

公開講座 2012/12/9

コンピュータ囲碁の技術と展望



電気通信大学 情報理工学研究科
伊藤毅志

研究略歴 (自己紹介)

伊藤毅志

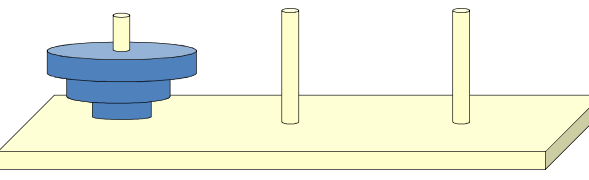
- 北海道大学文学部行動科学科
卒業研究 「逆ハノイの問題解決過程」
- 名古屋大学大学院工学研究科(情報工学専攻)博士課程
博士論文 「作図行動を含んだ問題解決の認知科学的研究
～幾何の証明問題からの考察～」
- 電気通信大学情報工学科赴任
 - ・学習支援システム(人間の学習支援、教育工学)
 - ・思考ゲームの認知科学的研究(記憶、思考、直観、熟達化)
 - ・熟達者の直観的知を抽出するシステム(KIDS)
 - ・強い思考アルゴリズムを作る研究(含鑑アルゴリズム、モンテカルロ木探索)
 - ・人間らしいプレーを模倣する人工知能研究
 - ・ヒューマンファクター(焦り、心的状態)がプレーに与える影響

思考ゲームを題材とした人間の思考・学習研究

逆ハノイの塔

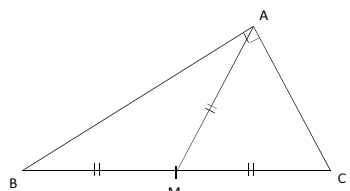
下の図のように、3枚の円盤が一番左のペグにささっていると、以下のルールで円盤を動かして、すべての円盤を右のペグに移動したい。どのように移動すればよいか？

<移動ルール>
 ○円盤は一枚ずつペグからペグに移動する。
 ○大きい円盤の上にそれより小さい円盤を乗せてはならない。



初等幾何の問題

【問題】
 $\triangle ABC$ において、辺BCの中点をMとする。ここで、 $AM=BM=CM$ ならば、 $\triangle ABC$ は直角三角形になることを証明せよ。



今、コンピュータ囲碁が熱い！

★九路盤囲碁：プロ棋士vsコンピュータ囲碁 Zen




2012年3月17日 九路盤ガチンコ対決
大橋拓文五段 vs 「Zen」
人間から見て・・・1勝1敗

2012年11月25日 九路盤ガチンコ対決2
蘇 耀国八段 vs 「Zen」
王橋 拓文 五段 vs 「Zen」
一力 遼 二段 vs 「Zen」
人間から見て・・・6戦全勝！

今、コンピュータ囲碁が熱い！

★十九路盤囲碁：トッププロ棋士 vs コンピュータ囲碁Zen



2012年3月17日 5子、4子置碁戦
武宮正樹九段 VS
「Zen」(2011年UEC杯コンピュータ囲碁大会優勝)
—コンピュータから見て2連勝

自己紹介に代えて:私の研究の興味

・人間の高度認知活動(問題解決、学習過程、直観的思考)を対象にした研究

ー問題解決

- ⇒複雑な問題をどのように解決していくのか?
- ⇒人間特有の直観の解明
- ⇒情動の思考過程に与える影響

ー学習(学習支援)

- ⇒学習意欲を向上させるシステム
- ⇒学習を効率化するメタ認知

ー無意識(直観)

- ⇒面白さ(感性)の研究
- ⇒直観的入力装置(わかりやすさ、楽しさ)

2012/12/10

コンピュータに思考ゲームをさせるとは?

欧米では、"チェス"は「知性」の象徴
⇒一つの「**グランドチャレンジ**」

映画「2001年宇宙の旅」(1968)
宇宙飛行士とHAL(コンピュータ)が
チェスをプレーする象徴的なシーン

欧米のインテリな家庭
インテリア感覚でちょっと高価な
チェスボードが置いてある

◎強いゲームプログラムを作ること
≡知的なシステムを構築すること

⇒人工知能の黎明期から盛んに研究され続けた。

ゲームを研究対象にするメリット!

