

ペア編成・座席配置の最適化を利用した 複数回のペアプログラミング実習の実践

鈴木 聡^{1,a)}

概要：他者との協調は社会の中の様々な場面で求められるが、プログラミングもその例外ではない。ペアプログラミング（PP）はソフトウェア開発の現場では協調の一形態と位置づけられるが、これは学習場面においても有効に機能する可能性を持つ。本稿では学習場面に PP を導入し、学習者同士の相互作用を通して、学習者がプログラミングの知識やスキルを獲得できるようにすることを目指す。ただし、PP はプログラマのパフォーマンスがペアを組む相手の能力差に依存するため、この点を考慮したペア編成を行う必要がある。また、複数回 PP を行う場合は、ペアを変えながら行うことが望ましい。さらに、ペアのみでは知識・スキルとも心もとない場合も多い可能性を考慮すると、ペア以外の学習者との相互作用の機会を生み出すことも重要といえる。そこで、教室の座席配置にも着目し、友人同士を近くに配置するなどしてペア外の相互作用を誘発することも試みた。本稿ではペア編成と座席配置の最適化を遺伝的アルゴリズムにより試み、実際の授業で利用した結果について報告し、今後の課題について論じる。

1. はじめに

今後の社会を学び続けて生き抜く上で鍵となるスキルとして、他者との協調が挙げられる。論理的思考・批判的思考などと並び、他者との協調は学習者の基礎的なスキルの分類において大きな柱のひとつとなっている [5], [13], [14]。そのようなスキルの重要性を鑑みて、学習者間の相互作用を学習場面に組み込み、他者と協働する機会を学習の中で生み出す試みも数多くなされている。本稿では、プログラミング教育における学習者間の相互作用の効用に着目し、複数回のペアプログラミング実習を通して極力学習者同士で問題解決が図れるようにすることを目指す。

協調学習の形態として、学習者同士がペアとなって学ぶ形式は多く見られる。その機能 [15], [25] や場面 [7] は多岐にわたり、文章読解 [8], 文章作成 [21], [24] などの活動で、ペア間の相互作用が問題解決やスキル向上に寄与したことが示されている。そこで、ペアプログラミングを協調学習の一形式としてプログラミング実習へ導入するが、この際学習の成否を左右するのがペア編成や座席配置である。これを念頭に置き、ペア編成・座席配置の最適化を試みる。

2. 関連研究

2.1 ペアプログラミングと教育

柔軟で適応的なソフトウェア開発を目指す一連の実践形態のひとつであるエクストリームプログラミング（Extreme Programming：XP）において、ペアプログラミングは重要な活動として位置づけられている [1]。ペアプログラミングでは 2 人 1 組で 1 台の端末を共有し、片方がドライバとしてコーディングを行い、もう片方がナビゲータとしてドライバのコードに対して質問や誤りの指摘を行い適切なコーディングを促すようにし、その役割を随時交替してプログラミングを進める [1], [27]。ソフトウェア開発の場において、ペアプログラミングは開発者間のコミュニケーションの促進させる目的もある [27]。ただし、ペアプログラミングの効果については主にコーディングに要する時間を基準とした生産性の観点から議論されており、その効果については疑問視する研究も存在する [18]。しかし、熟達者同士のペアよりも初心者同士のペアの方がペアプログラミングによる生産性を高めることができる可能性を実験結果から示唆した研究もある [12]。また、プログラミング実習にペアプログラミングを導入した平井・井上 [6] は、適切かつ相互的な説明によりペアプログラミングがよい結果を出す可能性を指摘している。

本稿で対象とする学習者は、C 言語の初歩の学習を終えた程度の、主に機械工学・電気電子工学を専攻ないし専

¹ 成蹊大学 理工学部 システムデザイン学科
Seikei Univ., 3-3-1 Kichijoji-kitamachi Musashino Tokyo
180-8633 Japan

^{a)} ssv@st.seikei.ac.jp

攻予定で、情報工学を専攻しない大学学部生（2～4年生、うち2年生が多数）であり、プログラミングについては初心者に近いといえる。このような学習者にとっても、ペアプログラミングは学習の上で効果的に機能すると考えられる。

2.2 座席配置と学習者への影響

学習者の座席位置と学習意欲や遂行などとの間に大きな相関がある。Becker, Sommer, Bee and Oxley [2] は、教室の観察、実験、および質問紙調査を通して、学習者が座る座席位置と、学習者の学習の遂行、学習内容への興味、そして教員との類似度や教員への好意が相関することを示している。ただし、講義形式を前提とした授業が研究対象のため、学習者間の相互作用が伴う授業形式とは結果が異なる可能性もある。また、Cox, Cody, Fleming, and Miller [4] は、アメリカの大学のプログラミング実習において、学習者の GPA や SAT の数学試験のスコア、そしてプログラミングのスキルを考慮し、3列ごとに通路のあるグリッド型の教室で通路側でない席に前述の指標のもと遂行の高い学習者を配し、通路側に遂行の高くない学習者を配したところ、遂行の高くない学習者は遂行の高い学習者からの援助を受けながらプログラミング実習を進めることができたとしている。Shin-ike and Iima [20] は、学習者の座席位置の嗜好や学習者同士の友人関係を考慮した教室における座席配置の最適化を試み、学籍番号順の座席指定と比べこのような最適化に基づく座席指定の方が学生に好まれ、また学習環境としても友人同士で教え合うことができるなどして快適であると評価された。本稿ではこれらの先行研究を考慮したプログラミング実習における座席配置の最適化手法を提案する。

