

Title	指導碁を行う囲碁プログラムのための悪手検出と想定図を用いた説明
Author(s)	山中, 翠
Citation	
Issue Date	2016-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/13637
Rights	
Description	Supervisor:池田 心, 情報科学研究科, 修士

指導碁を行う囲碁プログラムのための悪手検出と 想定図を用いた説明

北陸先端科学技術大学院大学

情報科学研究科情報科学専攻

山中 翠

2016年3月

修士論文

指導碁を行う囲碁プログラムのための悪手検出と 想定図を用いた説明

1410044 山中 翠

主指導教員 池田 心 准教授
審査委員主査 池田 心 准教授
審査委員 飯田 弘之 教授
長谷川 忍 准教授

北陸先端科学技術大学院大学

情報科学研究科情報科学専攻

2016年2月

概要

ゲーム情報学の目標の一つに「人を楽しませる AI」を作るというものがある。そして、「人を楽しませる AI」を作るためには人とゲームを成り立たせることができるだけの強さが求められる。そのため、どんなゲームでもまず強さが求められ、研究されてきた。

例えば、二人相互完全情報ゼロサムゲームであるチェス、将棋ではプロと同等の AI が作られた。そして、囲碁においてもその探索空間の広さや状態評価関数作成の難しさから強さの進展は遅れていたものの、近年モンテカルロ木探索およびディープラーニング技術の活用レベルによりとうとうプロレベルに至っている。いまや一般の人にとって囲碁プログラムの“強さ”は十分なものになり、そこでゲーム AI 研究の原点に立ち返って人間を楽しませるような取り組みが囲碁でも可能になりつつある。

本研究では、人間プレイヤーを上達させることを目的とした“指導碁”をコンピュータに行わせることを大目的に置く。指導碁とは、棋力を上昇させるために、段級位が相対的に上位（上手，うわて）のものが段級位が相対的に下位（下手，したて）のものに対し指導しながら打つ対局のことである。麻雀等他の一般的なゲームではあまり行われないが囲碁では良く行われている対局の様式である。一言に指導碁と言ってもいくつかの種類が存在し、対局中に着手を指摘しながら指導を行うものや検討時に悪手の指摘・解説や対局の復習などを行うことで棋力の上昇を図る場合ものなどが存在し、どちらにしても何度も繰り返し行うことが上達のために効果的である。

現在、指導碁は人間の上級者が行うことがほとんどであるが、強いプレイヤーなら誰でも適切に指導できる訳ではない点を強調したい。なぜなら、指導碁を行うには教える相手に合わせた打ち方や教え方が必要だからであり、また特に親子・兄弟・夫婦間では感情的になってしまうことも多いからである。指導を専門としているレッスンプロや囲碁教室の指導者にかかれば上質な指導を受けられるものの、たとえば日本棋院の指導碁は会員価格で

も1局3600円にもなり、気楽に受けられる金額ではない。そこで、指導碁をプログラムによって行えるようになれば囲碁普及のためにも価値は高いと考える。

そこで本研究ではまず、碁会所などで行われている、人による実際の指導ではどのようなことが行われているのか聞き取り調査を行った。指導碁以外にも囲碁教室では、その時々テーマに沿った詰め碁の問題が提示され受講者が解いて、指導者が講義として解説した後、勉強した内容を受けて受講者同士で対局して復習を行うことが行われていた。指導碁では、指導者と実際に対局を行い、受講者が実戦で打った悪い手を解説するということが主に行われていた。さらに、指導者が対局中に気をつけていることが、「相手のレベルを推定し合わせる」「不自然な手を避けながら接戦に持ち込む」などいわゆる“接待碁”の要素と重なっていることが判明した。

碁会所での聞き取り調査とは別に、棋書についても調べた。問題形式のもの多くは、解説として正解図・変化図・失敗図などからなり、それぞれの図の横に解説文が書かれていて、読者に図と文字でわかりやすく説明していた。以上から、コンピュータを用いた教育法としては「接待碁」をベースとした対局を行ったうえでその途中・終局後に悪手の指摘を行い、悪手である理由・生じた結果の説明や、どう打てばよかったのかを図を用いて行うことが有望であるとの結論に至った。

次に、取り扱う悪手とその解説方法についてまず取り組むべき範囲を考察した。悪手の定義は状況により様々に考えられ、min-max原理により定まるはずの最善手集合以外を全て悪手と呼ぶことも可能である。しかし現実的には特に悪い結果を導くものだけ、あるいは確実に悪い結果を導くものだけを悪手と呼ぶことが多く、プレイヤーのレベルによっても悪手の実用上の定義は変わってくる。さらに悪手には多くの場合「最善手ではない」ということ以外に何らかの理由付け・種類分けが可能である。これを本研究では実地調査に基づき列挙したうえで、コンピュータ上でどのように定義・判別を行うべきかを考察した。

このように検出した悪手に対して、指導の際には「なぜ悪手か」（悪手の理由説明）「どうなってしまったか」（悪手の結果説明）「どうすればよかったか」（想定図）の3点セットで解説されることが多いことが分かっており、これを実装することを目指した。これら

を行うためには、標準的な囲碁プログラムの機能の利用、または拡張が必要である。例えば「石が強いか弱いか」を判定するためには、モンテカルロ碁の基本的な統計量である **ownership** を活用することができる。あるいは想定図を作成するためには、碁盤全体ではなく一部分に限定した探索を行うような拡張が必要である。これら、「悪手解説に必要な要素」および「囲碁プログラムでそれをどう実現するか」をまとめ、検出から説明までのプロトタイプを作成したことが本研究の成果である。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	指導碁と関連研究	3
2.1	囲碁	3
2.2	囲碁用語	5
2.2.1	囲碁の基本ルール及び対局の流れ	5
2.2.2	石の死活及び石の強弱について	8
2.2.3	形の良い悪い	10
2.2.4	大場と急場	11
2.3	接待碁・指導碁	12
2.4	関連研究	15
2.4.1	囲碁プログラムの基本的枠組み	15
2.4.2	接待碁	18
2.4.3	詰将棋の解説文生成	19
第3章	アプローチ	20

3.1	対象者の限定	20
3.2	聞き取り調査	22
3.3	扱う悪手の限定と解説イメージ	24
第4章	悪手指摘の方法	26
4.1	悪手の定義と種類	26
4.2	悪手の解説と想定図	29
第5章	悪手解説の実装	30
5.1	要素技術	30
5.2	悪手検出	33
5.3	理由説明	35
5.3.1	手拍子の手	35
5.3.2	そっぽの手	37
5.3.3	おつきあいの手	38
5.3.4	大場・急場に関する手	40
5.4	結果説明	43
5.4.1	石の死活	43
5.4.2	石の強弱	45
5.5	想定図作成	46
5.6	実際の指摘の様子	50

第6章	まとめ	52
第7章	謝辞	53
付録A	扱わない囲碁の高度な内容	54
A.1	囲碁の高度なルール：コウについて	54
	参考文献	56

目次

2.1	囲碁の地	3
2.2	石を取る例	5
2.3	着手禁止点	6
2.4	石の強弱・死活の例	9
2.5	形の良し悪しの例	10
2.6	大場・急場の例	11
2.7	モンテカルロ法の概略図	15
2.8	モンテカルロ木探索の概略図	16
2.9	評価値を利用した確率選択	17
2.10	接待碁の要素	18
2.11	詰将棋の解説文生成の流れ	19
3.1	調査結果	23
3.2	悪手の種類のまとめ	24
3.3	実現したい悪手指摘のイメージ	25

5.1	白 18 と打った局面における，黒の各地点への予測着手確率 (%)	31
5.2	Ownership 及び Criticality の例	32
5.3	手拍子の例：一見 D6 が良さそうに見えるが悪い結果になる	36
5.4	そっぽの手の例	38
5.5	おつきあいの手の例	40
5.6	急場・大場の例	42
5.7	Ownership の変化の例 1	44
5.8	Ownership の変化の例 2	45
5.9	想定図	46
5.10	重み付けの例 1	48
5.11	重み付けの例 2	49
5.12	実装した図	50
5.13	作成した想定図	51
A.1	コウの図	54

表 目 次

5.1 着手と局面を表す記号	33
--------------------------	----

第1章 はじめに

ゲーム情報学の研究の目的は、強いコンピュータプレイヤー (AI) を作りたいというものがあるが、人を楽しませることが出来る AI を作りたいというものもある。とはいえ、人を楽しませるためにはまず人とゲームを成り立たせることができるだけの強さが求められる。よって、どんなゲームでも強さが求められ、研究されてきた。

例えば、二人相互完全情報ゼロサムゲームであるチェスでは、1996年にチェスプログラムディープ・ブルーが世界チャンピオンに勝利し、また、同様に二人相互完全情報ゼロサムゲームである将棋でも2000年代にはプロと同等の強さを持つようになってきた。

囲碁においてはその探索空間の広さや状態評価関数作成の難しさから強さの進展は遅れていたものの、近年モンテカルロ木探索 [5] の登場およびディープラーニング技術の活用レベルによりとうとうプロレベルに至っている [11]。いまや一般の人にとって囲碁プログラムの“強さ”は十分なものになり、そこでゲーム AI 研究の原点に立ち返って人間を楽しませるような取り組みが囲碁でも可能になりつつある。

一般のコンピュータゲームプログラムの場合、強いプログラム以外では「強さが調整できること」「自然な挙動をすること」[1]「対戦して面白い敵となってくれること」あるいはチームプレイにおいて「信頼できる味方となってくれること」[2]、パズルゲームなどで「面白いステージを生成してくれること」[3]などが研究の対象となってきた。これらのうちいくつかは囲碁プログラムとも関連が深い。強さの調整・自然な挙動を含めて対戦して面白い敵というのは、「相手を楽しませるいわゆる“接待碁”をコンピュータに行わせる」[4]ということであるし、面白いステージ生成というのはいわゆる“詰碁”を作ることにあたる。本研究では、これをさらに一歩進めて、人間プレイヤーを上達させるため

の“指導碁”を大目的に置く。

指導碁とは、棋力を上昇させるために、段級位が相対的に上位（上手，うわて）のものが段級位が相対的に下位（下手，したて）のものに対し指導しながら打つ対局のことである。麻雀等他の一般的なゲームではあまり行われないうえ囲碁では良く行われている。一言に指導碁と言ってもいくつかの種類が存在し、対局中に着手を指摘しながら指導を行うものや検討時に悪手の指摘・解説や対局の復習などを行うことで棋力の上昇を図る場合のものなどが存在し、どちらにしても繰り返し行うことが重要である。

現在、指導碁は人間の上級者が行うことがほとんどであるが、強いプレイヤーなら誰でも適切に指導できる訳ではない点を強調したい。詳しくは2章で述べるが、指導碁を行うには教える相手に合わせた打ち方や教え方が必要だからであり、また特に親子・兄弟・夫婦間では感情的になってしまうことも多いからである。指導を専門としているレッスンプロや囲碁教室の指導者にかかれば上質な指導を受けられるものの、たとえば日本棋院の指導碁は会員価格でも1局3600円にもなり、気楽に受けられる金額ではない。そこで、指導碁をプログラムによって行えるようになれば囲碁普及のためにも価値は高いと考える。

本研究ではまず、指導の専門家が実際どのように指導を行っているのかを調べ、そこから何が囲碁プログラムに求められるのかを見定めるというアプローチを取る。詳細は3章に後述するが、近隣の碁会所や日本棋院を訪れて調査を行った結果、知られている“接待碁”の要素[4]および“悪手解説”がその中心的な要素であることが判明した。そこで本研究では、指導碁プログラムへの第一歩として、指導碁とりわけ悪手の解説について考察し、それを実現するのに必要な要素を列挙し、それらに対してとりうるアプローチをまとめることを目標とする。その上で、標準的な囲碁プログラムの機能を流用しやすいものについて実装し、プロトタイプとして示す。

本稿の構成は以下の通りである。2章で基本的な囲碁用語と接待碁・指導碁について解説し、解説文作成に関する先行研究について述べる。3章では本稿での指導碁に対するアプローチをまとめ、4章で具体的に悪手指摘の方法を紹介する。5章では、提案した手法の実装法及びプロトタイプを示す。6章で本稿のまとめと今後の展望を述べる。

第2章 指導碁と関連研究

本章ではまず囲碁とその用語について概説し，接待碁とは何か，なぜ重要なのかを述べたあと，その要素の1つ悪手の指摘について例を挙げて説明する。

2.1 囲碁

囲碁は二千年以上の歴史のある二人相互完全情報ゼロサムゲームである。二人のプレイヤーが石と呼ばれる白黒の石を，通常 19×19 の格子が描かれた碁盤と呼ばれる板へ交互に交点へ配置していく。ゲームの目的は自分の色の石で盤面を相手より広い領域を囲うことである。この「広い領域を囲う」ということを，具体的に説明すると，図 2.1A が黒の8目の陣地，図 2.1B は盤端も含んでいるが白の15目の陣地，図 2.1C あたりはどちらの陣地か未確定なので打ちたい場所，図 2.1D あたりはどちらの陣地にもならない場所となっている。

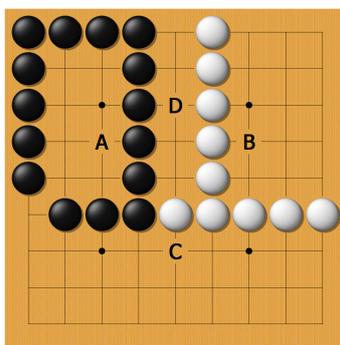


図 2.1: 囲碁の地

ゲームの終了は、どちらかの投了か双方が共に「もう打つところがない」と合意した場合終了する。一般的には、 19×19 の19路盤が使用されるが、13路盤や9路盤が存在し、初級者などはまず9路盤など地が小さいものから入る。碁盤の交点座標は、先手の黒から見て、横の座標を左から右に1~19の算用数字で、縦の座標を上から下に一~十九の漢数字で表すことが多い。

2.2 囲碁用語

本節では、指導碁について論じる上で重要な囲碁用語について説明する。これらは、解説文や悪手判別の種類に使用する。

2.2.1 囲碁の基本ルール及び対局の流れ

まず、始めに囲碁のルールは大きく分けて5つ存在する。

1. 碁石は碁盤上の交点に黒から先に黒白と交互に配置する
2. 囲った陣地の多いほうが勝ちになる
3. 相手の石の周り全てを自分の石で囲うと取れる

例えば、図 2.2 (a) のように黒石が存在したとき、図 2.2(b) のように△黒石の周囲を白石で囲むと、△黒石を取ることができる。その結果、図 2.2(c) の形になる。

