

パネル討論：「コンピュータ囲碁はいつトッププロに勝てるか？」

コンピュータ囲碁研究の現状と展望

中村貞吾

九州工業大学大学院 情報工学研究院 知能情報工学研究系

2008年9月4日(木)



はじめに

- チェス
 - 1997年にコンピュータが人間名人に勝利



はじめに

- チェス
 - 1997年にコンピュータが人間名人に勝利

- 将棋
 - 1996年にアマ初段 \implies 現在はアマトップクラス
 - Xデーは目前



はじめに

- チェス
 - 1997年にコンピュータが人間名人に勝利
- 将棋
 - 1996年にアマ初段 \implies 現在はアマトップクラス
 - Xデーは目前
- 囲碁



はじめに

- チェス
 - 1997年にコンピュータが人間名人に勝利
- 将棋
 - 1996年にアマ初段 ⇒ 現在はアマトップクラス
 - Xデーは目前
- 囲碁
 - 1995年にアマ5級 ⇒ 2001年にアマ初段の認定
 - だが，実質的には級位者のレベル (数年前までは)



はじめに

- チェス
 - 1997年にコンピュータが人間名人に勝利
- 将棋
 - 1996年にアマ初段 ⇒ 現在はアマトップクラス
 - Xデーは目前
- 囲碁
 - 1995年にアマ5級 ⇒ 2001年にアマ初段の認定
 - だが，実質的には級位者のレベル (数年前までは)
 - 2006年に登場した CrazyStone の衝撃
 - その後のモンテカルロ碁のめざましい進歩...



囲碁プログラムの難しさ



囲碁プログラムの難しさ

- 探索空間が広い
 - 19×19 の広い盤面
 - 分岐数が多い (空点のほとんどが合法手)



囲碁プログラムの難しさ

- 探索空間が広い
 - 19×19 の広い盤面
 - 分岐数が多い (空点のほとんどが合法手)
- 局面評価が難しい
 - 黒石と白石のみ
 - チェスや将棋のように駒の役割が決まっていない
 - 石の形などの局所的な評価だけでは不足
 - 勝敗を決定づける「地」が確定するのは最終盤



囲碁プログラムの難しさ

- 従来型のプログラムでは

- ① 盤面認識

- 点，連 (string)，群 (group)，眼，地，連結の認識
 - 群の強さ，安全度，影響力の認識

- ② 候補手生成

- 定石，死活，ヨセ，石の形などに関するパターン知識
 - 着手の目的：地を囲う，模様を広げる，自分の石を守る，相手の石を攻める，...
 - 捕獲可能性に関する限定的な先読み

- ③ 着手選択

- 各候補手の評価と探索



モンテカルロ碁

- 囲碁の評価関数作成は難しい
 - 終局状態になるまで乱数にしたがって着手を続ければ，最後は容易に勝敗判定ができる
- Expected Outcome モデル [Abramson, 1990]
 - 末端局面で評価関数を呼ぶかわりに，モンテカルロシミュレーション (プレイアウト) の平均スコアによって局面評価を行なう手法
- 長所：
 - 局面評価のためのドメイン依存の知識が不要
 - 容易に計算可能
- 囲碁は，最善手以外にもそれに近い次善手が比較的多い



モンテカルロ碁

- Gobble [Brugmann, 1993]
 - 最初のモンテカルロ碁
 - 焼きなまし法 (Simulated Annealing) を使用
 - 合法手をランダムにプレイ (プレイアウト) \implies スコア
 - AMAF (All Moves As First) ヒューリスティクス
 - 着手毎に, それが出現するプレイアウトのスコアを平均
 - 候補手リスト: 平均スコアの高い順にソート
 - リスト中の着手の交換 (近傍の調査) しながら「焼きなまし法」で最適な候補手リストを探していく
 - 囲碁の知識は「眼を埋めない」のみ
 - 9路盤で 20~25 級程度の強さ



モンテカルロ碁

- 4～5年前頃からモンテカルロ碁が再登場
 - Indigo, Golois, CrazyStone, MoGo, ...
- 2006年のComputer Olympiadの9路盤大会でCrazyStoneが優勝したことで一躍脚光を浴びる
- Expected Outcome モデル + UCT 木探索法
- 現在は, 19路盤でも急速に強くなっている



- 多腕バンディット問題

- 腕が複数あるスロットマシン
- 腕毎に当たりの確率が異なる
- 多数回プレイする中で一番儲けるには？
- 「探検」と「収穫」のジレンマ
- 過去の選択と儲けに基づいてどの腕を選ぶかをうまく決める必要がある