2.3 学習の場における最適化問題

学習の場においても、組合せ最適化が効果的と思われる事例は多くみられる。一例として学生の研究室配属 [11] が挙げられる。また、本研究で扱う協調学習におけるペアやグループの編成、そして座席配置についてもすでに最適化の試みがある。Sfestos et al. [19] は、ペアプログラミングにおけるペア編成を学習者の性格特性をベースに行った。田中 [23] はペアプログラミングにおけるペア編成をニューラルネットワークを用いて最適化する手法について解説している。椿本ほか [26] は、学習者の得意・不得意な能力に着目しながら通信教育における小論文の協同推敲におけるグループ編成の最適化を行い、推敲を通じた小論文の質の向上を図れたことを示している。

本稿では、

- (1) 学習者の学力に着目したペア編成の最適化
- (2) 過去のペア編成・座席配置、そして友人関係を考慮し

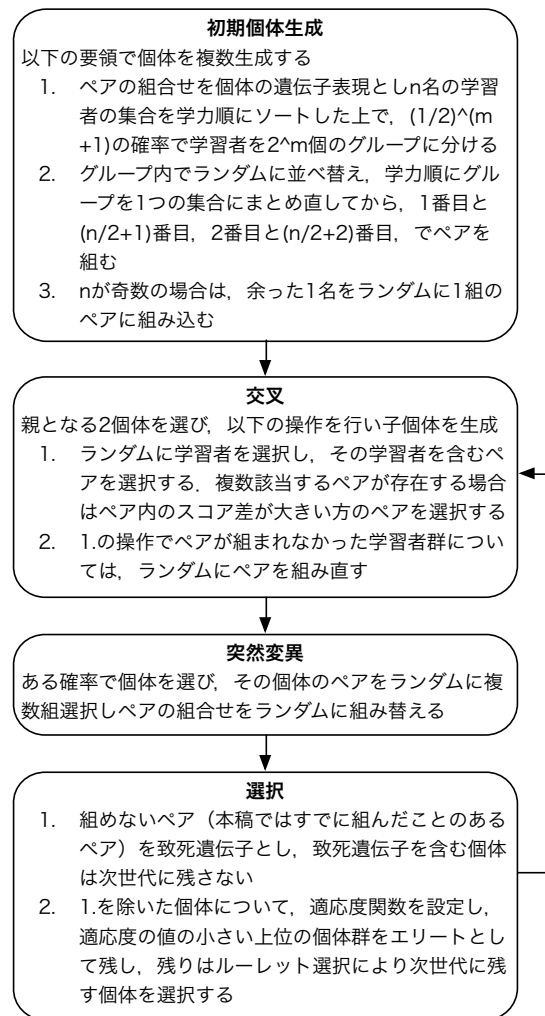


図1 本稿で提案するGAによるペア編成最適化手法

た座席配置の最適化

を順番に行い、ペア編成の最適化を受けての座席配置の最適化を行う。最適化の手法はともに遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) [10] を採用する。

3. ペア編成の最適化

本稿では田中 [23] の手法を参考に、図1に示す形でGAによるペア編成の最適化を試みる。学習者の学力を1個のパラメータで表し、この学力をベースに、クラス全体でペア間の学力差の均等化を図れるようペア編成の最適化を行う。本稿の手法では、個体の遺伝子表現としてペアの組合せを扱う。まず、初期個体を生成するが、この段階で最適解への収束を早められるようすべてをランダムな組合せにするのではなく、以下の形で初期個体を生成する。

- (1) n 名の学習者の集合を学力順にソートした上で、 $(1/2)^{m+1}$ の確率で学習者を 2^m 個のグループに分ける (m は自然数)。
- (2) グループ内でランダムに並べ替え、学力順にグループを1つの集合にまとめ直してから、1番目の学生と $[n/2] + 1$ 番目の学生、2番目と $[n/2] + 2$ 番目の学

生, ……でペアを組む。

次に2個体を親として交叉を行う。2個体でペアの和集合をとり、ランダムに学習者を選択し、その学習者を含むペアを和集合の中から選択する。複数該当するペアが存在する場合は、ペア内で学力差の分散が大きい方のペアを選択する。これによりペアが組まれない学習者が発生することもあるが、その場合はその学習者の中で新たにランダムにペアを組み直す。交叉では以上のプロセスで、2親個体から1子個体を生成する。

続いて突然変異であるが、ある低い確率で個体を選び、その個体のペアをランダムに複数組選択して、選択したペアの組合せをランダムに組み替える形をとる。これにより局所最適な組合せの探索を防ぐ。

