

ゲームAIの進化の歴史(まとめ1)

・チェスの歴史

- 1950年代 世界初のコンピュータチェスのプログラム
- 1967年 マックハックVI (強い高校生レベル)
- 1980年代 DEEP THOUGHT(カーネギーメロン大学)
- 1990年代 IBMがDEEP BLUE開発
- 1997年 カスパロフ氏 VS DEEP BLUE (2勝1敗3分)

・チェッカーの歴史

- 1950年代 開発開始(サミュエル)
- 1992年 ティンズレー氏 VS Chinook(シェーファーら) (2勝4敗33分)
- 2007年 シェーファーら完全解の解明(引き分けになるゲーム)

・オセロの歴史

- 1975年 初のオセロプログラム
- 1990年代 機械学習を用いたAI
- 1997年 村上氏(世界チャンピオン) VS Logistello(ビューロー氏) 6戦全勝

ゲームAIの進化の歴史(まとめ2)

・将棋の歴史

1974年 初の将棋プログラム

1980年代 PCの普及、開発者の増加

1990年 第1回コンピュータ将棋選手権

1990年代 アマチュア有段レベルへ

2006年 Bonanza革命 (評価関数の機械学習)

2010年 清水市代女流王将 VS あから2010(情報処理学会)

2012年~2015年 電王戦

2015年 情報処理学会プロジェクト終了宣言

2016年 山崎隆之九段 VS Ponanza (2連勝)

2017年 佐藤天彦名人 VS Ponanza (2連勝)

2022年 世界コンピュータ将棋選手権 d1Shogi優勝 (深層学習の手法)

2023年 世界コンピュータ将棋選手権 d1Shogi優勝 連覇

2024年 世界コンピュータ将棋選手権 お前、CSA会員にならねーか？
(NNUE型手法の復権！)

2025年 世界コンピュータ将棋選手権 水匠 (NNUE型手法の連覇)

2026年 世界コンピュータ将棋選手権 氷彗 (NNUEベース/ハイブリッド型)

囲碁とゲームAI

コンピュータ囲碁の歴史
二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

伊藤毅志

コンピュータ囲碁は？



強いプログラムを作ることの難しさ

- ・合法手(ルール上選べる手)の多さ
 - …チェスライクゲームに比較にならない多さ
 - ⇒ゲーム木探索が出来ない！
- ・静的評価関数の設計の難しさ
 - …石の強さ、意味の理解の難しさ
 - …石の活き死にの判定の難しさ
 - ⇒良い手が広い！

新たな技術が必要！

コンピュータ囲碁は？

強いプログラムを作ることの難しさ

- ・合法手（ルール上選べる手）の多さ
 - …チェスライクゲームに比較にならない多さ
 - ⇒ゲーム木探索が出来ない！
- ・静的評価関数の設計の難しさ
 - …石の強さ、意味の理解の難しさ
 - …石の生き死にの判定の難しさ
 - ⇒良い手が広い！

コンピュータ囲碁の歴史(1)

・1960年代

—コンピュータ囲碁の初の論文(1962)

⇒囲碁の好手、悪手に関する研究

—小路盤の解析(1964)

—初の囲碁プログラム(Zobrist; 1968)

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
2×2	引分
2×3	引分
2×4	黒勝
3×3	黒勝

[Thorp & Walden, 1964]

・1970年代

—影響力関数(1972)

—石の生死判定アルゴリズム

—Reitman & Wilcoxのプログラム(1979) 15級程度

⇒攻撃と防御の基本的戦略

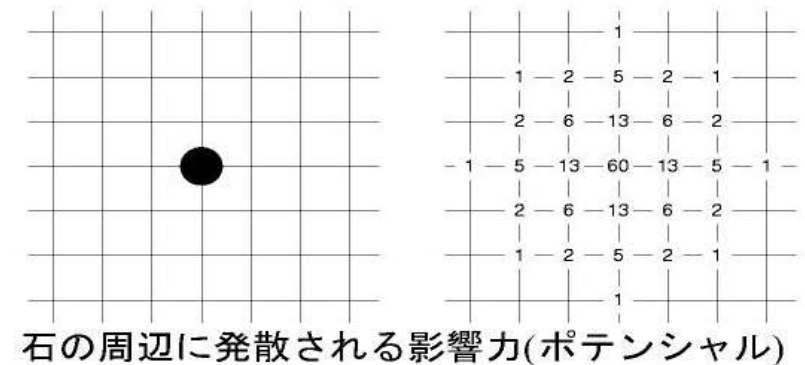
⇒連と群の階層パターン

・1980年代

—囲碁の複雑さに関する研究

⇒囲碁の問題の難しさを数学的に証明

[Lichtenstein & Sipser 80]「多項式空間困難」な問題であることを証明



コンピュータ囲碁の歴史(2)

・1980年代

- ー初のコンピュータ囲碁大会(1984;ロンドン、13路盤)
- ー初の19路盤コンピュータ囲碁大会(1986-2000;台北)
- ーある程度の強さのプログラムの出現
(Many Faces of Go, Go Intellect, Goliath)
- ー商用プログラムの出現

・1990年代

- ー新たなAI技術の適用;機械学習
- ーニューラルネットワーク
- ーモンテカルロ碁(1993)の出現
- ー認知科学的研究(斉藤ら;1993)
- ー組あわせゲーム理論を用いた囲碁の数理的解析
⇒日本棋院が囲碁プログラムに級位認定
5級(1995)、3級(1997)

コンピュータ囲碁の歴史(3)

・2000年代

ー2001年 囲碁プログラムに初の初段認定

ーコンピュータによる小路盤の解析

4路盤⇒7路盤の解析へ

4路盤の解析[清,2000](日本ルール)

・(2, 2)⇒ジゴ(引き分け)

・それ以外⇒白勝ち

5路盤の解析[Werf,2003](中国ルール)

・天元⇒黒25目勝ち

・(3, 2)⇒黒3目勝ち

・(2, 2)⇒白1目勝ち

・その他⇒白25目勝ち

6路盤(黒4目勝ち)、7路盤(黒9目勝ち)

・2006年 モンテカルロ革命！！

ーモンテカルロ囲碁(CO2006; 9路盤で大活躍！2006)

ーモンテカルロ囲碁(CO2007;19路盤でも活躍！2007)