- UCB (Upper Confidence Bounds)

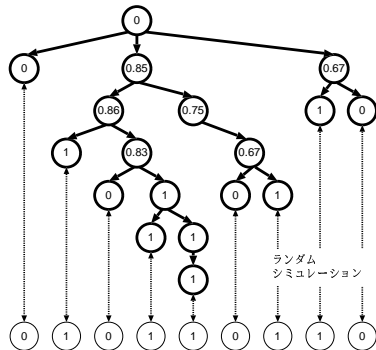
- 下式を最大にする腕をプレイする

$$\text{腕 } x \text{ の平均の儲け} + \sqrt{\frac{2 \times \log(\text{全体のプレイ回数})}{\text{腕 } x \text{ をプレイした回数}}}$$



UCT 木探索法

- UCT (UCB applied to Trees)
 - ゲーム木のノードをバンデジット, その子ノードを独立した腕だとみなす
 - 評価値の高い枝をより多く探索する
 - 探索回数が閾値を越えた末端ノードは下方に成長させる



Computer Olympiad 大会での成績

- 2005 年 9 路盤部門 (9 プログラム)
 - 3 位 : Indigo
 - 6 位 : Golois
- 2006 年 9 路盤部門 (11 プログラム)
 - **優勝 : CrazyStone**
- 2006 年 19 路盤部門 (6 プログラム)
 - 3 位 : Indigo
 - 5 位 : CrazyStone



モンテカルロ碁の台頭

- 2007 年 9 路盤部門 (10 プログラム)
 - 8 プログラムがモンテカルロ碁 (1 位 ~ 8 位を独占)
 - 優勝 : Steenvreter
 - 2 位 : MoGo
 - 3 位 : CrazyStone
 - 4 位 : Indigo
 - ...
- 2007 年 19 路盤部門 (8 プログラム)
 - 5 プログラムがモンテカルロ碁
 - 優勝 : MoGo
 - 2 位 : CrazyStone
 - 3 位 : GnuGo (従来型プログラム)



モンテカルロ碁の台頭

- 2008年3月 (パリの囲碁大会)
 - プロ棋士 (5段) 対 MoGo のエキシビジョンマッチ
 - 9路盤で1勝 (2敗) をあげる!
 - 19路盤の9子局は負け
- 2008年8月 (US Go Congress)
 - プロ棋士 (8段) 対 MoGo のエキシビジョンマッチ
 - 19路盤の9子局 (持時間は1時間) で勝利!



- 探索の改良
 - Progressive Widening
 - 探索木を成長させる際に、最初からすべての合法手を展開するのではなく、良さそうな手から順次追加していく
 - AMAF (All Moves As First) / RAVE (Rapid Action Value Estimation)
 - プレイアウト中に打たれたすべての着手に対して、それが最初に打たれたものだと仮定して学習する
- プレイアウトの改良
 - パターンの重みを用いたプレイアウト



モンテカルロ碁の特徴

- プレイスタイル

- 布石なしの序盤 (力碁?)
- 中央重視の傾向
- 勝つときは細かい
 - 安全勝ちを目指す
 - 半目勝ちが多い ⇒ **ヨセは完璧 (?)**
- 負けるときは大差
 - 半目負けも 100 目負けも，負けは負け

- 弱点

- 最善手が 1 手だけしかない長手順の探索が難しい
 - シチョウ，死活，攻合いなど

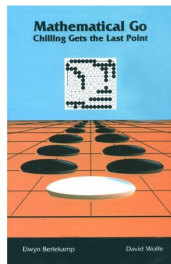


囲碁のヨセ

- 組合せゲーム理論 (CGT)

- Berlekamp, Wolfe : "Mathematical Go", (1994)

- 1目を争う最終盤のヨセ局面を数学的に厳密に解析
- 手止りを打つ技術
- プロ棋士も悩まされるような複雑なヨセ問題に見事に正解を与える



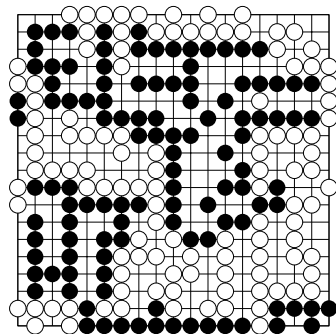
- 訳本「囲碁の算法」(トッパン)

- 初めて、英語から日本語に翻訳された棋書(?)

