

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## ゲーム情報学の中のコンピュータ囲碁

九州工業大学 情報工学部 知能情報工学科  
中村貞吾

2007年7月28日(土)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 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
  - ▶ 現在, アマ 5~6 段
  - ▶ あと 5~10 年でトップに
- 囲碁
  - ▶ いまだ級位者のレベル

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 囲碁プログラムの難しさ

- 探索空間が広い
  - ▶  $19 \times 19$  の広い盤面
  - ▶ 分岐数が大きい(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

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 目次

- コンピュータ囲碁研究の歴史
- 対局プログラムの構造
  - 最近の話題：モンテカルロ碁
- 少路盤の解析
- 囲碁局面の数理的解析
  - 組合せゲーム理論

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### コンピュータ囲碁研究の歴史

- 1960年代
  - コンピュータ囲碁に関する初めての論文 [Remus, 1962]
    - ▶ 情報処理に関する国際会議(IFIP Congress)
    - ▶ 囲碁の好手・悪手の学習

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### コンピュータ囲碁研究の歴史

- 1960年代
  - 小路盤の解析 [Thorp & Walden, 1964]

盤のサイズ ( $k = 1, 2$ )	勝敗
$1 \times 4k$	黒勝
$1 \times (4k - 1)$	黒勝
$1 \times (4k - 2)$	引分
$1 \times (4k - 3)$	引分
$2 \times 2$	引分
$2 \times 3$	引分
$2 \times 4$	黒勝
$3 \times 3$	黒勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1960年代

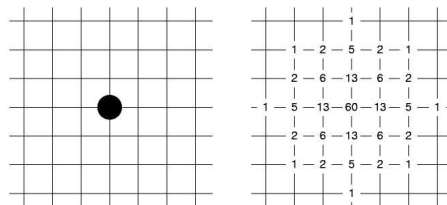
- 初めての対局プログラム [Zobrist, 1969]
  - ▶ とりあえず最後まで打てる
  - ▶ 強さは約 38 級 (全くの初心者が 35 級)
  - ▶ 「電子/陽子」, 「水/油」などの物理的アナロジーを使って盤面を認識
  - ▶ テンプレートと重みを用いた候補手生成
- Zobrist の対局棋譜 (互先)
  - ▶ 黒: Zobrist (38級?)
  - ▶ 白: 初心者 (5回ほど打ったことがある)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1970年代

- 影響力関数 [Ryder, 1972]
  - ▶ 石の周辺に発散される影響力(ポテンシャル)
  - ▶ 模様や壁の認識



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1970年代

- 石の生死判定アルゴリズム [Benson, 1976]
  - ▶ 「無条件活」や「無条件死」の判定
  - ▶ グラフ理論(石の連結や呼吸点の関係)を用いる
  - ▶ 先読をしない静的な判定
  - ▶ 無条件活 = 何手手を抜いても死なない  
 <=> 少し厳密すぎ

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1970年代

- Reitman & Wilcox のプログラム (INTERIM.2)
  - ▶ 攻撃と防御の基本的戦略
  - ▶ 模様の境界線 (sector line) の概念
  - ▶ 連(string) と群(group) の階層的パターン認識
  - ▶ プログラムの強さは 15 級程度に
- INTERIM.2 の対局棋譜 (9子局)
  - ▶ 黒: INTERIM.2 (15級程度?)
  - ▶ 白: 人間

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1980年代

- 囲碁の複雑さ
  - ▶ コウなし: PSPACE-hard [Lichtenstein, 1980]
  - ▶ コウあり: EXPTIME-complete [Robson, 1983]
  - ▶ シチョウ: PSPACE-complete [Tromp, 2000]
- 要は「難しい問題だということが証明された」ということ

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1980年代

- 初めてのコンピュータ囲碁大会 (1984年 ロンドン)
  - ▶ 13 路盤, 持時間 3 時間 + 1 分の秒読
  - ▶ 11 プログラムが参加 => 事前のチェックで 8 プログラムにしぼられる
  - ▶ 優勝賞金 1000 ポンド (約25万円)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1980年代