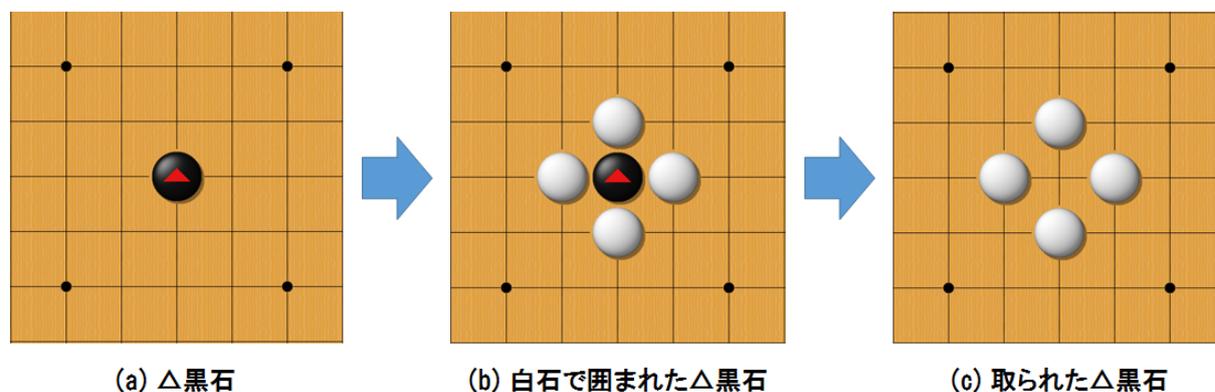


図 2.2: 石を取る例

4. 着手禁止点とその例外

その場所に打つと、打った石に逃げ道が存在せずそのまま相手に取られてしまう場所には、打つことができないというルールがある。この打つことができない場所のことを着手禁止点という。例えば、図 2.3(a) の A 地点には黒石は打つことができない。ただし、例外としてその場所に打つことで相手の石を取ることができる場合には打つてもよい。例えば、図 2.3(b) の A 地点に黒が打つと△二子の白石が取れるので、打つことができる。

また、図 2.3(c) の黒石のように眼を二箇所以上所持している石の集団は二回続けて同じ側が着手することができないので相手に取られることは無い。

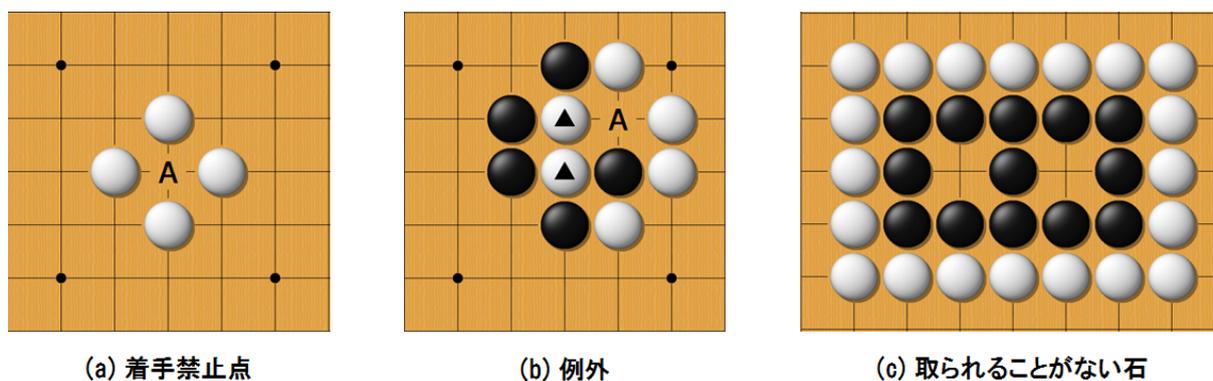


図 2.3: 着手禁止点

5. 最後に、コウに関するルールがあるが、高度なので本論文では付録に記載する。

次に囲碁の対局の流れについて説明する。

囲碁の対局は大体、「序盤」「中盤」「終盤」に分けることができる。「序盤」は対局始めのころで、お互いの石が少ない状況で、盤上に石を置いていき互いに陣形を整えていく。「序盤」の打ち方のことを「布石（ふせき）」といい、お互いが盤上に石を布いてゆき、勢力圏を確保しようとする段階で、陣地の土台作りを行う。一局のうちどこまでが「布石」かは、対局ごとに異なり明確な線が引ける訳ではないが、多くの場合、お互いの石が接触

して戦闘が始まるまでの段階を示す。布石においては複数の有力な手が存在し、“これらのうちどう打っても一局の碁”と言われることも多い。これらの差異は感覚によるものも大きく、判別や解説は比較的高度なものになる。

「中盤」は、お互いの石が接近し、お互いに攻撃しあいながら陣地を確保していく。ここで、大体の形勢が決まってくる。また、「中盤」では正解とその次善手の差が大きく1手で不利になることも多いので、説明しやすい悪手が発生しやすい。「終盤」は、お互いの地を確定していき、どちらが打っても一目も得しないダメといわれる場所まで打ち、お互いの陣地間の隙間を埋めて対局を終了する。

2.2.2 石の死活及び石の強弱について

【石の死活】

囲碁では、相手に囲まれてしまうとその石は相手に取られてしまう。そこで、相手に取られないためには図 2.3(c) のように眼を二箇所以上所持していなければならない。二眼有るか無いかで石の死活が決まる。死んだ石は全て、相手に取られてしまう。取られた石が在った場所は相手の陣地になってしまい、さらに取られてしまった石の分だけ自分の地が減らされてしまう。一方、生きた石は相手に取られることはなく、その石で囲った場所が自分の地になる。よって、石を生かして相手に取られないようにすることは重要なことである。特に、大石（たいせき、多くの石の集団）を取られてしまうとその時点で大体勝敗が決まってしまう。

【石の強弱】

弱い石とは、周囲を相手の石に囲まれ、自分の石との繋がりが薄く、根拠がなく石の死活がはっきりしていない石。強い石とは、周囲の自分の石と強固に連絡できているものや、相手に取られることがない生きている石。対局する上で、いかに自分の弱い石を作らないようにするか、相手の弱い石を攻めるのかということが重要になってくる。

以上のように、石の死活は勝負を分ける点であり、

- 生きるはずの自分の石を守らず殺される
- 殺せるはずの相手の石を攻撃せず生きられる
- 生きている自分の石を無駄にさらに守る
- 死んでいる相手の石を無駄にさらに攻撃する

などは全て 1 手で勝負を決しかねない悪い手となりうる。石の死活の理解、またそれにつ

ながる石の強弱の理解は初級者から上級者まで常に重要な課題であり，指導のための中心課題でもある。

例えば，図 2.4 で，右上の 99 と書かれた白石や左下の 0 と書かれた黒石は死んでしまった石．右下の 46 と書かれ，赤く囲われた白石の集団は，死んではいないが強い黒石に囲まれていて弱い石である．

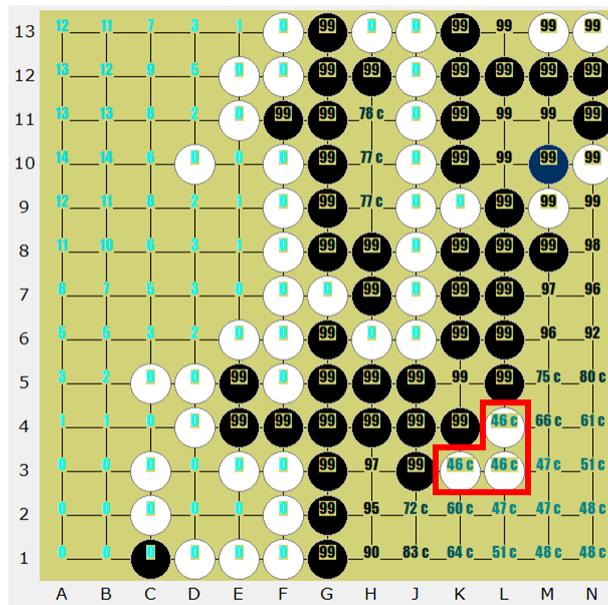


図 2.4: 石の強弱・死活の例

2.2.3 形の良い悪い

囲碁の手について検討または指導するとき、「その手は形が悪い手でしたね」や「形が良い手でしたね」等と説明することがある。“形”とは囲碁用語の一つで、眼を作りやすい、相手からの攻撃を受けにくい、相手を囲みやすいなど何らかの利点を持つ、周囲近くの石との関係から部分的に定まる着手のことである。

悪い形が特殊な事情で最善手になる場合もあるが、多くの場合良い形を知っていることは有益であり、その感覚を身に付けることは基礎として重要であるため、指導の際に頻繁に指摘される。一方逆に、一見形が良く有望に見えるが実際には悪い手などもあり、これは、中級者が陥りやすい悪手であり、指導の価値が高い。

例えば、図 2.5(a) から図 2.5(b) の△黒石のように打った場合、図 2.5(a) にある A、B 二つの切断点両方とも守ることができる。しかし、図 2.5(c) のように打った場合、断点の守り方が効率的ではない。このような場合、図 2.5(b) を形が良い、図 2.5(c) を形が悪いという。

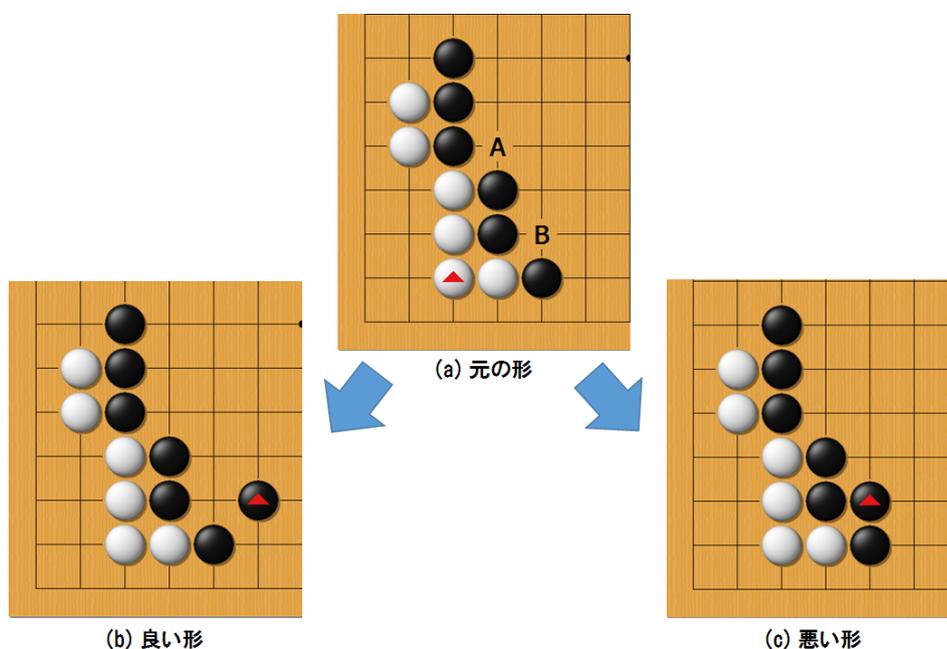
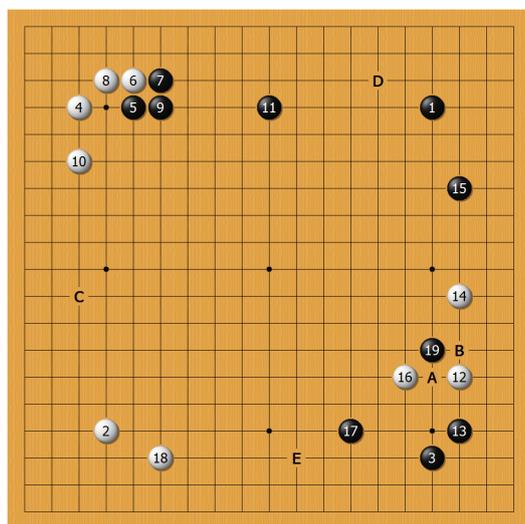


図 2.5: 形の良し悪しの例

2.2.4 大場と急場

大場とは、「布石」の段階で一手の価値が大きい場所のことで、大きく地を得るためにそこに着手される。急場とは、特に「序盤」、「中盤」で石の根拠に関わる要所のことをいい、石の死活など対局の勝敗に大きく影響する場所である。大場が存在すればそこに打つことが優先されるがもしも急場があれば、大場よりも急場の方が優先される場合が多い。「序盤」において悪手が発生した場合、大場・急場はそれに関連している可能性が高く、またその場合その後の対局の形勢に大きな影響を与える。

図 2.6 を使って説明する。現在、19 手目黒が右下の白に干渉しようとしている状況である。右下の白石は弱く、現在黒に攻められている。よって、右下隅は急場といえる。E も右下に打っている手であるが、弱い白石とは反対側であり急場ではない。しかし、中央下を地にすることができる手なので大場といえる。白から見て、C は左辺に大きな地を作る手、D は右上に大きな黒地を作らせない手として大場である。C、D、E はそれぞれ大場として有望な着手であるが、この場合は白を守る急場である A、B が打たれることが一般的である。



A, B :急場 C, D, E :大場

図 2.6: 大場・急場の例

2.3 接待碁・指導碁

囲碁には、いわゆる二人対戦とは別にさまざまな楽しみ方がある。一人でできるものとしてはプロの棋譜を再現して（並べて）鑑賞する、詰碁（詰将棋のようなもの）を解いたり作成したりすることがある。二人の場合も、勝負としての対戦だけでなく、相手を楽しませる接待碁、相手を上達させる指導碁があるうえに、対戦の後の検討（どの手が良くなかったか、どう打つべきだったかなどを二人または観戦者とともに相談すること）が数時間に及ぶことも珍しくない。

【指導碁とは何か】

指導碁とは、棋力を上昇させるために、上手のものが下手のものに対し指導しながら打つ対局のことである。麻雀等他の一般的なゲームではあまり行われませんが囲碁では良く行われていて特徴的である。一般的な対戦ゲームでは、プレイヤー間で強さに差がある場合、ハンデキャップを与えて勝負を成り立たせることなどはあるが、対局することで指導するということはあまり行われず。この様に、対局者が教師と生徒に別れて行うことが一分野として確立されていることは珍しい。そして、一言に指導碁と言ってもいくつかの種類が存在し、対局中に着手を指摘しながら指導を行うものや検討時に悪手の指摘・解説や対局の復習などを行うことで棋力の上昇を図る場合ものなどが存在する。