世代交代は次の段階を踏む。まず、致死遺伝子として、すでに組んだことのあるペアの組合せを指定する。致死遺伝子を含む個体はこの時点で次世代に残さないようにする。次に、致死遺伝子を含まない個体の中で、後述の適応度関数を基準に、適応度の値の小さい順に一部の個体をエリートとして残し、残りの個体の中から適応度に基づくルーレット選択により、次世代に残す個体を選択する。これにより次世代に残す個体を選び、交叉のプロセスを繰り返す。

田中 [23] の提案手法は偶数名のクラスでの利用が前提となるようなペア編成の最適化であったが、本稿の手法を用いると奇数名のクラスで3人組を組まざるを得ない場合でも適用可能である。また、本稿では複数回のペアプログラミング実習を想定している。ペアプログラミングを複数回行う場合はその都度ペアを変えることが提案されており [27]、本稿でもそれに従い毎回異なる相手とペアを組めるよう、GA の過程の中にすでに組んだことのある相手や、普段から教え合う関係の相手を致死遺伝子として組み込んでいる。以上の点を考慮し、より汎用的なペア編成の最適化手法の構築を試みている。

また、適応度 F_{pair} は田中 [23] を踏まえつつ、3人組が発生した場合を想定し、式 (1) のようにする。これにより、クラス全体でペア間の学力差が極力均等になるようなペア編成を試みる。

$$F_{\text{pair}} = \frac{V_{\text{var}} + V_{\text{mean}}}{S_{\text{var}}} \quad (1)$$

ただし、 V_{var} はペア内の学力の分散のクラス全体の分散、 V_{mean} はペア内の学力の平均のクラス全体の分散、 S_{var} はペア内の学力の分散のクラス全体の総和とし、 F_{pair} が最小の個体を探索することとする。

4. 座席配置の最適化

本稿で提案する座席配置最適化手法 (図 2) は、5 節でも後述するが 4 列おきに通路が存在するグリッド型の教室における座席配置の最適化を想定している。遺伝子表現は座

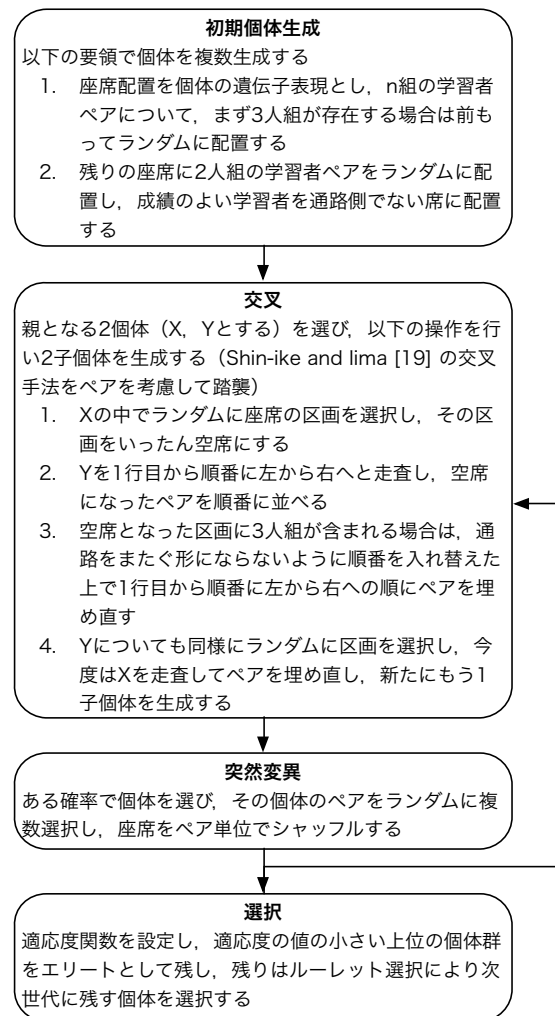


図 2 本稿で提案する GA による座席配置最適化手法

席配置の組合せとする。まず初期個体生成を行うが、3人組が発生している場合は最初に3人組を通路をまたがない形で配置する。その上で、残りの空席をペアが隣接する形でランダムに埋める形をとる。

交叉の手法は Shin-ike and Iima [20] の手法を応用し、個々の学習者単位ではなくペア単位で座席の交換を行う。親個体 X, Y に対し、次のプロセスにより交叉を行う。

- (1) X の中でランダムに座席の区画を選択し、その区画を空席とする。
- (2) Y を 1 行目から順番に左から右へと走査し、空席になったペアをまず順番に並べる。
- (3) X の空席となった区画に 3 人組が含まれる場合は、通路をまたぐ形にならないように 2. の順番を入れ替えた上で 1 行目から順番に左から右への順にペアを埋め直し、子個体を 1 つ生成する。
- (4) Y についても同様にランダムに区画を選択し、今度は X を走査した上でペアを埋め直し、新たにもう 1 つ子個体を生成する。