- 初めての19路盤コンピュータ囲碁世界大会(1986年 台北)
  - ▶ Ing Cup (1986 ~ 2000 まで 15回)
  - ▶ 毎回十数プログラムが参加
  - ▶ 高額な優勝賞金

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1980年代

- ある程度の強さのプログラムが続々と
  - ▶ Many Faces of Go
  - ▶ Go Intellect
  - ▶ Goliath
  - ▶ Nemesis (INTERRIM.2 の後継)
- 商用プログラムも登場
- 日本でもコンピュータ囲碁研究が本格的に始まる
  - ▶ ICOTの「碁世代」：実近(電総研)ら

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1990年代

- 新たなAI手法の適用：機械学習
- ニューラルネットワーク(神経回路網)
- **モンテカルロシミュレーション**
  - ▶ モンテカルロ碁 [Brugmann, 1993]
- 認知科学的研究 [齊藤 & 吉川, 1993]
  - ▶ アイカメラを使って視線の動きを観察
  - ▶ 思考内容の発話を分析
  - ▶ 人間がどのようにして着手を考えているか?

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 1990年代

- **組合せゲーム理論を用いた碁の数理的解析**
  - ▶ Mathematical Go [Berlekamp & Wolfe, 1994]
- 日本棋院が碁プログラムに段級位認定
  - ▶ 1995年 5級
  - ▶ 1997年 3級

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## コンピュータ囲碁研究の歴史

## ■ 2000年代

- 碁プログラムが初めて初段認定を受ける(2001年)
- **コンピュータによる少路盤の解析**(2000年, 2003年)
  - ▶ 4路盤(4x4)の解析 [清, 2000]
  - ▶ 5路盤(5x5)の解析 [Werf, 2003]
- モンテカルロ碁の台頭(2005年～)
  - ▶ アマ初段に迫る勢い

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## (日本で開催された)コンピュータ碁大会

## ■ 第1回FOST杯(1995)：5ヶ国14プログラム

- 優勝：Handtalk (中国) **5級**
- 2位：Go4++ (英国) **7級**
- 3位：Many Faces of Go (米国) **8級**

## ■ 第2回FOST杯(1996)：8ヶ国19プログラム

- 優勝：Handtalk (中国) **4級**
- 2位：Go4++ (英国) **5級**
- 3位：Many Faces of Go (米国) **6級**

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### (日本で開催された)コンピュータ囲碁大会

- 第3回FOST杯(1997)：9ヶ国38プログラム
  - 優勝：Handtalk (中国) 3級
  - 2位：Go Intellect (米国) 5級
  - 3位：Go4++ (英国) (5級)
- 第4回FOST杯(1998)：9ヶ国38プログラム
  - 優勝：Silver Igo (北朝鮮) 3級
  - 2位：Hamlet (韓国)
  - 3位：Goemate (中国)
  - 4位：Go4++ (英国)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### (日本で開催された)コンピュータ囲碁大会

- 第5回FOST杯(1999)：7ヶ国16プログラム
  - 優勝：KCC Igo (北朝鮮) 2級
  - 2位：Go4++ (英国)
  - 3位：Many Faces of Go (米国)
  - 4位：Haruka (日本)
- 第1回CGF杯(1999)：9ヶ国28プログラム
  - 優勝：Go4++ (英国)
  - 2位：Haruka (日本)
  - 3位：Goemate (中国)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### (日本で開催された)コンピュータ囲碁大会

- 岐阜チャレンジ2003：7ヶ国17プログラム
  - 優勝：KCC Igo (北朝鮮)
  - 2位：Haruka (日本)
  - 3位：Go++ (英国)
  - 4位：Goemate (中国)
- 岐阜チャレンジ2004：4ヶ国13プログラム
  - 優勝：KCC Igo (北朝鮮)
  - 2位：彩 (日本)
  - 3位：勝也 (日本)
  - 4位：Go Intellect (米国)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### (日本で開催された)コンピュータ囲碁大会

