

協働学習におけるただ乗り問題の発生メカニズムのモデル化

○山口諒 高橋真吾 (早稲田大学)

Modeling Mechanism of Free-riding Problem in Collaborative Learning

* R. Yamaguchi and S. Takahashi (University of WASEDA)

概要— 現代の教育学の分野において要請されているものの変化からアクティブラーニングが注目されているが、アクティブラーニングが上手くいかないことがあり、その原因の一つとしてフリーライダーの発生が挙げられている。本研究ではフリーライダーの出現を発端にして発生する諸問題について、組織学習の観点からシミュレーション分析を行うことによって、フリーライダーの発生メカニズムを再現し、授業設計に対する示唆を与えることを目的とする。

キーワード: フリーライダー、協働学習、進化ゲーム、ABS

1. 研究背景と目的

1.1 研究背景

現代の教育というのは従来の教育から大きく変化している。文部科学省が示している学習指導要領において、「生きる力」という理念が提示されている。「生きる力」とは確かな学力・豊かな人間性・健康や体力のバランスのとれた力のことである。これからの時代は「知識基盤社会」であり、「生きる力」はますます重要になると考えられている。そのために学習指導要領では、①基礎的な知識・技能②知識・技能を活用し、自ら考え、判断し、表現する力(思考力・判断力・表現力など)③学習に取り組む意欲の主に三つの要素に注力した教育を行っていくとしている。教育理念の変化に伴い授業設計も変化しており、「いかに知識・技能を教えるか」という教師主体の授業から、「学生がいかに主体的に学ぶか」という学生主体の学びへと変化している。思考力・判断力・表現力や学習に取り組む意欲を育むために「課題の発見・解決に向けた主体的・対話的な深い学び」であるアクティブラーニングが注目されている¹⁾。

アクティブラーニングは様々な実証研究から効果的な授業形態であるということが言われているが、必ずしもうまくいくとは限らない。アクティブラーニングが抱える問題点として、大きく三つのことが言われている。①アクティブラーニング型授業が普及するほど、学習や学生生活に対する学生の受け身の姿勢が強まっている②学生の個性による学習スタイルの多様性への対応が出来ていない③「学生の学びの質の格差」という課題は解決されていない一方で、「グループワークでのフリーライダーの出現や非活性化、思考と活動に乖離があるアクティブラーニング」などの新たな問題が生まれている²⁾。この中でもフリーライダーの出現の問題はフリーライダー自体にアクティブラーニングとして期待されている主体的・対話的な学びが出来ないだけでなく、グループワークの効率を下げ学習者全体に悪影響を及ぼすため、フリーライダー問題を解決することはアクティブラーニングの普及のためにも、教育的に重要な課題であるといえる。

1.2 研究目的

従来の学習研究は個人の心理的な認知過程が分析の対象であったのに対し、本研究では学習者のみならずその環境における人や道具、すなわち状況を含めた学習の分析を行う。このような考え方を状況的学習観と呼ぶ。アクティブラーニングは対話的な学びであるため、状況を含めた学習の分析が適している。状況的学習では状況の中での他者との相互作用によって学習が進むと考えられているため、状況によって相互作用にどのような影響があるか分析する意義がある。

本研究ではアクティブラーニングの中でも特にグループワーク型授業におけるただ乗り問題について、組織学習の観点からシミュレーション分析を行うことによって、フリーライダーの発生メカニズムを再現し、より効果的な授業設計に対する示唆を得ることを目的とする。

本研究ではアクティブラーニングの中でも特にグループワーク型授業におけるただ乗り問題について、組織学習の観点からシミュレーション分析を行うことによって、フリーライダーの発生メカニズムを再現し、より効果的な授業設計に対する示唆を得ることを目的とする。

2. 関連研究と用いるアプローチ

2.1 学習におけるフリーライダー問題の研究

2.1.1. 活動システムモデルを用いた分析

活動システムモデルは学習を筆頭とする様々な社会的な活動を分析のためのフレームワークである。松下²⁾は活動システムモデルを用いてグループ活動が学習を抑制する場合の三つの状況を説明しており、その中の一つに「共同体内での分業が許容される程度を超えて不均等になることによって、フリーライダーが出現する。」があり、フリーライダーの発生によって学習が抑制されるとしている。