～ゲームは人工知能(認知科学)研究の宝庫!～

●研究の題材として扱いやすい

- ・馴染みやすく、被験者も集めやすい題材である。
- ・ルールが明確で、コンピュータに載せやすい。
- ・改良が勝敗(強さ)に直結する。
- ・プレイヤーが多いと強さを計る尺度がある。(段級、レーティング)

●人工知能や認知科学の様々なエッセンスを含む

- ・探索 ⇒情報探索、推論システム、最適化技術
- ・知識ベース ⇒データベース、知識モデル
- ・学習 ⇒機械学習、学習理論
- ・その他 ⇒理解、問題解決、思考、教育

チェスの研究の歴史

1840年代 チャールズ・バベッジの著作
⇒アイデアの提案

世界初のプログラムで
きる計算機の考案!

情報理論の父

1949年 クロード・シャノン
「チェスをプレーするコンピュータプログラミング」
⇒チェスを研究する意義

1951年 アラン・チューリング
「コンピュータチェスの研究成果」
⇒次の一手を考える解析部

計算機科学の父

1967年 グリーンブラッド(学生)「マックハックIV」
⇒初めてのコンピュータチェスプログラム(5手先読み)
(1秒間に100手程度)

<<< 探索アルゴリズムの研究論文だけで、数百本 >>>

1997年 「世紀の対決」Deep Blue VS カスパロフ氏

これ以降も対戦は続いている、..

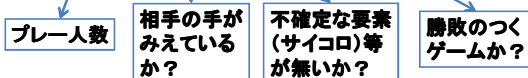
チェスは、人工知能研究のミバエである。

(by Alexander Kronrod)

チェスの情報学的分類

- ・チェスなどのゲームは、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)将棋、囲碁、オセロ、チェッカー、中国象棋などなど

二人完全情報確定ゼロ和ゲーム

<特徴>

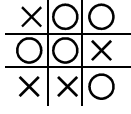
- 先手後手、すべての合法手がお互いにわかっている。
- ゲーム木という形で、ゲームの問題空間を表現できる。
- 有限ゲームであれば、必勝法が存在する。

先手必勝、後手必勝、引き分け?

必勝法がわかる ⇔ ゲームを解く

ゲームとゲーム木探索

「三目並べ」で考えてみよう!

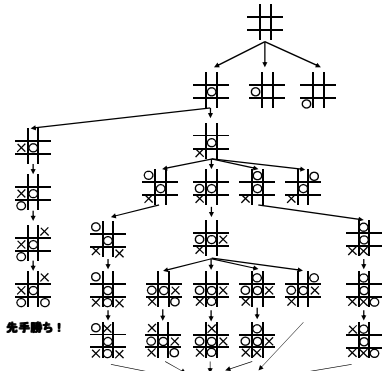


↓
引き分け!

【「三目並べ」のルール】

- 3×3のマスを使う
- 二人で、先手、後手、交互にプレーする
- 先手は「○」、後手は「×」をマスの中に書く
- 目的「縦・横・斜め、いずれかで、先に3つ並べれば勝ち

「三目並べ」のゲーム木



★このぐらいの探索範囲の狭いゲームなら、先手後手のすべての手をゲーム木で調べ尽くすことができる!

↓

すべてのゲーム木を調べ尽くすことが出来れば、ゲームの答えがわかる!

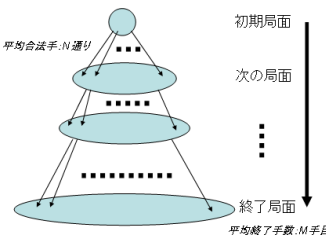
ゲームを解く!

以下引き分け

先手勝ち!

ゲーム木探索と複雑さ

- ゲーム木で考えると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...

