

複数回のピアラーニング実習におけるペア編成・座席配置の最適化

Optimization of pair formation and seat allocation in repetitive peer learning practices

鈴木 聡^{*1} 上原 涼^{*1} 向山 慎二^{*2} 小方 博之^{*1}
Satoshi V. Suzuki Ryo Uehara Shinji Mukoyama Hiroyuki Ogata

^{*1}成蹊大学 理工学部 システムデザイン学科

Department of Systems Design Engineering, Faculty of Science and Technology, Seikei University

^{*2}成蹊大学 大学院理工学研究科 理工学専攻

Graduate School of Science and Technology, Seikei University

Recent education roles encourage willingness to learn individually and collaborate with others. Collaborative learning is one of the methods to cultivate this ability. The authors focused on peer learning as a method of the collaborative learning which the students work on learning tasks collaborating in pairs, however, knowledge and skills acquisition through the peer learning depends on difference in knowledge and skills from the collaborated students and seat position of the students in a classroom. Taking this difference into account, the authors defined finding the optimal pair formation and seat allocation of students as a combinatorial optimization problems, and developed stochastic optimization algorithms based on genetic algorithm. Additionally, these algorithms consider repetitive peer learning practices by enabling to find different partners and different positions for each practice. The authors discuss performance evaluation and criteria for partner selection of these algorithms, and reconsidering classroom environment for peer learning.

1. はじめに

自ら学ぶ姿勢を獲得し、学んだ知識を用いて他者との協働の中で実社会の中で未知の問題解決に応用できる能力を育成する学習環境づくりが、大学をはじめあらゆる教育の機会で行われている。これらのスキルの必要性は、社会からの要請を考慮した上でスキルの枠組みとして様々な形で提案されている[松下 10, Griffin 12, 溝上 14]。ダイナミックに変わる社会情勢に対応できる、自ら学び行動し問題を解決するスキルの育成が行える学習環境の開発が急務といえる。

著者らはこのようなスキル育成が行える学習形態としてピアラーニングに着目している。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[Topping 98, 中谷 13]や場面[池田 07]は多岐にわたり、文章読解[犬塚 13]、文章作成[富永 12, 白石 09]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。ピアラーニングを含めたグループ学習におけるグループの役割と編成法は多岐にわたる。グループの役割は主にグループに課せられるタスクに依存する面が強いが、本稿でグループ編成の対象にするのは長くとも授業時間内で完結する程度のタスクを対象に組むグループであるインフォーマルグループである[Johnson 09]。同じグループで長期的に活動するグループ学習も重要である[Johnson 09, Barkley 05]が、本稿ではクラスのメンバーと広く相互作用する頻度を高める方針のもと複数回のピアラーニング実習の機会がある場合は毎回ペア編成を変更し、毎回異なる履修者とペアを組む形をとれるようにすることが重要と考える。その一方、座席配置についてはペア以外の履修者との相互作用を通じて学習内容のより深い理解を促すため、普段から学習内容についてよく話す友人同士の座席位置を近づけたり、座席位置と授業を受ける態度や学習の遂行

に深い関係がある可能性がある点から毎回特定の場所に偏らないようにしたりするといった工夫が必要といえる。本稿では、そのようなペア編成・座席配置について、クラス内での履修者の学習遂行（たとえば事前学習や授業内の課題の成績など）や履修者同士の友人関係を考慮しながら、複数回のピアラーニングの機会を想定したペア編成・座席配置について、組合せ最適化アルゴリズムを適用し求める手法を提案する。

2. 関連研究

2.1 ピアラーニングの効用

学習者同士がペアとなって学ぶ形式は、協調学習の一形態として多くの場面で見られる。同じ立場の学習者がペアで学ぶことのメリットを裏づける知見は、心理学・認知科学・学習科学などの中で複数示されている。ペアが課題遂行役とモニタ役とに役割分担を行い、その役割分担を頻繁に行うことは思考を深めることを促す可能性がある[Miyake 86]。また、ペアの相手に説明を求め合い、説明を生成することが協同問題解決の中で有用であることも指摘されている[Okada 97]。さらに、協同問題解決の中でペアの片方が思考を外化する際、気づかない問題点を指摘するなどのフィードバックをパートナーが行う可能性が生まれる[Shirouzu 02]。実際、ピアラーニングの機能や場面は多岐にわたり[Topping 98]、実際に文章作成[Cho 07, Suzuki 13]などの活動で、ペア間の相互作用が問題解決や学習効果の向上に寄与する可能性が示されている。本稿では協調学習の一形式としてのピアラーニングに着目した上で、最適なペア編成と座席配置による学習者の学習効果の向上を目指す。

