

対戦型ボードゲーム・プログラムの作成と 対戦会を通したプログラミング教育

Teaching of Programming by Means of Board Game Programming and Competition

堀田英一、竹島卓

Eiichi HORITA, Taku TAKESHIMA

情報工学科の2年次では、「データ構造とアルゴリズム」、「プログラミング III」、「情報工学実験 I」等の科目を通して、問題に応じたデータ構造・制御構造の適切な実装、探索アルゴリズム、グラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI) の作成等について学習する。これらの学習項目を総合的に組合せて学習を促進することを目的とし、上記科目の一部において、グループ学習の主題の1つとして、対戦型ボードゲーム、特にオセロの対戦プログラムの作成を推奨し、プログラム作成上の基本知識と対戦のための仕組みを提供した。それに応じて、幾つかの学生グループが、各々、独自のオセロ対戦プログラムを作成し、対戦会を実施した。この実施上の課題と対策、学習効果などについて事例報告を行う。

キーワード： プログラミング教育、ゲーム・プログラム、オセロ。

In the second year of the Department of Information Engineering, students learn appropriate implementations of various data structures and control methods, through courses such as "Data Structure and Algorithm", "Programming III", "Computer Programming Practice I". For promoting comprehensive learning of these materials, we recommended board-game programs, in particular Othello program, as the theme of group learning in the courses mentioned above. As a result, several student groups created their own board-game programs and carried out competition. We make a case report on this trial.

Keywords: teaching of programming, game programming, Othello.

1. はじめに

情報工学科の2年次では、「データ構造とアルゴリズム」、「プログラミング III」、「情報工学実験 I」等の科目を通して、問題に応じたデータ構造・制御構造の適切な実装、探索アルゴリズム、動的計画法、グラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI) の作成等について学習する。これらの学習項目を総合的に組合せて学習を促進することを目的とし、上記科目の一部において、グループ学習の主題の1つとしてオセロ対戦プログラムの作成を推奨し、プログラム作成上の基本知識と対戦のための仕組みを提供した。それに応じて、幾つかの学生グループが、各々、独自のオセロ対戦プログラムを作成し、対戦会を実施した。この実施上の課題と対策、学習効果などについて事例報告を行う。