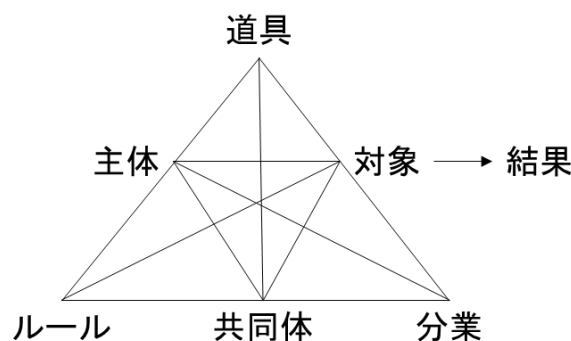


Fig. 1: 活動システム

2.1.2. フリーライダーの分類に関する知見

森³⁾は、様々な講義を観察した結果の知見として、

フリーライダーは<意図したフリーライダー>と<無意識なフリーライダー>の二種類のパターンに分けることができるとした。<意図したフリーライダー>とは、活動と思考、双方ともにグループ活動に参加していないフリーライダーを指す。活動としてグループ活動に参加していないため、教員やファシリテーターからも判別しやすく、声掛けや作業の確認などの教員側からの介入によって多少の改善がみられる。<無意識なフリーライダー>は、リーダーシップを発揮する数名の学習者によってグループ学習が進められた場合に、あまり課題について思考せずにリーダーシップを発揮する学習者の決めた段取りに従って作業を行うような学習者のことである。無意識なフリーライダーの問題点は、アクティブラーニングの特徴である主体的な学びが実現されなくなってしまう点にあり、思考が活性化している学習者とは学習の格差が生まれてしまう。

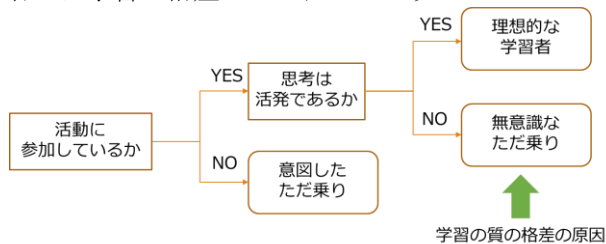


Fig. 2: 学習者の分類

2.2 進化ゲーム理論

本研究ではグループワークとそこでフリーライダーが発生する様を進化ゲーム理論によってモデル化する。進化ゲーム理論はゲーム理論における利得を個体の期待値と捉えることによって、集団の戦略頻度の時間変化を記述する。ただ乗り問題は社会的ジレンマ問題として研究される事例が多く、公共財や組織の分野において特になされてきた⁴⁾。このことから本研究においてはグループワークにおけるフリーライダー問題を社会的ジレンマ問題、グループ人数 n 人の繰り返し囚人のジレンマゲームとして扱う。

2.2.1. レプリケータダイナミクス

レプリケータダイナミクスとは進化ゲームの理論を数学的に記述する方程式である。式(1)のように社会の中の各戦略の頻度を微分方程式によって記述する。本研究で進化ゲームを実装するために用いる。

$$\frac{dx_k}{dt} = \alpha x_k [u(k, x) - u(x, x)] \quad (1)$$

戦略の比率: $x = (x_1, \dots, x_k)$

戦略 k をとっているものが残すことのできる子孫の数

(k の利得=適応度) : $u(k, x)$

平均の利得: $u(x, x)$

繁殖の速さを表すパラメータ: α

2.2.2. 公共財ゲーム

公共財ゲームは Ledyard が提唱し実験経済学で用

いられてきたものである。概要は次のとおりである。構成員の数 n 人の集団の個人が、ある量 b の資源を協調戦略として提供するか、裏切り戦略として提供しないかの意思決定を行い、集団に資源を提供する。次に、提供された資源が集団内で合計され、それにある倍率 λ を乗じたものが集団の構成員に均等に分配される。このときの各行動の利得関数は以下の式(2)(3)のようになる。 n_c は資源を提供した人数である。

$$\text{協調戦略の利得: } C(n_c) = \frac{\lambda b n_c}{n} \quad (2)$$

$$\text{裏切り戦略の利得: } D(n_c) = \frac{\lambda b n_c}{n} + b \quad (3)$$

本研究ではグループ学習の様をモデル化するために用いる。

3. モデル

本章では提案するモデルの概要について述べる

3.1 提案モデル

8 人の学習者による集団を仮定し、アクティブラーニングの授業形態としてよく採用されるグループワークの状況を、知識の共有による公共財ゲームという形でモデル化する。

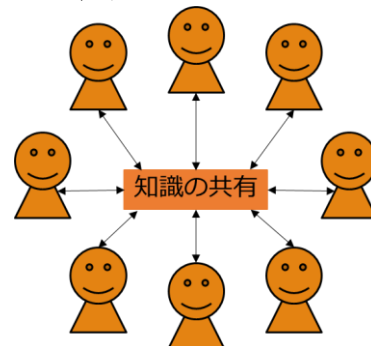


Fig. 2: モデル概要

3.2 学習者エージェント

エージェントは知識、労力、性質、戦略で構成される。

「知識」 $knowledge_i$: 学習者エージェント i が持っている知識を量的に表したもの

「労力」 $energy_i$: 学習者エージェント i が持つ授業にかけることができる労力を表す。毎ステップ開始時に知識量を代入する

「性質」 $type_i$: 学習者エージェント i がどのような性質を持っているのかを表す。Positive(積極的: 常に発言を行う), Negative(消極的: 知識が周囲の平均よりも高い場合に発言を行う)の二つをとりうる。

