

履修者の成績・出席率を考慮したグループワーク授業の グループ編成最適化：遺伝的アルゴリズム・ 粒子群最適化ハイブリッドの応用

鈴木 聡^{1,a)}

概要：大学生が社会の中で生きる能力のひとつとしてチームで働く力が挙げられることが多く、その養成の一環として多様な他者とのグループワークが位置づけられることも多い。その一方で、様々な理由から毎回の授業の出席が困難な学生も存在しており、このような学生が参加できる状況をつくりつつ、グループ間のメンバ数のばらつきを抑えて円滑に協調学習が進められる場づくりを行うことが重要である。本研究では、グループ編成に遺伝的アルゴリズム・粒子群最適化ハイブリッドによる組合せ最適化手法の導入を試みた。その際、履修者の成績、ならびに出席率を考慮し、多様な知識・スキルの履修者同士でグループを形成しながら、各履修者の出席率に基づき、極力グループ間のメンバ数にばらつきが出ないようにするグループ編成を試みた。また、成績・出席率両者を同時に最適化することが困難である可能性や、複数の候補から教員側が様々な要因に基づきグループ編成を選択する余地を残せる利点を考え、パレート最適である複数の最適解を呈示できるようにした。今後の課題として、この最適化アルゴリズムの性能評価、さらにメンバを変えながら複数回のグループワークを行う場合に極力異なるメンバ同士でグループを組める手法の開発、大学授業における実応用の試みとその問題点、そして大学授業以外への応用の可能性について検討しながら、本研究の発展の可能性を検討する。

Optimization of group formation in groupwork class considering achievement and attendance rate of students: Application of genetic algorithm–particle swarm optimization hybrid

SATOSHI V. SUZUKI^{1,a)}

1. はじめに

社会の中で求められるコミュニケーションのスキルは、身近で同質な他者との親密な会話ばかりでなく、自身と来歴や背景知識が大きく異なるような他者とも対話を成り立たせ、チームで活動して成果を挙げる能力といえる [1], [2], [3]. このようなスキルの基礎を獲得する意味でも、授業における学習者同士の相互作用を通じた学習活動は重要である。

その一方で、大学においては欠席が多く、授業参加もままならない学生もいる。ベネッセ教育総合研究所高等教育

研究室 [4] によると、大学生の授業全体の出席率について、10 割と回答した大学生は全体の 41.1%、7 割から 9 割程度と回答した大学生は 49.0%、6 割以下と回答した大学生は残りの 10.0% を占めている。また、学年や学生の専攻分野による違いもあり、1 年次の学生の方が就職活動で多忙な 4 年次の学生より出席率が高く、理工系や職業資格と直結した教育系や保健系の学生は出席率が高い一方、社会科学系の学生は出席率が全体的に下がる傾向がある点も指摘されている [4]. 授業への参加が大学の学習評価で重きを置かれるようになり、全体としては以前と比べ出席率は高まっている一方で、このような状況に至る背景としては、いわゆる「3 つのポリシー」により大学入学者・大学教育

¹ 大阪経済法科大学 教養部
6-10 Gakuonji Yao Osaka 581-8511 Japan

^{a)} ssv@svslab.jp

課程・卒業認定と学位授与の方針を各大学が明文化し、その質を保証することを求められていたり [5]、授業への参加が大学の学習評価で重きを置かれるようになっていたりしている一方、大学によっては経済状況的に収入をアルバイトに依存せざるをえず万全な体制での授業参加が難しい学生や、大学進学率上昇に伴いコミュニケーションのスキルや基礎学力に多大な問題を抱える学生の増加がある [6]。このような問題の解決を大学授業の現場における工夫のみに求めることは困難であり、多面的かつ体系的な解決策を模索することが重要だが、出席率の低い大学生でもスムーズにチームで学ぶ環境へ参加できる授業の態勢づくりはこの問題の解決に貢献できる面もあると考えられる。