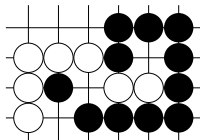
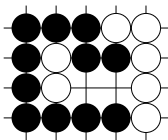
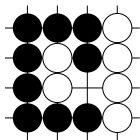


組合せゲーム理論を用いた局面解析

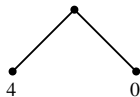
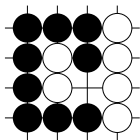
- 囲碁のヨセ局面は部分的なヨセ局面の集り
- 各部分局面の解析の「和」
 - 全局的な形勢判断や最善手の導出
 - 全局的な探索に比べて探索量を大幅に削減可能
- 部分局面の表現
 - 手番の概念を捨てる！
(部分局面内では連続着手もある)
 - 黒，白の各々が先着した場合の状況を合わせて1つの数として表現



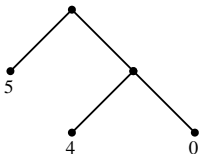
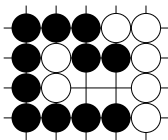
ヨセの部分ゲーム



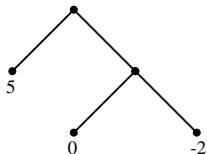
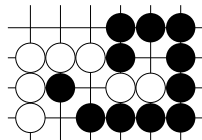
ヨセの部分ゲーム



$\{4 \mid 0\}$



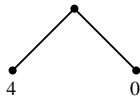
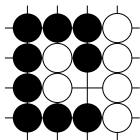
$\{5 \mid \{4 \mid 0\}\}$



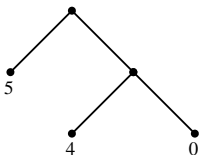
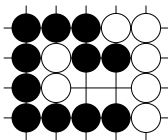
$\{5 \mid \{0 \mid -2\}\}$



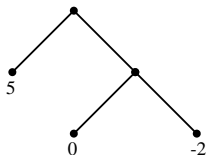
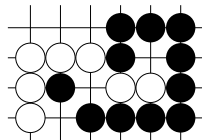
ヨセの部分ゲーム



$$\{4 \mid 0\}$$



$$\{5 \mid \{4 \mid 0\}\}$$

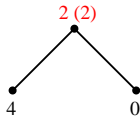
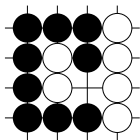


$$\{5 \mid \{0 \mid -2\}\}$$

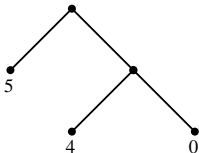
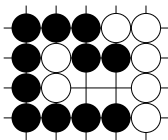
- 平均 = 2
- 一手の価値 = 2



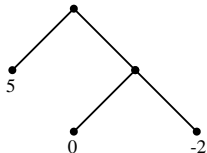
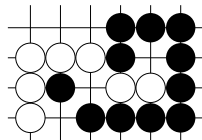
ヨセの部分ゲーム



$$\{4 \mid 0\}$$



$$\{5 \mid \{4 \mid 0\}\}$$

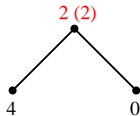
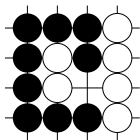


$$\{5 \mid \{0 \mid -2\}\}$$

- 平均 = 2
- 一手の価値 = 2

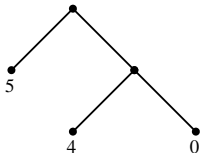
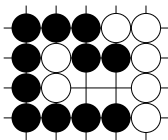


ヨセの部分ゲーム

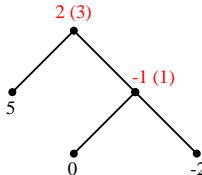
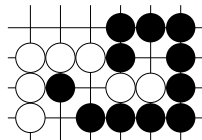


$$\{4 \mid 0\}$$

- 平均 = 2
- 一手の価値 = 2



$$\{5 \mid \{4 \mid 0\}\}$$

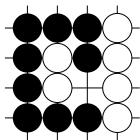


$$\{5 \mid \{0 \mid -2\}\}$$

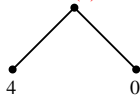
- 平均 = 2
- 一手の価値 = 3



ヨセの部分ゲーム

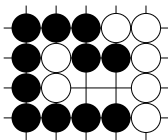


2 (2)

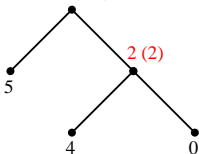


{4 | 0}

- 平均 = 2
- 一手の価値 = 2

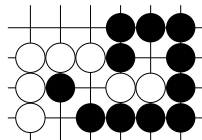


7/2 (3/2) ?