$N \times N \times N \times \dots \times N = N^M$ 通りの局面

情報学的に見たゲームの複雑さ

- 想定される探索の量と難しさ

| | | |
|-------|---------|-------------------|
| チェッカー | 10の30乗 | 完全解析(2007年)「引き分け」 |
| オセロ | 10の60乗 | 人間トップに勝利(1997年) |
| チェス | 10の120乗 | |
| 将棋 | 10の220乗 | プロ棋士に肉薄! Xティは? |
| 囲碁 | 10の360乗 | アマチュア五段以上? |

一般に探索範囲が広いほどコンピュータには難しい

チェス以外の主な思考ゲーム研究の歴史

「チェッカー」

- 1950年代 サミュエル(BM研究者) (←遺伝的アルゴリズム)
- 1992年 シューファーら「Chinook」vs ティンズレー氏 (2勝4敗33引分)
- 42年間5敗だけのチャンピオンに2回勝つ! (←探索型アルゴリズム)
- 2007年 シューファーら「完全解の発見!」(引き分け)

「オセロ(リバーシ)」 (オセロはソングの高橋孝雄)

- 1975年頃 アメリカにて初のリバーシプログラム (←チェスの探索手法を用いる)
- 1980年代 森田オセロ、Paul Rosenbloom 作のIAGOなど
- 1990年代 リーら「BILL」 (←自動的に静的評価関数を学習)
- 1997年 Michael Buro「logistello」 (←自動定石学習法、パターン学習法など) 対 世界チャンピオン村上氏(6戦全勝)

コンピュータ将棋の歴史

- 1976年 初のコンピュータ将棋プログラム(早稲田大学)
- 1979年 初のプログラム同士の対戦 大阪大学 VS 玉川大学(2ヶ月!)
- 1983年 初の市販プログラム
- 1985年 森田将棋 (3手の読みの実現、5手詰めの実現)(10級程度)
- 1987年 コンピュータ将棋協会設立
- 1990年 第1回コンピュータ将棋選手権
- 1990年代 (アマチュア有段者レベルへ)
 - 詰め将棋の研究(反復深化法、最良優先探索)
 - 将棋、碁(金沢将棋)、YSS(AI将棋)、IS将棋(東大将棋)
- 2000年代～現在 (アマチュア高段者～プロ棋士レベルへ)
 - 激指の登場(実演確率探索)
 - 2005年 コンピュータ将棋とプロ棋士の許可のない対局の禁止(将棋連盟)
 - 2006年 「Bonanza」の出現!(全幅探索、評価関数の自動学習)
 - 2007年 「逢坂竜王 VS Bonanza」
 - 2009年以降、「文殊」「大槻将棋」「ボンクラーズ」「芝浦将棋」等々... (ボンザザルドレン)
 - 2010年 情報処理学会特別プログラム「あから」が清水市代女流王将に勝利!
 - 2012年 「ボンクラーズ」が米長邦雄元名人に勝利!

チェス、将棋、オセロなどのゲーム木探索

評価関数とミニマックス探索

…相手は自分にとって一番嫌な手を選択するはずだ！
→数手先をすべて読んでみて、その局面の良し悪しを判断し、次の一手を決める

すべてのコンピュータプログラムはこの基本構造を持っている！

チェスライクゲームAI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」がコンピュータ将棋の両輪

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！

ゲーム木探索の手法がうまくいかない！

コンピュータ囲碁の歴史(1)

| 盤のサイズ (k = 1, 2) | 勝敗 |
|------------------|----|
| 1 × 4k | 黒勝 |
| 1 × (4k - 1) | 黒勝 |
| 1 × (4k - 2) | 引分 |
| 1 × (4k - 3) | 引分 |
| 2 × 2 | 引分 |
| 2 × 3 | 引分 |
| 2 × 4 | 黒勝 |
| 3 × 3 | 黒勝 |

[Thorp & Walden, 1964]

- ・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)
- ・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

石の周辺に発散される影響力(ポテンシャル)

コンピュータ囲碁の歴史(2)