- 岐阜チャレンジ2005：7ヶ国18プログラム
  - 優勝：KCC Igo (北朝鮮)
  - 2位：Many Faces of Go (米国)
  - 3位：Gnu Go (多国籍)
  - 4位：Go Intellect (米国)
- 岐阜チャレンジ2006：5ヶ国17プログラム
  - 優勝：KCC Igo (北朝鮮)
  - 2位：Gnu Go (多国籍)
  - 3位：INDIGO (フランス)
  - 4位：彩 (日本)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

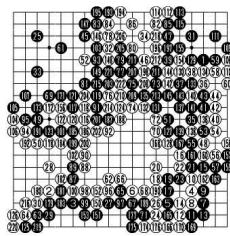
- 第3回 Fost Cup (1997)
  - 手合：先(コミなし)
    - ▶ 黒：人間(2級)
    - ▶ 白：優勝プログラム (Hand Talk)
  - 結果：白1目勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

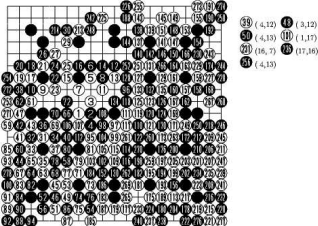
- 第4回 Fost Cup (1998)
  - 手合：互先(黒5目半コミ出し)
    - ▶ 黒：優勝プログラム (GoeMate)
    - ▶ 白：人間(2段)
  - 結果：黒8目半勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

- US Go Congress (1998)
  - 手合：29子局
    - ▶ 黒：MFG
    - ▶ 白：人間 (Martin Mueller)
  - 結果：白6目勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

- 第14回 Ing Cup (1999)
  - (大会の事実上の決勝戦)
  - 手合：互先 (黒8目コミ出し)
    - ▶ 黒：Goemate
    - ▶ 白：Go4++
  - 結果：白13目勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

- 岐阜チャレンジ2003
  - 手合：9子局
    - ▶ 黒：優勝プログラム (KCC Igo)
    - ▶ 白：人間 (併設の高校生大会の優勝者)
  - 結果：白勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

- 岐阜チャレンジ2005
  - 手合：互先
    - ▶ 黒：準優勝プログラム(MFG)
    - ▶ 白：人間
  - 結果：黒3目半勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### コンピュータ囲碁の実際の強さは？

- 初段認定されたプログラムはあるが...
  - 人間用の「棋力認定問題」を用いて市販の囲碁プログラムの強さを測る [鎌田, 2006]
    - ▶ 碁ワールド, 囲碁未来, 囲碁関西に掲載の問題

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
碁ワールド12月号上級	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
碁ワールド1月号上級	6	5	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
碁未来 7月号A											4	6										5		
碁未来 8月号A										6	2	2										3	5	4
碁未来 7月号B											7	8										8		9
碁未来 8月号B	14	14	14	14	14	11	12	12			6	9										8	9	9

● 最高で2級  
● 平均で5級程度

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### コンピュータ囲碁の実際の強さは？

- KGS (Kiseido Go Server) 上でのランク
  - CrazyStone 2k (日本の初段?)
  - MoGo 3k (日本の1級?)
  - Gnu Go 5k (日本の3級?)
  - 彩 8k (日本の6級?)
  - KCC Igo 2k?



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 代表的な囲碁プログラム

- KCC Igo
- Haruka
- Go++
- GoeMate (HandTalk)
  
- Many Faces of Go
- Go Intellect
- GnuGo
- 勝也
- 彩
- ...

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 対局囲碁プログラムの基本構造

- 1. 盤面認識
  - 点, 連(string), 群(group), 眼, 地, 連結の認識
  - 群の強さと影響力の認識
- 2. 候補手生成
  - 定石, 死活, ヨセなどに関するパターン知識
  - 捕獲可能性に関する限定的な先読み
- 3. 着手選択
  - 各候補手を評価

■ 候補手：10程度, 探索深さ：～5程度

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 代表的な囲碁プログラム

- KCC Igo
- Haruka
- Go++
- GoeMate (HandTalk)
  
- Many Faces of Go
- Go Intellect
- GnuGo
- 勝也
- 彩
- ...