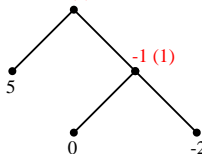


{5 | {4 | 0}}

- 平均 = 3.5?
- 一手の価値 = 1.5?



2 (3)

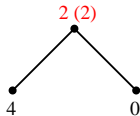
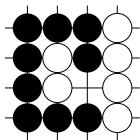


{5 | {0 | -2}}

- 平均 = 2
- 一手の価値 = 3

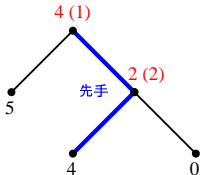
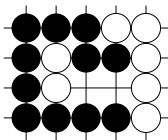


ヨセの部分ゲーム



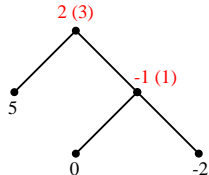
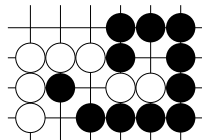
$\{4 \mid 0\}$

- 平均 = 2
- 一手の価値 = 2



$\{5 \mid \{4 \mid 0\}\}$

- 平均 = 4
- 一手の価値 = 1



$\{5 \mid \{0 \mid -2\}\}$

- 平均 = 2
- 一手の価値 = 3



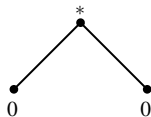
ヨセに関する棋書

- 「ヨセ・絶対計算」(王銘エン九段著, 毎日コミュニケーションズ)
 - 局面の平均値, 一手の大きさ, 先手, 後手, 逆ヨセ, コウ, などの概念を, 囲碁ブレイヤ向けに詳説



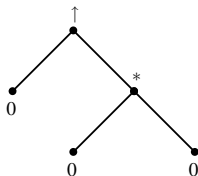
特徴的な部分ゲーム

- スター



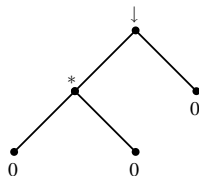
(両後手)

- アップ



(白準先手)

- ダウン

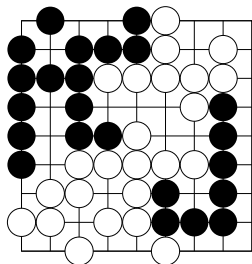
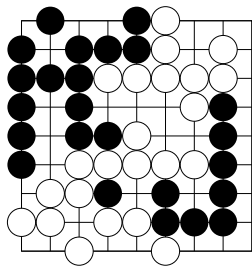


(黒準先手)

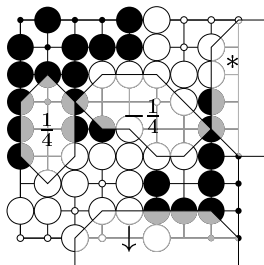
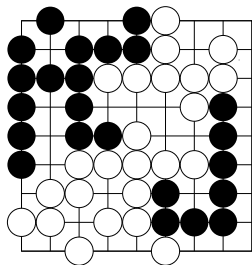
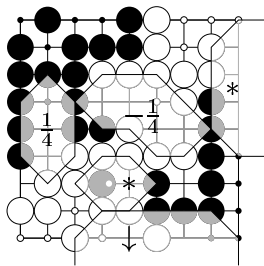
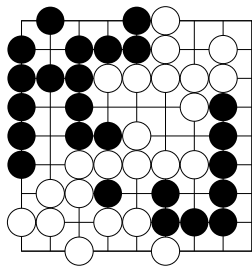
- $* + * = 0$ (2つの * は見合いでキャンセル!)
- $\uparrow + \downarrow = 0$ (\uparrow と \downarrow は見合いでキャンセル!)
- $\uparrow > 0$ (黒が手止り)
- $\downarrow < 0$ (白が手止り)



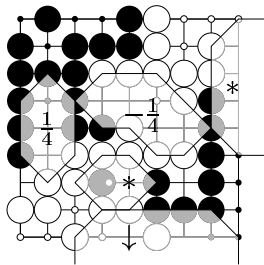
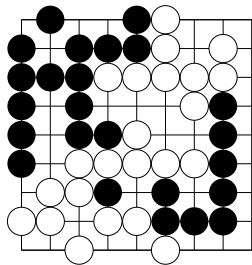
2つのヨセ問題 (白番) : 上下別々の問題