【指導碁にはどんな課題があるか】

現在、指導碁は人間の上級者が行うことがほとんどであるが、強いプレイヤーなら誰でも適切に指導できる訳ではない点を強調したい。指導碁を行うには「教える相手のレベルに合わせる」「褒めてやる気を出させる」「良い課題になるような局面に導く」など、ただ強いだけではない“教師としての技術”が必要だからである。例えば、囲碁の基本ルールを知ったばかりの初心者に対して、「コウダテを考えろ」などと高度な内容を指導したとしても理解しにくい。一方、上級者に対して、五目中手など基本的な内容を解説しても意味が無い。

他にも人間の行う指導碁にはいくつかの難しさがある。

- 指導者との相性

いかに、指導者として優れていたとしても、指導対象者との相性がよろしくなければ、お互いのやる気が失われ、効率的な指導は見込めない。特に親子・兄弟・夫婦間では感情的になってしまうことも多く親しい関係の人は指導者として向かない。

- 指導碁を受けるのに掛かるお金

指導を専門としているレッスンプロや囲碁教室の指導者にかかれば上質な指導を受けられるものの、たとえば日本棋院の指導碁は会員価格でも1局3600円にもなり、気楽に受けられる金額ではない。しかも、指導を受けるには基本的には自ら碁会所やイベントを開催しているところに赴かなければならず、交通費が別途掛かる上、時間も掛かる。

- 気楽に行えない

指導を受ける場所までに掛かる移動時間や決められた時間内に指導碁を終わりにしなければならないなど時間的制約がきつい。さらにプロに指導碁をお願いする多くの場合、その指導碁は多面打ちといって、プロ一人に対し、受講者が3人ほど同時に対局する形が多い。そのため質問があっても、気楽に尋ねづらい。

以上、新規の人がためらう要素が多くある。

【コンピュータに指導碁をさせるとしたら】

このように、指導碁には複数の解決すべき課題が存在する。その内、時間や場所に関する制約は、コンピュータが指導碁を行うことで解決できると考えられる。なぜなら、コンピュータを持っていれば、それにソフトを入れることで自宅や旅先どこでも受けられるようになり、いつでも好きな時、好きな局面から時間を気にすることなく開始することができるからである。しかも、プロに頼む指導碁と違い、コンピュータと一対一で対局ができ

るので自分だけを付きっ切りで見てもらえる。そして、費用の面から見ても、最初にソフトなど環境を整えれば以後の出費は無く優れている。よって、以上の点からコンピュータに指導基を行わせることは仮に一部だけだとしても価値があるといえる。

2.4 関連研究

2.4.1 囲碁プログラムの基本的枠組み

将棋やチェスでは、プロの棋譜を学習データとして機械学習を行い、そこで得た状態評価関数を $\alpha\beta$ 型の探索と組み合わせて用いることが多い [7]。しかし囲碁では状態評価関数を静的に定めることは困難であり、この方法では強くはならなかった。そこに、モンテカルロ法 (図 2.7) が登場した。モンテカルロ法は、評価したい局面からランダムに着手を進め、終局時の勝敗を求めてどれだけの割合で勝てたかを評価値として用いる。例えば、図 2.7 の左端の評価したい局面からランダム着手を行い、あるときには白が勝ち、違うときには黒が勝ったということがわかり、全体として黒 380 勝 620 敗ならば、左端の局面はすこし黒が不利な局面といえる。

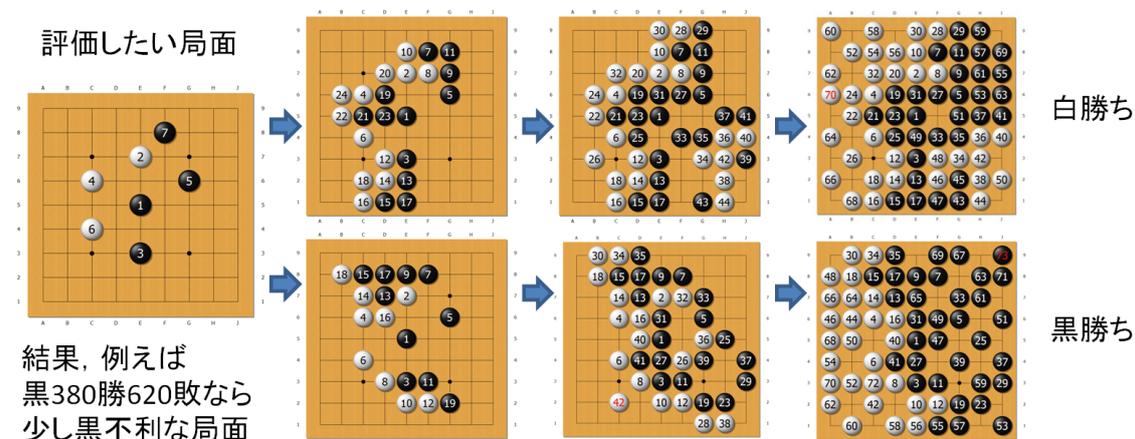


図 2.7: モンテカルロ法の概略図

しかし、最初期のモンテカルロ法を使用した囲碁プログラムは弱かった。そこで、モンテカルロ法と木探索を組み合わせたモンテカルロ木探索 (MCTS) [5] (図 2.8) の登場で強さが大幅に向上した。モンテカルロ木探索は、現在局面を表すルートノードから探索を開始し、設けた基準によって調べる必要がありそうな行動をたどり、遷移先に子ノードを拡張して、徐々に探索範囲を広げながら木を生長させる手法である。

- 「勝率が高い」「まだあまり調べていない」ような手を優先的に探索していく
- 例えば5000勝5000敗の手(推定勝率49~51%)よりは45勝55敗の手(36~54%)を優先する

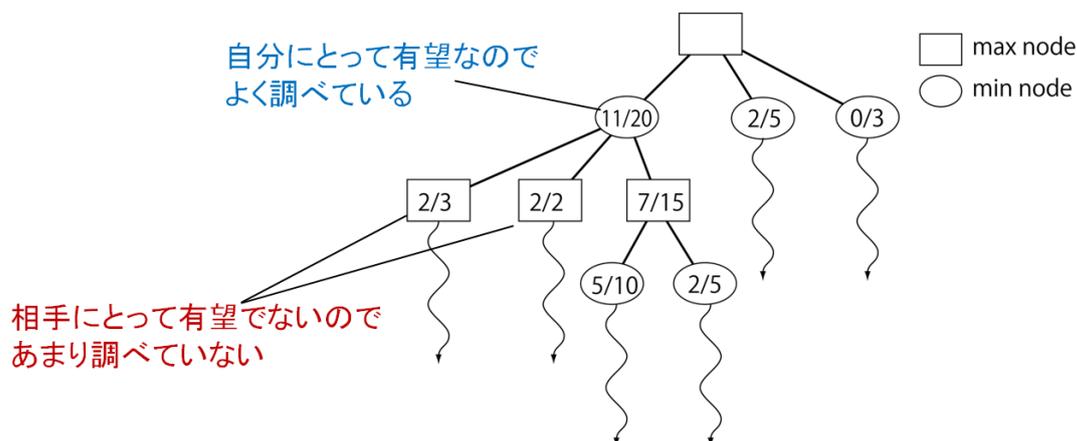


図 2.8: モンテカルロ木探索の概略図

モンテカルロ木探索では，局面から石の並びなどの特徴を抽出し，学習データと比較して特徴の重み付けを行い評価値として利用することで，ランダム着手中も良さそうな手を高い確率で選ぶようにする [8] (図 2.9) といった工夫が行われており，現在の囲碁プログラムの主流である。

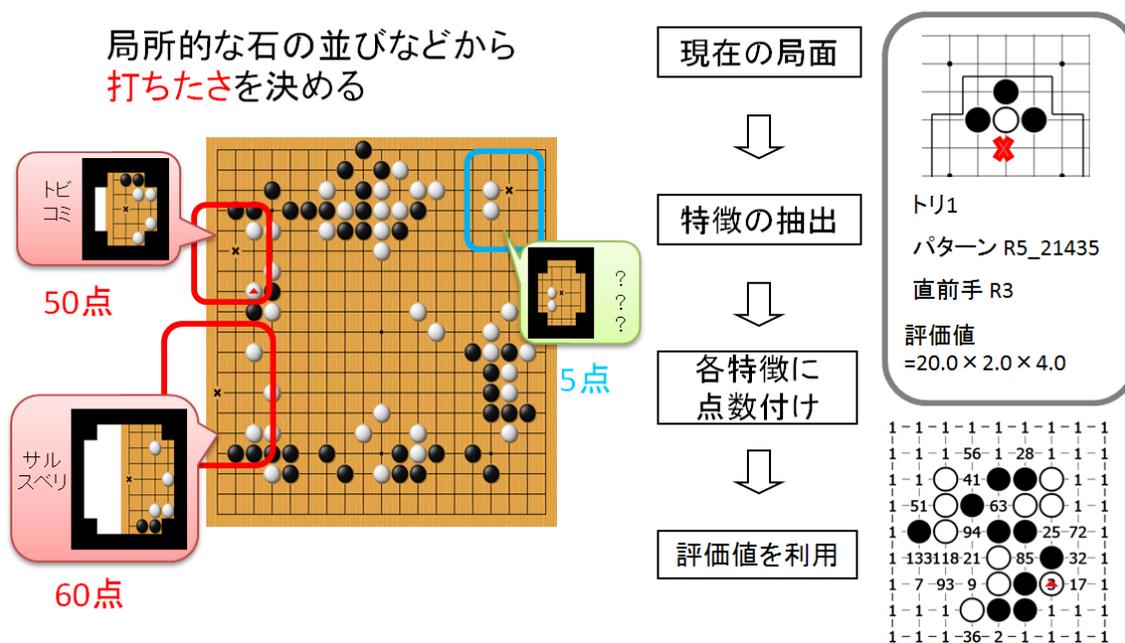


図 2.9: 評価値を利用した確率選択

2016年に Google よりモンテカルロ木とディープニューラルネットワークを組み合わせた囲碁プログラム AlphaGo が発表された [11]. これは既存のどのプログラムよりも強く，プロにハンデなしで勝利することができた. よって，今後囲碁プログラムの研究に大きな影響が出てくると思われる.

2.4.2 接待碁

第一章で述べたように、指導碁の要素には接待碁の要素が含まれると考える。そこで、接待碁に関する先行研究 [4] から接待碁について述べる。まず、接待碁とは下手のものを楽しませることを目的として、上手のものが、うまく手加減を行いながら局面を操作して対局する囲碁のことをいう。そしてこの研究によると、「この人はどうしたら楽しんでもらえるか」という相手モデルの獲得が必要である。そのうえで、「うまく形勢を誘導してできれば最後には負けてあげること」、ただしその中で「不自然な手やあからさまに負けようとする手は避けること」、この両立が重要とされている (図 2.10)。さらには、「飽きさせないようにいつも同じではない多様な打ちかたをすること」、「着手に適切な時間を使用し、上手く投了すること」も必要である。最後に、良い手を誉めることなど「会話をして相手を楽しませること」も必要とされている。

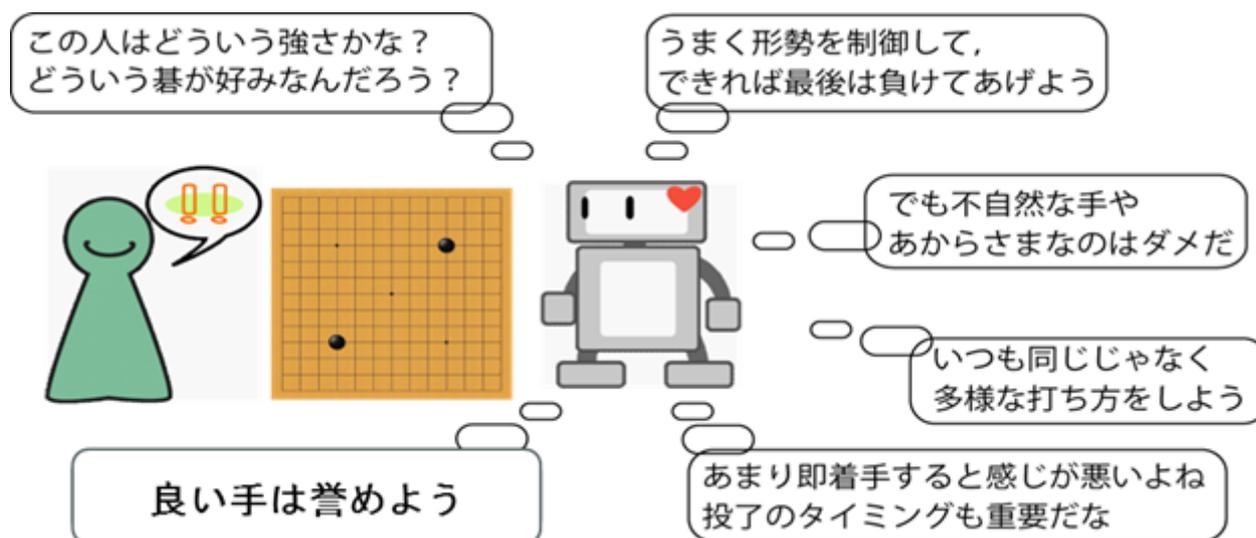


図 2.10: 接待碁の要素

2.4.3 詰将棋の解説文生成

将棋では先行研究が存在し，詰将棋の初心者向け解説文生成を提案している [6]．将棋は囲碁と同じ二人完全情報ゲームであり，囲碁と同じく接待将棋や詰将棋などが存在しているため，参考になると考える．研究対象を初心者に限定し，初心者向けの解説において重要な初心者には有望に見えるが実際には不正解である手（論文では，一見良い手と呼んでいる）についての説明に注目していた．そこで，詰将棋の解図に現れる一見良い手を抽出するための評価関数及びそれを用いた詰将棋解説文生成システムを提案している．手法としては，入力された詰将棋の問題に対して，自作の評価関数を用いて「一見良い手」を抽出し，解説文のテンプレートに当てはめて，なぜその手が「一見良い手」なのかそして正解手ではどうなるかの解説文生成を行っていた（図 2.11）．評価方法として将棋初心者にアンケート調査を行い，その結果多くの初心者が満足する解説文生成に成功できたと報告している．