**新興勢力  
(モンテカルロ碁)**

- Crazy Stone
- MoGo
- ...

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### モンテカルロ碁

- モンテカルロ法
  - 乱数を使ったシミュレーション
  - 例：「円周率の近似計算」

■ 1辺の長さが1の正方形の内部にランダムに点を打っていく

■ 網かけ部は半径1の円の1/4の扇形

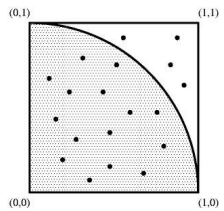
n : 点の総数  
m : 扇形の内部の点の個数

■ mとnの比は, 扇形と正方形の面積比になるはず

$$m : n \approx \pi/4 : 1$$

$$\pi \approx 4 \times (m/n)$$

図では  $4 \times (15/19) \approx 3.1578$



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 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

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

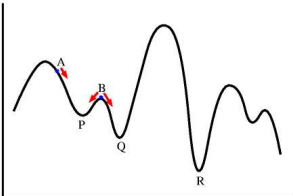
### 焼きなまし法 (Simulated Annealing)

- 1980年代に考案された最適化手法の一つ
- 過熱炉内の固体の冷却過程のシミュレート
  - 例：「最小値を求める」

● ある点から出発して, 「近傍」のうち値の小くなる方へ少しずつ移動していく(局所最適化, 乱数下降法)

● ただし, 進行度に依存して低下していく確率の範囲内で, 上方への移動も許す

● これにより, 局所最適解ではなく大域最適解を見つける



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## 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) ⇒ 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級程度の強さに

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## モンテカルロ碁

- 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
  - Tic-Tac-Toe (3目ならべ) や 6×6 のオセロで実験
  - 長所：
    - ▶ 局面評価のためのドメイン依存の知識が不要
    - ▶ 正確な評価
    - ▶ 容易に計算可能

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## モンテカルロ碁

- 3~4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
- 現在は、19路盤でも急激に強くなっている

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## 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

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

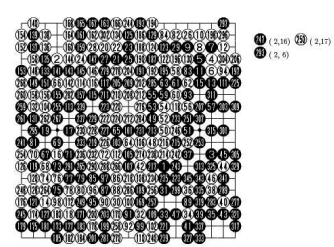
## Computer Olympiad 大会での成績

- 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

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

## 棋譜いろいろ

- Computer Olympiad 2007
  - 手合：互先 (黒6目半コミ出し)
    - ▶ 黒：Crazy Stone
    - ▶ 白：Gnu Go
  - 結果：黒勝



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

- Computer Olympiad 2007
  - 手合：互先(黒6目半コミ出し)
    - ▶ 黒：MoGo
    - ▶ 白：Gnu Go
  - 結果：黒勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 棋譜いろいろ

- Computer Olympiad 2007
  - 手合：互先(黒6目半コミ出し)
    - ▶ 黒：Crazy Stone
    - ▶ 白：MoGo
  - 結果：白勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### UCT：モンテカルロ評価を用いた木探索法

- 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

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

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### UCT：モンテカルロ評価を用いた木探索法

- UCT：UCB applied to Trees
  - (ゲーム)木のノードをバンディット，その子ノードを独立した腕だとみなす

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### コンピュータによる少路盤の解析

- 4路盤(4x4)の解析 [清, 2000] (日本ルール)
  - (2,2) ジゴ(引分)
  - その他 白勝
- 5路盤(5x5)の解析 [Werf, 2003] (中国ルール)
  - 天元 黒25目勝
  - (3,2) 黒3目勝
  - (2,2) 白1目勝
  - その他 白25目勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 囲碁ルールの違い

- 数え方の違い
  - 日本式 (territory scoring)
    - ▶ 「地」を数える
    - ▶ セキの地は数えない
  - 中国式 (area scoring)
    - ▶ 「地」と「石」を数える
    - ⇒ ダメにも価値が!
    - ▶ セキの地も数える
- 同形反復の処置の違い
  - 無勝負
  - 禁止



UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 囲碁ルールの違い

- 図の局面
  - 黒、白ともに9手ずつ
  - アゲハマなし
  - 次は黒の手番

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 5路盤の解析結果

- 初手(3,2)の後の手順 : 黒3目勝(黒2目勝)
- 初手(2,2)の後の手順 : 白1目勝(白2目勝)
- ( )内は日本ルールによる計算の結果

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 人間(プロ棋士 趙治勲)による解析

- 初手(3,2)の後の手順(変化1) : ジゴ [黒1目勝]
- 初手(3,2)の後の手順(変化2) : 黒1目勝 [黒5目勝]
- [ ]内は中国ルールによる計算の結果

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 少路盤の解析結果(まとめ)

- コンピュータで解析できたもの (結果は日本ルールによる計算)
  - 2路盤 : ジゴ
  - 3路盤 : 黒8目勝
  - 4路盤 : ジゴ
  - 5路盤 : 黒24目勝
- 人間による解析 ==> 予想
  - 6路盤 : 黒4目勝
  - 7路盤 : 黒9目勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 詰碁

- GoTools [Thomas Wolf, 1994]
  - 高段者でも難しい詰碁を簡単に解く
  - アルファベータ法, ハッシュ表, 種々の高速化
  - 生死判定や石の捕獲の強力なモジュール, . . .
- TsumeGo Explorer [岸本, 2003]
  - df-pn法, ハッシュ表
  - ハッシュエントリに経路情報を付加することでGHI問題に対処
  - GoToolsを凌ぐ性能
    - ▶ 22~27空点程度が解ける <--> 14空点程度(GoTools)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

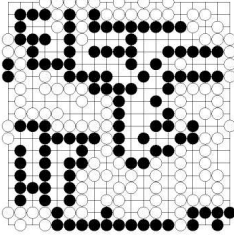
### 囲碁の数学的解析

- 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する手段 <== 組合せゲーム理論
  - 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

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

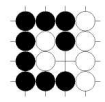
### 組合せゲーム理論を用いた局面解析

- ヨセは、部分的なヨセ局面の集まり
- 全局的な探索に比べて探索量を大幅に削減できる
- 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

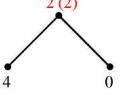


UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### ヨセの部分ゲーム

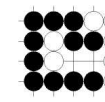


2 (2)

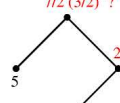


{ 4 | 0 }

■ 平均 = 2  
■ 一手の価値 = 2

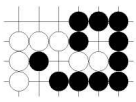


7/2 (3/2) ?

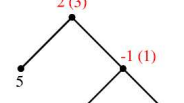


{ 5 | { 4 | 0 } }

■ 平均 = 3.5 ?  
■ 一手の価値 = 1.5 ?



2 (3)

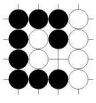


{ 5 | { 0 | -2 } }

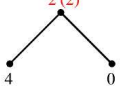
■ 平均 = 2  
■ 一手の価値 = 3

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### ヨセの部分ゲーム

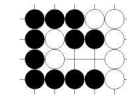


2 (2)

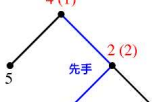


{ 4 | 0 }

■ 平均 = 2  
■ 一手の価値 = 2

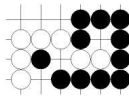


4 (1)

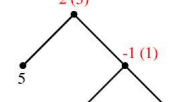


{ 5 | { 4 | 0 } }

■ 平均 = 4  
■ 一手の価値 = 1 (先手1目)



2 (3)



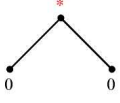
{ 5 | { 0 | -2 } }

■ 平均 = 2  
■ 一手の価値 = 3

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

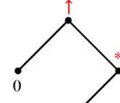
### 特徴的な部分ゲーム

■ スター



● \* + \* = 0 (2つの\*は見合いでキャンセル!)