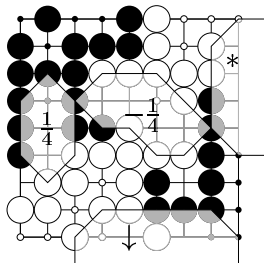
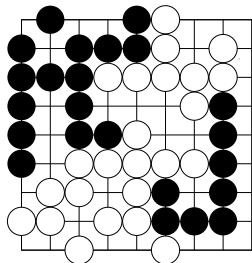
2つのヨセ問題 (白番) : 上下別々の問題



2つのヨセ問題 (白番) : 上下別々の問題



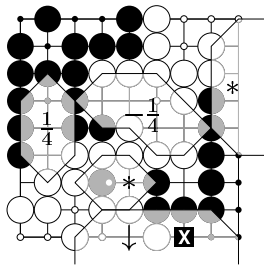
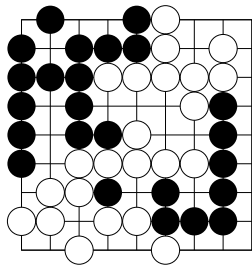
● 合計 : ↓



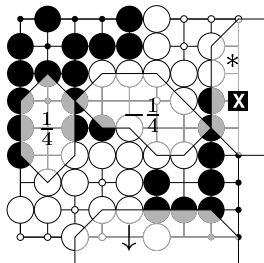
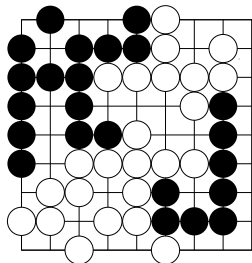
● 合計 : ↓*



2つのヨセ問題 (白番) : 上下別々の問題



● 合計 : ↓

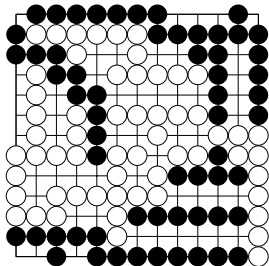
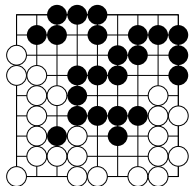


● 合計 : ↓*



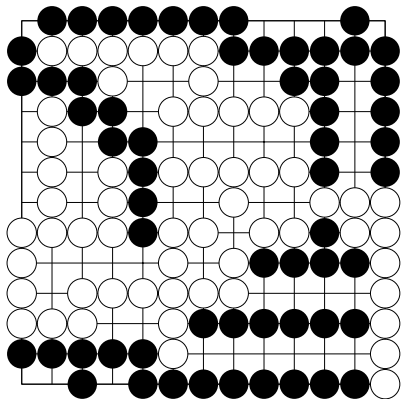
ヨセ問題

- MoGo に Mathematical Go にある 9 路盤と 13 路盤のヨセ問題を解かせてみた
- かなりの問題で正解手を発見 (準正解も含む) したが, 解けない問題もあった



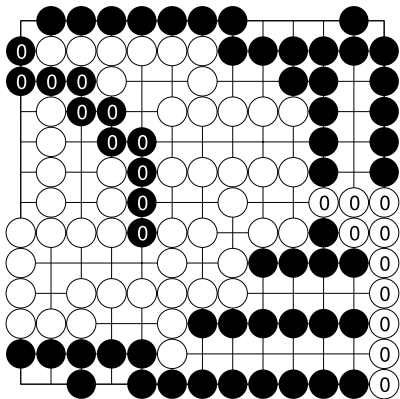
ヨセ問題 (A)

- Mathematical Go の問題



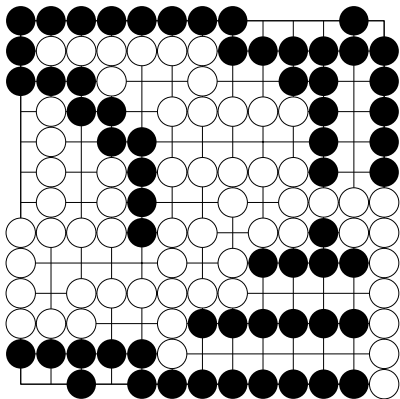
ヨセ問題 (A)

- 丸印の一団がアタリになると...