2.2 座席配置と授業履修者への影響

履修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ことは古くから指摘されている。[Becker 73]は、教室の観察、実験、および質問紙調査を通して、履修者が座る座席位置と、履修者の学習の遂行、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

連絡先: 鈴木 聡, 成蹊大学 理工学部 システムデザイン学科, 180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, ssv@svslab.jp

し、講義形式を前提とした授業を対象としており、履修者間の相互作用が伴う授業形式では傾向が変わる可能性もある。また、[Cox 12] は、アメリカの大学のプログラミング実習において、履修者の成績を考慮し、3列ごとに通路のあるスクール形式（グリッド状に配置された座席）の PC 教室で、高成績の履修者を通路側でない席に、成績の高くない履修者を通路側に配した場合、後者は前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 12] は、履修者の座席位置の選好や履修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ピアラーニングにおける座席配置の最適化手法を提案する。

2.3 グループ編成の自動化

手作業でグループ編成の工夫を行う手法についても多数提案されている [Johnson 09] が、学習の場においても、グループ編成の自動化の事例は多数みられる。履修者の様々な属性に関するデータをもとに、確率的最適化やクラスタリング、マルチエージェントシミュレーションといった手法を用いて最適なグループ編成を試みた研究がすでに多数存在する [Cruz 14, 椿本 13]。また、本稿で扱う協調学習におけるペアやグループの編成についてもすでに工夫の試みがある。[Sfetsos 09] は、大学生を対象にペアプログラミングにおけるペア編成を学習者の性格や気質に基づき行い、性格や気質の異なるペアの方が、似たペアよりコミュニケーションや主観的なプログラミングの満足度、そしてプログラミングの遂行においてよりよい結果を示した。加えて、[田中 14] は大学生を対象にした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。

本稿では前述の条件に合うペア編成・座席配置を求める枠組みとして遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm : GA) [Goldberg 89] による確率的組合せ最適化手法を採用し、これにより近似解を求める方法の開発を試みた。

3. 最適化手法

3.1 ペア編成の最適化手法

本稿では [田中 14] 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。履修者の学力を 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が均等化するペア編成について、近似解を求める最適化手法を提案する。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 名の履修者の集合を学力順にソートした上で、 $(1/2)^{m+1}$ の確率で履修者を 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、ランダムに履修者を選択し、その履修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

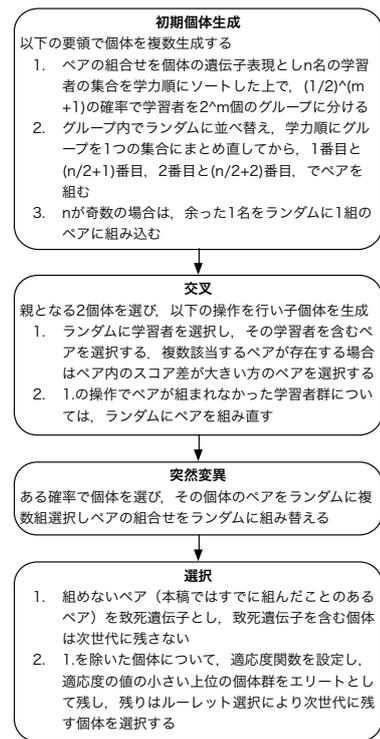


図 1 本稿で提案する GA によるペア編成最適化手法

ペアが組まれない履修者が発生することもあるが、その場合はその履修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り、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 14] 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、複数回の学習機会において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 14] 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