1. 1 オセロを選択した理由

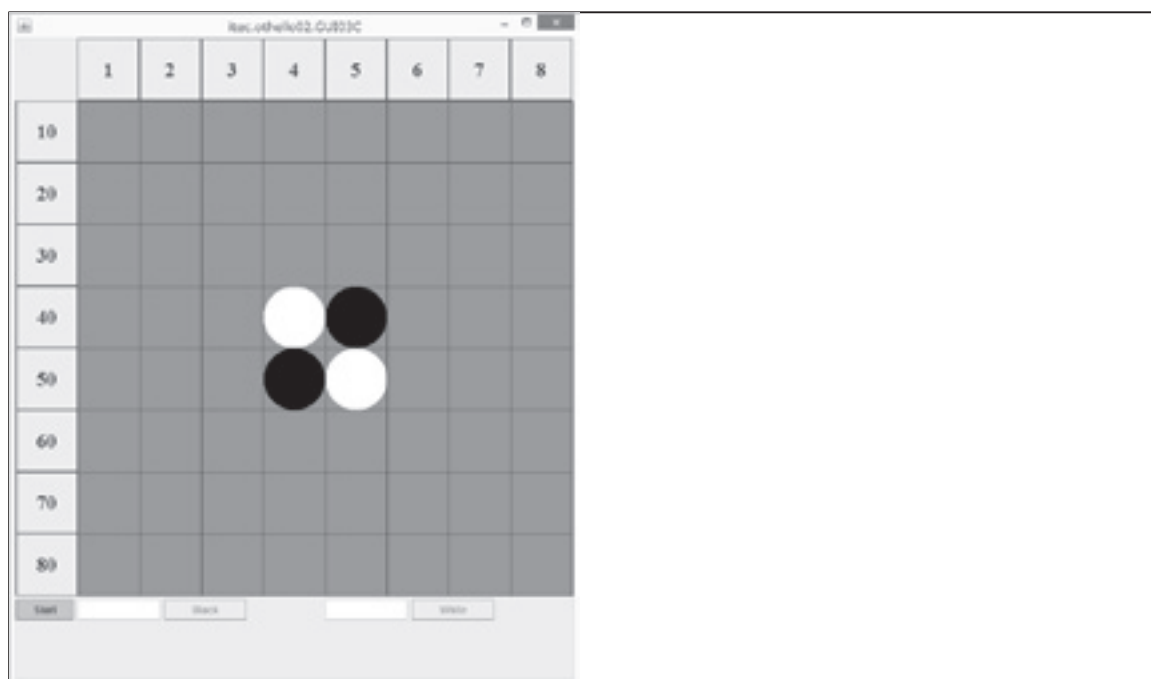


図1 オセロ盤面の GUI 表示

対戦型ボードゲームには、簡単なものから複雑なものまで種々のものがあり、娯楽や競技として実施されている。ここで簡単なゲームというのは、ルールが簡単でまたゲーム展開の可能性の数が少なく展開の予想が容易であることとする。複雑なゲームというのはその反対である。ルールの複雑度は、ゲームの規則を文章化した際の文章量で大まかに評価できる。ゲーム展開の可能性の数は、展開の可能性をツリー状に表現した際の、ツリーの大きさ(ノードの数)として表現できる。このように定義されたツリー状の表現は**ゲーム木**と呼ばれる。表1は、日本国内で一般的なボードゲームに対する、ゲーム木の大きさの概数である¹⁾。(欧米では一般的でも国内ではそれほど普及していないチェッカーやチェスは選択の候補としなかった。)

表1のゲームのうち、三目並べに対しては、ボードゲームをプログラム化する際の古典的な手法である Minimax 探索により容易に最善手を選択するプログラムを作成し実行できる(Minimax 探索については第2章で述べる)。また対戦者の各々が最善手を選択し続けると必ず引分となる(この事実は、プログラム例と共に平成29年度の授業で説明した)。手法の説明等に便利な単純ゲームであるが、対戦を前

提としたプログラム作成には適さない。一方、囲碁となるとルールが複雑すぎて授業のプログラム課題で扱うのは困難である。またゲーム木が極端に大きいので他のゲームで標準的に使われる探索手法がそれほど有効に適用できず、この点でも適当でない。オセロと将棋が候補として残るが、比較的単純なオセロを採用することとした。オセロのルールは既に知っている人も多く、全く知らない人に対しても、適切な図やアニメーションを用意しておけば 30 分程度で詳しく説明できる。ルールの説明は省くが「自分の石で相手の石を挟めば自分の石になる」という規則がポイントである。

表 1 ゲーム木の大きさ

ゲーム名	ゲーム木の大きさ(概数)	可能な盤面の概数
三目並べ	10^5	10^3
オセロ	10^{58}	10^{28}
将棋	10^{226}	10^{70}
囲碁(19 路盤)	10^{360}	10^{170}

2. カリキュラム上の準備と環境

2. 1 カリキュラム上の準備

平成 28 年度の情報工学実験 I においては、第 1 週から 11 週までを、基本的なデータ構造・アルゴリズムについて演習を行い、それを基礎として第 12 から第 15 週までをグループ活動とした。データ構造・アルゴリズムに関する演習において、第 9 週ではオセロゲームの適法な指し手の列挙を例として再帰法の演習を行い、第 10 週と 11 週では、オセロゲームのゲーム木探索を例として(深さ優先)グラフ探索の演習を行った(次節で述べる Minimax 探索を含む)。グループ活動のテーマは、各グループで選択してもらったが、オセロの対戦プログラムをテーマとする場合は、第 15 週にグループ間で対戦会を実施する予定であることを予め案内しておいた。

グループは 4 人構成を基本として、全部で 16 グループとした。このうち 15 のグループがオセロ対戦プログラムをテーマとして選択した。他の 1 グループはカード・ゲームを選択した。結果として、全てのグループがゲームをテーマとすることになってしまった。あまりよい傾向ではないと考えるが、学生にグループ活動のテーマを自由に選ばせると、このような結果になることが多い。何等かの実用性のある情報システムの作成がテーマとしてありえるが、学生自身がこの種類のテーマ設定をするのは難しいようである。

2. 2 課題内容

オセロ対戦プログラムをテーマとする場合には、標準的なゲーム木探索手法である Minimax 探索を実装すること、および制限時間 30 分を超過しないように適切に時間管理をすることを基本課題とした。基本課題を満たした後は、Minimax 探索の効率化である $\alpha\beta$ 探索($\alpha\beta$ 枝刈ともいう)を実装することが望ましいこと、盤面評価法を工夫し強いプログラムを目指すことを応用課題とした。

ゲーム木の探索を取り入れる場合には、先読みの深さを深くするほど一般に強いプログラムとなるが、探索時間は深さに応じて指数関数的に増加していく。強さと必要時間のトレードオフの関係があり、この両者の調整をすることが必要となる。