突然変異はランダムに複数のペアを選び、それらのペアをランダムに再配置する形で行う。世代交代は後述の適応

度関数に基づき、エリート戦略とルーレット選択を採用する。適応度 F_{seat} は、式 (2) のように定め、

- 個々の学習者は、極力毎回前後左右に異なる席に着席する
- 教え合う経験のある友人同士は極力近くに着席するという形になるよう座席配置を決定する。

$$F_{\text{seat}} = \frac{V_{\text{rowmean}} + V_{\text{colmean}} + M_{\text{dist}}}{V_{\text{rowvar}} + V_{\text{colvar}}} \quad (2)$$

ただし、 V_{rowmean} , V_{rowvar} はそれぞれ個々の学習者の前後方向の座席位置の過去の履歴を含めた平均 (分散) のクラス全体の分散, V_{colmean} , V_{colvar} はそれぞれ個々の学習者の左右方向の座席位置の過去の履歴を含めた平均 (分散) のクラス全体の分散, M_{dist} は個々の学習者の教え合う関係のある友人の距離のクラス全体の平均であり, F_{seat} が最小の個体を探索することとする。Shin-ike and Iima [20] は教員の声の聞こえやすさや板書の見やすさを考慮して適応度を決定したが、本稿は学習者用端末間に中間モニタが設置され、教員がマイクを使える教室で授業を実施する前提のため、2.2 節の議論も踏まえ極力毎回前後左右に異なる席に着席する形で最適化を試みた。

5. 最適化の実践

著者はこの手法を、2.1 節で説明した学生を対象にした「シミュレーション基礎」として開講される MATLAB プログラミングによるコンピュータシミュレーションの授業に適用した。学期開始時の履修登録者は 126 名、開始後に履修中止を申し出た学生を除いた履修者は 85 名であり*1、授業補助者を置かず著者を含む教員 2 名が共同で 1 クラス受け持つ形をとった。ペアプログラミングをベースとした授業は表 1 に示す通り全 5 回実施したが、初回はペア編成・座席配置は学生の任意とし、その後の授業において最適化によるペア編成・座席配置の指定を行った。教室は 12 列のグリッド型で、4 列ごとに通路が存在する。この授業では学習管理システム (Learning Management System : LMS) として Moodle*2 を利用し、完全習得学習型の反転授業 [3] として授業を実施した。受講生は事前に Moodle 上で配信される動画によって予習を行い、予習内容を踏まえて授業時間は実習を行う形をとった。予習の際は動画の内容の理解を小テストを通して把握した。ペア編成の際に用いる学力の値は、初回は C 言語の復習に当たる小テストの成績を、2 回目以降は前回までの予習の小テストの成績を通算して用いた。この際、一度も小テストを受けたことのない学生は出席する保証がないため、ペア編成・座席配置の指定の対象から除外した。また、座席配置

*1 ただし、履修中止者を除いた履修者が確定したのが第 5 回の授業より後であったため、履修中止者もペア編成・座席配置の対象となっている。

*2 <http://moodle.org/>

の際に用いる教え合う経験のある友人関係は、

- 過去ペアを組んだことのある相手は、Moodle 上のペアプログラミングのコメントシート (小テスト機能を利用) にペアの名前を記録する欄を設け、このデータを用いて過去ペアを組んだ相手を友人関係のあるものとして扱った。
- 課題の終わったペアはペア以外の課題が終わっていない学習者へアドバイスを送ることを推奨 (離れた席の学習者に対して離席してアドバイスに行くことも推奨) し、ペア以外の学習者から教わった学習者は Moodle のフィードバックモジュールを用いて、教わった相手の名前を送信した。
- 授業時間外は Moodle のフォーラムで授業内容に関する質問ができるようにし、回答可能な学習者は回答するようにした。

という形で教え合いの記録をとるようにし、このデータを利用して最適化を行った。

5.1 授業の状況

本稿で提案した手法を用いてペア編成と座席配置を最適化したものを図 3 の左、実際に受講生が着席した状況を図 3 の右に示す。なお、図中では受講生のプライバシー保護のため、氏名・学籍番号ではなく SHA1 ハッシュの先頭 8 文字で個々の受講生を表している。前方左の教員用の座席は著者でない授業担当教員用に、後方中央 (第 4 回は後方右) の座席は著者が用いるために学生の割り当てを避けた。著者は教卓でなく教室後方から授業を行った。グリッド型の教室の場合、後方に教員がいる方が学生全員の端末の画面を見渡せるため、学習状況の把握がしやすく [17]、また教室の入口が教室の後方中央のため、遅刻者の対応もしやすいためである。前述の履修中止者の扱いの事情もあり、また第 1 時限に実施した授業のため遅刻者も多く*3、遅刻者についてはその時点で、極力前回までに組んだ相手を避ける形で、ペアが組めていない学生の隣の席に座るか、ペアが組めていて隣が空席になっている席へ着席し 3 名で課題を進める形とした。このため、最適化されたペア編成・座席配置で必ずしも進められるペアばかりではなく、ほかにも適切な方法の模索の余地はあるものの、事前にペア編成・座席配置を指定しておくことで円滑なペアプログラミングをベースとした協調学習が進められた。