そのような態勢づくりの一環として、著者は履修者の出席率を考慮したグループワーク用のグループ編成の最適化手法を開発している。前述のような出席率の低い大学生が抱える問題点とともに、授業進行上の問題として出席率を考慮しないグループ編成を行った際にグループの出席者数に大きな偏りが出てしまい、授業中にグループの組み替えを行いメンバ数をならす必要が出てくることが多い。そこで、グループ間でメンバ数の偏りが極力出ないようなグループ編成ができるようにし、協調学習を円滑に進められるようにしながら、出席率の低い学生が授業に参加しても円滑に合流できるよう工夫している。本稿では、まず関連研究を整理した上で本研究の目的を明確化した上で、本研究で導入する遺伝的アルゴリズム・粒子群最適化ハイブリッドによる組合せ最適化手法について説明する。最後に、この結果も踏まえつつ、組合せ最適化によるグループワーク用グループの最適化について今後考慮すべき論点について述べる。

2. 関連研究

2.1 グループワークが学習者に与える影響

1 節でも言及した通り、多様な背景を持つ他者ともチームを組んで働き成果を出す能力は、大学生が社会に出る際に必要な能力である。そして、その土台となる他者との対話スキルを獲得するという位置づけを本研究の成果を生かした著者の教育実践では行っている。しかし、そのようなスキル獲得のための授業設計には様々な工夫が必要である。工夫のない協調学習は、他者の意見への同調やフリーライダーが多くみられ、本来のねらいである考えを深め、より高いレベルでの問題解決につなげる方向に向かないことが多い [7]。このようなねらいを達成するための工夫としては、学習者の思考の外化、および外化に基づき課題を遂行する役や議論を進めたり記録したりする役などの役割分担により議論を深めることを促すといったものが挙げられる [8], [9], [10], [11] また、背景の異なる学習者同士の対話の場を生み出すことにより、このような役割分担が生まれる契機になる可能性がある。本研究ではこの可能性を考

え、成績に基づく学習遂行の差がグループ内に存在するよう、グループ編成を行う。

2.2 グループ編成の最適化の試み

ある定量的な基準に基づき、協調学習向けのグループ編成の最適化を試みた研究は多数存在する。Cruz and Isotani [12] はランダムなグループ編成が強直学習活動に与えるネガティブな影響を指摘した上でこのような研究のレビューを行い、焼きなまし法や蟻コロニー法をはじめ、本研究でも採用している遺伝的アルゴリズムや粒子群最適化といった確率的最適化アルゴリズムを採用した研究が多数を占めている点を指摘した。また、それらの研究の中で、その性能の評価やソースコードの公開がなされていない問題点も指摘している。加えて、複数の基準に基づき、クラスタリング (K-means 法) によりそれぞれの基準で高い学習遂行を示した学習者同士がグループを形成するようにすることで、スムーズな役割分担が行えることをねらった研究もすでに存在する [13]。本研究では、学習遂行に関する基準としては 1 変数の成績のみを採用した上で、ここで出席率を考慮し、グループ間の人数のばらつきを抑える形にした最適化手法の開発・評価を試みる。