Minimax 探索は、対戦ゲームのプログラムの研究の初期に提案された標準的なゲーム木探索手法である^{2),3)}。 $\alpha\beta$ 探索は、不要な探索枝を省くことにより Minimax 探索を効率化する手法である^{4),5),6)}。一般にゲーム木の探索の手間数は、先読みの深さ p をパラメータとして指数関数 A^p により概数評価ができる。Minimax 探索、 $\alpha\beta$ 探索、共にこの概数評価が当てはまるが、 $\alpha\beta$ 探索を適用すると、指数関数

の底 A が数分の 1 になることが知られている。(どれくらい底が小さくなるかはゲームの種類や盤面評価の方法に依存するが、最適状況で $\alpha\beta$ 探索の底は Minimax 探索の底の平方根程度となることが知られている⁶⁾。)従って同じ制限時間内では、 $\alpha\beta$ 探索を適用した方が先読みの深さを深くすることが可能で、強いプログラムを構成できることになる。

ゲーム木の探索には、ゲームの最終局面まで読み切る「読み切り探索」と、途中で打ち切る「打ち切り探索」がある。表 1 に挙げたようなゲームは、二人の対戦者が局面を完全に把握し、両者の勝ち点(勝利は 1, 敗北は -1, 引分は 0 とカウント)の合計が零となるという意味で、二人完全情報零和ゲームと分類される⁶⁾。この種類のゲームにおいては、ゲーム開始局面からの読み切り探索が実現できた場合には、先手必勝、後手必勝、(両者が最善手を選択するとき)必ず引分、の何れであるかが決定でき、常に最善手を選択するプログラムを構成できることになる^{7,8)}。これまで、読み切り探索が実現された実用ゲームとしてはチェッカーが知られている⁹⁾。第 5 章で述べるが、平成 29 年度の情報工学実験 I では三目並べの読み切り探索を授業で紹介し、その発展としてミニ五目並べ(5 路盤)の読み切り探索を実施した。

Minimax 探索はボードゲーム・プログラムの重要な基礎となるので、下の図 2 により、オセロの例に即して説明する。ボードゲームでは ply という言葉が「手番」の意味で使われ図 2 にも現れる。先手(黒石担当)の手番と後手(白石担当)の手番が交互に現れるのが基本である(オセロにおいては同一のプレイヤーの手番が連続することも稀にある)。Minimax 探索においては、自分の手番の場合には自分にとって最も有利な手(評価値が最大の手)を選び、相手の手番のときには自分にとって最も不利な手(評価値最小の手)を選びつつ先へ進む方法である。最大評価の手と最小評価の手を交互に選ぶことから Minimax という名前がついている。図 2 では、p00,..., p37 が盤面を表し、コロンの右にある数値は評価値を表している。盤面を結ぶ直線は何等かの手を選択され盤面が変化したことを表す。オセロにおいては自分の石の数から相手の石の数を引いた結果を単純な評価値として使う場合がある(評価値は負数を含む整数となる)。図 2 においては、盤面 p00 を起点とし深さ 3 の Minimax 探索を実施した結果、p00 の評価値は 10 となっている。仮に p00 が残り三手で終了する局面であるとする、先手(黒担当)の必勝局面であることが判定できることになる。