「戦略」 s_i : 学習者エージェント i が戦略としてとることができるのは full(全力: 自分が出せる限度の知識量を提供する), proportional(同調: 直前のステップで知識を提供した人数の割合に応じて知識量を決定する)の二つである。

淘汰や突然変異を行う際は、性質と戦略を組合せに対して適用する。

3.3 シミュレーションフロー

シミュレーションは Fig. 3 のフローに従って行わ

れる。大学の授業に見立てて、②~④を1ステップとし、90分授業をもとにEND=90回繰り返す。このシミュレーションフロー全体をC=100回繰り返す。それをシナリオに応じて繰り返す。

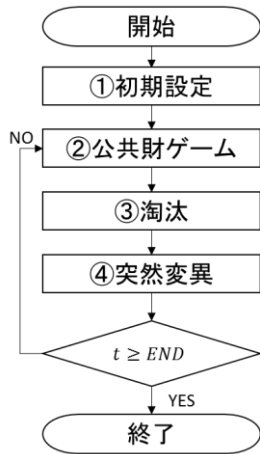


Fig. 3: シミュレーションフロー

- ① 初期設定
各エージェントに初期値を設定する。知識は0~0.2の間で初期生成される。性質と戦略をシナリオに従って設定する。
- ② 公共財ゲーム
公共財ゲームによって、学習者がグループワークに参加して意見を共有している状況を表す。グループワークに参加するエージェントは性質と戦略をもとに自身の知識量からどれだけグループワークに知識を提供するかを決定する。このとき労力から提供した知識量分消費する。グループワークに知識を提供した後、他者から提供された知識を吸収することによって学習を行う。これは知識を提供したか否かを問わず行われる。その後、知識を提供したエージェントは知識を提供したことにより、発言しないで聞いているだけの学習者に比べて深く学習を行う。
- ③ 淘汰
各学習者エージェントの評価値を知識の更新幅と残っている労力により算出する。その評価値を各性質と戦略の組ごとにレプリケータダイナミクスを用いて淘汰を行う。

$$u_i = (\text{knowledge}_i^t - \text{knowledge}_i^{t-1}) \times \omega \alpha + \text{energy}_i \times \beta \quad (4)$$
- ④ 突然変異
各エージェントは確率 ϵ で突然変異を行い、性質と戦略の組を変更する。

3.4 評価指標

分析の評価指標は、フリーライダーの発生推移、標準偏差、性質と戦略の分布と知識量である。本研究の目的はフリーライダーの発生メカニズムをモデル化することにあるので、シナリオ変数とフリーライダーの関係性について注視する必要がある。またフリーライダーとなっているエージェントの状況がどのようになっていたかを分析するために、性質と

戦略の分布と知識量を見る。標準偏差を見ることでフリーライダーと学習者間の学びの格差の相関を見る。提供した知識量が平均提供量と比較して一定の割合を下回っているエージェントをフリーライダーとする。

4. シミュレーション実験の設定

4.1 パラメータ設定と妥当性の検証

状況的学習観の見地に立って考察すれば、学習者はアクティブラーニングを行うことによって成員性を獲得していくはずである。つまりグループワークに深く参画するようになる結果としてフリーライダーの人数は時間経過とともに徐々に減少していくはずである。そこで公共財係数・学習係数・レプリケータ閾値のパラメータは、効用値における知識量と労力のウェイトが等しく、初期性質と戦略をランダムに決定するという最も一般的と思われる状況において、徐々に減少していくであろうという仮説を再現するように緩やかに変化を起こすよう設定した。

Fig. 4 は最も一般的と思われる標準設定においてのフリーライダーの発生数の1000試行の平均値をとったものである。Fig. 4 からわかるように、グループワークを通して成員性を獲得していくことで、徐々にフリーライダーが減少していくというアクティブラーニングの理想状態を再現できているため、本モデルは妥当であるといえる。