2.3 確率的最適化アルゴリズム

本研究では遺伝的アルゴリズム・粒子群最適化ハイブリッドによるグループ編成の最適化を試みる。遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) は生物の進化を模倣したアルゴリズムで、解探索や機械学習など広く応用されている [14]。粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization: PSO) は鳥が群れをなして飛ぶ場面などの生物の集団行動を模倣したアルゴリズムで、こちらも解探索などで広く応用されている [15]。また、本研究では複数の基準で最適なグループ編成を求める多目的最適化を行うが、GA はたとえば 2 つの基準による多目的最適化において x, y をそれぞれ正の実数としてより小さい (x, y) を求める場合に $x_1 < x_2$ かつ $y_1 > y_2$ なる (x_1, y_1) および (x_2, y_2) となるような非劣解集合 (パレート集合) に属する解を多数求める上で適している [16]。一方 PSO は、他のよりよい解を利用して解探索を行うという特徴から、局所最適解を早く求めるには向いているが、局所最適でない解をそこから新たに見つけ出すまでに工夫を要するアルゴリズムといえる [15]。すでに両者のハイブリッドによるアルゴリズムの応用も進んでいる (たとえば Juang [17] など) が、本研究ではこれをグループ編成の組合せ最適化問題に応用し、この両者の利点を組み合わせることで、高速かつ多様な最適解の発見を行えるようにする。多様な非劣解集合を求める形にすることで、複数のグループ編成の候補からクラスの状態などに合わせて柔軟に選択できる形にすることができる。

3. GA/PSO ハイブリッド

本研究では

- グループ内の履修者の成績の分散のばらつきを、グループ間で小さくする
- グループ内の出席率の分布が、グループ間で極力等しくなるようにする

という、2つの基準により適合したグループ編成を発見するための組合せ最適化アルゴリズムを、GA/PSO ハイブリッドにより構成・評価することである。このアルゴリズムの構成法について、以下説明する。

3.1 GA の応用：初期個体生成，交叉，突然変異，選択

本研究では、GA の遺伝子としてグループの組合せを採用する。

初期個体生成 まず、履修者のリストを用いて、任意のランダムな任意の人数からなるグループの組合せを任意の回数生成し、これを初期個体とする。

交叉 個体 S_1 , S_2 について、個々の履修者の成績を s , 出席率を a とする。履修者数を n 名とした場合、グループ内の成績の合計でグループを降順にソート、さらにグループ内でも履修者を成績降順にソートし 2 つの $2n$ 次元ベクトル

$$S_1 = [s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1n}, a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}]$$

$$S_2 = [s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2n}, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}]$$

を構成する。この 2 ベクトルのなす角の余弦を S_1 , S_2 の類似度とする。

親個体 S_1 , S_2 について、任意の人数（数名程度）分履修者の属するグループをランダムに入れ替えた個体をその親個体の近傍とする。この近傍を複数生成し、 S_1 と最も類似度の高い S_2 の近傍、および S_2 と最も類似度の高い S_1 の近傍をそれぞれ S_1 , S_2 の子個体とする。

突然変異 あらかじめ設定された突然変異率に基づき、親個体・子個体に対して任意の人数（数名程度）分履修者の属するグループをランダムに入れ替える。

世代交代 解の評価はパレートランキング法 [18] を用い、他の解と比べ非劣解の集合はすべてタイ（同じ順位）として扱う。

この順位に基づき、設定された割合の個体をエリートとして扱い次世代に残す。さらにエリートでない個体からルーレット選択により、次世代に残す個体を選ぶ。

3.2 PSO の応用

上記の GA の過程の中で Juang [17] を踏まえ、世代交代の際のエリート個体群を粒子群とみなし、PSO を適用する。

各個体が位置と速度の情報を持つとする。位置情報は前述の形で構成した $2n$ 次元ベクトル \mathbf{x} とし、各個体が個体の最良位置 \mathbf{pbest} と個体群全体の最良位置 \mathbf{gbest} に近づくよう次式の速度

$$\mathbf{V}_i^{k+1} = w\mathbf{V}_i^k + C_1 \text{rand}(\mathbf{pbest}_i - \mathbf{x}_i^k) + C_2 \text{rand}(\mathbf{gbest}_i - \mathbf{x}_i^k)$$

で速度 \mathbf{V} を修正（ただし C_1, C_2, w を定数、 rand を $[0, 1]$ の一様乱数、 k を世代数とする）し、次の個体の位置候補 \mathbf{x}_{ci}^{k+1} を

$$\mathbf{x}_{ci}^{k+1} = \mathbf{x}_i^k + \mathbf{V}_i^{k+1} \quad (1)$$

とする。ここで \mathbf{x}_i^k の近傍を設定された回数分生成し、 \mathbf{x}_{ci}^{k+1} と最も類似度が高い近傍を \mathbf{x}_i^{k+1} とする。