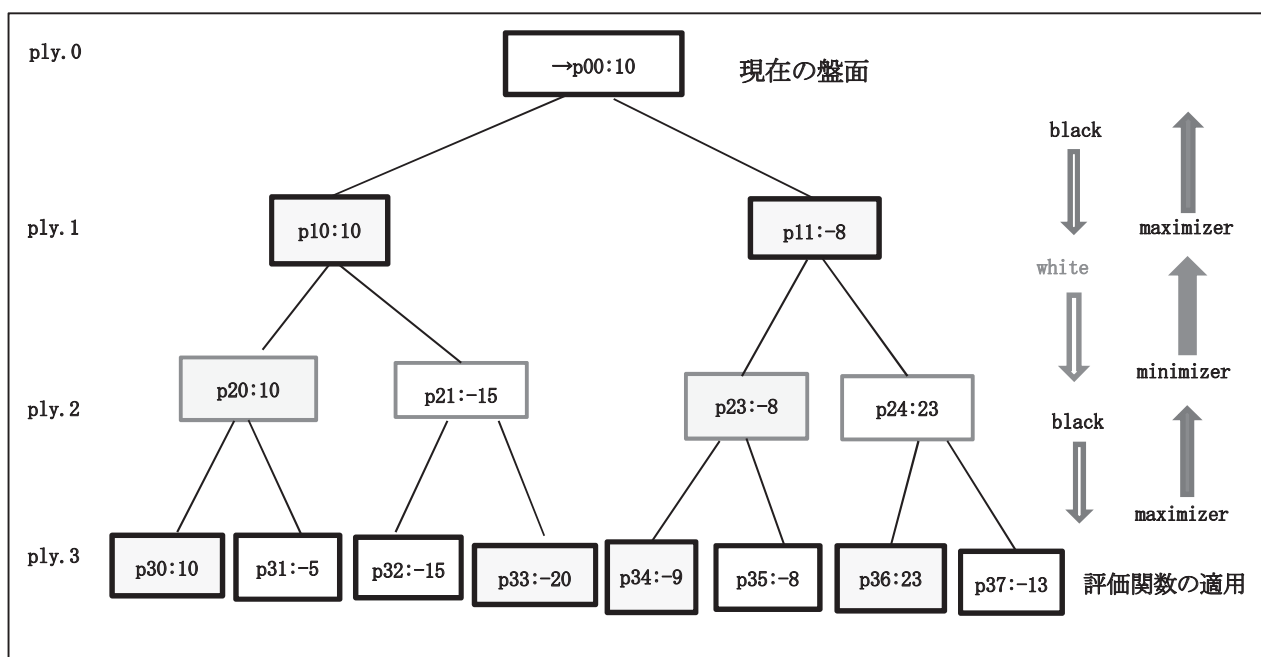


図 2 Minimax アルゴリズム

2. 3 対戦の環境

対戦型の 2 つプログラムを独立に開発して互いに対戦させるには、やりとりの規約(プロトコル)を定めたうえで 2 つのプログラムをネットワーク経由で通信させるのが自然である。プロトコルにおいては、まず指し手の表現方法を定める必要がある。オセロの指し手は図 1 に示すような番号付けを前提とすると、二桁の整数で表現できる(左上隅の升目を 11 で表し、右下隅の升目を 88 で表す方式)。

これに加えて、プレイヤーの識別子などの取り決めを行い、ネットワーク・コネクションを設定して相互に指し手を送受信すれば対戦が可能である。しかし、二年生前学期の段階ではネットワーク通信のプログラミングをまだ学習していない。幸いパイプによるプロセス間通信については学習済みであるので、図 3 における通信のための環境(網掛の部分)は準備しておき、グループ活動では図 2 において (B) あるいは (W) と表されている指し手選択をするプレイヤー・プログラムを作成し、図 3 で示されている構成で、プログラム間での対戦を実施することとした。この環境は対戦会の前に提供し、各グループにおけるプログラム開発でも使用できるようにした。