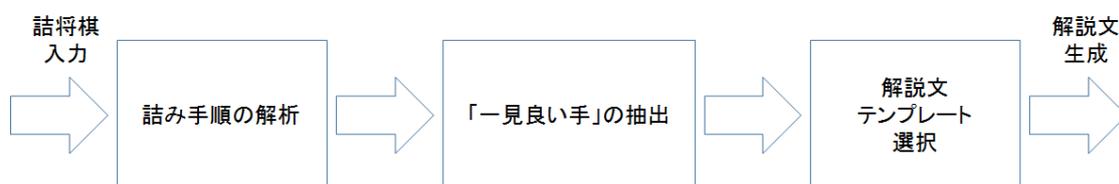


図 2.11: 詰将棋の解説文生成の流れ

第3章 アプローチ

一言でコンピュータ指導碁を実現するといっても、どんなプレイヤを対象に、どのような指導法を行うかはさまざまに考えられる。そこで本研究では、対象者を限定したうえで、まず実地でどのように指導碁が行われているかを調査し、指導碁に必要な要素をまとめることを第一目的とする。本章では、その結果およびそれを踏まえての我々のアプローチを述べる。

3.1 対象者の限定

実際の指導碁では、囲碁の基本ルールを理解したばかりの初心者からプロ棋士に迫るほどの棋力を持つ高段者まで幅広い棋力の人を対象としている。そして、同じ指導碁と言っても対象者の棋力によって指導する内容は異なってくる。

例えば、日本棋院の囲碁教室では大きく分けて以下の三つに分類されている。

- 入門・初心者：囲碁を新しく始める初心者から 13 路盤から 19 路盤で打てるようになろうとする初級者まで
- 中級者：入門を終えて 19 路盤で最後まで打てるようになった人（15 級）から攻め合いや死活で手筋が使えるようになり、ある程度の形勢判断ができるようになった人（6 級）ぐらいまで
- 上級者・有段者：プロに星目（9 子）置いて対局できるようになった人（5 級）ぐらいからアマチュアとして上位者（高段者）

例えば、初心者を対象とする場合、ゲームの基本ルールや目的、概念・単語の意味といった基礎的な所から教えなければいけないが、それはコンピュータ囲碁プログラムが行うよりは参考書や人間プレイヤーが行うべきものと考えられる。そして、入門したてのときには、「自分の手を直される」ことの価値がさほど高くない。それよりも「自分の手を直される」前に「ゲームについて知る」ことの方が重要である。

一方で、上級者を対象にするには、プログラムが上級者程度には強くなければならない。また、指摘する悪手も単純な内容ではなく、さまざまな要素がからんだ高度なものになる。そのため、「相手より少し強い」程度では、教えることはできない。本実験で使うプログラム Nomitan の棋力（アマ4段くらい）ではアマ初段対象くらいがせいぜいである。

よって、適切に指導が行えるようにするため指導対象者を限定することが重要である。そこで、本研究では囲碁の基礎的な知識が身につけており、一番指導対象者が多く、プロに直接指導を受けなければならないほど強くはない中級者を対象とする。

3.2 聞き取り調査

碁会所などで行われている、人による実際の指導碁ではどのような指導が行われているのか聞き取り調査を行った。

囲碁教室では、指導碁の他にその時々テーマに沿った詰め碁の問題が提示され受講者が解いて、指導者が講義として解説し、その後、勉強した内容を受けて受講者同士で対局して復習を行っていた。指導碁では、指導者と実際に対局を行い、受講者が実戦で打った悪い手の解説をおもに行っていた。

実際に行われていた指導碁を調査していくつかのことがわかった。まず、指導碁では一般的な対局と異なり、指導者が手加減を行いながら対象者の棋力に合わせた対局を行っていた。また、対象者が上手に打てれば大勝できるように、多少悪手を打ってしまっても大きく負けてしまわないように形勢を調節していた。指導者がわざと悪手を打って、対象者が上手に対処できれば勝てるような打ち方をしていることもあった。何度も指導碁を行っている対象者だと、対象者の得手不得手を把握できており、弱点の補強になるような戦略を取る事もあった。これらは、二章で述べた“接待碁”の要素 [4] と重なっている。

悪い手の解説は、基本的には対局終了後の検討時に行われていたが、勝敗が決してしまうようなあまりにも悪い手が打たれた時などには対局中に行われる場合もあった。この辺りは、指導者の好みによって異なる。悪い手の解説としては、悪手を指摘し、何故この手が悪いのか、棋譜を進めてその結果どうなってしまったのかを説明し、どの様に打てば良かったのか、その後の展開はどの様になるのかを見せていた。

碁会所での聞き取り調査とは別に、棋書についても調べた。棋書の中には、定石解説なども多いが、問題形式のものも多くあった。問題形式のもの多くは、解説として正解図・変化図・失敗図などからなっていた。正解図は、問題でどこに着手したらいいのかその結果局面はどうなるのか示している。変化図は、正解図と違う受け答えを相手がしてきた場合どうすればいいのかを示している。失敗図は、不正解に着手したらその結果どうなってしまったのかを示している。それぞれの図の横に解説文が書かれており、読者に図

と文字でわかりやすく説明していた。

以上から、コンピュータを用いた教育法としては「接待碁」をベースとした対局を行ったうえでその途中・終局後に悪手の指摘を行い、悪手である理由・生じた結果の説明や、どう打てばよかったのかを図を用いて行うことが有効であるとの結論に至った。なお、囲碁教室では詰め碁解説も行われていたが本論文では扱わない。指導碁が指導の中心で、それは既存の接待碁要素と本論文で扱う悪手指摘に分けられる。一方棋書の調査では、定石等の解説のほか、問題形式のものが多かった。悪手指摘の要素と問題形式の要素は共通点も多い。これらについて図3.1としてまとめた。

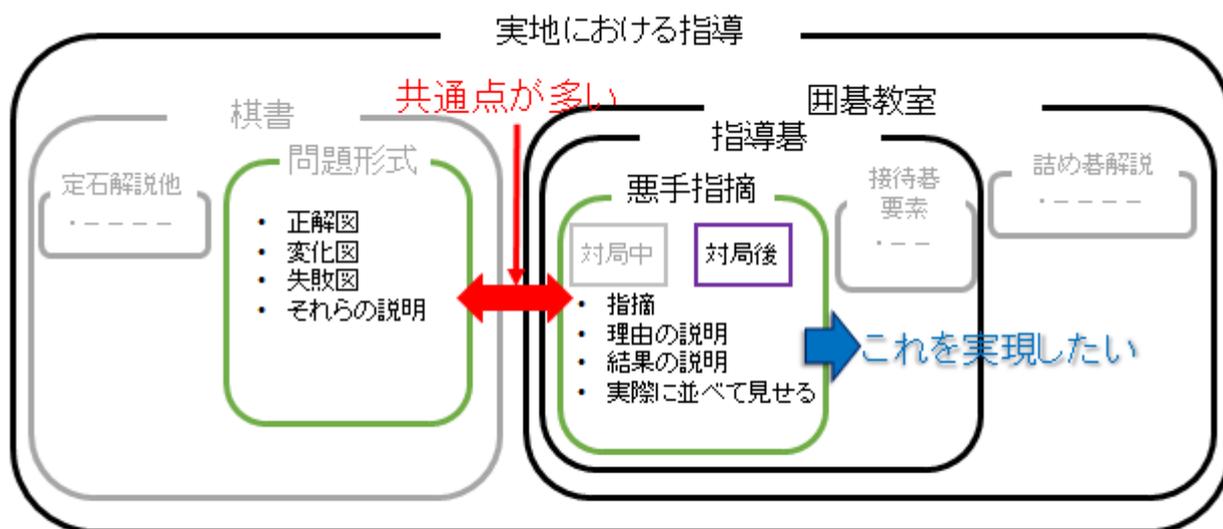


図 3.1: 調査結果

3.3 扱う悪手の限定と解説イメージ

前節までの議論で、我々は中級者を対象に悪手指摘と解説を行うという方針を定めた。悪手といっても次章で詳しく述べるようにさまざまな種類のものが存在し、そのいくつかは我々が今回扱いたい内容とは異なる。具体的には、初心者レベル向けの、講義形式の説明が必要なタイプのもの（図 3.2 イ）、上級者向けで中級者には理解困難なもの（同ハ）は対象としない。さらに、中級者向けの悪手（同ロ）の中でも、パターン化しづらい稀なもの（同ニ）や頻出するが現在の囲碁プログラムでは判別が困難なもの（同ヘ）は今回は対象とせず将来の課題とした。

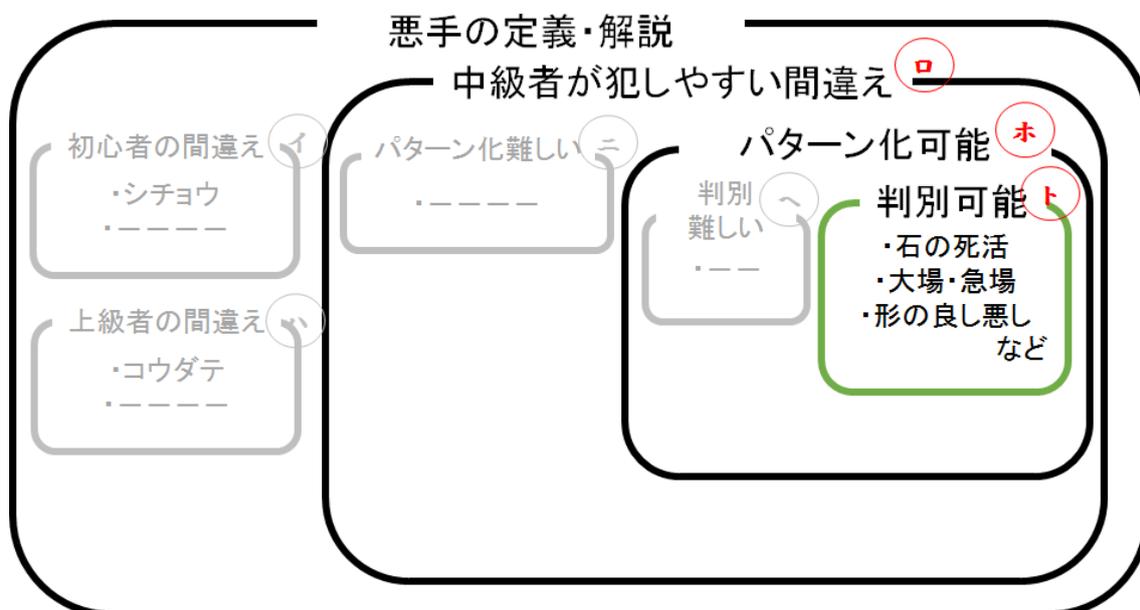


図 3.2: 悪手の種類のまとめ

我々が行いたい悪手指摘のイメージを図 3.3 を用いて示す。まず、悪手判別を行い（図 3.3 (1. 悪手判別)）、プレイヤーに今打った手が悪手だと知らせる。次に、なぜその手が悪手なのか説明する（図 3.3 (2. 悪手の理由)）。続いて、悪手を打った結果どうなったのかを局面を見せながら説明する（図 3.3 (3. 悪手の結果)）。最後に、悪手の一手前から作成したどう打てば良かったのかの想定図を見せる（図 3.3 (4. 想定図)）。

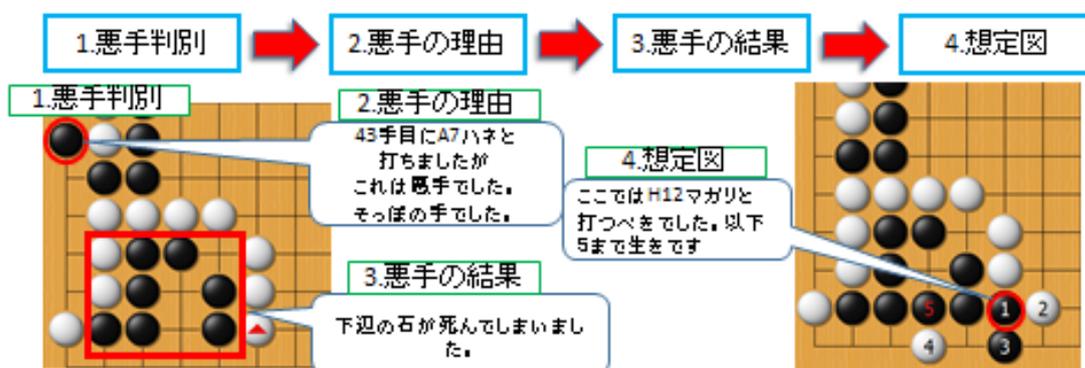


図 3.3: 実現したい悪手指摘のイメージ

第4章 悪手指摘の方法

前章でまとめた悪手のアプローチについて本章では具体化していく。扱いやすい悪手や扱いにくい悪手について詰めていき、実装するために、悪手解説と想定図に関して工法を分割した。最後に、分割した要素技術を実装するために必要な囲碁プログラム上での機能とはなにかを述べた。

4.1 悪手の定義と種類

悪手の定義は状況により様々に考えられ、min-max 原理により定まるはずの最善手集合以外を全て悪手と呼ぶことも可能である。しかし現実的には最善手集合は明らかでない場合も多いため、特に悪い結果を導くものだけ、あるいは確実に悪い結果を導くものだけを悪手と呼ぶことが多い。また、囲碁は陣地の大小で勝敗を定めるゲームであり、仮に勝ち自体が決まっているような局面であっても、10目（モクと読む。格子点数のこと）勝ちを8目勝ちにしてしまうような手は悪手と呼ばれることが多い。

さらに、プレイヤーのレベルによっても悪手の実用上の定義は変わってくる。初級者であれば、ある意味殆どの着手が多少なり損な手になりうるが、これらを全て指摘しても指導過多になるし、またその中には中級者上級者でなければ理由が納得できない高度なものもあり、これらは指摘しても意味がない。

悪手には多くの場合「最善手ではない」ということ以外に何らかの理由付け・種類分けが可能である。以下に、聞き取り調査や棋書調査の結果頻繁に登場する悪手の種類について概説する。