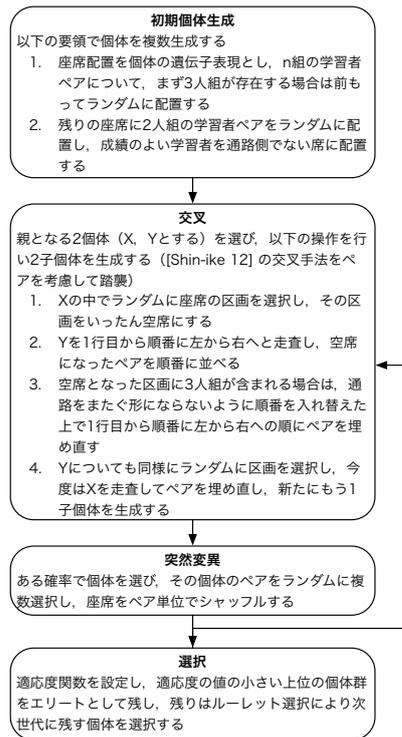


図2 本稿で提案する GA による座席配置最適化手法

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。

本稿ではペア編成を前提として最適化手法を開発したが、3名以上のグループ編成にも本手法を拡張できる。また、クラスサイズ・グループサイズ・繰り返回数次第では致死遺伝子を定義せず、同じ履修者と再びペアないしグループに属している人数や頻度を適応度関数に組み込む方法に修正する必要がある。

4. 座席配置の最適化手法

本稿で提案する座席配置最適化手法 (図2) は、4列おきに通路のあるスクール形式の教室において、特定の学生が教室のある位置に偏らず、かつ普段話す友人同士が極力近くに着席するような座席配置の近似解を求めている。遺伝子表現は座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された上で、空席に各ペアが隣接する形でランダムに配置される。

交叉の手法は [Shin-ike 12] の手法を応用し、個々の履修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、個々の履修者は、極力毎回前後左右に異なる席に、かつ、教え合う経験のある友人同士は極力近くに着席する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} はそれぞれ個々の履修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} はそれぞれ個々の履修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} は個々の履修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。[Shin-ike 12] 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、本稿では履修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とし、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条件下で近似解を求めるようにした。

5. 今後の課題

まず、本稿で提案する手法の性能評価が課題といえる。実際に最適なグループ編成の近似解を求める手法については、確率的最適化手法に限定しても GA 以外に焼きなまし法 (simulated annealing) や粒子群最適化法 (particle swarm optimization) などを応用した研究がすでに存在する [Cruz 14]。これらのアルゴリズムとの比較も含めた性能評価が今後の課題といえる。そして、性能評価の妥当性の確保と最適化手法の広範囲な利用を見据え、[Cruz 14] も提案するようにグループ編成の最適化プログラムのソースコード公開や利用のためのインタフェース開発 [上原 15] も必要と考える。

また、本稿ではピアラーニングにおけるペア編成について、履修者の学習遂行のデータを使用して近似解を求める手法の開発を試みたが、学習遂行以外にもピアラーニングに影響を及ぼす履修者の要因は多数存在しうる。実際、性格特性と気質 [Sfetsos 09] に着目した例や、学習遂行に下位要因を設定し多変数で捉えてペア編成に利用した例 [椿本 13] も存在する。適切なペア編成の近似解を求めるための入力データの適切さについては検討の余地を残している。本稿で説明した組合せ最適化アルゴリズムをすでに実際の授業実践に用いた [鈴木 15] が、入力データの信頼性・妥当性の検討は当然として、入力データの違いによる履修者への影響の差の検討はまだ行われていない。ただし、実際の教育実践における利用による実証的な比較検討は実施のための環境整備などの負担が大きいなどの制約があると考えられ、効果量に基づき複数の研究事例間で定量的に影響を検討するメタ分析や同一の学習環境の改良を結果を踏まえながら繰り返すデザイン研究の手法などを参考に実現可能な検討方法の模索を行うことが重要といえる。

さらに、座席配置について本稿ではスクール形式を想定したものとしたが、協調学習を効果的に行えるように設計された教室では座席のレイアウトも多様化している [Prensky 10]。座席のレイアウトの工夫の方がこのような最適化手法の応用と比べより効果的な協調学習が行えることも考えられるが、座席が固定され、かつ履修者同士の相互作用をあまり想定していない従来の教室を活用するアプローチとして、このような最適化手法の応用は有用である可能性がある。この可能性についても検討の余地がある。

本稿では、複数回のピアラーニング実習における最適なペア編成・座席配置の近似解を求める組合せ最適化アルゴリズムの開発の試みについて述べた。最適化手法の技術的な面からは用いる入力データの検討、性能評価、学習の現場からは教室環境との関係の検討といった課題を残しているが、より効果的なピアラーニング実習が行える環境づくりの一環として、ペア編成・座席配置の検討は十分意義のある研究課題と考える。