人間とコンピュータ囲碁の対戦(1)

・2007年

- －12月 第1回UEC杯開催 「Crazy Stone」優勝
エキシビション: Win:佐川君(アマ五段) VS 「Crazy Stone」

・2008年

- －8月7日 US Go Congress のイベント
「MoGo」が韓国のプロ棋士金明完八段に9子局で勝利！
- －9月4日 FIT2008 のイベント
「Crazy Stone」が日本棋院青葉かおり四段に8子局で勝利！
- －9月～10月 CO2008(9月北京) Many Faces of Go優勝
(全13プログラム中上位9位までMC法)
- －12月 第2回UEC杯開催 「Crazy Stone」2連覇
エキシビション(7子): 青葉かおり四段 VS Win:「Crazy Stone」

・2009年

- －12月 第3回UEC杯開催 「KCC囲碁」優勝
エキシビション(6子): Win:鄭銘コウ九段 VS 「KCC囲碁」

・2010年

- －12月 第4回UEC杯開催 「Fuego」優勝
エキシビション(6子): Win:鄭銘コウ九段 VS 「Fuego」

人間とコンピュータ囲碁の対戦(2)

・2011年

- ー12月 第5回UEC杯開催 「Zen」優勝(日本のプログラム初優勝)
エキシビション(6子): 鄭銘コウ九段 VS Win「Zen」

・2012年

- ー3月17日 『コンピュータ囲碁がプロ棋士に挑戦』
(主催:電気通信大学エンターテイメントと認知科学研究ステーション)

<午前の部>

- 第1局 大橋拓文五段(白番) VS Zen(黒番) ... 大橋五段、中押し勝ち
- 第2局 大橋拓文五段(黒番) VS Zen(白番) ... Zen、2点勝ち

<午後の部>(一番手直り)

- 第1局 武宮正樹九段(上手) VS Zen(下手) (5子) ... Zen、10点勝ち
- 第2局 武宮正樹九段(上手) VS Zen(下手) (4子) ... Zen、19点勝ち

人間とコンピュータ囲碁の対戦(3)

・2013年 3月20日

第1回電聖戦 4子置碁 1勝1敗

第1局 第24世本因坊秀芳 **Win** vs. Zen(UEC杯準優勝)

第2局 第24世本因坊秀芳 vs. CrazyStone(UEC杯優勝) **Win**

・2014年 3月21日

第2回電聖戦 4子置碁 1勝1敗

第1局 依田紀基九段 vs. CrazyStone(UEC杯準優勝) **Win**

第2局 依田紀基九段 **Win** vs. Zen(UEC杯優勝)

・2015年 3月17日

第3回電聖戦@電通大)

第1局:趙 治勲 九段(25世本因坊治勲) (4子)

vs. Dolbaram (Lim Jeabum) ...Dolbaram 2目半勝ち

第2局:趙 治勲 九段(25世本因坊治勲) (3子)

vs. Crazy Stone (Rémi Coulom) ...趙 九段 中押し勝ち



・2016年 アルファ碁(ディープラーニング)の衝撃！

李世ドル vs アルファ碁 4勝1敗 (ハンデなし)

・2017年 柯潔 vs アルファ碁 3勝0敗 (ハンデなし)

Alpha Goの衝撃！

- 2016年1月28日（日本時間AM3:00）

Googleの研究グループがNatureに以下の論文を発表した！

“Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search”

＜概要＞

・ディープラーニングと強化学習を用いた手法で囲碁の局面を評価する新しい手法を確立し、モンテカルロ木探索の手法と組み合わせることで、既存のプログラムに対して99.8%勝つばかりか、囲碁のヨーロッパチャンピオンのプロ棋士を相手に5連勝した！

- 2016年3月9日～15日@韓国

李世ドル vs AlphaGo（5番勝負）

⇒コンピュータ側から見て4勝1敗！



- 2017年5月23日～27日@中国

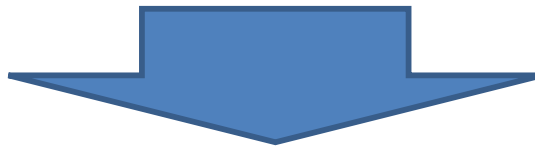
柯潔 vs AlphaGo Master（3番勝負）

⇒コンピュータ側から見て3連勝！



コンピュータ囲碁の2大技術

- モンテカルロ木探索(2006年頃～)
 - 評価関数の構築を諦め、勝率を概算
 - ⇒ コンピュータによる大規模計算
- 深層強化学習(2016年頃～)
 - 一手の予測、評価関数を機械学習する手法
 - ⇒ 機械学習を用いた囲碁の大局観の獲得