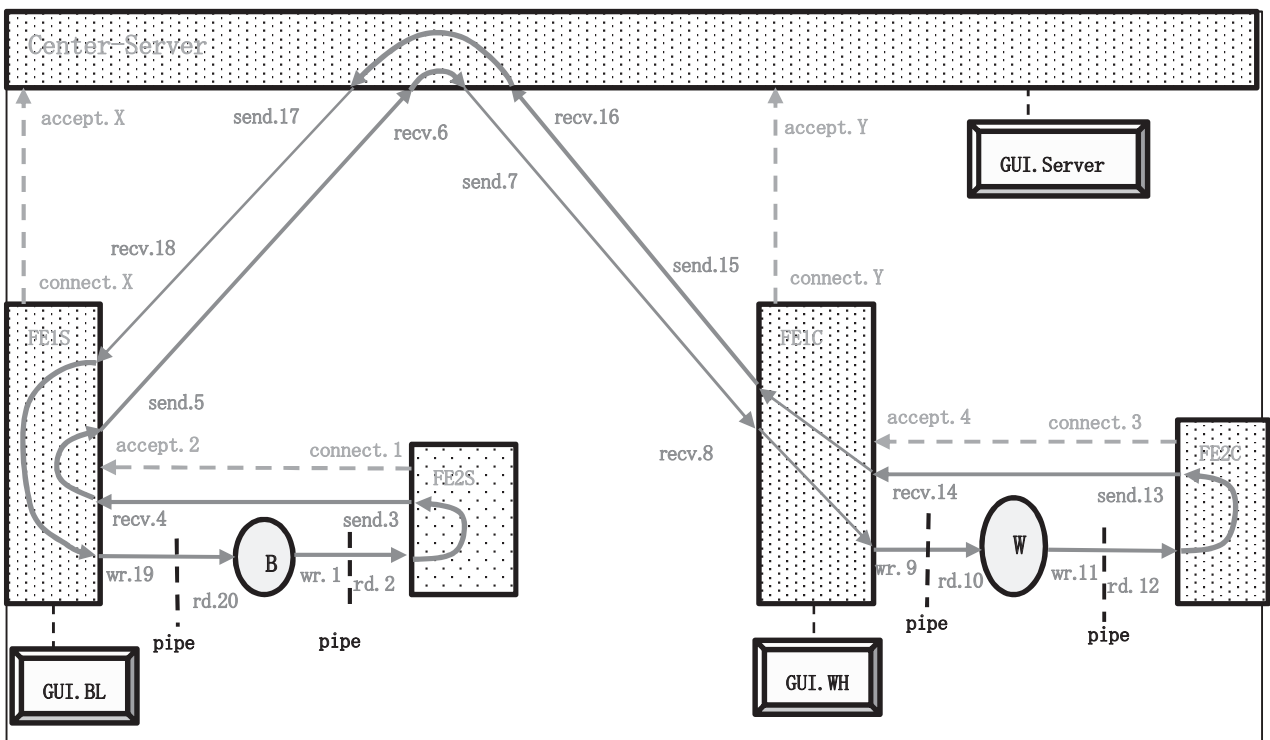


図 3 対戦の環境

3. 対戦プログラムの内容と対戦の実施

3. 1 対戦プログラムの内容

第 2.2 節で述べた課題に対応して、オセロ対戦をテーマとして選択した各グループが各々対戦プログラムを作成した。各グループの作成の内容や工夫は、以下に示す各グループのテーマ名から読み取ることができる。応用課題の 1 つとして挙げていた $\alpha\beta$ 探索の実装を実現したグループと、 $\alpha\beta$ 探索の実装は見送り他の工夫を実施したグループがある。

グループ A: 「戦況別に戦略を変える機能を実装したオセロプログラム」

グループ B: 「前半と後半で、打つ手を変えるような機能を実装したオセロ対戦プログラム」
グループ C: 「より洗練された石の位置の評価」
グループ D: 「 α - β 探索法と角優先探索に時間機能を実装したオセロ対戦プログラム」
グループ E: 「 $\alpha\beta$ 探索を実装したオセロ対戦プログラム」
グループ F: 「ゲームの進行度で戦略が切り替わるオセロ対戦プログラム」
グループ G: 「手持ち時間を超過しない戦略切り替え機能を実装したプログラム」
グループ H: 「Alpha-Beta を用いたオセロ対戦プログラム」
グループ I: 「アルゴリズム切り替え機能を装備したオセロ対戦プログラム」
グループ K: 「Alphabeta アルゴリズムを実装したオセロ対戦プログラム」
グループ L: 「中割り戦法を実装したオセロ対戦プログラム」
グループ M: 「中割りを実装したオセロ対戦プログラム」
グループ N: 「Alpha-beta アルゴリズムを実装したオセロ対戦プログラム」
グループ P: 「有利な着手可能数の演算機能を装備したオセロ対戦プログラム」
グループ Q: 「序盤と中盤以降で、指し手戦略の戦略/アルゴリズムを切り替える: 序盤では Minimax を利用し、中盤以降では Maximizer を利用することにしたオセロ対戦プログラム」

当初は 15 のグループでトーナメントを実施することを予定していたが、時間の制限から、各グループが最低 1 回の対戦を行い、希望があれば二回以上の対戦を実施する方式で対戦会を行った。時間が足りなくなった原因の 1 つは、演習室のネットワーク設定が想定と異なり、ネットワークの構成/設定に予想以上の時間を要したことである。図 3 の構成は整合的に設定をすれば問題なく使用できるが、構成要素が多いので設定変更に手間がかかるという短所がある。

3. 2 参加者の感想と評価

第 16 週の授業終了後、オセロ対戦プログラムの作成・対戦に関する感想/評価等についてアンケートを行った。回答数は 40 で、それらを、オセロ対戦プログラムの作成・対戦に対して肯定的か否かという視点から分類してみた。結果は次の通りである。肯定的回答: 34, 否定的回答: 1, どちらとも言えない回答: 3, オセロ対戦プログラムに言及していない回答: 2。

肯定的回答には種々の感想があったが、練習問題を超えてゲーム対戦プログラムという実働プログラムを作成することが有意義であったという評価は共通していた。またアルゴリズムの授業などで学習する探索手法等を実地に応用できてよかったという感想や、スタンドアローンのプログラムではなくネットワーク対戦プログラムという新しい種類のプログラムが興味深かったという感想もあった。

グループでプログラムを作成することに関しては、有意義であったという評価が多かったが、グループの一部のメンバーのみに作成の負担がかかったという問題を指摘した回答もあった。中には、グループ内の調整に煩わされることなく一人で取り組みたかったという意外な回答もあった。