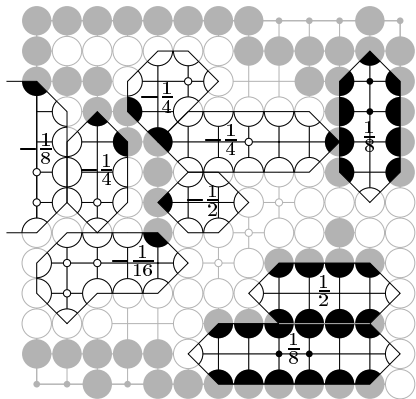
ヨセ問題 (B)

- ツギがある場合は簡単



ヨセ問題 (B)

- ツギがある場合は簡単

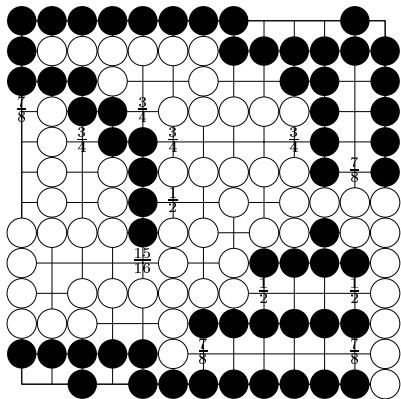


- 合計: $-\frac{11}{16}$



ヨセ問題 (B)

- ツギがある場合は簡単

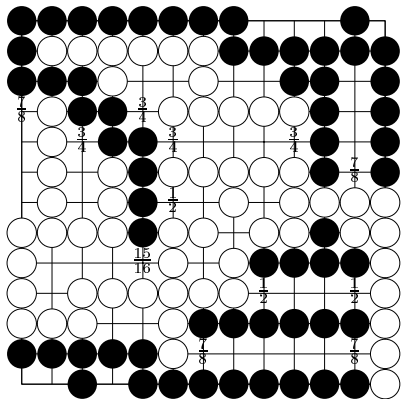


- 合計: $-\frac{11}{16}$



ヨセ問題 (B)

- ツギがある場合は簡単



- 合計: $-\frac{11}{16}$

- 白先

- どこに打っても白 1 目勝ち

- 黒先

- $\frac{1}{2}$ 以外に打てばジゴ

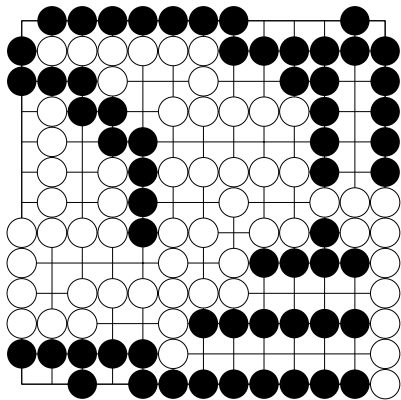
- $\frac{1}{2}$ に打てば白 1 目勝ち

- 「長いところから打つ」戦略で OK



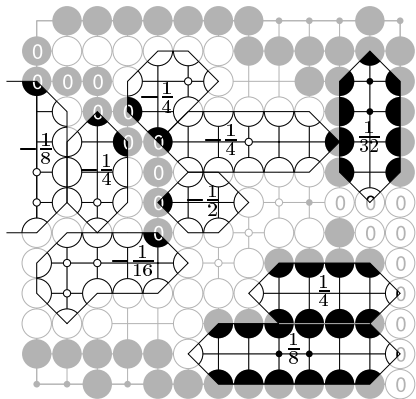
ヨセ問題 (A)

- Mathematical Go の問題



ヨセ問題 (A)

- Mathematical Go の問題

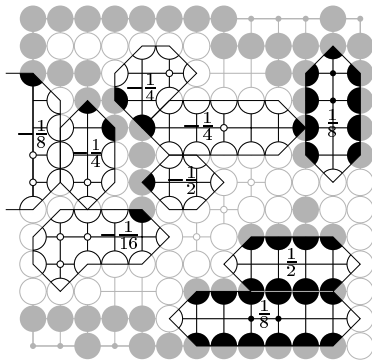
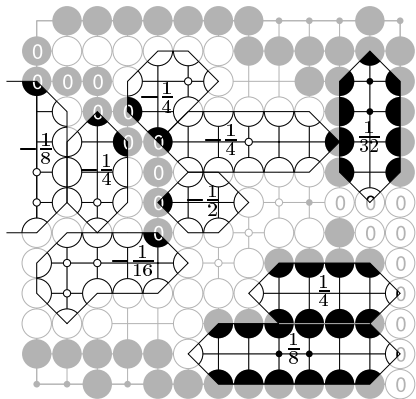


- 合計: $-\frac{1}{32}$



ヨセ問題 (A)