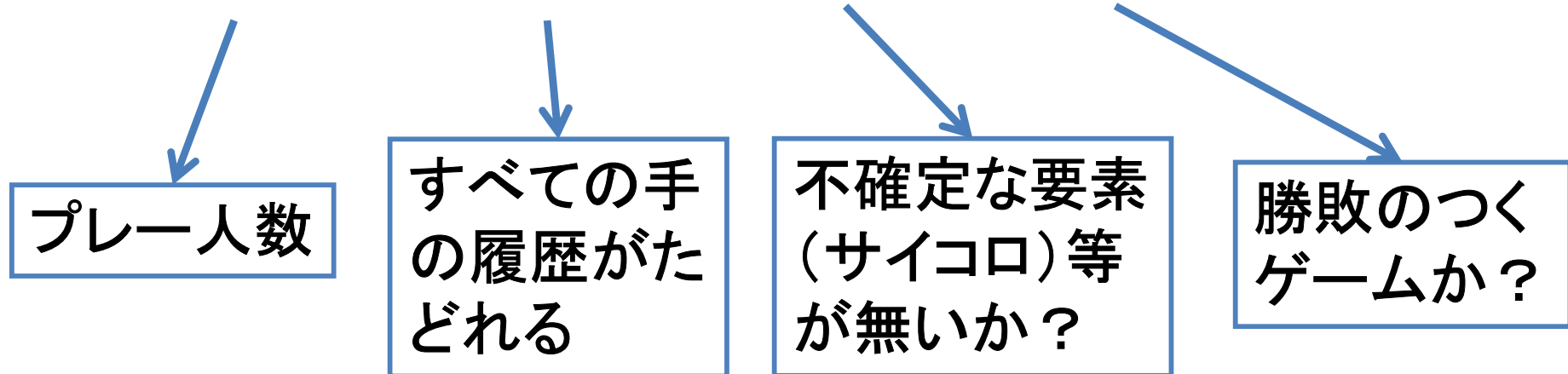


プロ棋士に迫り、超えたコンピュータ

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

- 囲碁などのゲームは、情報学的に以下のように分類される。

「二人 完全情報 確定 ゼロ和 ゲーム」



同種のゲームは世界にたくさんある

例) チェス、将棋、オセロ、チェッカー、中国象棋などなど

パズルに続いて、「チェス」を中心に多くの研究が進んだ！

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

<特徴>

- 先手後手、すべての合法手がお互いにわかっている。
- ゲーム木という形で、ゲームの問題空間を表現できる。
- 有限ゲームであれば、必勝法が存在する。



先手必勝、後手必勝、引き分け？

必勝法がわかる $\Leftrightarrow$ ゲームを解く

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

ゲームを解く ……簡単なゲームで考えてみよう！

<ジャンピング4－1>

【ゲームのルール】

- 1) 1×4 のボード
- 2) 先手は赤、後手は青の駒
- 3) 手番では前に1マス動くか、直前に敵の駒があれば飛び越せる
- 4) 相手より先に、一番奥まで駒を移動させれば勝ち

Q1: このゲームの勝敗を考えてみよう！

<ジャンピング5－1>

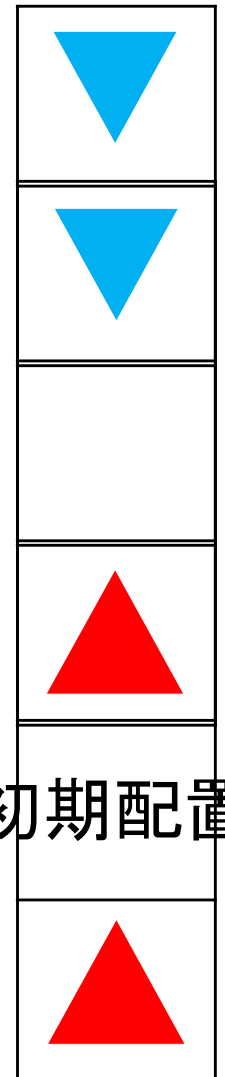
【ゲームのルール】

- 1) 1×5 のボード
- 2) 先手は赤、後手は青の駒
- 3) 手番では前に1マス動くか、直前に敵の駒があれば飛び越せる
- 4) 相手より先に、一番奥まで駒を移動させれば勝ち

Q2: ジャンピング5－1の勝敗は？

Q3: 一般に $1 \times N$ のボードの勝敗を考えてみよう！

Q4: 手番の時、パスを許すルールにするとどうなるか？



初期配置

初期配置

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

ゲームを解く2 ……ちょっと複雑なゲームでは？

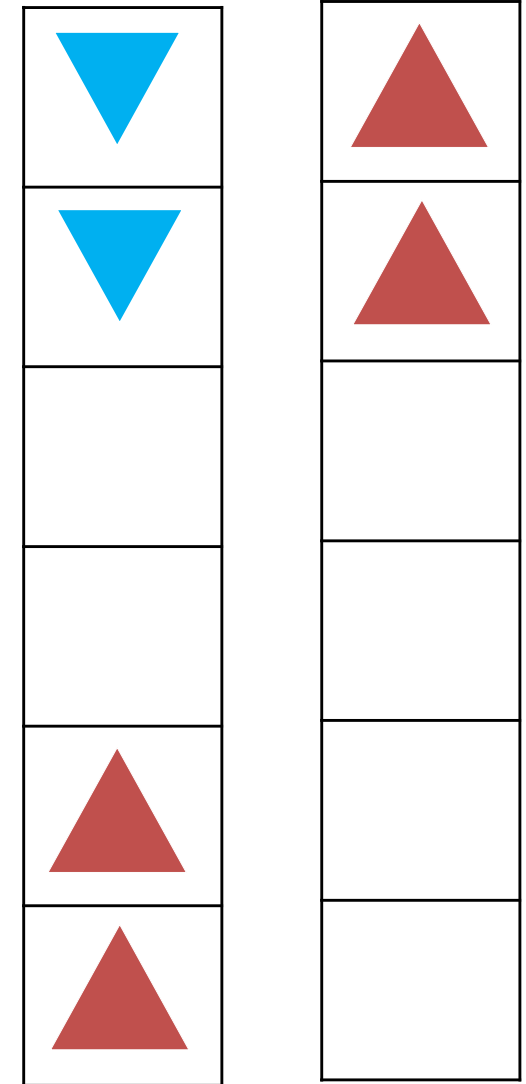
<ジャンピング6ー2>

【ゲームのルール】

- 1) 1×6 のボード
- 2) 先手は赤2個、後手は青2個の駒
- 3) 手番では前に1マス動くか、直前に敵の駒があれば幾つでも飛び越せる(但し、自分の駒は飛び越せない)
- 4) 動かす駒がなければ、パスをする
- 5) 奥に2個早く並べたほうが勝ち

Q5: このゲームの勝敗を考えてみよう！

(Q6: ジャンピング7ー2は？)