- ・1980年代
 - 初のコンピュータ囲碁大会(1984; ロンドン、13路盤)
 - 初の19路盤コンピュータ囲碁大会(1986–2000; 台北)
 - ある程度の強さのプログラムの出現
(Many Faces of Go, Go Intellect, Goliath)
 - 商用プログラムの出現
- ・1990年代
 - 新たなAI技術の適用; 機械学習
 - ニューラルネットワーク
 - モンテカルロ碁(1993)の出現
 - 認知科学的研究(齊藤ら; 1993)
 - 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
 - 2001年 囲碁プログラムに初の初段認定
 - 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！！**
 - モンテカルロ囲碁(CO2006; 9路盤で大活躍！2006)
 - 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
エキシビジョン: 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
エキシビジョン(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
エキシビジョン(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
エキシビジョン(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
 - 12月 第6回UEC杯開催「Zen」優勝(日本のプログラム初優勝)
エキシビジョン(6子): 鄭銘コウ九段 VS Win「Zen」
- 2012年
 - 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ン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
 - 11月25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ンメントと認知科学研究ステーション
協力:東進ハイスクール/東進衛星予備校
第1局 一力遼二段(黒) Win vs. Zen(白)
第2局 大橋拓文五段(白) Win vs. Zen(黒)
第3局 蘇雅国八段(黒) Win vs. Zen(白)
第4局 一力遼二段(白) Win vs. Zen(黒)
第5局 大橋拓文五段(黒) Win vs. Zen(白)
第6局 蘇雅国八段(白) Win vs. Zen(黒)

囲碁プログラムのアルゴリズム(2006年以前)

人間が考えていることを模倣する!!

1. 盤面認識

- ・点、連、群、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探索

3. 着手の決定

- ・各候補手を評価値で比較

知識を用いた大幅な候補手の絞り込み(10手程度)
⇒限定的な探索、浅い先読み(5手以内程度)

モンテカルロ法とは?

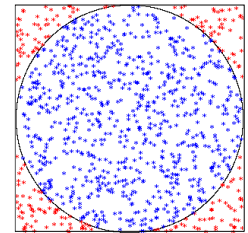
...乱数を用いたシミュレーションを何度も行うことにより近似解を求める計算手法。解析的に解くことが困難な問題でも、十分多くの回数シミュレーションを繰り返すことにより、近似的に解を求めることができる。

モンテカルロ法を用いた円周率の計算の例

⇒正方形に内接する円を描いて、正方形の内部にランダムに点を打ち、以下の値を計算する!

$$\frac{\text{(円の内部の点の数)}}{\text{(全部の点の数)}} = 786 / 1000$$

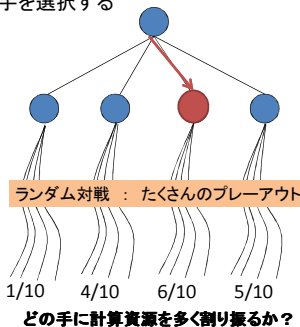
半径1の円に外接する正方形は面積4なので、
 $1 \times 1 \times \pi = \pi = 4 \times 0.786 = 3.144$



囲碁でモンテカルロ

原始モンテカルロ法

...乱数シミュレーション対局を大量に行い、最も勝率の高い手を選択する



効率化の工夫:UCB

多腕バンディット問題

どれがよく出るかわからないスロットマシンが複数台あるとき、どのスロットマシンにどれだけコインを費やすか?



<最適化計算>UCB(Upper Confidence Bound)の値を計算し、最も大きい値のモノを試す。

$$\text{UCB} = \text{そのスロットのその時点での報酬(期待値)} + \alpha * \text{sqrt}(\log(\text{すべての試行回数}) / \text{そのスロットを試した回数})$$

- スロットの報酬が大きいものほど試す
- あまり試していないスロットほど試す

モンテカルロ木探索の登場

1. 勝率の高い手を多くプレイアウトする
2. プレイアウトの回数がある閾値を超えたら、木を展開する

- どの手をどれだけ調べるべきか?
→ N腕バンディット問題 (Multi-armed Bandit Problem)
- この最適解を求める方法
→ UCB (Upper Confidence Bound)
- プレイアウトの回数がある程度以上増えたら、子ノードを展開する
→ 擬似的な木探索

モンテカルロ+UCB=モンテカルロ木探索(UCT)

- どの手を多く調べるか?
(Upper Confidence Bound)
→ 良さそうな手を多く調べる
→ あまり調べていない手を調べる
- ある程度以上調べたら、更に次の手を調べる
→ さらに深く調べる

これを繰り返して、有り得そうな手を多く調べる!