- 形の悪い手

判りやすい形の良い手があったにも関わらず、損をする手を打ってしまった手。

主に守りの場合「形が悪い手」と言い、攻めの場合は「筋違いの手」と呼ぶ。

- 弱い自分の石を助けなかった手

守るべき弱い石が存在したが、違うところに打ってしまい、相手に自分の弱い石を攻められてしまった手。

- 弱い相手の石を攻撃しなかった手

攻めるべき相手の弱い石が存在したが、違うところに打ってしまい、相手に相手の弱い石を守られてしまった手。

- 味消しの手

先手（相手が応答しなければならない手、せんで）ではあるが、将来の利益や手段を失う不利益の方が大きい手。これは、比較的理解が難しい悪手を含み、好手と表裏一体で判断が難しい。

- 手拍子の手

相手の着手の近くに形が良い手と打ったが、大局的には他により良い手があった場合。

- 定石間違えの手

相手の着手に対して、使用する定石を間違えてしまった手。

- 方向間違えの手

相手を攻めたときの方向や相手から攻められたときに守った方向を間違えてしまった手。部分だけでなく周囲の先行きまで考慮する必要があるため難しい。

- 大場を見過ごした手

大場があったにも関わらず、小さいところに拘ってしまい、相手に大場を取られてしまった手。

- 急場に打たれてしまった手

守るべき急場が存在したにも関わらず、関係ないところに打ち、相手に急場を打たれてしまった手。もしくは、相手が弱い攻めるべき急場が存在したが打たず、相手に急場を打たれ守られてしまった手。

- 用心深すぎた手

自分の地を守ることに注力しすぎ、すでにとれている敵石や生きている白石に対して無駄な石を打ってしまった手。

- 無謀な侵入をした手

勝利するためには、相手の地を荒らすことなどが必要となるが、相手の強固なところに考えなしに侵入した結果、侵入した石を取られたり、攻められてしまった手。

- 先ヨミを失敗した手

シチョウなど着手していった結果を読み間違えて損してしまった手。

- ヨセを間違えた手

ヨセの目数や先手後手を間違えてしまい相手に得をされてしまった手。

- 先手を取られた手

部分的な応酬で、少しの得のために最終手を自分が打ち、より大きな場所に先行されてしまった手。

- コウ材を消した手

味消しの手に関連している。いつでも相手の応手を強制できる権利をつぶしてしまう手。

以上のように様々な悪手が存在する。本研究ではこれらのうち重要かつ実装の容易と思われる以下のもののみをまず、第一段階の取り組みとして選択・実装する。「大場を見過ごした手」「急場に打たれてしまった手」「手拍子の手」「そっぽの手」「おつきあいした手」「石の強弱に関する手」を扱う。

4.2 悪手の解説と想定図

解説の形もさまざまだが、調査の結果、検出した悪手に対して、「なぜ悪手か」（悪手の理由説明）「どうなってしまったか」（悪手の結果説明）「どうすればよかったか」（想定図）のセットになっていることが多かった。悪手の理由説明も、ただ「××は悪手でしたね」ではなく、「××はそっぽの手でしたね」とどんな悪手であったか説明していた。そして、「△△と白に打たれた結果○○は死んでしまいました」などと詳しく結果を説明していた。そこで、悪手の種類に対応した解説文のテンプレートを作成し、それに当てはめることで説明をするという形で実装する。

テンプレートの形式としては、以下のような形で行う。悪手の指摘：「着手××は悪手でしたね」悪手の種類：「○○の手でした」悪手の結果：「△△と打たれて○○してしまいました」検出した悪手の種類・結果を○○のところに当てはめて、表示を行う。表示形式は、「悪手の指摘」＋「悪手の種類」＋「悪手の結果」という形になる。

想定図については、これも聞き取り調査をした結果、「この後、もしこの様に着手してもダメ」「この様に着手すればよかった、こうなるのが予想される」「こうすれば良かった、もしこの様に着手されれば応手としてこの様に打てばよい」などと説明していることが多いことがわかった。さらに、実際に展開した図を見せて、実戦との比較を行うことで解りやすく説明していた。そこで、想定図は解説文とその結果を展開した図を示すことで説明を行うことにした。想定図を作成するためには、その領域に限って手順を進める必要がある。さらに、短すぎる不親切な手順表示も、長すぎる冗長な手順表示も好ましくないといった課題があり、これらをどう解決しようとしたかは5.4節で詳しく述べる。

これらの「悪手抽出」「分類」「結果説明」「想定図作成」のためには、現在の盤面の状態や着手についてさまざまな情報を用いる必要がある。具体的には、次の一手を求める、勝率を求める、石の強弱や死活を求める、着手の形の良さを求める、などである。これらは5.1節で詳しく述べる。

第5章 悪手解説の実装

前章までで、指導碁には悪手の解説が必要であること、悪手解説には「悪手検出」「理由説明」「結果説明」「想定図作成」の4つの項目の実装が必要であること、それらのために手作りの if-then ルールとテンプレートを用いることを述べた。本章では、それをどのように実装したのかを具体的に述べ、例示する。

5.1 要素技術

本研究では囲碁プログラム Nomitan[9] を用いる。Nomitan は機械学習による着手評価関数とモンテカルロ木探索を組み合わせた 2010 年代前半における標準的な囲碁プログラムであり、逆に言えば本論文で実装したような内容は多くの囲碁プログラムでも比較的容易に実装可能であると考えられる。

囲碁プログラムは原則的に言えば「ある盤面に対して一手を返す」機能だけを持っているが、実際にはそれも「一見した手の良さを求める」「ある場所が黒地になるか白地になるか予測する」などのより粒度の細かい様々な機能の組み合わせで実装されているわけで、本論文のような特殊な目的に利用する際には、それらの様々な機能を使ったり、拡張したりすることができる。

本節では、Nomitan にもともと備わっていた、あるいは今回のために拡張・追加した要素的な機能を簡単に紹介する。これは時系列的には“悪手解説を実装しようとして必要になったから拡張・追加した”ものであるが、論文の見通しのためにまずここでプログラムの関数のような形で列挙しておくことにする。

以下の関数において、Pos は位置クラス、Board は局面クラスを表す。

- Pos getBestMove(Board b) : ある局面における最善手を探索により求める関数。いわゆる次の一手を打たせる関数。
- double getWinratio(Board b, Pos p) : ある局面においてある手を打った場合の勝率を求める関数。二つの手の良さを比較する場合などに用いる。
- double[] getSelectProbs(Board b) : ある局面で、どの場所が一見打ちたい場所なのか、その選択の確率分布を求める関数。棋譜の機械学習によって、配石のパターンなどから着手の良さを評価する行動評価関数として得る。Nomitan では、モンテカルロ木探索のシミュレーション部分での着手選択や探索着手の限定、探索資源の優先配分で使用している（論文 [9]4.2 節）。この関数は機械学習によってオフラインで学習されていて、いわゆる形の良さを意味する。図 5.1 がその例である。

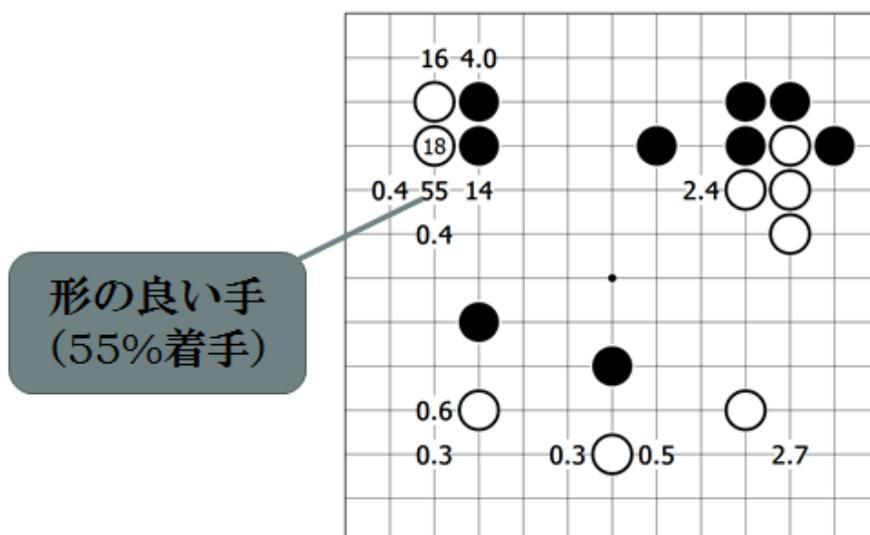


図 5.1: 白 18 と打った局面における、黒の各地点への予測着手確率(%)

- `double[] getOwnership(Board b)` : ある局面からモンテカルロシミュレーションを多数回行った結果, 各格子点が最終的に黒のものになる確率を求める関数. 石の強弱を意味する. 図 5.2 右側がその例である. Nomitan では, Ownership は 0~99 の間の数値を取り, 0 に近いほど白地より, 99 に近いほど黒地よりであることを示している.
- `double[] getCriticality(Board b)` : ある局面からモンテカルロシミュレーションを多数回行った結果, 各格子点がどちらのものになるかで勝敗にどの位影響しているのかを求める関数 [10]. その場所の重要度を意味する. 図 5.2 左側がその例である. マークなしが, 一番価値が低く, S が一番重要度が高いことを示している.

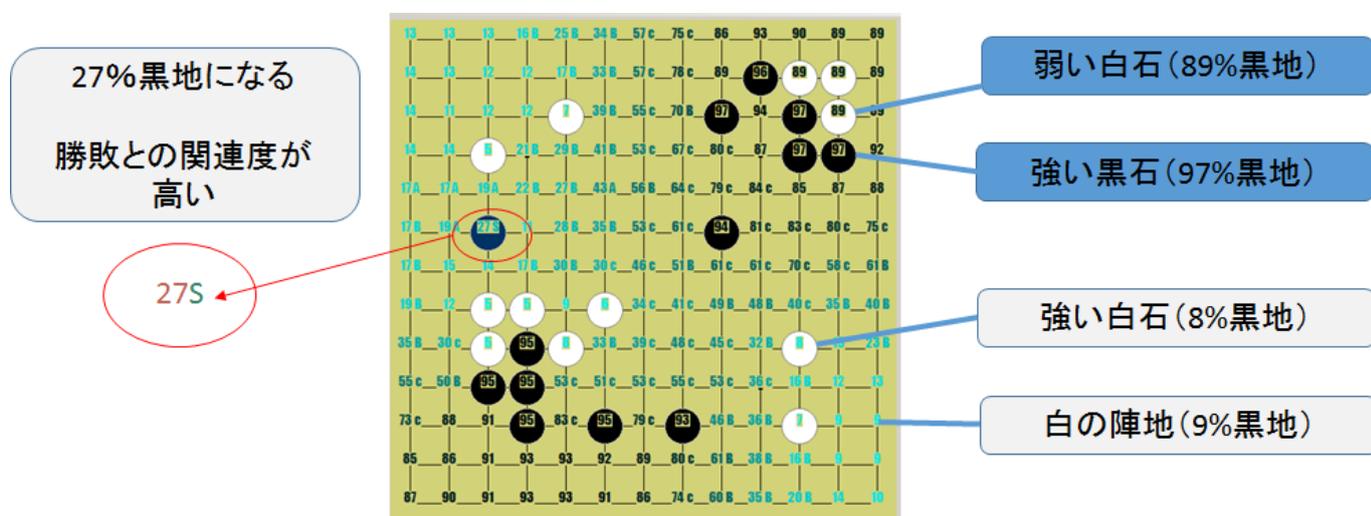


図 5.2: Ownership 及び Criticality の例

- `double getCountOfNearStones (Board b, Pos p)` : ある局面において, ある手の周囲に石の密集度を調べる関数. 周囲の石の密度を求める場合などに用いる.
- `double getDistance(Pos p1, Pos p2)` : 二箇所の石のユークリッド距離を求める関数.
- `string getShapeName(Board b, Pos p)` : ある着手の日本語表記「ノビ」「アタリ」などを返す. 穴戸らの研究に基づく [12].

5.2 悪手検出

本研究で取り扱う悪手は、前章までで述べたように複雑ではなく、コンピュータで判断しやすいものと限定した。本研究で取り扱う悪手は全て、その悪手を打った結果、勝率が一定以上下がるものである。そこで、以下のような手順で、悪手検出をできるようにした。

これから説明するアルゴリズムにおいて出てくる記号の意味を以下に示す。

表 5.1: 着手と局面を表す記号

S_0	W_0 が打たれる前の局面
W_0	B_1 の一手前の白の着手
S_1	B_1 が打たれる前の局面
B_1	検出対象の黒が打った着手
S_2	W_2 が打たれる前の局面
W_2	B_1 の一手後の白の着手
S_3	W_2 が打たれた後の局面

1. S_1 局面で打たれた検出対象の黒の着手 B_1 の S_1 局面における勝率を関数 $\text{getWinratio}(S_1, B_1)$ で求める。
2. S_1 局面における最善手 B_{*1} を関数 $\text{getBestMove}(S_1)$ で求める。
3. 最善手 B_{*1} の S_1 局面における勝率を関数 $\text{getWinratio}(S_1, B_{*1})$ で求める。
4. $\text{getWinratio}(S_1, B_{*1})$ と $\text{getWinratio}(S_1, B_1)$ の勝率差を求め、差が 0.05 より大きいものを悪手として検出する。

しかし、以上の方法は、毎回最善手 B_{*1} とその S_1 局面における勝率を求める必要があり時間が掛かる。そこで、実際には以下の方法で実装を行った。

1. 検出対象の黒の着手 B_1 が打たれる一手前の局面 S_0 における白の着手 W_0 の勝率を関数 $\text{getWinratio}(S_0, W_0)$ で求める.
2. 検出対象の黒の着手 B_1 が打たれた一手後の局面 S_2 における白の着手 W_2 の勝率を関数 $\text{getWinratio}(S_2, W_2)$ で求める.
3. $\text{getWinratio}(S_0, W_0)$ と $\text{getWinratio}(S_2, W_2)$ の勝率差を求め, 差が 0.05 より大きいものを悪手として検出する.

Nomitan に白番の手を打たせた際にはその勝率が自動的に保存されているので, $\text{getWinratio}(S_0, W_0)$ および $\text{getWinratio}(S_2, W_2)$ はほぼコスト無しで得ることができる. よってこちらの方法のほうが効率よく行える.

なお, 本検出手法では, 4.1 節冒頭で例示したような「勝ちが勝ちだが 10 目勝ちが 8 目勝ちになる」ような悪手は検出できない. これは今後の課題である.