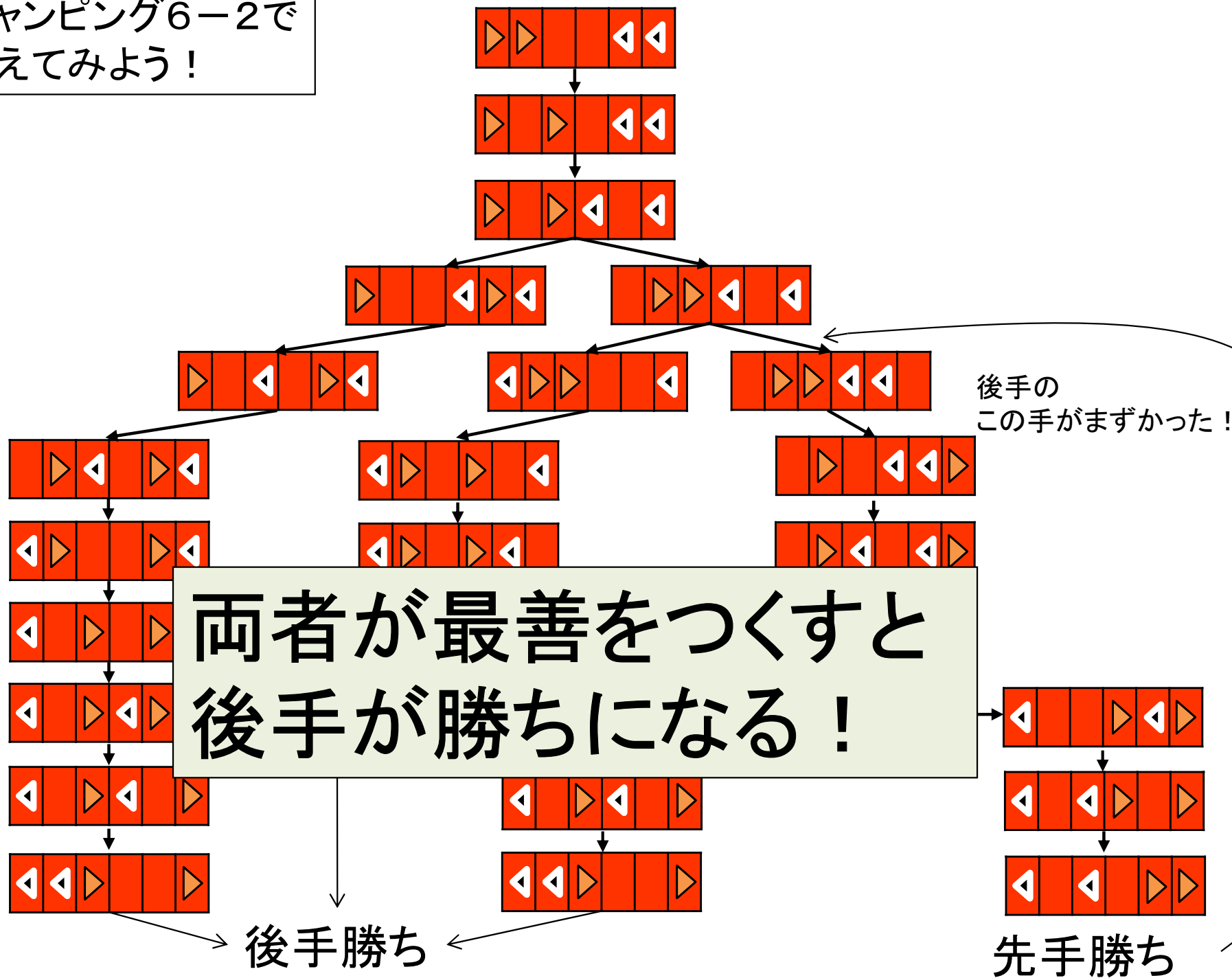
初期配置 目標状態

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

ゲームを解く??

...必勝手順を示す

ジャンピング6-2で
考えてみよう!

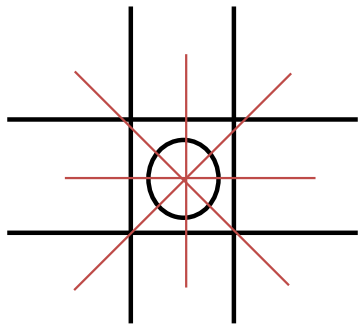


二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

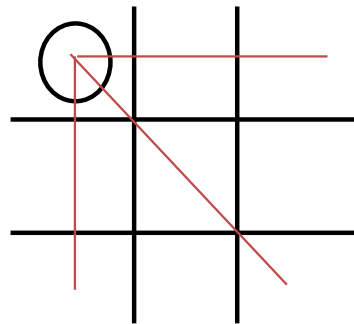
ゲームを解く ……両者が最善を尽くしたときの必勝手順を示す

三目並べ (Tic-Tac-Toe) で考えてみよう！

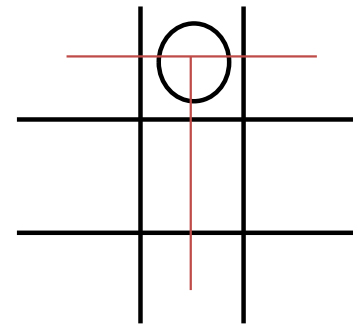
初手に考えられる手は？



A



B



C

上記3種類 (他は、回転、対称で同じになる)