- Mathematical Go の問題



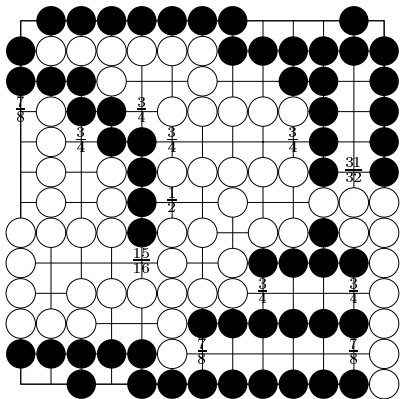
- 右側の部分問題の値が，問題 (B) とは若干異なる

- 合計: $-\frac{1}{32}$



ヨセ問題 (A)

- Mathematical Go の問題

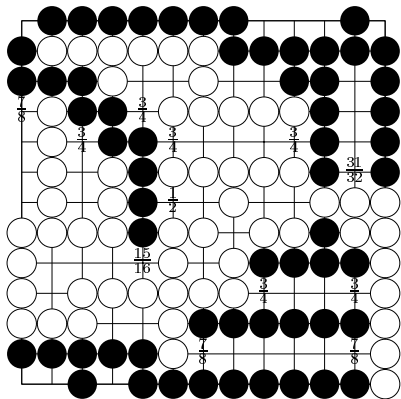


- 合計: $-\frac{1}{32}$



ヨセ問題 (A)

● Mathematical Go の問題



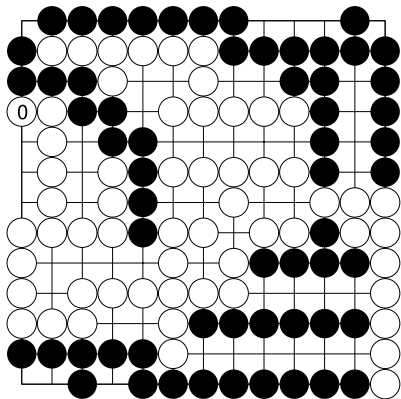
● 合計: $-\frac{1}{32}$

- 白先
 - $\frac{31}{32}$ に打てば白 1 目勝ち
 - それ以外はジゴ
- 黒先
 - どこに打ってもジゴ
- 「長いところから打つ」戦略は通用しない



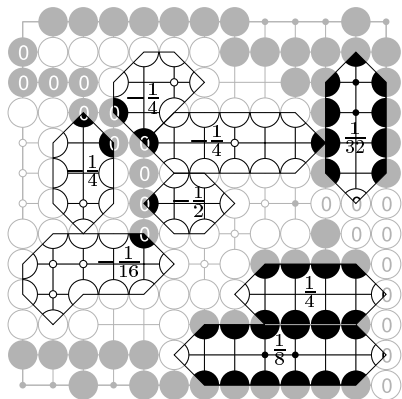
ヨセ問題 (C)

- 白が初手を間違えたとする...



ヨセ問題 (C)

- 白が初手を間違えたとする...

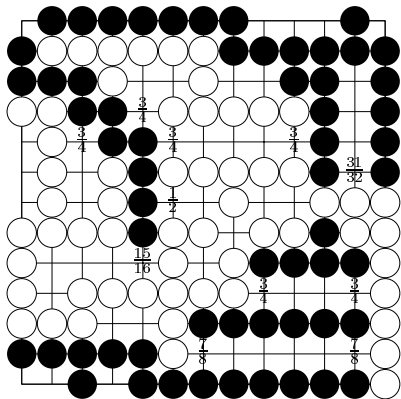


- 合計: $-\frac{29}{32}$



ヨセ問題 (C)

- 白が初手を間違えたとする...

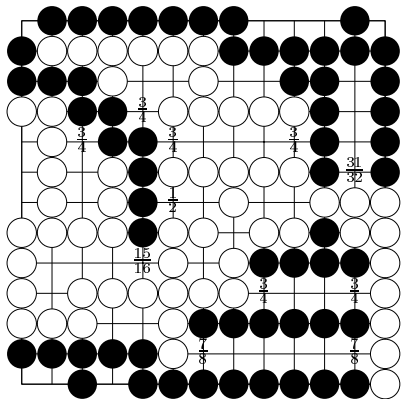


- 合計: $-\frac{29}{32}$



ヨセ問題 (C)

- 白が初手を間違えたとする...