5.3 理由説明

本節では、何故、その着手が悪手なのか理由を分類する手法を提案する。悪手には種類があるが、今回は「形の良さ」「石と石の距離」「Criticality」で判別することができるものに限定した。そこで、「手拍子の手」「大場を見過ごした手」「急場に打たれてしまった手」「そっぽの手」「おつきあいした手」の五つを説明する悪手とした。

5.3.1 手拍子の手

相手の着手に対して、その近くにあり形は良いが大きな不利益を受ける手を打ってしまった手のことを言う。そこで、「手拍子の手」を「形が良く」「 W_0 が近傍に存在」する手と定義した。よって、以下の手順で検出されるようにした。

1. 関数 $\text{getSelectProbs}(S_1)$ を使用し、 S_1 局面においてどの場所が一見打ちたい場所なのか、その選択の確率分布を求める。
2. 得た選択確率分布から、着手 B_1 は選択確率が 0.1 以上か調べる。
3. 関数 $\text{getDistance}(W_0, B_1)$ を使用し、 B_1 と W_0 の距離が 4 以下の場合、「手拍子の手」であるとして検出する。

例えば，図 5.3 で説明すると左端の図では，D5 に打たれた白に対して，得られた選択確率は以下の図のようになる．D6 が，一番形がいいように見え，84.2%もある．一方正しい E6 は 0.4% しかなく 7 位である．しかし，D6 に打つと以下白 8 までの流れとなり，黒石の集団が取られてしまう．この様な着手のことを手拍子の手と呼ぶ．

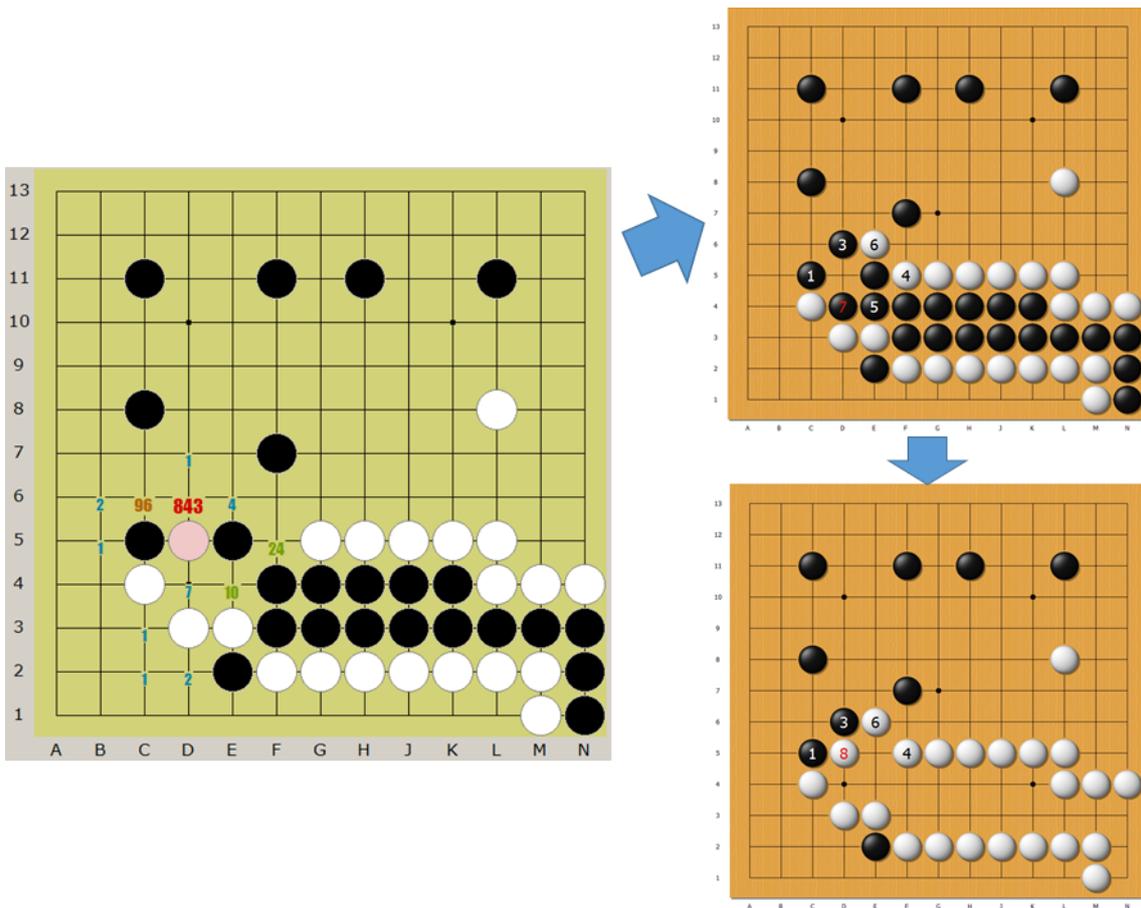


図 5.3: 手拍子の例：一見 D6 が良さそうに見えるが悪い結果になる

5.3.2 そっぽの手

そっぽの手というのは、他に重要な場所が存在するのに関係ない場所に着手した結果、石が死んでしまったりした手。よって、「そっぽの手」を W_0 と W_2 から離れた場所に打たれて、かつ W_0 と W_2 の位置が近い存在と定義した。「そっぽの手」は、相手の手に対応しなければいけない重要な場所を見落としたという意味が含まれるので、 W_0 と W_2 の位置が遠い場合、その意味が含まれないので W_0 と W_2 の位置が近い必要がある。

1. W_0 , B_1 , W_2 の距離を `getDistance` 関数を使用し、以下の3つの条件が成立している場合「そっぽの手」と判別する。
 - (a) W_0 と B_1 が5以上
 - (b) B_1 と W_2 が5以上
 - (c) W_0 と W_2 が4以下

図5.4を例に挙げる。図5.4(a)の局面のとき、G10やE9などに打つ手も悪くはないが、図5.4(b)のようにH1と打つことで、中央下にある赤枠の白石の集団を殺すことができる。一方、図5.4(c)の様にG10に打ってしまうと、白にH1と打たれ、赤枠の白石の集団が生きてしまう。Nomitanで、G10とH1の勝率を比較すると、50%と62%で12%も異なり、かなり悪い手であるといえる。G10やE9のことをそっぽの手という。

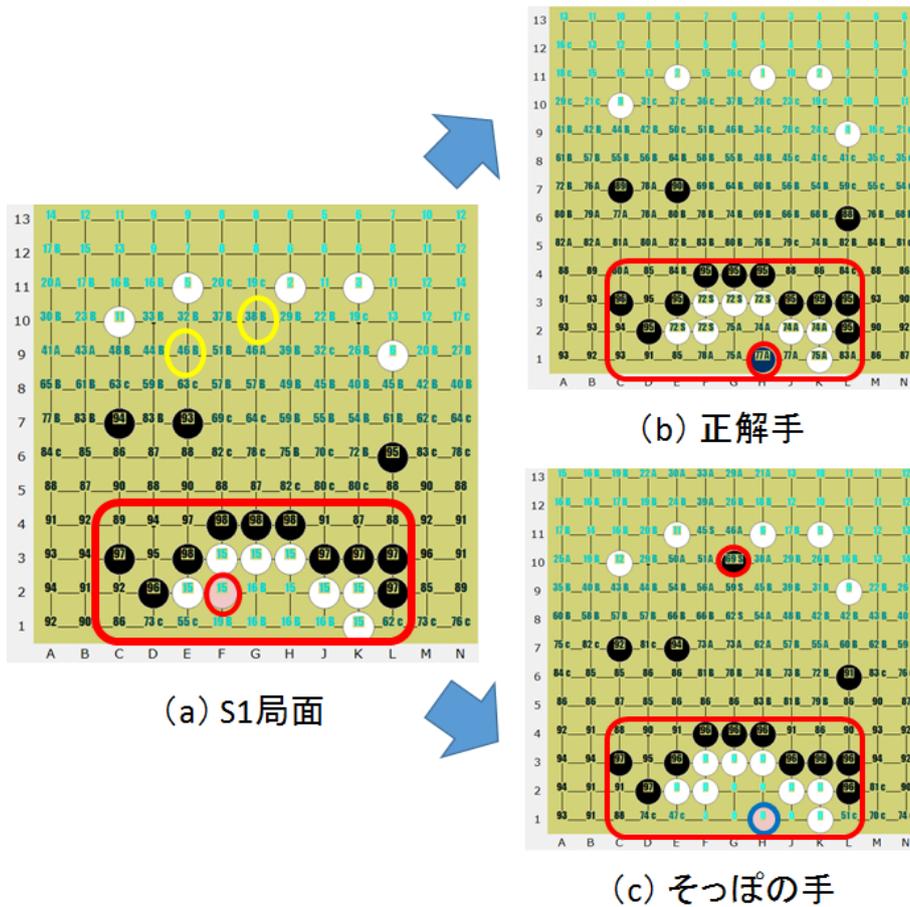


図 5.4: そっぽの手の例

5.3.3 おつきあいの手

「そっぽの手」や「手拍子の手」と関連する悪手の一つとして、「おつきあいの手」が存在する。「おつきあいの手」は、相手のこちらに応答を求めるような手に対して、無視してより大きな手を打つべきだったのに、部分的には正しい形で応答してしまうような場合を言う。これは、無視すべきではない場合に別の場所に行くという意味では「そっぽの手」と逆であり、部分的には良さそうな場所に打ってしまう失着という意味では「手拍子の手」に近い。また、相手の先着を許すという意味では4.1節で挙げた「先手を取られる手」にも含まれるかもしれない。「おつきあいの手」は「形が良く」「相手の手 W_0 に近く」「しかし打つべき場所 B^*_1 は遠い場所にある」と定義した。

1. S_1 局面における最善手 B_{*1} を関数 $\text{getBestMove}(S_1)$ で求める.
2. 関数 $\text{getSelectProbs}(S_1)$ を使用し, S_1 局面においてどの場所が一見打ちたい場所なのか, その選択の確率分布を求める.
3. 得た選択確率分布から, 着手 B_1 は選択確率が 0.1 以上か調べる.
4. W_0, B_1, B_{*1} の距離を getDistance 関数を使用し, 以下の 2 つの条件が成立している場合「おつきあいの手」と判別する.
 - (a) W_0 と B_1 が 4 以下
 - (b) B_1 と B_{*1} が 5 以上

図 5.5 を例にあげる. 図 5.5(a) の局面のとき, 白 C2 ハイに対して, 黒 B2 オサエと受けるのは MC 選択確率が 84.8% もあり, とても形が良い手ではあるが, 相手におつきあいした手である. その結果図 5.5(c) の様に白 H4 と打たれ, 下辺を白地にされてしまった. ここでは, MC 選択確率が 1.7% (5 位) と低いが, H3 ウチコミと打つことで, 図 5.5(b) の様に下辺の白地を荒らすことができる.

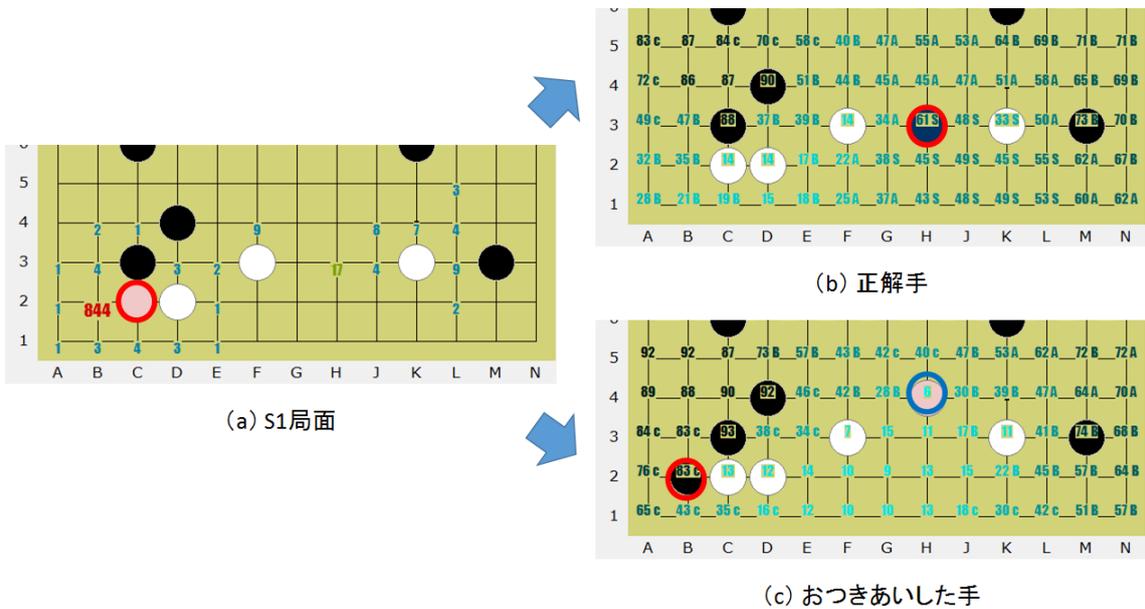


図 5.5: おつきあいの手の例

5.3.4 大場・急場に関する手

大場や急場は、どちらも勝敗に影響を及ぼす重要な箇所を意味し、これを自分が打たない・相手に打たれるようなことは悪手となる可能性が高い。大場とは、大きく地を得ることができる一手の価値が大きい場所のことを指す。急場とは、争いなどが発生している場所で、そこに打たなければ石の死活が決まってしまう様な場所を指す。急場は石の死活などに影響するので周囲に石が集まっている場所で発生する。一方、大場は急場と比較して、周囲の石の密度が低いところで発生すると言える。大場、急場共に相手に打たれることは、その後の形勢に大きく影響するので、相手に打たれた手 W_2 の Criticality が高く、自分がその周辺に着手しなかったような場合、「大場・急場に打たれてしまった手」と分類する。そこで以下の手順で検出する。

1. W_2 と B_1 の距離 $\text{getDistance}(B_1, W_2)$ が 5 以下の場合は除外する。
2. 関数 $\text{getCriticality}(S_1)$ を使用し、 S_1 局面においてどの場所が形勢に大きな影響があるのか調べる。

3. 関数 `getCountOfNearStones (S3, W2)` を使用する.
4. W₂ が着手された場所の Criticality が 15 以上かつ W₂ の周囲の石の密度が 0.2 以上の場所を「急場を打たれてしまった手」
5. W₂ が着手された場所の Criticality が 10 以上かつ密度が 0.2 未満の場所を「大場を取られてしまった手」