A～Cで、最も良い手は？

最も可能性の高い手⇒A

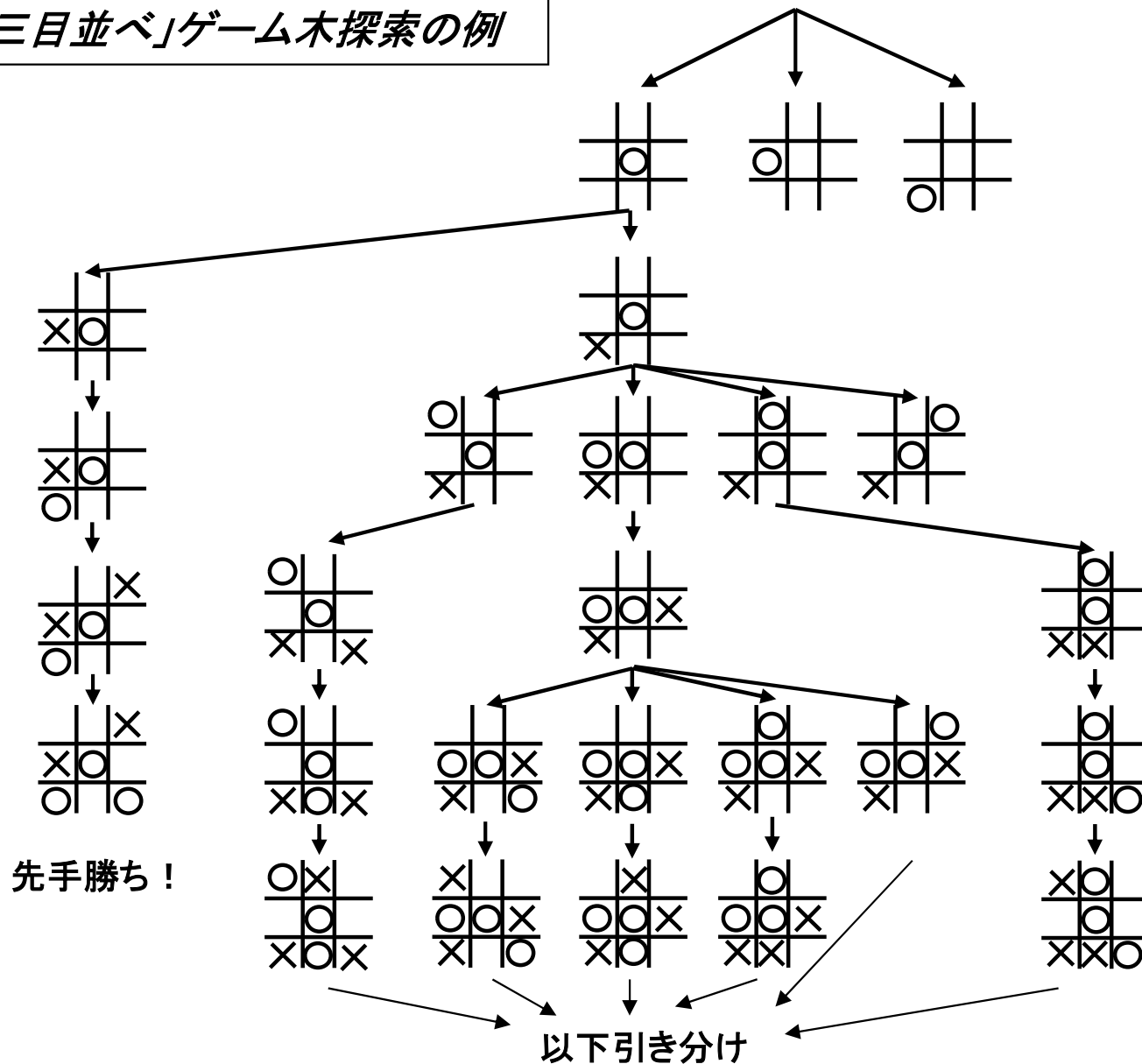
先手、後手、すべての可能性を調べてみて、先手後手が最善を
尽くしたらどっちが勝つか？



ゲーム木で考えてみよう！

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

「三目並べ」ゲーム木探索の例



★先後が最善を尽くすと引き分けるゲーム
➡ 結論「引き分け」がわかっているゲーム

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

(二人完全情報確定ゼロ和)ゲームについて考えてみよう！

●五目並べ(連珠)

何の禁じ手も無しだと、先手必勝であることがわかっている。

(ルールの変遷⇒ <http://rulebook.kyogo.org/>)

●オセロ

後手が有利であることが知られている。

●チェス

かなり先手有利。⇒ 先手後手1セットで対戦する

●将棋

やや先手有利(先手勝率. 530)

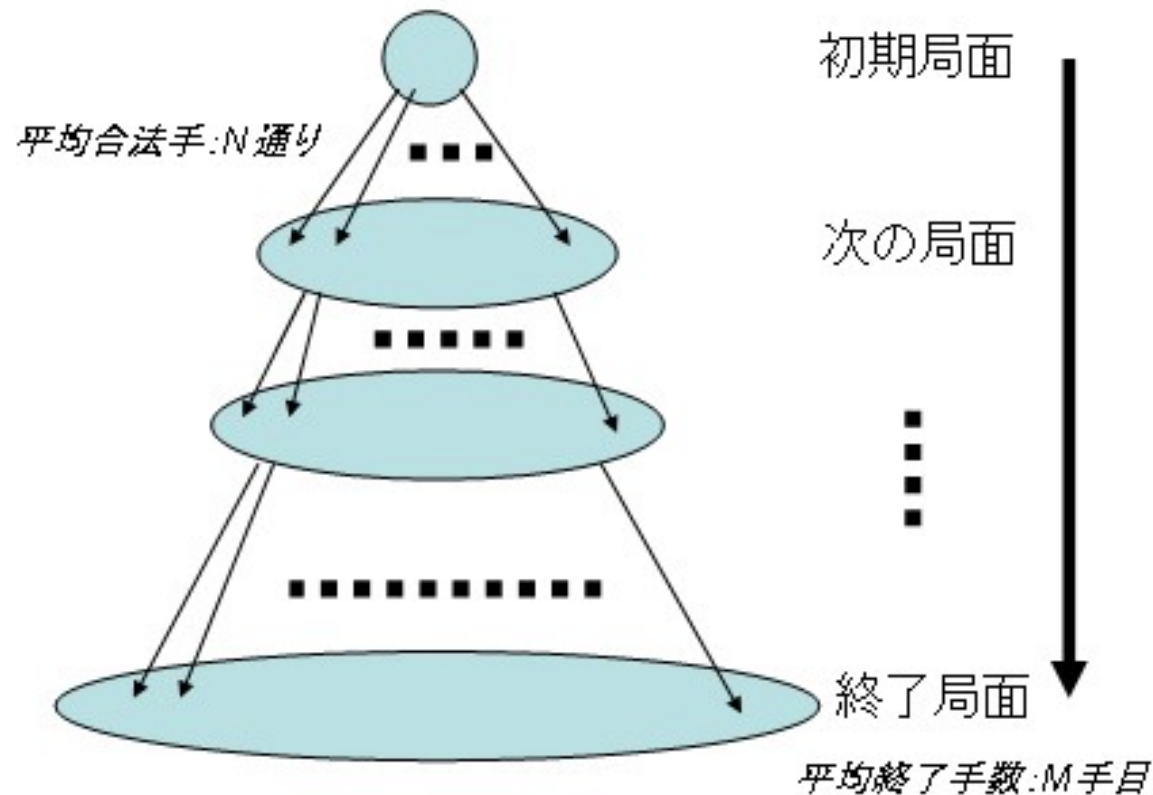
●囲碁

「コミ6目半」でバランスをとる。

先手後手のバランスを取るようにルールが進化してきた

ゲーム木探索と複雑さ

- 平均合法手と平均終了手数でゲームの複雑さが概算できる



一般にある局面で平均 N 通りの合法手があり、そのゲームの終局までに約 M 手かかることがわかっているとすると...