4. 今後の課題

4.1 性能評価の方針

すでに本手法を用いて、著者が担当する社会科学系を専門とする大学生向けの数学の授業においてグループ編成を行っている。性能評価のベンチマークとして値の整ったデータを用いることもまずは必要だが、実際の授業における成績と出席率のデータを活用し、欠席率に基づいて出席した各グループの履修者数のばらつきなどの影響を検討する必要もある。また、本研究では、グループ編成決定まで少なくとも数十分はかかるという前提で、授業開始前に欠席しそうな履修者を予測した上で、あらかじめグループ編成を決める方式をとっている。たとえば西森他 [19] のように実際の出席情報と連携してその場である程度最適なグループ編成を求められるアルゴリズムの方が都合がよい場面がある可能性もあり、本研究のようなアルゴリズム設計の方針が一般的に適切かどうかについて、まず検討が必要と考える。

4.2 最適化アルゴリズムの改善の方針

鈴木・廣川 [20] では、ペアプログラミングによるコンピュータシミュレーション実習において、授業回ごとにペアを組み替える形で実習を進めていた。PBL のように長期間チームで取り組むようなグループの編成ももちろん考慮が必要であるが、本研究はこの例のようなその回の授業で完結する程度の短時間のワークに向けたアドホックなグループの編成を想定している。このような事例の場合、できるだけ同じクラスの多くの他の履修者とともに活動する機会を設けたいため、以前同じグループだった相手とは再び組むのを避けたり、回数やクラスサイズの都合で再び組むことになってもできるだけ時間を置いたりする必要がある。前者の場合は以前組んだ相手のいるグループの組合せを GA の世代交代の際に次世代に残さないようにし、後者の場合は時間割引を含んだ過去の組合せとの延べ重複人数を基準として組み込むことを考える。

また、本研究では成績と出席率に基づくグループ編成を試みているが、成績を含めた学習者の学習活動の指標は多数存在しうる [21]。成績以外の要因（性格特性など）を考慮した方が適切なケースも考えられる。これは履修者が取り組む課題や履修者全体の成績傾向、授業時間外の履修者同士の関係などといった要因も関係する。多くの基準を利用するとすべての解が互いに非劣解という関係になってしまうため、最適化手法の再検討を行うか、基準を厳選する必要がある。

加えて、GA の場合は対話的な最適化手法への拡張も可能である [22]。つまり、最適化の過程で「この学生とこの学生が同じグループなのはまづい」「この学生とこの学生は同じグループである必要がある」といった介入を手動でユーザが行えるようなシステムの構成も可能ということである。このようなしくみを導入する以前の問題として、Web ベースなどで容易に利用可能なシステムの構築も、広く利用されることを考えれば必要といえる。また、広く利用されるという観点から考えれば、大学の授業以外での応用可能性も考えた上で、アルゴリズムとシステムの開発を進めることも重要である。

5. まとめ

本稿では、大学教育の現状を考慮し、多様な大学生がグループワークにスムーズに参加するための環境づくりの一環として、履修者の成績および出席率を考慮したグループ編成の最適化手法を、遺伝的アルゴリズムと粒子群最適化のハイブリッドによる組合せ最適化により行うことを提案し、現状の問題点と今後の課題について論じてきた。今後、実際の授業データの利用を含めた性能評価や、実際のグループ編成場面を考慮した上でのアルゴリズムやシステムの開発・改善を進めつつ、大学教育以外への応用も見据えながら、学習者同士の相互作用を通じて学びを深められる学習環境づくりのさらなる推進を目指す。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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).
- [3] 平田オリザ: わかりあえないことから: コミュニケーション能力とは何か, 講談社, 東京 (2012).
- [4] ベネッセ教育総合研究所高等教育研究室: 第 2 回 大学生の学習・生活実態調査報告書. <http://berd.benesse.jp/koutou/research/detail1.php?id=3159> (最終アクセス日: 2017 年 12 月 24 日) .
- [5] 中央教育審議会大学分科会大学教育部会: 「卒業認定・学位授与の方針」(ディプロマ・ポリシー), 「教育課程編成・実施の方針」(カリキュラム・ポリシー) 及び「入学者受入れの方針」(アドミッション・ポリシー) の策定