また、第 6 回の理解度確認テスト終了後に行ったアンケートの設問および結果を図 4 に示す。

ペア編成の最適化により実力差がなかったり、逆に極端に大きかったりするペアの編成は極力避けるようにしたものの、それでもペア間の実力差に差は生まれうる。その際のペアプログラミングの方略について Q1, Q2 で問う形を

*3 特に第 5 回は電車の遅延があり、授業開始後に教室に入室した学生が 21 名にのぼった。他の回は 10 名以下であった。

表 1 各回の授業内容とペア編成・座席配置の決定法

授業回	内容	ペア編成・座席配置の決定法
第 1 回	オリエンテーション・MATLAB の基本的な使い方	ペア・座席位置は各学生の任意とし、この時のペア編成・座席位置のデータもその後の最適化の際に利用した。
第 2 回	ベクトル・行列処理の基礎、グラフ作成の基礎	ペア編成は前回の課題として課した C 言語の復習の小テスト（第 1 回小テスト）の成績を用いて最適化を行い決定した。座席配置も最適化を行い決定した。
第 3 回	行列の作成・加工	ペア編成は第 1 回小テストと、第 2 回の予習の際に課した小テストの成績を用いて最適化を行い決定した。座席配置も最適化を行い決定した。
第 4 回	行列の演算	ペア編成は第 1 回小テストと、第 2-3 回の予習の際に課した小テストの成績を用いて最適化を行い決定した。座席配置も最適化を行い決定した。
第 5 回	ループ・条件分岐と計算時間	ペア編成は第 1 回小テストと、第 2-4 回の予習の際に課した小テストの成績を用いて最適化を行い決定した。座席配置も最適化を行い決定した。
第 6 回	理解度確認テスト	ペアでの作業は行わず、個人で授業内容の理解を確認する問題に回答した。座席の指定は行わなかった。テスト終了後にペア編成・座席配置に関するアンケートに Moodle 上で回答した。

とった。これらの回答の中で、「ペアで協同で進めず、自分だけで課題をこなした」と答えた受講生は皆無であった反面、「ペアで協同して課題を進めて、お互いに教え合って理解を深められた」と答えた受講生が多数を占めた。アンケートの回答は成績に影響しない点は強調したものの、著者自身がアンケートに関する指示を出している以上バイアスがかかっている可能性は否めない。それでもペアプログラミングによる実習形態により、学習者同士の学び合いが生まれている可能性を示唆するものといえる。また、「ペアで協同して課題を進めようとしたが、互いにわからないところをつまずいてうまくいかなかった」と回答した受講生も相当数いた。課題の早く終わった受講生はペア以外とも教え合うことを推奨したり、また著者を含め教員も実習中の受講生の質問には極力答えるようにしていたが、それでも限度があることを示している。ペアで問題を解決しようとする意欲のある学習者に対する適切な働きかけのアプローチについても、考慮の余地を残す。

Q3, Q4 はペア以外の受講生との相互作用について問うている。普段面識のない相手であっても、一度ペアを組んだ相手であればその後も接点生まれうることを Q3 の回答は示している。また、Q4 についても、ペアを組んでいなくても普段よく話す友人なども協同して課題に取り組んでいる様子が見られる。

Q5~Q8 は座席配置に関する質問項目である。Q5 では「毎回違う場所に指定されている印象があった」が多数で、Q6 では「ペア以外の方は自分の知らない人が多かった」が多数であった。座席配置の最適化の方針としては極力毎回前後左右に異なる席を指定するということもあり、座席位置の偏りはある程度なくすることはできていたと考えられ

る。一方で、各受講生の周りには知らない学生が多かったという回答も得られた。教え合った経験のある受講生同士を極力近くに作る方針であったが、そもそもそのようなつながり自体が全体として少ない可能性や、つながり自体はあるものの Moodle 上で自己申告の形で示すことは受講生にとって敷居の高いものであった可能性が考えられる。Q7 の結果から座席が近い受講生同士の相互作用は、このような環境でも多くみられることが示唆されるため、面識のない受講生同士の相互作用が重要である可能性もある。一方で、教え合う関係ができていない受講生のつながりに関する情報をカメラ・マイク・各種センサなどで検知し、受講生に負荷をかけない形で取得するアプローチも考えられる。授業内でも推奨していたこともあり、遠くの席の受講生同士の教え合いもあったことが Q8 から示唆されるが、教え合う関係の受講生同士が近くに着席できていない場合は最適化の観点からまだ問題が残っているといえる。

以上の考察はアンケートの結果単独で行っているが、アンケートは Moodle 上で記名式で行っているため、個々の受講生の学習履歴や LMS の利用状況との関係を分析することも可能である。このような観点からさらに分析を進め、ペア編成・座席配置の有効性の検討やペアプログラミングをベースとした実習における有効な学習者の実践の解明につなげたいと考えている。

6. 今後の課題

今後の課題としては、最適化手法の洗練や本格的な授業支援につながるシステムの開発が挙げられる。本稿ではペア編成で学習者の学力を 1 つの変数として扱ったが、学力の下位要因や協調のスキルといった複数の要因を考慮した