$$N \times N \times N \times \cdots \times N = N^M \text{ 通りの局面}$$

ゲームの難しさと探索空間

・探索空間の概算方法

一般にある局面で、平均N通りの合法手があり、終局までにM手かかると考える、、、

$$N \times N \times N \times \cdots \times N = N^M \quad \text{通りの局面}$$

・チェッカー	10の30乗
・オセロ	10の60乗
・チェス	10の120乗
・将棋	10の220乗
・囲碁	10の360乗

↓
数学的には
下ほど難しい

ゲーム木と評価関数

・ジャンピング5や三目並べなどの易しいゲームでは、ゲーム木を調べ上げることは可能であるが、世の中の多くのゲームは調べつくすことは殆ど不可能である。



調べられる範囲を調べてみて、局面を評価する
(その局面の優劣を判定する)

評価する基準となるもの $\equiv$ 評価関数

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

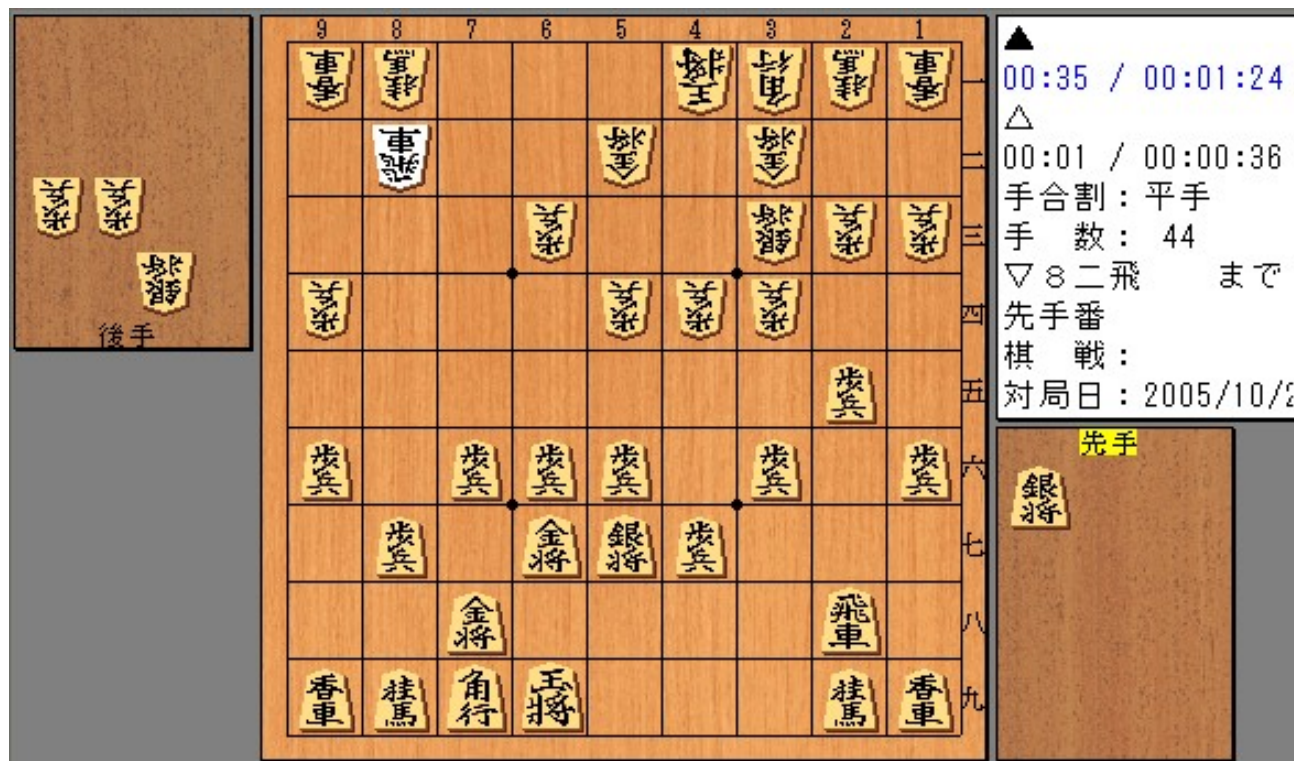
将棋の局面で考えてみよう！

評価関数の例

○駒の価値

○駒の効率

○局面の進行度



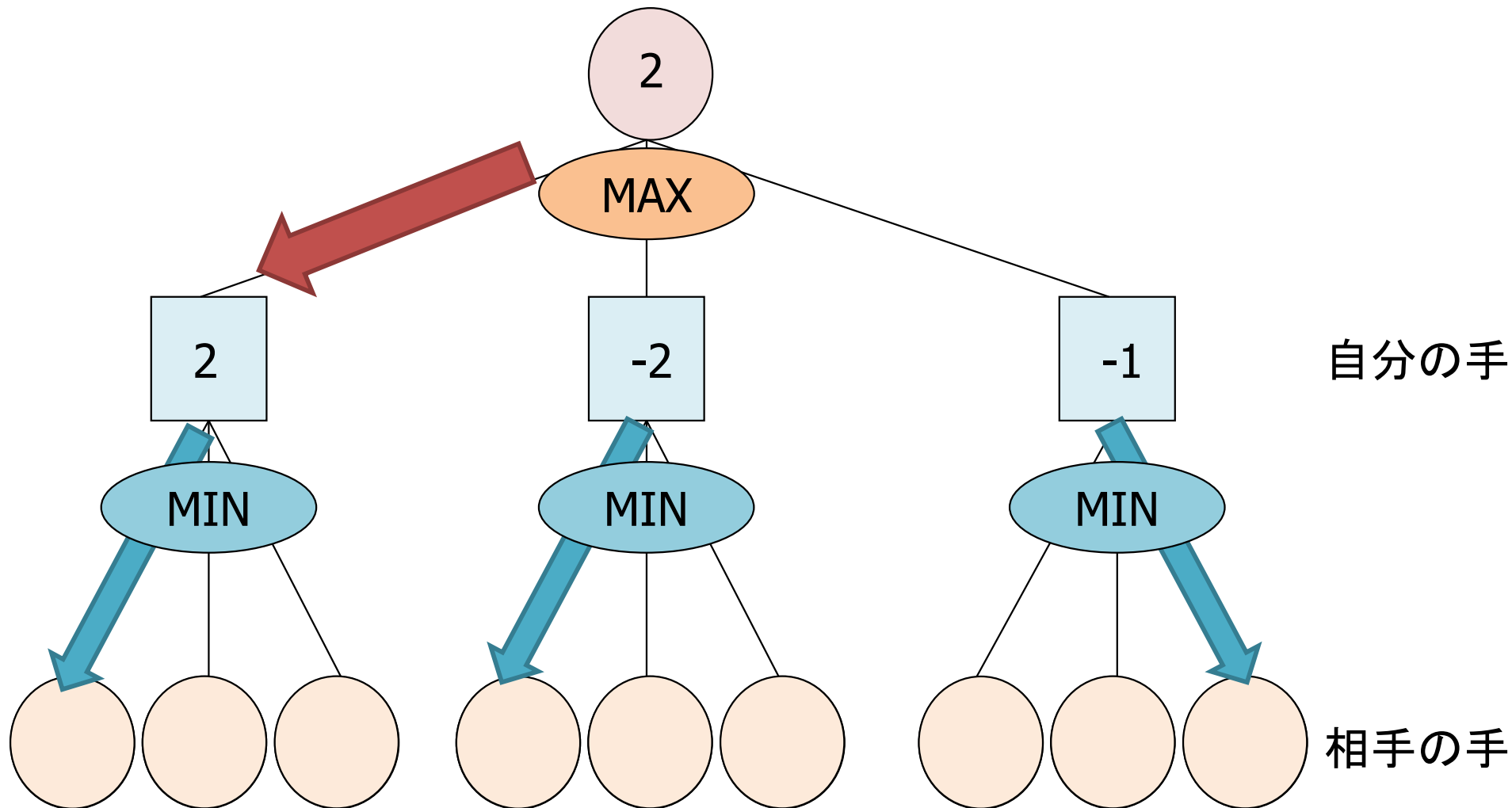
	歩	香	桂	銀	金	角	飛
基本価値	100	430	450	640	690	890	1040
駒が成る価値	320	200	190	30	0	260	260
持ち駒の付加価値	15	50	60	80	90	220	230