及び運用に関するガイドライン. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/038/siryo/_icsFiles/afieldfile/2016/04/25/1369683_04.pdf (最終アクセス日: 2017 年 12 月 24 日) .

- [6] 濱中淳子ほか: 大衆化する大学: 学生の多様性をどうみるか, 岩波書店, 東京 (2013).
- [7] 楠 房子, 佐伯 胖: 意見が違うから, 学び合える: 非合意形成的協同学習支援システムの開発をめざして, 情報処理, Vol. 40, No. 6, pp. 564-568 (1999).
- [8] Miyake, N.: Constructive interaction and the iterative process of understanding, *Cognitive Science*, Vol. 10, No. 2, pp. 151-177 (1986).
- [9] Okada, T. and Simon, H. A.: Collaborative discovery in a scientific domain, *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 109-146 (1997).
- [10] Nishimori, T., Nakahara, J., Sugimoto, Y., Urashima, N. and Nagaoka, K.: rTable: A collaborative problem-solving environment for synchronous discussion, *International Conference on Computers in Education / International Conference on Computer Assisted Instruction 2000 (ICCE/ICCAI 2000)*, Vol. 1, Taiwan, pp. 254-258 (2000).
- [11] Shirouzu, H., Miyake, N. and Masukawa, H.: Cognitively-active externalization for situated reflection, *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 469-501 (2002).
- [12] Cruz, W. M. and Isotani, S.: Group Formation Algorithms in Collaborative Learning Contexts: A Systematic Mapping of the Literature, *Proceedings of the 20th International Conference on Collaboration and Technology (CRIWG 2014)*, Lecture Notes in Computer Science 8658, Springer International Publishing, Santiago, Chile, pp. 199-214 (online), DOI: 10.1007/978-3-319-10166-8_18 (2014).
- [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).
- [14] Goldberg, D. E.: *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA (1989).
- [15] 齋藤利通: 粒子群最適化と非線形システム, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ Fundamental Review, Vol. 5, No. 2 (2011).
- [16] 廣安知之, 三木光範, 渡邊真也: 領域分割型多目的遺伝的アルゴリズム, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol. 41, No. SIG 7 (TOM 3) (2000).
- [17] Juang, C.-F.: A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for recurrent network design, Vol. 34, No. 2, pp. 997-1006 (2004).
- [18] Fonseca, C. M. and Fleming, P. J.: Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms. I. A unified formulation, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, Vol. 28, No. 1, pp. 26-37 (1998).
- [19] 西森年寿, 加藤 浩, 八重樫文, 望月俊男, 安藤拓生, 奥林泰一郎: 大学授業でのグループワークを支援するグループウェアの評価とグループ編成時間に関する事例研究, 日本教育工学会第 33 回全国大会論文集, pp. 375-376 (2017).
- [20] 鈴木 聡, 廣川佐千男: ペアプログラミングと反転授業を導入したコンピュータシミュレーション実習における履修者の学習活動の分析, 日本教育工学会論文誌, Vol. 41, No. 3 (印刷中).
- [21] 森本康彦: e ポートフォリオとしての教育ビッグデー

タとラーニングアナリティクス, コンピュータ&エデュケーション, Vol. 38, pp. 18-27 (オンライン), DOI: 10.14949/konpyutariyoukyouiku.38.18 (2015).

- [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).