mid 0^4\} - 4 \end{aligned}$$

右の局面：H

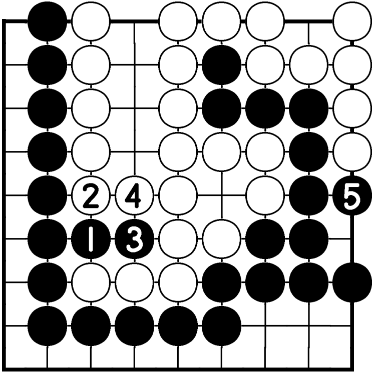
$$Cool(H,1) = \frac{1}{2}$$

G の温度 $= 1$, H の温度 $= \frac{1}{2}$

黒 a が最善

ヨセ局面の解析例：P1-B

◂ 戻る

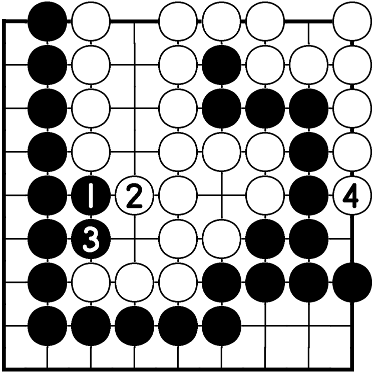


正解手順

黒 21 目，白 6 目 $\Longrightarrow$ 黒 15 目勝

ヨセ局面の解析例：P1-B

◂ 戻る

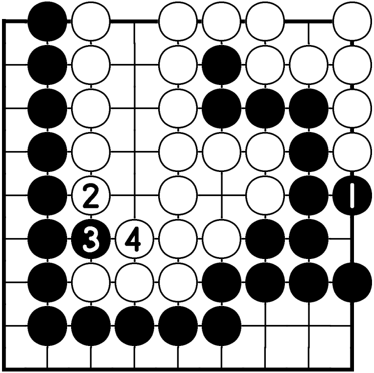


黒の失敗 (?)

黒 20 目，白 6 目 $\Longrightarrow$ 黒 14 目勝

ヨセ局面の解析例：P1-B

戻る



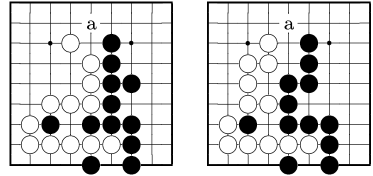
黒の失敗 (?)

黒 21 目，白 7 目 $\Longrightarrow$ 黒 14 目勝

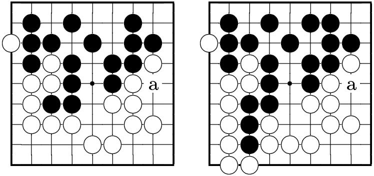
使用したヨセ問題

A　B　A　B

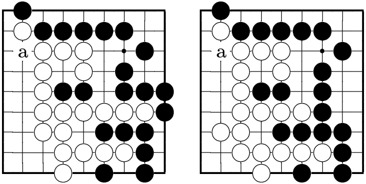
(1)



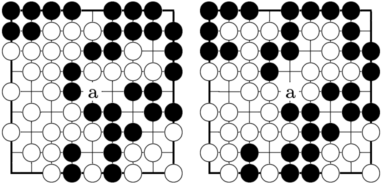
(2)



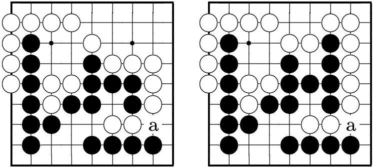
(3)



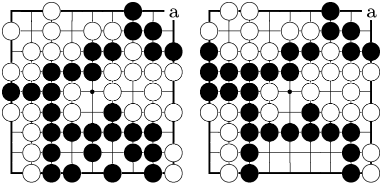
(4)



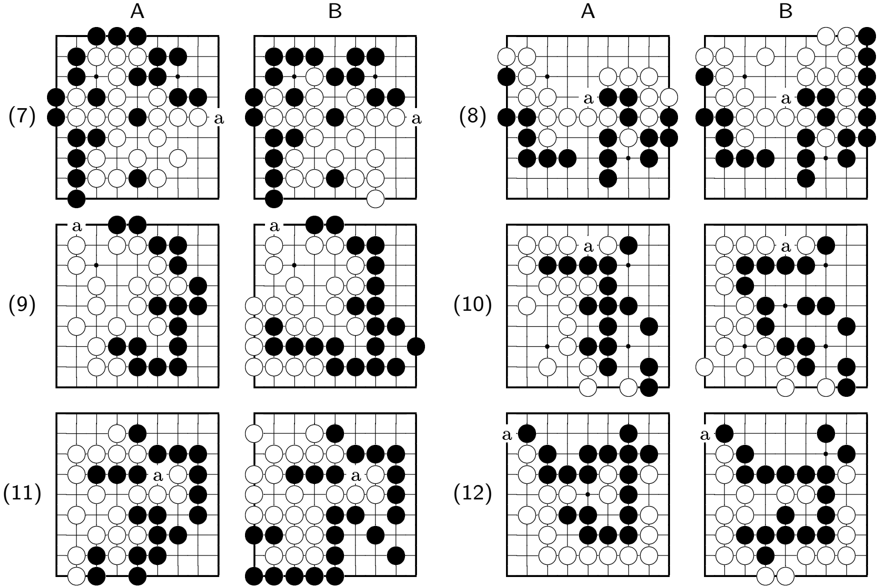
(5)



(6)

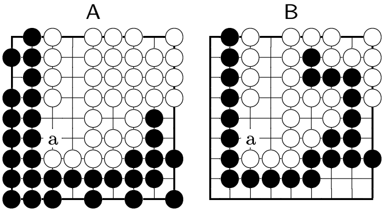


使用したヨセ問題



使用したヨセ問題

(P1)



(P2)