これらを数値化して、評価関数として計算する

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

ゲーム木探索の基礎

=相手は自分にとって最も嫌な手を選択するハズ！
→ミニマックス探索



ゲーム木探索の目標

・如何に深くたくさん読むか？

→一般に一手深く読むとレーティングにして約200ぐらい強くなると言われている

・如何に正確な評価関数を構築するか？

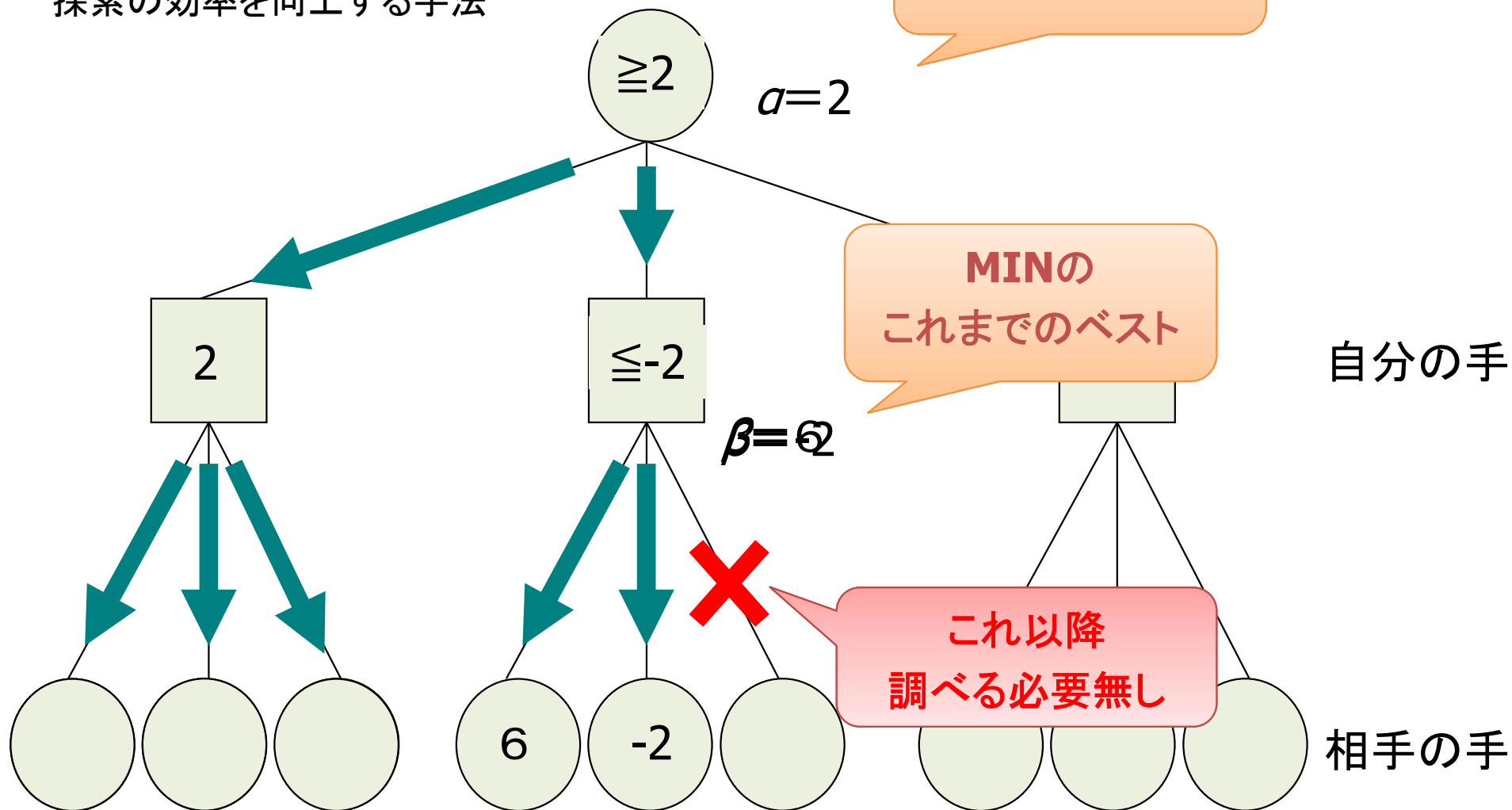
→評価関数が正確なら読まなくても良い！？

「探索の高速化」と「評価関数の設計」が
ゲーム木探索AIの両輪

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

アルファ・ベータ法

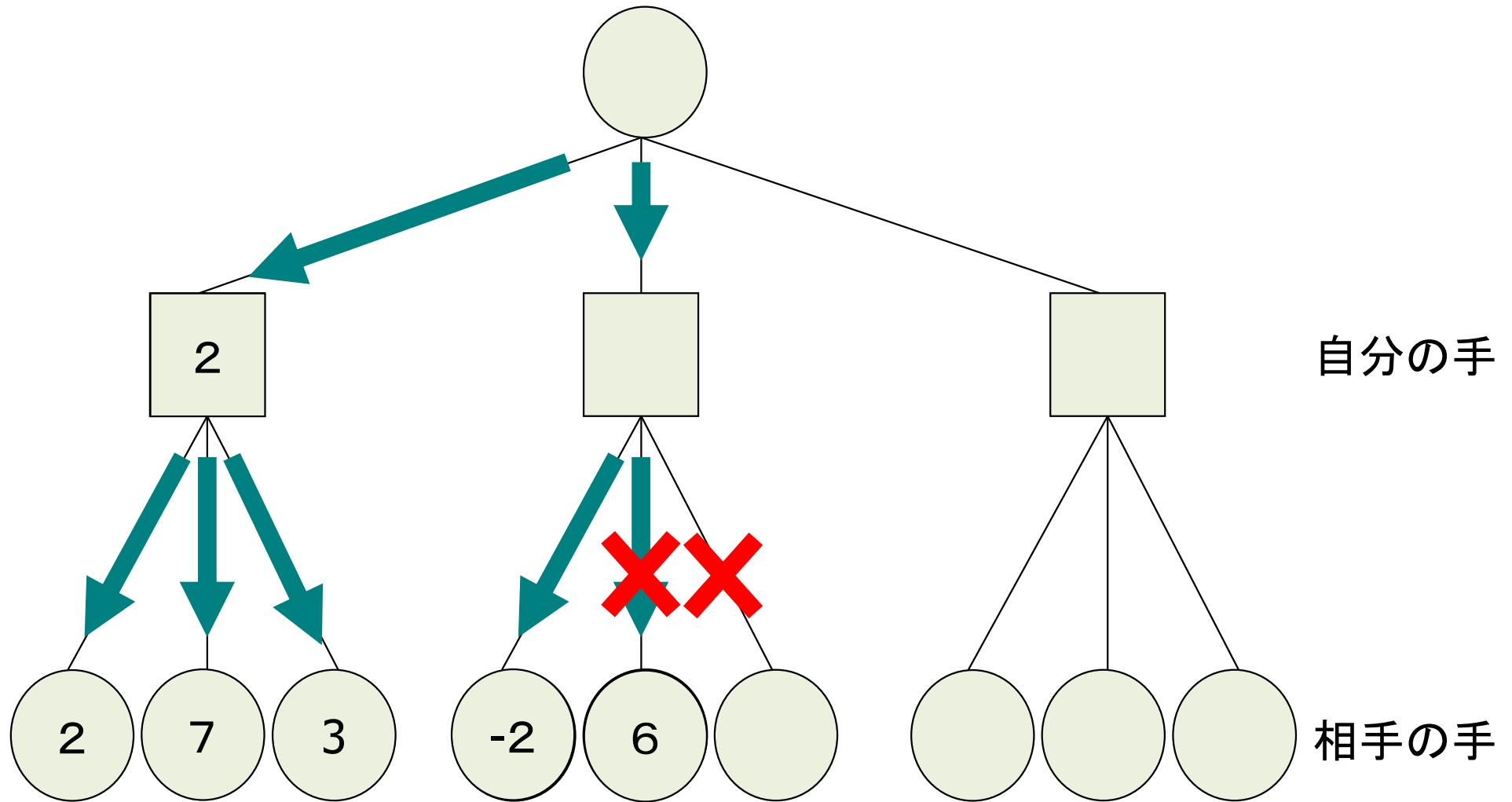
探索の効率を向上する手法



$\alpha \geq \beta$ の時、枝狩り

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

ムーブオーダリング...アルファベータ枝刈りを効率化する手法



反復深化で、最初に調べる枝ほどよい評価値のものが来るようにノードを並び替えることができれば効率が良くなる！

評価関数の機械学習: Bonanza Method

- 最大(小)化問題として力学系の最適制御理論を用いる
 - ラグランジュ形式の解析力学