謝辞 本研究の推進にあたり科研費基盤研究(C)(24501147)の助成を受けた。

参考文献

- [Barkley 05] Barkley, E. F., Cross, K. P., and Major, C. H.: *Collaborative learning techniques: A handbook for college faculty*, Jossey-Bass, San Francisco, CA, USA (2005), 安永 悟 (監訳), 協同学習の技法: 大学教育の手引き, ナカニシヤ出版, 京都 (2009)
- [Becker 73] Becker, F. D., Sommer, R., Bee, J., and Oxley, B.: College Classroom Ecology, *Sociometry*, Vol. 36, No. 4, pp. 514–525 (1973)
- [Cho 07] Cho, K. and Schunn, C. D.: Scaffolded writing and rewriting in the discipline: A web-based reciprocal peer review system, *Computers and Education*, Vol. 48, No. 3, pp. 409–426 (2007)
- [Cox 12] Cox, J., Cody, J., Fleming, J., and Miller, M.: Seat Assignment Contribution to Student Performance in an Information Technology Classroom, in *2012 ASEE Northeast Section Conference*, Lowell, MA, USA (2012)
- [Cruz 14] Cruz, W. M. and Isotani, S.: Group Formation Algorithms in Collaborative Learning Contexts: A Systematic Mapping of the Literature, in *Proceedings of the 20th International Conference on Collaboration and Technology (CRIWG 2014)*, Lecture Notes in Computer Science 8658, pp. 199–214, Springer International Publishing, Santiago, Chile (2014)
- [Goldberg 89] Goldberg, D. E.: *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA (1989)
- [Griffin 12] 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)
- [池田 07] 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ために, ひつじ書房, 東京 (2007)
- [犬塚 13] 犬塚 美輪: 文章の理解と産出, 市川 伸一 (編), 現代の認知心理学 5 発達と学習, 第 8 章, pp. 201–226, 北大路書房, 京都 (2013)
- [Johnson 09] Johnson, D. W., Johnson, R. T., and Holubec, E. J.: *Circles of learning: Cooperation in the classroom*, Interaction Book Co., Edina, MN, USA, 6th edition (2009), 石田 裕久, 梅原 巳代子 (訳), 学習の輪: 学び合いの協同教育入門, 改訂新版, 二瓶社, 東京 (2010)
- [松下 10] 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)
- [Miyake 86] Miyake, N.: Constructive interaction and the iterative process of understanding, *Cognitive Science*, Vol. 10, No. 2, pp. 151–177 (1986)
- [溝上 14] 溝上 慎一: アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換, 東信堂, 東京 (2014)
- [中谷 13] 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)
- [Okada 97] Okada, T. and Simon, H. A.: Collaborative discovery in a scientific domain, *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 109–146 (1997)
- [Prensky 10] 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)
- [Sfetsos 09] 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)
- [Shin-ike 12] Shin-ike, K. and Iima, H.: A Method for Determining Classroom Seating Arrangements by Using a Genetic Algorithm, in *Proceedings of the 20th International Conference on Computers in Education*, Singapore, Singapore (2012)
- [白石 09] 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, 鈴木 宏昭 (編), 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, 第 3 章, pp. 31–54, 丸善プラネット, 東京 (2009)
- [Shirouzu 02] Shirouzu, H., Miyake, N., and Masukawa, H.: Cognitively-active externalization for situated reflection, *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 469–501 (2002)
- [Suzuki 13] Suzuki, S. V. and Suzuki, H.: Improving Academic Essays by Writing and Reading Peer Annotations on Source Documents, in *Proceedings of the 10th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning (CSCL 2013)*, Vol. 2, pp. 363–364, Madison, WI, USA (2013)
- [鈴木 15] 鈴木 聡, 向山 慎二, 上原 涼, 小方 博之: ペアプログラミングと反転授業によるプログラミング実習における学習者の動向, 日本教育工学会研究報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 85–92 (2015)
- [田中 14] 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), 2014-CE-124 (2014)
- [富永 12] 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)
- [Topping 98] Topping, K. and Ehly, S. eds.: *Peer-assisted learning*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, USA (1998)
- [椿本 13] 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)
- [上原 15] 上原 涼, 向山 慎二, 鈴木 聡, 小方 博之: 遺伝的アルゴリズムによるペアプログラミング実習のペア編成・座席配置の最適化とその視覚化, 情報処理学会インタラクション 2015 論文集, pp. 473–476 (2015)