否定的な回答では、このオセロ対戦プログラムの作成に時間がとられ他の科目の予習・復習に支障がでたことを指摘していた。

オセロ対戦プログラムの作成に言及していない回答は、グループ学習におけるテーマをオセロ対戦プログラムの作成以外に設定したグループのメンバーによるものである。

4. 工大祭におけるデモンストレーション

平成 28 年度の工大祭において、第 2 章、3 章で紹介したオセロ対戦プログラムをベースとして幾つかのバリエーションを作成し、人間対プログラム、およびプログラム対プログラムのオセロ対戦を実行できるような環境を用意してプログラムのデモンストレーションを行った。小中学生を主な利用者として想定した。デモンストレーションの環境は、図 3 と同様で、先番(黒石担当)として主催者側が用意したプログラムを実行する構成とし、利用者は 3 人まで同時にプレイできる設定とした。このデモについて工大祭のパンフレットに掲載し会場の入口に掲示した案内は次のようなものである。

ITEC presents Othello Builder: どうぞお入りください。

●人工知能 (AI) とオセロゲームを一局いかが? (●=AI, ○=人間)

○AI をカスタマイズして、AI 同士で対戦させてみませんか?

ここで「人間対プログラム」の対戦は、予め用意した 3 段階の強さのプログラムから、1 つを選択して対戦するものである。3 段階のうち、一番強いバージョンは、第 2 章で述べた $\alpha\beta$ 探索と升目に対する重み付け評価を組合せ、9 手先まで先読みをする方式であり、ある程度強いプログラムである。(一般参加者のうち、このバージョンに複数回の対戦の後に勝利した人は一人のみであった。) 一方「プログラム対プログラム」の対戦は次のように実行する。まずユーザは(用意された選択肢の中から)ゲーム木の探索法、盤面の評価法、先読みの深さなどを選択して対戦プログラムをカスタマイズし、それを主催者側が用意したプログラムと対戦させる。小中学生を中心とした利用者がプログラムをカスタマイズしていろいろ試すことにより、簡易にプログラミング的体験をしてもらいプログラミングに対する動機付けとしたいという意図であった。しかし小中学生には少し敷居が高かったようで、大部分は「人間対プログラム」の方を選択してゲームを楽しむという結果となった。

来訪者は二日間で延べ 58 人、そのうち 44 人がゲームを行った。ゲームをしなかった来訪者は、主に小中学生の保護者である。来訪者には、表 2 の内容のアンケートをお願いした(任意回答)。回答数は 42 であり、項番 1~7 の集計結果は表中の[]内に示してある。

項番 1 の質問に対しては、「興味深かった」という回答が 100%であり来訪者には一定の評価を得たといえる。項番 2 に対する回答から、利用者はゲーム・プログラミングよりゲーム自体に興味を持つ割合が大きいことが見て取れる。しかし選択肢 2「プログラムに興味を持つ」と選択肢 3「ゲームとプログラミングに同じくらい興味を持つ」を合計すると 50%であり、半数はプログラミングに対する興味も持っている。項番 3 に対する回答から「人工知能」というキーワードは、一般の興味を引いていることが分かる。

項番 4 から項番 6 は、技術項目についての質問である。項番 4 の「アルゴリズム」に興味を持つ割合が 57%と最も低く、項番 5 の「表示法」に興味をもつ割合が 79%で最も高い。技術項目として「表示法」は分かりやすいが、「アルゴリズム」はやや抽象的で理解しにくいかもしれない。

項番 7 における選択肢「その他」には大学生や社会人が含まれる。小中学生を主な利用者と想定していたがその割合は約 31%であり、大学生を含むその他が 69%となっている。

項番 8「要望/感想」に対しては、13 件の回答が寄せられた。大人の利用者からはインタフェースの改善に関する具体的指摘があり参考になった。また「対戦の後、対戦者のレベルを教えてくれると楽しくなる」という意見も寄せられた。単純な対戦を超える、この種類の機能を取り込むことは今後の課題である。小学生からの回答は「たのしかったしむずかしかった」というような素直な感想を述べたものが多く、彼らの受け止め方を知る助けとなった。