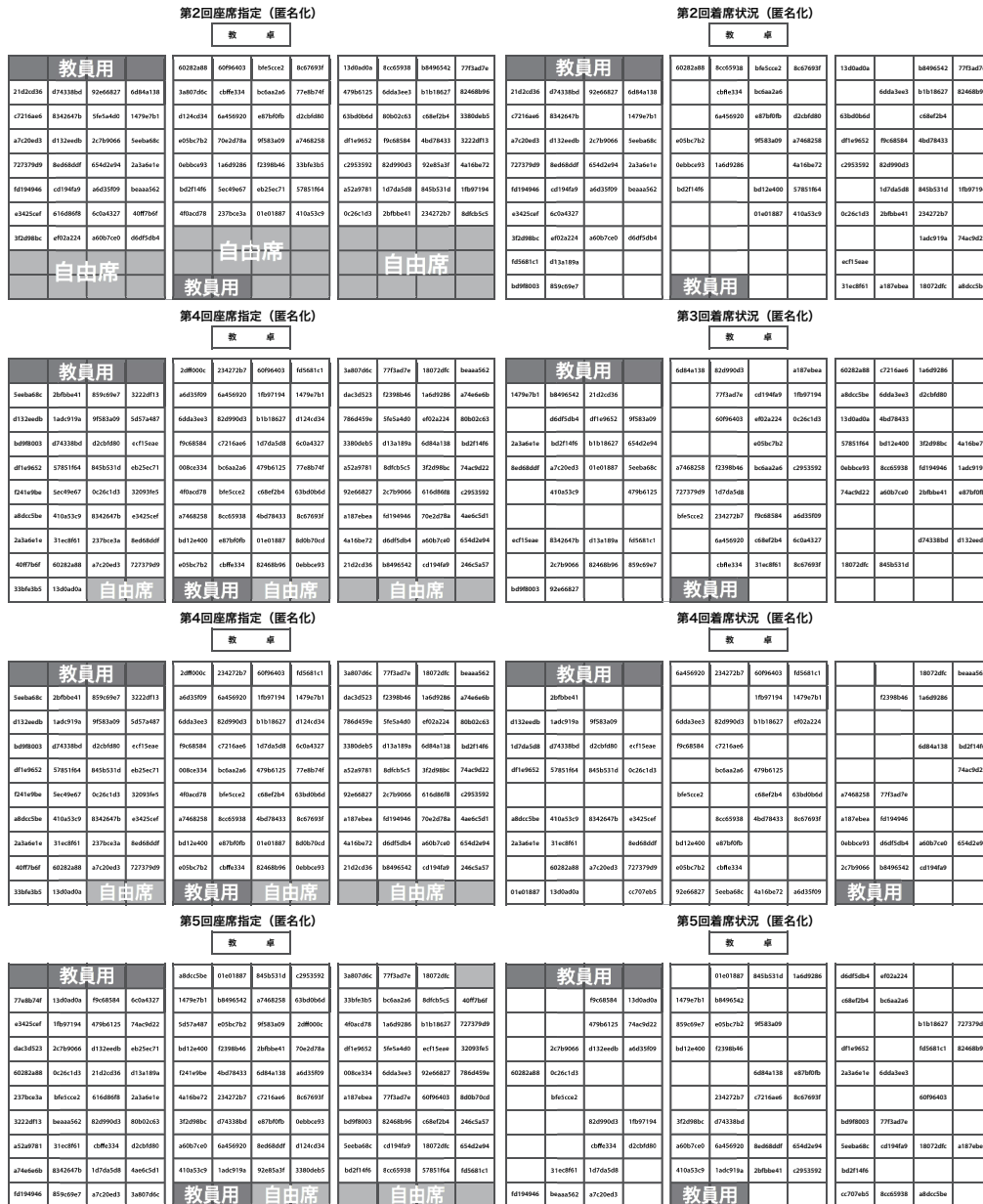


図 3 最適化された座席配置と着席状況

最適化を行う必要もある。加えて、個々の学習者の事情に対応するなどの理由で最適化の過程を見ながら制約を直接加えた方が運用上便利な場合も考えられる。この点を想定し、最適化の結果の視覚化や、対話的 GA [22] のような GA の手法として最適化の過程に直接介入可能な方法を導入するなど、より柔軟な最適化手法の開発も重要である。座席配置の最適化においても、本稿ではグリッド型に座席の置かれた教室を想定したものとしたが、協調学習を想定した教室では座席のレイアウトも多様化しており [17]、異なる座席のレイアウトを想定した最適化についても考慮の余地が大いにある。さらに、Moodle のユーザのグループのインポートなど、LMS の利用を前提とした連携機能の開発や、5.1 節でも触れたように学習空間における学習者の活動を自動的に記録できるシステムの導入により、最適