- 黒は

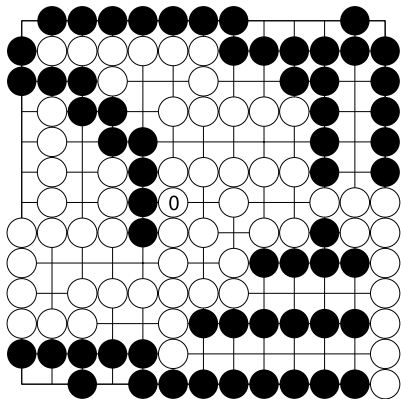
- $\frac{15}{16}$ か $\frac{31}{32}$ のいずれかに打てばジゴ
- それ以外は白 1 目勝ち

- 合計: $-\frac{29}{32}$



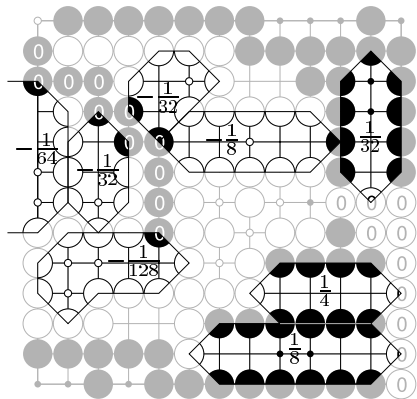
ヨセ問題 (D)

- 白が初手を間違えたとする...



ヨセ問題 (D)

- 白が初手を間違えたとする...

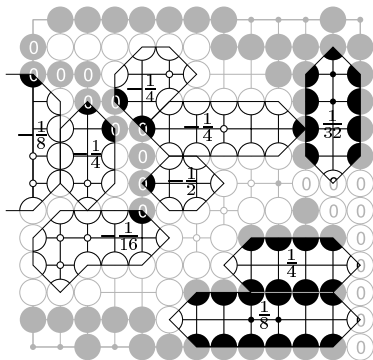
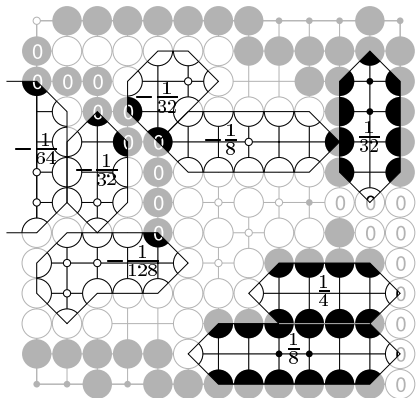


- 合計: $-\frac{103}{128}$



ヨセ問題 (D)

- 白が初手を間違えたとする...



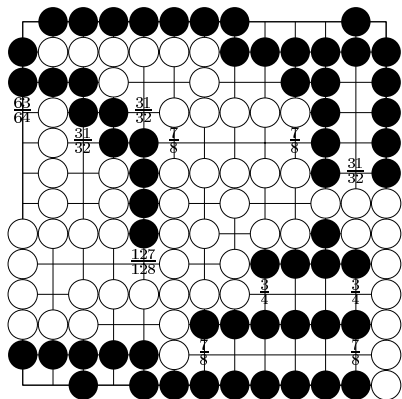
- 左上の部分問題の値が大幅に違う

- 合計: $-\frac{103}{128}$



ヨセ問題 (D)

- 白が初手を間違えたとなると...

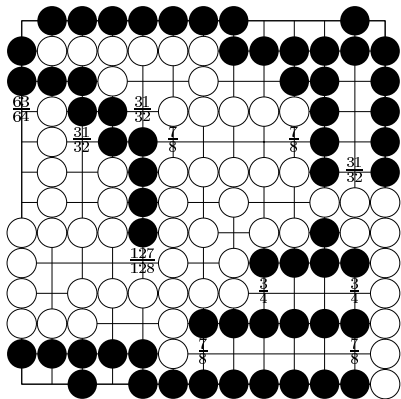


- 合計: $-\frac{103}{128}$



ヨセ問題 (D)

- 白が初手を間違えたとする...



- 合計: $-\frac{103}{128}$

- 黒は

- $\frac{3}{4}$ 以外に打てばジゴ
- それ以外は白 1 目勝ち
- 運が悪い(?) 局面では, ランダムシミュレーションではうまく行かない



コンピュータ囲碁の今後

- モンテカルロ碁の改良 (従来手法との融合)
 - 序盤 (布石) の改善
 - パターン, 知識の活用
 - 死活, 攻合いの探索
 - AMAF/RAVE の柔軟な適用
 - 終局の判断
 - 数理的解析法の利用
 - 見合いの概念を用いた局面の単純化
- 並列化, 高速化
- 将棋の X デーは近いが, それに負けずに盛りあがろう!