表 2 エ大祭におけるアンケートとその集計

項番	質問	選択肢/回答
1	今回のオセロのプログラムはいかがでしたか?	(1) 興味深かった[42 件, 100%]. (2) そうでもなかった[0 件, 0%].
2	オセロゲームをするのとオセロのプログラムを作るのとではどちらに興味がありますか?	(1) オセロゲーム[20 件, 48%]. (2) プログラム[12 件, 29%]. (3) 同じくらい[9 件, 21%]. (4) どちらにも興味なし[0 件, 0%].
3	一般的に人工知能に興味はありますか?	(1) ある[38 件, 90%]. (2) ない[9 件, 21%].
4	強いゲーム・プログラムを作るにはよい処理手順(アルゴリズム)が必要です. アルゴリズムの開発に興味はありますか?	(1) ある[24 件, 57%]. (2) ない[18 件, 43%].
5	ゲーム・プログラムでは使い易い表示が重要です. 表示を工夫することに興味はありますか?	(1) ある[33 件, 79%]. (2) ない[9 件, 21%].
6	離れたところにいる対戦者を対戦させるにはネットワークの技術が重要です. ネットワーク技術に興味はありますか?	(1) ある[31 件, 74%]. (2) ない[8 件, 19%].
7	さしつかえない範囲で年齢などについての質問です.	(1) 小学生[12 件, 29%]. (2) 中学生[1 件, 2.4%]. (3) 高校生[1 件, 2.4%]. (4) その他[28 件, 67%].
8	要望や感想があればお聞かせください.	

5. 平成 29 年度の取り組み

平成 29 年度の情報工学実験 I においては、オセロを題材として扱うことはやめ、オセロに興味がある場合は平成 28 年度の資料を見るよう指示するのみとした。一方、探索アルゴリズムの例として、三目並べの Minimax 探索(読み切り型)を紹介した。平成 28 年度と同様に、第 12 週から第 15 週をグループ活動とし、テーマは各グループで選択してもらった。この結果、対戦型ゲームをテーマとして選択したグループが以下の通り 7 グループとなった。オセロが 4 グループ、五目並べ(19 路盤)が 3 グループ。

オセロを選択した 4 グループのうち、1 つのグループは通常オセロを元に独自ルールを採用したもので通常の対戦は出来ないシステムを作成した。他の 3 つのグループは、通常のルールを採用しており、互いに対戦可能な作りである。平成 28 年度に作成した環境(図 3)を用いて、相互の対戦を実施した。その後、昨年度作成したプログラムとの対戦も行った。今年度のグループが作成したシステムは、探索手法の実装が不十分で、昨年度のプログラムの圧勝という結果であった。これらグループのメンバーは、プログラムを作成する上で、独自の工夫も大事だが、これまで研究蓄積された標準的な手法を学習し適用することも重要であることを感じたようである。

五目並べを選択した 3 つのグループのうち、1 つは対戦プログラムではなく、人間同士がプレイする環境を作成したものである。残りの 2 つが五目並べ(19 路盤)の対戦プログラムを作成した。

石の置き方に制限のない五目並べ(19 路盤)については、先手の必勝手順が知られている¹⁰⁾。しかしこの手順はかなり複雑で、単なるゲーム木の探索ではなく長年の手筋の研究のすえに編み出されたもので

ある。五目並べ(19 路盤)をテーマとしたグループも、この必勝手順を実装するという方向ではなく、ゲーム木探索を基本とする対戦プログラムを作成する方針を採用した。最後の週には、図 3 のオセロ対戦の環境を五目並べ用にアレンジした環境を用意し、2 つのプログラムの対戦を行った(探索手法の実装に優れたグループの勝ちとなった)。

プログラムの題材としての五目並べを扱う際には、本来の五目並べ(19 路盤)ではなく、ミニ五目並べ(5 路盤)を採用する場合もある。三目並べの読み切り探索の発展として、ミニ五目並べの読み切り探索を試みた。表 1 に三目並べのゲーム木の大きさの概数として 10^5 という数値を挙げてある。この数値は $9! = 362880$ が元になっている。これくらいの数であれば最適化なしの Minimax 探索により簡単に読み切りができる。ミニ五目並べとなると、ゲーム木の大きさの概数は 10^{25} ($\approx 25! = 1551121004330985984000000$)となり、単純な Minimax 探索を適用するのは無理で、 $\alpha\beta$ 枝刈による最適化でも対応できない。Minimax 探索を効率化する手法としては、 $\alpha\beta$ 枝刈の他に、並列化と(ハッシュ表等を利用した)動的計画法の適用が知られている^{9),9),11)}。ただし動的計画法を適用するには「可能な盤面の数」(表 1 の項目の 1 つ)が計算機のメモリーに収まる範囲である必要がある。ミニ五目並べ(5 路盤)に対しては、盤面の対称性を利用して可能な盤面の集合を縮退した上で数十個の部分集合に分割すれば 32 ギガバイト(この試みで使用した PC のメモリ量)に収めることが出来る。これにより動的計画法を適用してゲーム木の読み切り探索を実行することができた(計算時間は約 6 時間)。結果は(対戦者両者が最適手を選べば)必ず引分である。この結果は、効率化手法の適用例として使える可能性があると考えている。