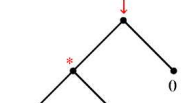
■ アップ



● ↑ + ↓ = 0

● ↑ > 0 (黒が手止り)

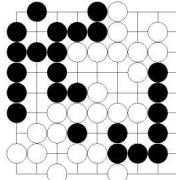
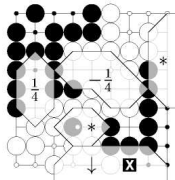
■ ダウン



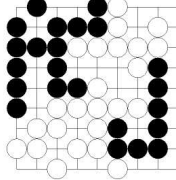
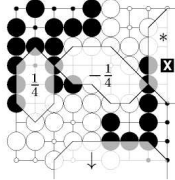
● ↓ < 0 (白が手止り)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 2つのヨセ問題 (白番) : 上下別々の問題

■ 合計 : ↓


■ 合計 : ↓\*

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28


KWeatherエラー!  
ネットワークは使用不能です。

### Landman : "Eyespace Values in Go", (1996)


- 眼の数をスコアとするゲーム
- スコアの状態は 0 眼, 1 眼, 2 眼(以上) の3通り




1 眼




1 眼




1 眼



後手 1 眼 (半眼)



先手 1 眼



1 眼半

KWeatherエラー!  
ネットワークは使用不能です。

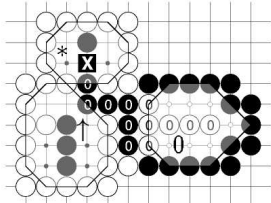
UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

■ 攻合い：手数をスコアとするゲーム

- 「大石同士の攻合い」で手数を数える際には、部分部分の手数の和として全体の手数を数える
- 攻合いの手数は単純な数ではなく、各プレイヤーが着手することによって変化するゲーム局面

KWeatherエラー!  
ネットワークは使用不能です。

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28



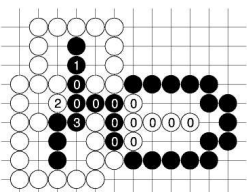
$\{4 | 0\} \xrightarrow{\text{冷胆}} 2 *$   
 $\{6 | \{4 | 0\}\} \xrightarrow{\text{冷胆}} 4 \uparrow$   
 $-7$   
 合計： $-1 \uparrow *$

- 黒は先着すると、この値を0に切上げることができる (黒の調整値 = 0)
- 黒先：黒攻合い1手勝
- 白は先着すると、この値を-2に切下げることができる (白の調整値 = -2)
- 白先：白攻合い3手勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

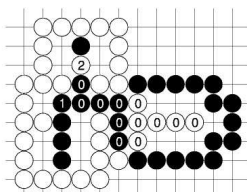
問題 1

■ 正解図



黒が手止りに着手

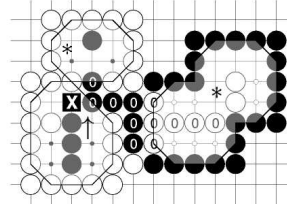
■ 失敗図



白が手止りに着手

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

問題 2



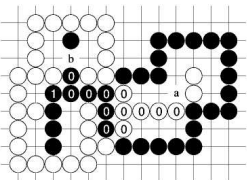
$\{4 | 0\} \xrightarrow{\text{冷胆}} 2 *$   
 $\{6 | \{4 | 0\}\} \xrightarrow{\text{冷胆}} 4 \uparrow$   
 $\{-5 | -9\} \xrightarrow{\text{冷胆}} -7 *$   
 合計： $-1 \uparrow > -1$