モンテカルロ法の凄い点

- 複雑な評価関数の設計が不要!
⇒ 膨大なプレーアウトと勝率計算のみ
⇒ 囲碁の専門的知識不要!
- 並列計算が比較的容易!
⇒ 並列化の効果が非常にしやすい

↓

コンピュータ囲碁の飛躍的進歩!
アマチュア高段者レベルへ!

最近の電気通信大学のコンピュータ囲碁イベント

2012年3月17日
「コンピュータ囲碁がプロ棋士に挑戦」
九路盤:「大橋拓文五段 VS Zen」、十九路盤:「武宮正樹九段 vs Zen」(置碁)

2012年6月
「日本棋院と電気通信大学の間でコンピュータ囲碁の進化に向けた提携」
1) UEC杯コンピュータ囲碁大会の開催
2) プロ棋士と囲碁プログラムの公式対局イベントの開催
3) プロ棋士と交えた囲碁の研究
4) 囲碁を題材にした授業の検討

2012年11月25日
「コンピュータ囲碁がプロ棋士に挑戦 第2弾」
九路盤:「蘇 耀国八段、大橋拓文五段、一力遼二段 vs Zen」

2012年12月8,9日
公開講座「囲碁将棋で学ぶゲーム情報学」

2013年3月16,17日
「第6回UEC杯コンピュータ囲碁大会」

2013年3月20日
「第1回電聖戦」
第1局 24世本因坊秀芳 vs. UEC杯準優勝プログラム※(予定)
第2局 24世本因坊秀芳 vs. UEC杯優勝プログラム※(予定)

未来予想、

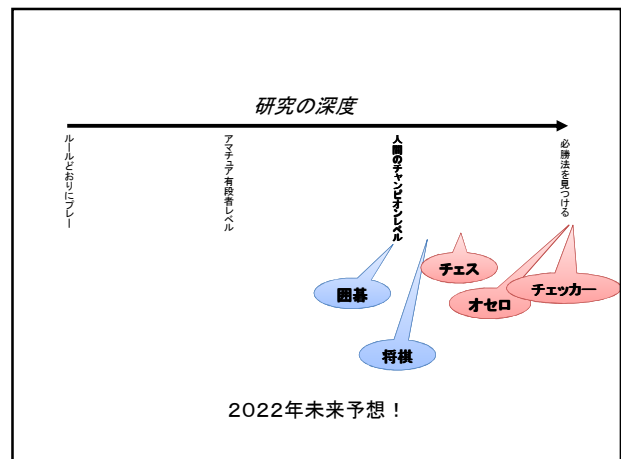
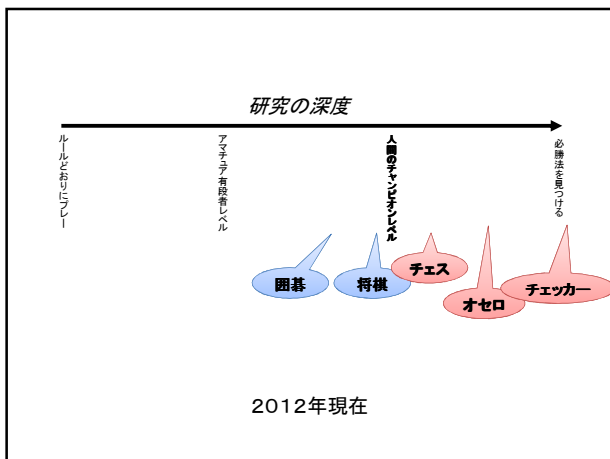
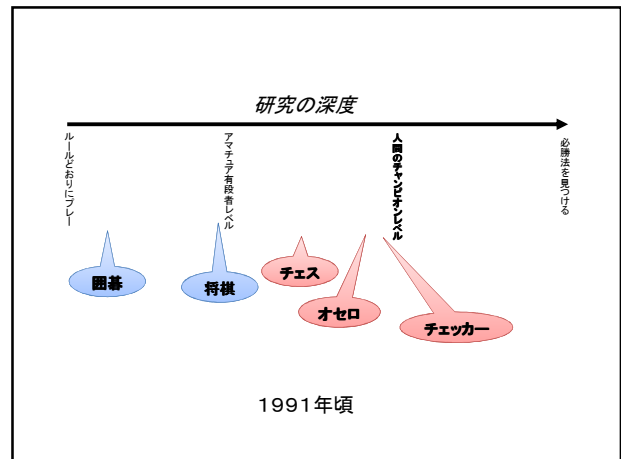
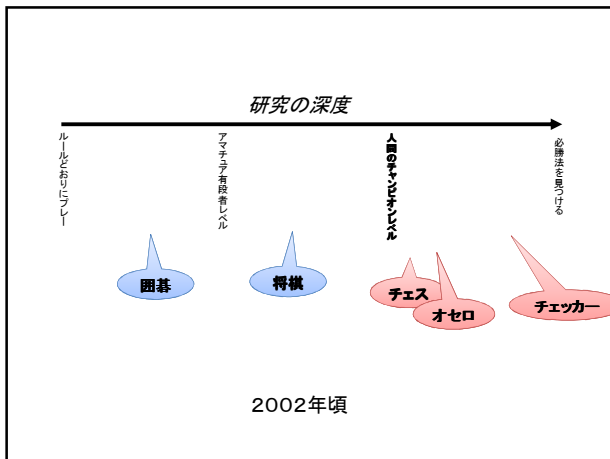
<コンピュータ将棋について>