例えば、図 5.6 の局面では、左図でマーキングしているところが「大場・急場」といえる。急場は、A, B. 大場は、C, D, E である。そこで、各地点の Criticality を求めたのが右図である。序盤は、石の数が少なく、さまざまな場所に打つことができる。なので、各地点の Criticality が平均化されあまり高くはない。よって、序盤の時には、Criticality の閾値を低く設定する必要がある。大場は、序盤にしか登場しないので、Criticality の閾値を低く設定すればよい。しかし、急場は対局全体を通して登場するので、Criticality の閾値の設定が難しい。

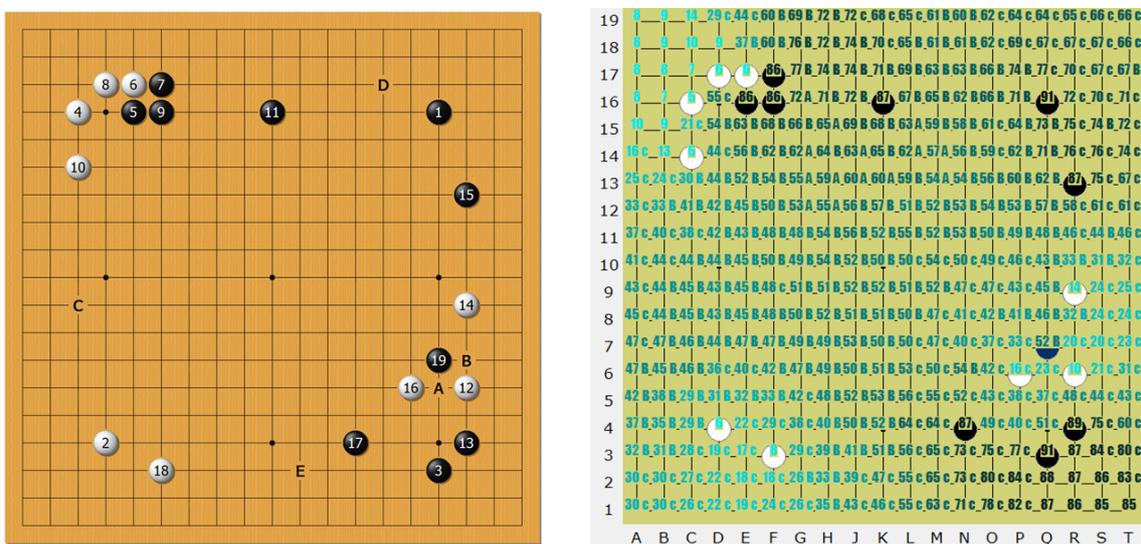


図 5.6: 急場・大場の例

5.4 結果説明

この節では、悪手を打った結果、白に対応されどうなってしまったのかを説明する手法を提案する。結果にも種類が存在するが、今回は石の強さに関連する説明に限定した。そこで、「石が生きてしまった」「石が死んでしまった」「石が強くなった」「石が弱くなった」の四つを説明する悪手とした。また、他に説明可能な結果としては「模様を破られた」「地模様を作られた」「大きい手を打たれた」などが「大場に打たれた手」や「おつきあいの手」の結果としてありえる。さらに、ヨセの悪手については当然「3目損した」などの具体的な数字を提示できると良く、これはモンテカルロシミュレーションの結果から地合い差の中央値を抽出するなど可能と考えている。

5.4.1 石の死活

石が活着しているのか死んでいるのかは、対象の石の集団が大きいほど形勢に大きな影響が出る。特に、お互いの地が大体決まってくる中盤以降は、大石が取られるとその時点で勝敗が決まってしまうこともある。石の死活は、実際の局面では、二眼を作れるかどうかで判断するが、囲碁プログラム上では、最終的にどの程度の確率で黒のものになるかを表す **Ownership** で判断する。そこで、以下の手順で石の死活に関連する悪手かどうかを検出した。

1. 関数 $\text{getOwnership}(S_1)$ と $\text{getOwnership}(S_3)$ を比較し、差が30%以上存在する場所を検出する。
2. 検出した場所のうち、 $\text{getOwnership}(S_3)$ で **Ownership** が20%以下になっている石を検出する。
3. それが、黒石だった場合、「石が死んでしまった」。白石の場合は「石が生きてしまった」と表示する。

例えば，図 5.7 (a) の局面のとき，黒が H1 と着手すると，図 5.7 (b) の状況となる．白石の集団の Ownership が 15%から 72%に大きく増加している．これは，図 5.7 (a) の局面では，生きていた白石の集団が，図 5.7 (b) の局面では死んでしまったといえる．一方，黒が他のところに着手し，白が H1 と打った状況を図 5.7 (c) が示している．図 5.7 (c) の状況では，白石の集団の Ownership が 15%から 0%に減少しており，白石の集団が完全に活着しているといえる．

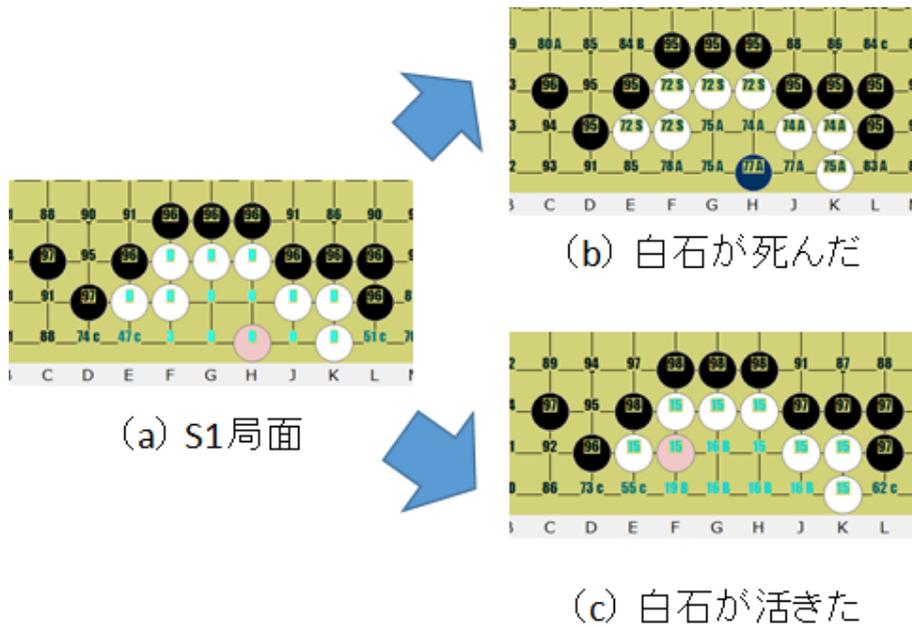


図 5.7: Ownership の変化の例 1

5.4.2 石の強弱

石の死活が決まるほど Ownership が偏っているわけではないが、Ownership が偏っている石の集団について、強い石、弱い石と呼ぶことができる。検出方法としては、石の死活と同じ方法が使える。Ownership が大きく変化したが、石の死活が決まるほどではない場合を「石が強くなった」「石が弱くなった」と検出する。

例えば、図 5.8(a) の K3 の位置に存在する白石に注目する。黒が H3 ワリコミと着手すると、図 5.8(b) の状況となり、右側にある K3 の白石は左側の白石の集団と分断され、図 5.8(a) と比較して、少しだけ弱くなっている。一方、黒が他のところに着手し、白が H4 と連絡すると、右側にある K3 の白石は、左側の白石の集団と強固に連絡することができたので、図 5.8(a) と比較して、強くなっている。

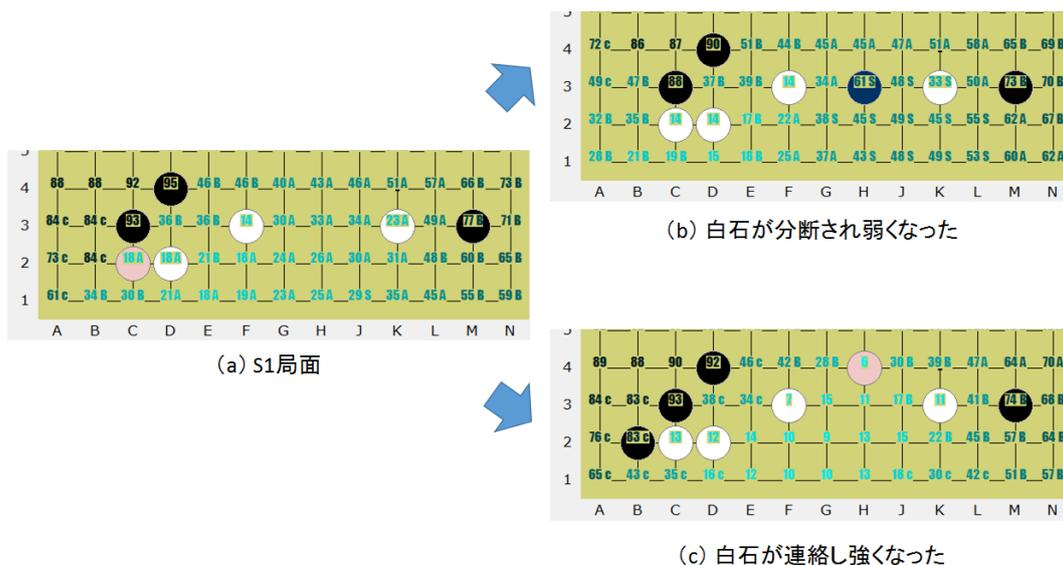


図 5.8: Ownership の変化の例 2

5.5 想定図作成

想定図を提示する目的は、実戦と違う正解手を説明するとき、“必要なところまで”進めて想定図を見せることで分かりやすく説明するためである。そこで想定図で重要なことは相手プレイヤーに合わせて何手先まで説明するかということである。例えば、図 5.9 のように想定図を表示したとき、図 5.9 (イ) の時点で黒に生きはないが、しかし、級位者にはまだこの先どうなるか分かりにくい状況である。一方、同図 (ハ) では殆どのプレイヤーには不必要な分まであり、必要な部分が逆に判りづらくなっている。そこで、同図 (ロ) まで進めれば、黒が死んでいることが明確である。

よって、ちょうど良い手数で想定図を作成するような基準を設定することが重要である。しかしながら、悪手の種類や状況により適切な手数は異なってくる。そこで、今回は

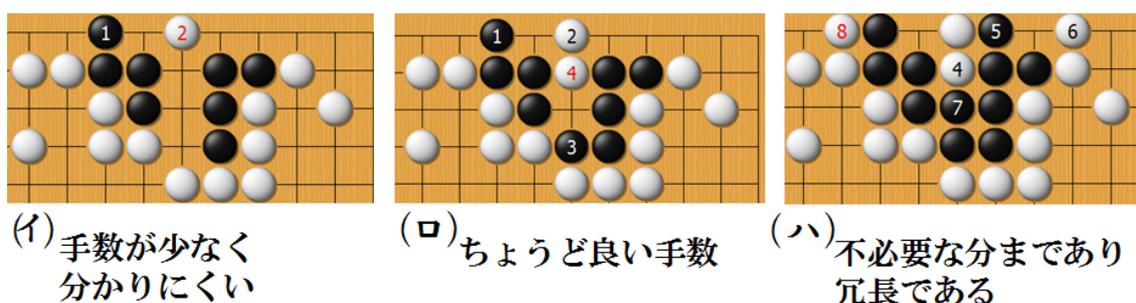


図 5.9: 想定図

終了条件が明確な「石の死活」、その内でも「黒石が生きる場合」に限定した想定図を作成した。

また、想定図作成時にはコンピュータの着手制限が必要となってくる。何故なら、他に打つ場所が存在する場合、`getBestMove()` では、想定図作成をして欲しい場所とは関係ない場所に打つ可能性が存在するからである。特に、相手側の白には、そこに打っても無駄であることが分かっている場合であっても想定図作成のために打たせる必要がある。

そこで、対象となる局面において想定図の範囲に対してのみ探索を行うよう、探索領域

の制限を行い、その領域が黒になるか白になるかをモンテカルロシミュレーションの勝敗判定の際に大きな影響を与えるよう重みづけした着手決定関数を実装した。このような重みづけは、「地合い派」「厚み派」などの演出のためにも使われている手法である [4]。

それが、関数 `areaWeightedSearch(Pos p, Pos q, Weight w)` である。これは、Pos p から Pos q の範囲に対して w の重みをつけ、さらにその範囲のみ探索を実行させるというものである。これらにより、以下のアルゴリズムを作成した。ただし、今回の閾値は仮のものである。状況によって異なってくるので機械学習などを行い設定する必要がある。

1. 局面を検出した悪手 B_1 が打たれる前の局面 S_1 まで戻す。
2. 最善手 B_{*1} を関数 `getBestMove(S_1)` で求め、着手する。
3. B_{*1} の周囲の石の Ownership が 90%以上になったかどうか調べ、90%以上になったら黒石が活きた・白石が死んだことがはっきりしたと判断し、想定図作成を終了する。
4. B_{*1} 近傍の想定図の範囲を設定する。
5. `areaWeightedSearch()` を使用し、 W_{*2} を打たせる。
6. `areaWeightedSearch()` を使用し、黒に打たせ、3. に戻る。

このアルゴリズムには、問題点が存在する。例えば、図 5.10(a) の局面から想定図を作るとき、 $F2 \rightarrow G2 \rightarrow F1 \rightarrow B1 \rightarrow C1$ あるいは $F2 \rightarrow G2 \rightarrow F1 \rightarrow D1 \rightarrow D2$ と打たせて想定図を完成させたい。このとき、探索範囲を限定する重みを重くしすぎると、図 5.10(b) のように黒は F1 サガリではなく D1 と急所に打ってしまい、これは 2.7 目ほど損な手である。このように、重みを重くしすぎると、「生きれば良い」という小さい手を打ってしまうことがあり、これはお手本の手とは言い難い。