 - パルス整形による化学反応制御
 - 最小燃料ロケット弾道計算
 - 池の鯉に与えるえさの制御など、、、

$$\int_0^T l(x, u, t) dt$$

- tを手数、xを局面、uを特徴ベクトルとみなして機械学習を行う

t : 時間に関する数

$x(t)$: 系の状態

- 棋譜の指し手とミニマックス探索がよく一致する特徴ベクトル(評価関数)を求める

u : 制御変数

- 棋譜中で選択された手を最良として、その他の手を教師信号より小さくする学習を行う

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

強くするための工夫

探索の工夫

・・・無駄なく深くたくさん読めば強くなる

- ・**アルファ・ベータ法(枝刈り)**
⇒無駄な探索を減らす手法
- ・**ムーブオーダーリング**
⇒ヒューリスティックスを用いて良さそうな手を優先的に探索する手法
- ・**BitBoardを用いた高速化**
⇒局面を2値化表現を用いることで演算速度の向上

評価関数の工夫

- ・**評価関数の機械学習**
⇒トッププレイヤーの棋譜を利用した教師有り学習
...成功例: Bonanza (将棋プログラム)

ゲーム木探索を使ったAI研究の進捗

ルール通りプレイする

探索の効率化

経験的手法の導入

評価関数の工夫

その他の様々な工夫

中級者(アマ初段レベル)を目指す

人間トップを目指す

ゲームを解く

様々な分野
への応用！