- (1) 来年の電王戦の対戦は?
「プロ棋士5人 VS コンピュータ将棋5台」
- (2) 近いうちにコンピュータは人間を超える
- (3) 超えた先には、...
- プロ棋士の対局の価値は?
- 人がコンピュータから教わる?
- アドバンスド将棋?
- コンピュータに求められるものは?

<コンピュータ囲碁について>

- (1) プロ棋士を超えるのはいつか?
- (2) そのために必要な技術は?

2012年現在



Xディに向けて認知科学者として、、、

- 1) 対戦する人間のプレッシャー、メンタルファクター**
→プレッシャーの中で、最大限に力を発揮できる環境づくり
→対局者のメンタル面の不安をどう取り除くか？
- 2) 誰と(Who)いつ(When)どう(How)対戦するか？**
→相応の対戦相手！(羽生三冠？森内名人？井山名人？)
→タイミングは？
→対戦方法は？異種格闘技をどう公正にするか？
- 3) 正しくこの対戦の意義を伝える！**
→コンピュータの計算力、技術力の進歩！
→プロ棋士の認知能力の素晴らしさ！

そもそも人間とコンピュータは別物！

- ・レーシングカーと100mの世界チャンピオンが競争するようなモノ！
- コンピュータの思考は？
...膨大で単調な探索を高速に行う
- 1秒間に百万~数百万手を読む
- 1秒間に数十万~数千万シミュレーション
- 漏れのない膨大で単調な計算
- 人間の思考は？
...大局観に基づく直観で手を生成する
- 如何に無駄な手を読まないか？
- 直観を研ぎ澄まして、最善手を導く

ゲーム研究の応用

- 1) ゲーム研究の身近な応用例**
- 自然言語処理技術への応用
 - 経路探索、情報検索
 - 様々なAI技術へ
- 2) 今後のゲーム研究の展望**
- ユーザーインターフェース
 - 対戦して楽しい
 - 対戦して為になる(学習支援)

人工知能のその他のチャレンジ!

- 1) ロボットにサッカーをさせる!**
- <ロボカップサッカープロジェクト>
- ⇒2050年までにロボットチームがW杯で優勝!
- 「ロボットにチームプレーをさせる!」
- 「ロボットに人間のような精緻な動きをさせる!」
- 2) ロボットは東大に入れるか?**
- <東大入試プロジェクト>
- ⇒2016年までにセンター試験足切り回避!
- ⇒2021年までに東大合格!
- 「コンピュータに問題の理解をさせられるか?」
- 3) コンピュータは星新一を越えられるか?**
- <ショートショート作成プロジェクト>
- ⇒2017年までに星新一を超えるショートショートを作る!
- 「人工知能に人間のような感性をもたせられるか?」