- 黒の調整値 = 0
- 黒先：黒攻合い1手勝
- 白の調整値 = -1
- 白先：白攻合い2手勝

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

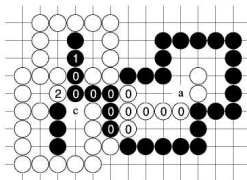
問題 2

■ 正解図



aとbが見合い  
黒が手止りに着手

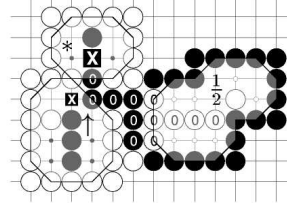
■ 失敗図



aとcが見合い  
白が手止りに着手

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

問題 3



$\{4 | 0\} \xrightarrow{\text{冷胆}} 2 *$   
 $\{6 | \{4 | 0\}\} \xrightarrow{\text{冷胆}} 4 \uparrow$   
 $\{-5 | -8\} \xrightarrow{\text{冷胆}} -6 \frac{1}{2}$   
 合計： $-\frac{1}{2} \uparrow *$   $> -1$

- 黒の調整値 = 0
- 黒先：黒攻合い1手勝
- 白の調整値 = -1
- 白先：白攻合い2手勝

問題 4

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

$\{-5 \mid -8\} \xrightarrow{\text{冷却}} -7 + \frac{1}{2}$   
 $\{\{8 \mid 5\} \mid 3\} \mid 1\} \xrightarrow{\text{冷却}} 3 - \frac{1}{8}$   
 $\{\{6 \mid 3\} \mid 1\} \xrightarrow{\text{冷却}} 3 - \frac{1}{4}$   
 合計:  $-\frac{7}{8} > -1$

- 黒の調整値 = 0
- 黒先：黒攻合い1手勝
- 白の調整値 = -1
- 白先：白攻合い2手勝

問題 5 : 19 路盤問題 (1)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

問題 5 : 部分領域

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

問題 5 : A, B

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

$2(2) \xrightarrow{\text{冷却}} 2*$   
 $-2(2) \xrightarrow{\text{冷却}} -2*$

問題 5 : C

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

標準形変換  $\rightarrow$   $3(2) \xrightarrow{\text{冷却}} 3*$

問題 5 : D

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

$2(2) \xrightarrow{\text{冷却}} 2 \downarrow$



問題 5 : E

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

問題 5 : F

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

問題 5 : 解析結果

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

スコアの合計 =  $(2*) + (-2*) + (3*) + (2\downarrow) + (-4\leftarrow) + (6\uparrow*) + 2 - 10 = -1\leftarrow$   
 スコアの範囲:  $0 > -1\leftarrow > -1$

● 黒の調整値 = 0  $\implies$  黒先: 黒攻合い1手勝

問題 5 : 正解手順

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

- 黒1, 白2の交換後黒3とし, 白4を待って黒5と受けるのが肝要

問題 5 : 正解手順

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

- 白6, 黒9, 白10, 黒11は攻合いの手数的にはすべて同じ価値で, どれを打っても同じ

問題 5 : 正解手順

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

- これ以降は一手ずつのダメツメ作業
- 前図の黒11までで黒の一手勝が確定

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

**問題5：正解手順**

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

**問題5：正解手順**

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

**問題5：正解手順**

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

**問題5：正解手順**

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

**問題5：正解手順**

■ 実際に打ち上げるまでには49手の読み

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

**問題5：失敗例**

- 黒1とこちらを打つと、白2とされ、黒3、黒5を打っても攻合いに勝てない。(この図では黒1が大悪手)
- 白2で他に白6または白9でも良いが、白3や白7は不可

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 回廊型の領域

■ a, b, c はいずれも下図の構造

■ どれが最大？

- ▶ aの回廊  $n=3, x=8$
- ▶ bの回廊  $n=4, x=5$
- ▶ cの回廊  $n=5, x=4$

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 回廊型の領域の値

■ 差分攻合いゲームによる検証

■ 領域の冷却値より  $b > a > c$

黒負

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 回廊型の領域のカタログ 手数は？どこが大きい？

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 回廊型の領域のカタログ 領域の値

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### 回廊型の領域のカタログ 大きさの順番 (黒番)

UEC公開講座：「ゲーム情報学と人工知能」2007/7/28

### コンピュータ囲碁の今後の展望

- 機械学習
- モンテカルロ碁
- 並列計算
- 組合せゲーム理論に基づく局面評価
  - 局面分割 / 部分局面探索
- 知識主導から探索主導へ