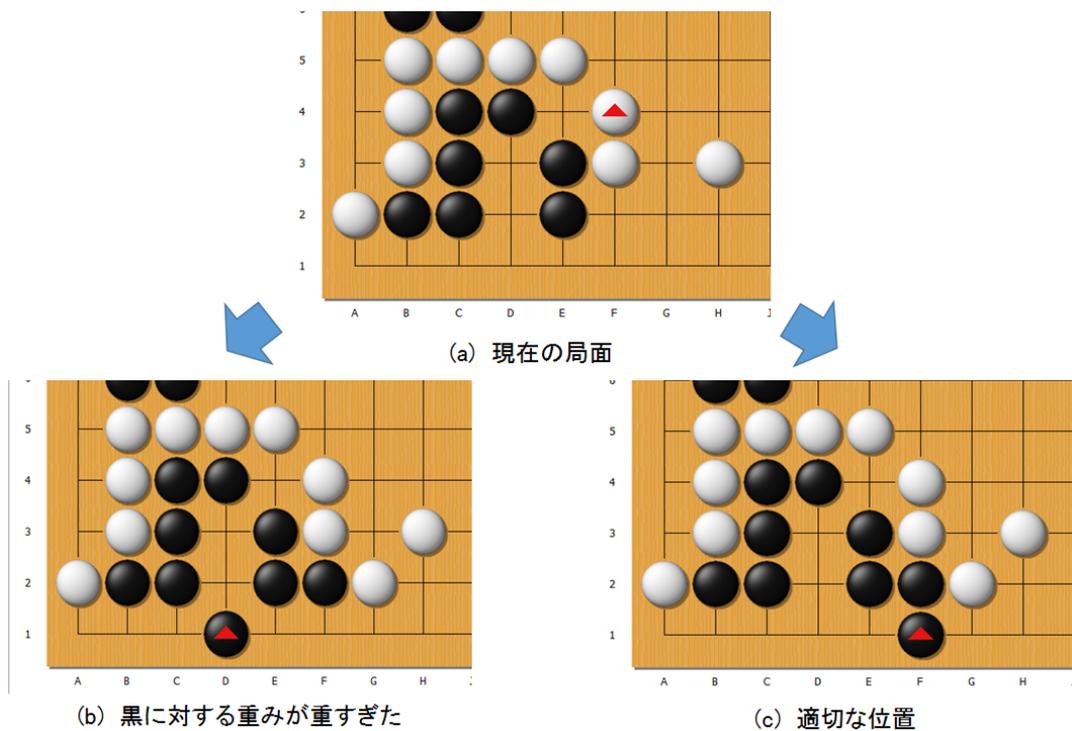


図 5.10: 重み付けの例 1

また、逆に白に対する重みが軽すぎると別の問題が起きる。想定図作成時には、白には攻撃的な手を打って貰いたい。例えば、図 5.11(a) の局面にて、重みが軽すぎると、図 5.11(b) のように白が積極的に攻めずに G1 と打ってしまい、分かりやすい想定図ができない。そこで、重みを大きくすると、B1 や D1 に着手してくれる (図 5.11(c)).

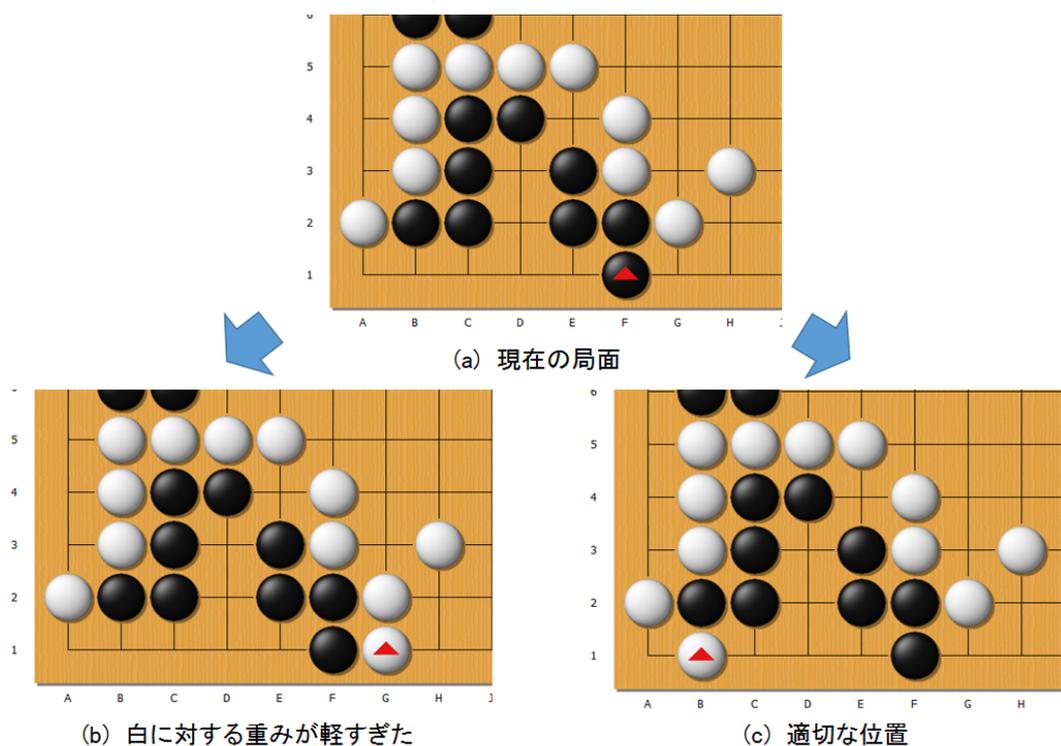
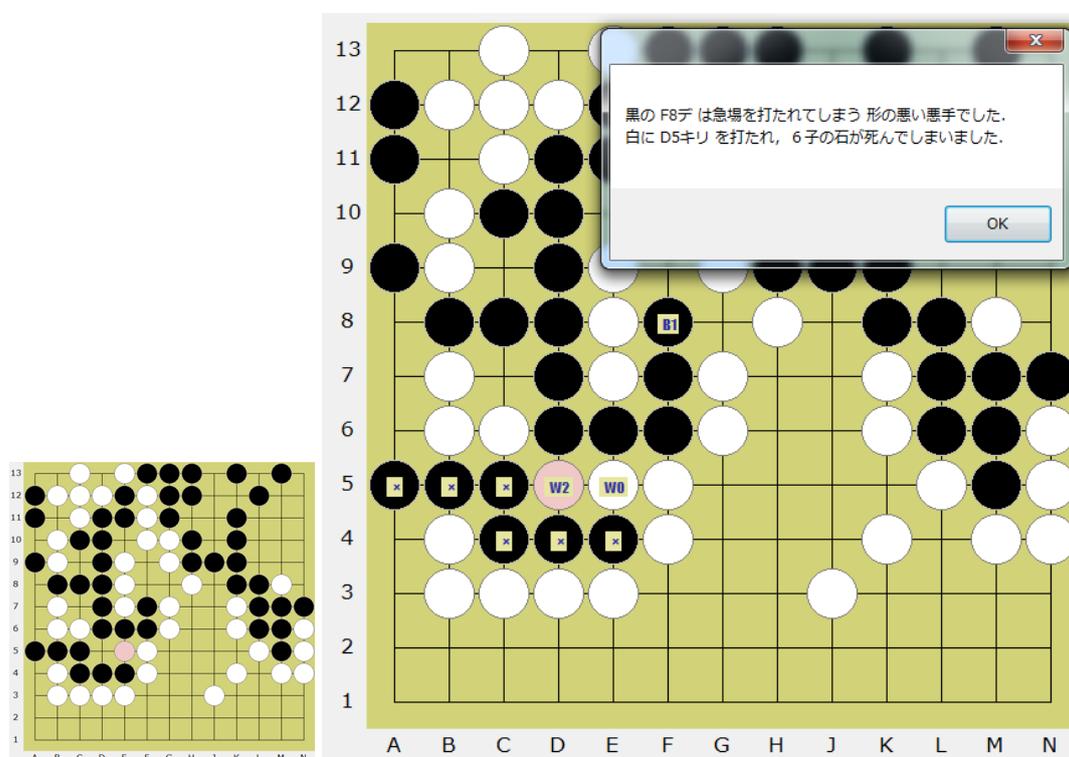


図 5.11: 重み付けの例 2

よって、探索時にかける重みのバランスが重要であると考えられる。黒は重みを小さめにして損な手をできるだけ打たないようにし、白は重みを大きめにして損でも一番脅かせる手を打たせるようにすることが良さそうに思われる。そこで、適切な重みについては今後の課題であると言える。

5.6 実際の指摘の様子

例えば、図 5.12 (a) は、白が E5 と打った局面である、そこから、E5 → F8 → D5 と着手が行われ、その結果、左下の 6 子の黒石が死んでしまった。そこで、プログラムが黒 F8 を悪手として検出し、説明を行った。また、指摘した悪手をわかりやすく示すために $W_0 \cdot B_1 \cdot W_2$ に対しマーキングを行う。さらに、石が死んでいた場合、言葉だけではどの石が死んだのか判りづらいのでマーキングを行った。その結果が図 5.12 (b) である。



(a) S1 局面

(b) 悪手を指摘した画面

図 5.12: 実装した図

5.5 節で重み付けの例として挙げた局面について実際に想定図を作成させた。その結果が図 5.13 である。さらに手番号を表示する予定である。



図 5.13: 作成した想定図

第6章 まとめ

本研究では、人を楽しませることができるプログラムの一つとして、指導碁を対象とし、人に対して指導を行えるプログラムの実装を目指した。まず碁会所における実地調査や棋書調査によって、指導碁の構成要素をまとめた上で、指導碁の構成要素の内、「悪手解説」の部分についてまとめ、解説文生成の手法を提案した。提案手法としては、「悪手解説」を「悪手検出」「理由説明」「結果説明」「想定図作成」の四つの工程にわけ、それぞれについて実装を行った。まず、悪手を構成する要素技術を考察し、if-then ルールで実装した。次に、悪手に対応する解説文テンプレートとして、空欄に着手を埋めることで解説文が生成される文章の箱枠を作成した。そして、実装した要素技術と解説文テンプレートを組み合わせることで解説文を生成した。

今後の課題としては、本研究では全ての評価値を手動で決定していたので、適切な評価値とは言えず上手く検出できないことがあった。そこで、棋譜からの機械学習で適切な評価値を求める必要がある。また、悪手には種類が数多く存在し、今回取り扱った悪手はほんの一握りである。そこで、対応できる悪手の種類を増やしていく必要がある。

第7章 謝辞

本研究を進めるのにあたり，助言とご指導をしていただきました池田心順教授に心より深く感謝を申し上げます。また，英文添削をしていただいたビエノシモン助教や文章添削などを快く引き受けてくださった池田研究室・飯田研究室の所属の皆様にも深く感謝をいたします。

付録A 扱わない囲碁の高度な内容

A.1 囲碁の高度なルール：コウについて

例えば、図1のAに黒が打つことで、△の白石を取ることができる。次の白番では、図2の状況になり、ここで白が図2のAに打ち黒1を取ると、図1の状態に戻ってしまい状況が永遠に繰り返してしまう。そこで白はすぐには黒1を取り返すことができないというルールがある。図3のように白が白2と一度別のところに打った後なら、白4と打ち取り返すことができる。このような状況のことをコウという。

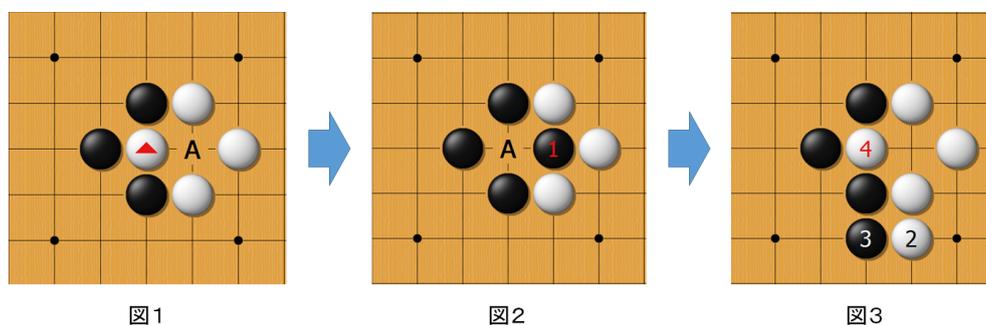


図 A.1: コウの図

参考文献

- [1] 藤井 叙人, 佐藤 祐一, 若間 弘典, 片寄 晴弘: 生物の基本原則の導入によるビデオゲーム COM プレイヤの『人間らしい』振る舞いの自動獲得, 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング研究会 (SIG-EC27), Vol. 2013-EC-27 No.16
- [2] 和田 堯之: 少数の記録からプレイヤの価値観を機械学習するチームプレイ AI の構成, 研究報告ゲーム情報学 (GI), 2015-GI-33(5), 1-8, 2015
- [3] 大町 洋: 強さの異なる人工プレイヤを用いた, 不完全情報パズルの面白いインスタンス生成, 修士論文, 2014
- [4] 池田 心, Simon Viennot: モンテカルロ碁における多様な戦略の演出と形勢の制御 ~接待碁 AI に向けて, ゲームプログラミングワークショップ, 2013
- [5] L.Kocsis, C.Szepesvari: Bandit based MonteCarlo Planning, 17th European conference on MachineLearning, *Lecture Notes in Computer Science*, **4212**, 282-293, 2006
- [6] 石脇 滉己, 荒川 達也: 「一見良い手」を含めた初心者向け詰将棋解説文生成の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-GI-34 No.5, 1-7, 2015
- [7] Remi Coulom: Computing Elo Ratings of Move Patterns in the Game of Go, ICGA Workshop, 2007
- [8] S.Gelly, Y.Wang, R.Munos, and O.Teytaud: Modification of UCT with Pattaerns in Monte Carlo GO, NRIA, 6260, 2006
- [9] 池田 心, ビエノ シモン: 行動評価関数を用いたモンテカルロ木探索の重点化と見落としの抑制, 情報処理学会論文誌, Vol.55 No.11, 2377-2388, 2014

- [10] Coulom, R: Criticality:A Monte-Carlo Heuristic for Go Programs, Invited talk at the University of Electro-Communications, Tokyo, Japan, 2009
- [11] David Silver, Aja Huang, Chris J. Maddison, Arthur Guez, Laurent Sifre, George van den Driessche, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Veda Panneershelvam, Marc Lanctot, Sander Dieleman, Dominik Grewe, John Nham, Nal Kalchbrenner, Ilya Sutskever, Timothy Lillicrap, Madeleine Leach, Koray Kavukcuoglu, Thore Graepel&Demis Hassabis : Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search, Nature, 529, 484-489, 2016
- [12] 穴戸 崇音, 池田 心, ビエノ シモン : 機械学習を用いた囲碁の着手の日本語表現, 研究報告ゲーム情報学 (GI) , 2015-GI-33(4), 1-7, 2015