化の結果の活用を広げることも可能と考えられる。

本稿ではペアプログラミングと反転授業という学習形式に着目した学習環境の洗練を試みているが、学習内容についても今後注目する必要がある。本稿では前述のように完全習得学習型の反転授業 [3] を採用し、知識理解を中心とした学習を進めることを前提として授業設計を行っている。しかし、本研究で対象とする授業の到達目標はあくまでコンピュータシミュレーションに対するものであり、プログラミングを道具として自発的に自然や社会の中の現象に問題を見だし、その問題をモデル化し、シミュレーションの結果を通して問題解決を図る [9], [16] ことにある。たとえば反転授業としても高次能力学習型 [3] にシフトできるよう、より長期かつ高度な内容が扱える授業設計を行う必要があり、そのような授業設計に堪えるよう、ペアプログ

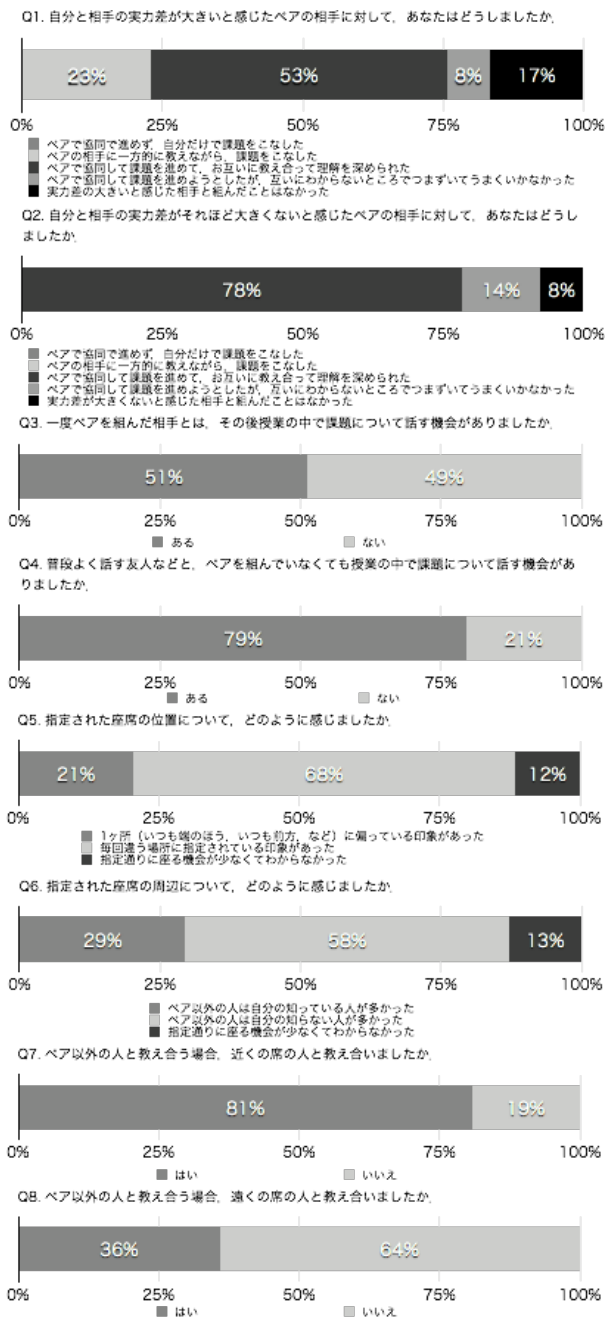


図 4 アンケートの設問および結果 (回答数 78)

ランニングの環境とともに学習内容についても洗練してゆることが重要である。

本稿では、ペア編成と座席配置の最適化による複数回のペアプログラミング実習の実践について報告した。このような実践を通して、他者との協調のスキルなどこれからの社会に求められる能力の獲得を基礎としながら、プログラミングのスキルやコンピュータシミュレーションの知識・スキルが身につけられる学習環境の洗練を進めることが課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり授業実践の機会をいただいた成

蹊大学理工学部システムデザイン学科の弓削康平教授、教室の利用方法について助言をいただいた成蹊大学高等教育開発・支援センターの勝野喜以子准教授に感謝の意を示します。本研究の一部は科研費基盤研究 (C) (課題番号 24501147, 代表: 鈴木 聡) の助成による。