6. おわりに

平成 28 年度から 29 年度にかけて対戦型のボードゲームを題材としてプログラミング教育を試みた結果について報告した。本文中、特に第 4 章においては人工知能 (AI) というキーワードが目立つかもしれないが、この試みは、人工知能に向けたプログラミング教育を指向している訳ではない。学部 2 年生で学ぶ種々のデータ構造やアルゴリズムを、単なる練習問題ではなく、内容のある課題に適用し、それら技術の理解や活用スキルを高めることを目的とした試みである。(人工知能はこのようなスキルを必要とする重要な分野の 1 つと位置づけられる。)探索アルゴリズムや動的計画法を応用する際には、扱う問題(例えば探索空間)がある程度大きくないと適用するアルゴリズム/手法の長所短所が見えてこない。第 3 章や第 5 章で述べたように、対戦型のボードゲームのプログラムにおいては、少なくとも数百万以上のデータ項目からなる探索空間を扱う必要があり、探索におけるチェックの数も数億以上となることが普通である。この結果、使用するデータ構造やアルゴリズムの良否が顕著に結果に反映されることになる。

対戦型のボードゲームにおいては、自分の都合に反して動作する相手を前提にして自分の動作を決定する必要がある(この点が文献¹²⁾で扱った一人パズルと異なる点である)。このような状況は、様々な分野、例えば災害対策のシステムを開発する場合や自動車の自動運転プログラムの開発においても同様に現れ、この状況下でシステム/プログラムを作成する技術は一般的に重要である。一方、プログラミング学習の初期の段階では相手を想定しない状況でのプログラムを扱う場合が多い。相手を扱う必要がある対戦型のボードゲームは、初期段階のプログラミング学習を終え次の段階に進む際の有用な題材の 1 つであろう。本稿は、上記のような意図の下で、対戦型のボードゲームを題材にプログラミング教育を試みた事例の報告である。

謝辞

本稿で扱ったオセロの対戦プログラムは、平成 28 年度の JICA 研修生に対して実施した「共通プロ

グラミング講座」で紹介した内容がベースの1つとなっている。この講座を著者の一人(堀田)と共同で実施した宮田孝富先生に感謝する。工大祭におけるデモンストレーションにおいては、著者の一人(竹島)が主催するプログラミング道場のメンバーに助けていただいた。事前のセッティングや、当日の来訪者に対する対応をお願いしたのであるが、それに加えてデモ・システムの改善について有益な意見を寄せられた。このことに感謝する。

参考文献

- 1) 斉藤康己, 「アルファ碁はなぜ人間に勝てたのか」, KK ベストセラーズ, 2016.
- 2) H.A. Simon, Allen Newell, 「Human Problem Solving」, Prentice-Hall Inc., 1972.
- 3) Stuart Russell, Peter Norvig, 古川康一(訳), 「エージェント アプローチ 人工知能, 第2版」, 共立出版, 2008.
- 4) Peter Norvig, 杉本宣男(訳), 「実用 Common Lisp: AI プログラミングのケーススタディ」, 株式会社 翔泳社, 2010.
- 5) Seal Software, 「リバーシのアルゴリズム C++&Java 対応」, 株式会社 工学社, 2003.
- 6) 小谷善行, 「ゲーム計算メカニズム---将棋・囲碁・オセロ・チェスのプログラムはどう動く---」, 株式会社 コロナ社, 2010.
- 7) Robert A. Hearn, Erik D. Demaine, 上原隆平(訳), 「ゲームとパズルの計算量」, 株式会社 近代科学社, 2011.
- 8) Michael H. Albert, Richard J. Nowakowski, David Wolfe, 川辺治之(訳), 「組合せゲーム理論入門: 勝利の方程式」, 共立出版, 2011.
- 9) 岸本章宏, 「チェッカー解明秘話」, 情報処理 Vol.48, No.11, pp.1257--1263, 2007.
- 10) 島内剛一 他(編), 「アルゴリズム辞典」, 共立出版, 1994.
- 11) 小野田博一, 「人工知能はいかにして強くなるのか? 対戦型 AI で学ぶ基本のしくみ」, 株式会社 講談社, 2017.
- 12) 堀田英一, 「初期プログラミング教育のためのスクリプト言語/対話型言語の検討」, KIT Progress, No.24, pp.123--133, 金沢工業大学, 2016.

[原稿受付日 平成 29 年 8 月 17 日、採択決定日 平成 29 年 11 月 13 日]



堀田英一
教授・Ph. D.
(計算機科学)
基礎教育部
基礎実技教育課程



竹島 卓
教授・博士(学術)
基礎教育部
基礎実技教育課程・副主任
情報基礎教育研究センター
所長