参考文献

- [1] Beck, K. and Andres, C.: *Extreme programming explained: Embrace change*, Addison-Wesley, Boston, MA, USA, 2nd edition (2005). 長瀬嘉秀 (監訳), 株式会社テクノロジックアート (訳): XP エクストリーム・プログラミング入門: 変化を受け入れる, 第 2 版, ピアソンエデュケーション, 東京 (2005).
- [2] Becker, F. D., Sommer, R., Bee, J. and Oxley, B.: College Classroom Ecology, *Sociometry*, Vol. 36, No. 4, pp. 514-525 (1973).
- [3] Bergmann, J. and Sams, A.: *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*, International Society for Technology in Education, Alexandria, VA, USA (2012). 山内祐平, 大浦弘樹 (監修), 上原裕美子 (訳): 反転授業: 基本を宿題で学んでから、授業で応用力を身につける, オデッセイコミュニケーションズ, 東京 (2014).
- [4] Cox, J., Cody, J., Fleming, J. and Miller, M.: Seat Assignment Contribution to Student Performance in an Information Technology Classroom, *2012 ASEE Northeast Section Conference*, Lowell, MA, USA (2012).
- [5] Griffin, P. E., McGaw, B. and Care, E.: *Assessment and teaching of 21st century skills*, Springer, Dordrecht, the Netherlands (2012). 三宅なほみ (監訳), 益川弘如, 望月俊男 (編訳): 21 世紀型スキル: 学びと評価の新たなかたち, 北大路書房, 京都 (2014).
- [6] 平井佑樹, 井上智雄: ペアプログラミング学習における状態の推定: つまずきの解決の成功と失敗に見られる会話の違い, *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No. 1, pp. 72-80 (2012).
- [7] 池田玲子, 館岡洋子: *ピア・ラーニング入門: 創造的な学びのデザインののために*, ひつじ書房, 東京 (2007).
- [8] 犬塚美輪: 文章の理解と産出, *現代の認知心理学 5 発達と学習* (市川伸一, 編), 北大路書房, 京都, chapter 8, pp. 201-226 (2013).
- [9] 伊藤俊秀, 草薙信昭: *コンピュータシミュレーション*, オーム社, 東京 (2006).
- [10] 北野宏明 (編): *遺伝的アルゴリズム*, 産業図書, 東京 (1993).
- [11] 北脇知己: 新しい研究室配属方法の提案 (成績順位と配属希望を切替え可能な配属方法), *情報処理学会論文誌*, Vol. 55, No. 1, pp. 85-90 (2014).
- [12] Lui, K. M. and Chan, K. C. C.: Pair programming productivity: Novice-novice vs. expert-expert, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 64, No. 9, pp. 915-925 (2006).
- [13] 松下佳代 (編): *〈新しい能力〉は教育を変えるか: 学力・リテラシー・コンピテンシー*, ミネルヴァ書房, 京都 (2010).
- [14] 溝上慎一: アクティブラーニングからの総合的展開: 学士課程教育 (授業・カリキュラム・質保証・FD)、キャリア教育、学生の学びと成長, *アクティブラーニングでなぜ学生が成長するのか: 経済系・工学系の全国大学調査からみえてきたこと* (河合塾, 編), 東信堂, 東京, pp. 251-273 (2011).
- [15] 中谷素之, 伊藤崇達 (編): *ピア・ラーニング: 学びあいの心理学*, 金子書房, 東京 (2013).

- [16] 西成活裕：とんでもなく役に立つ数学，朝日出版社，東京 (2011).
- [17] Prensky, M.: *Teaching digital natives: partnering for real learning*, Corwin, Thousand Oaks, CA, USA (2010). 情報リテラシー教育プログラムプロジェクト (訳)：デジタルネイティブのための近未来教室：パートナー方式の教授法，共立出版，東京 (2013).
- [18] Sfetsos, P. and Stamelos, I.: Empirical Studies on Quality in Agile Practices: A Systematic Literature Review, *2010 Seventh International Conference on the Quality of Information and Communications Technology*, Porto, Portugal, pp. 44-53 (2010).
- [19] Sfetsos, P., Stamelos, I., Angelis, L. and Deligiannis, I.: An experimental investigation of personality types impact on pair effectiveness in pair programming, *Empirical Software Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 187-226 (2009).
- [20] Shin-ike, K. and Iima, H.: A Method for Determining Classroom Seating Arrangements by Using a Genetic Algorithm, *Proceedings of the 20th International Conference on Computers in Education*, Singapore, Singapore (2012).
- [21] 白石藍子，鈴木宏昭：相互レビューによる論証スキルの獲得，学びあいが生みだす書く力：大学におけるレポートライティング教育の試み (鈴木宏昭，編)，丸善プラネット，東京，第3章，pp. 31-54 (2009).
- [22] 高木英行，畝見達夫，寺野隆雄：対話型進化計算法の研究動向，人工知能学会誌，Vol. 13, No. 5, pp. 692-703 (1998).
- [23] 田中頼人：ペア・プログラミング演習におけるペア編成最適化手法の提案，情報処理学会研究報告 (コンピュータと教育)，Vol. 2014-CE-124, No. 2 (2014).
- [24] 富永敦子：文章表現授業における大学生のピア・レスポンス指向性の変化と要因の分析，日本教育工学会論文誌，Vol. 36, No. 3, pp. 301-311 (2012).
- [25] Topping, K. and Ehly, S.(eds.): *Peer-assisted learning*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, USA (1998).
- [26] 椿本弥生，高橋 薫，北村 智，大辻雄介，鈴木 久，山内祐平：通信教育における意見文の協同推敲を支援するグループ編成方法の開発と評価，日本教育工学会論文誌，Vol. 37, No. 3, pp. 255-267 (2013).
- [27] Williams, L. and Kessler, R.: *Pair programming illuminated*, Addison-Wesley, Boston, MA, USA (2002). 長瀬嘉秀，今野 睦 (監訳)，テクノロジックアート (訳)：ペアプログラミング：エンジニアとしての指南書，ピアソソエデュケーション，東京 (2003).