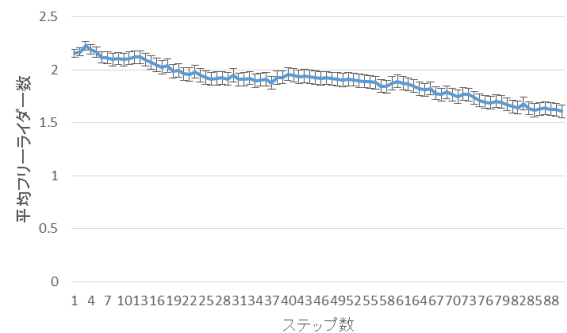


Fig. 4: 標準設定におけるフリーライダーの推移

4.2 シナリオ設定

従来のフリーライダーの発生原因の分析[2]から、共同体の中での分業が許容される程度を超えて不均衡になることによってフリーライダーが発生するとされていることから、本研究では、共同体の中での分業が不均衡になる原因は、共同体を構成している学習者の性質や授業に対する姿勢（戦略）であると仮説を立てた。よってシナリオとして学習者の性質と戦略に影響する要因に注目して分析を行う。本研究のシナリオとして性質と戦略の初期値の偏りと効用値のウェイトを考える。性質と戦略の初期値の偏りは、以下のように8人のエージェントの性質と戦

Table 1: 性質と戦略の組

ST		性質	
		Positive	Negative
戦略	full	Pf	Nf
	proportional	Pp	Np

略の組の初期値を割り振ることによって実装する.

- ・ランダム
- ・均等(2:2:2:2)
- ・Pfに偏らせる(5:1:1:1)
- ・Ppに偏らせる(1:5:1:1)
- ・Nfに偏らせる(1:1:5:1)
- ・Npに偏らせる(1:1:1:5)

効用値のウェイトは、授業に対して学習者が抱えている印象を表している。効用値のウェイトはどの性質や戦略を有していたら効用値が上昇しやすいのかに密接に関わるパラメータであることから、学習者の性質や戦略がフリーライダーの発生に関係しているという本モデルの仮定を反映している。知識の増量に対するウェイト α と残り労力に対するウェイト β を、学習重視、均等、残り労力重視の3パターンで設定する。各パターンの設定値は以下の数値に標準正規乱数による値の1/10を加算している。1を超えた場合は1, 0を下回った場合は0とする。

Table2: シナリオ変数

シナリオ	(α, β)
学習重視	(0.8, 0.2)
均等	(0.5, 0.5)
残り労力重視	(0.2, 0.8)

5. 実験結果と考察

前節の設定でシミュレーション実験を100試行ずつ行った。まず初めに性質と戦略の初期値の偏りがフリーライダーに及ぼす効果について分析する。Fig. 5に効用値のウェイトを均等にした場合における、組の初期値別のフリーライダーの発生人数の推移の100試行の平均値を示す。学習開始時には性質と戦略の偏りによってフリーライダーの人数に大きく差が出るが、時間経過とともに差が小さくなっていき、40ステップほどでほぼ差がなくなる。このことから、長期的にはグループの特色は和らいで大きな差異がなくなることがわかる。性質と戦略の組の初期値をNfに偏らせた場合とNpに偏らせた場合に学習開始時のフリーライダーの発生人数の平均値が多くなっており、Pfに偏らせた場合とPpに偏らせた場合には少なくなっている。このことから学習開始時のフリーライダーの発生人数に影響を与えるのは、性質であると考えられる。

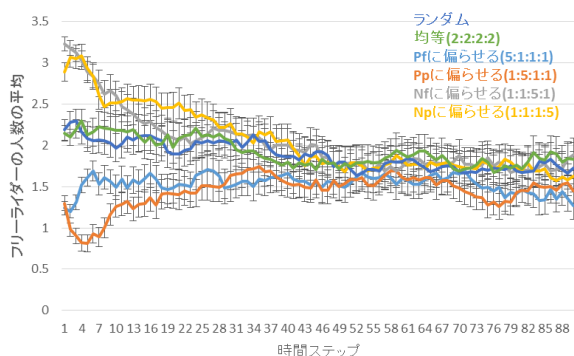


Fig. 5: 組の初期値別のフリーライダーの平均発生人数の推移

次に効用値のウェイトがフリーライダーに及ぼす効果を分析する。Fig. 6に性質と戦略の組の初期値をランダムにした場合における、効用値別のフリーライダーの人数の推移の100試行の平均値を示す。性質と戦略の初期値を偏らせたときと違い、効用値のウェイトによって学習開始時のフリーライダーの人数の平均値に違いがない。一方で時間経過とともにフリーライダーの人数の平均値の差が開いている。学習者が学習を重視することが多い場合、フリーライダーの平均発生人数は学習者が学習と労力を均等に評価する場合と比較して、時間経過によるフリーライダーの平均発生人数の減少幅が大きい。しかし、30ステップほどで減少が緩やかになり、ほぼ横ばいといっていいほどに緩やかになる。学習者が労力を重視することが多い場合、他のシナリオと違いフリーライダーの平均発生人数は時間経過で増加する。しかし30ステップほどで増加は止まり、横ばいに推移している。学習重視の場合のことも考えると、フリーライダーの平均発生人数は効用値のウェイトによる期待効用によって決められた値に向かって収束しようとしていると考えられる。

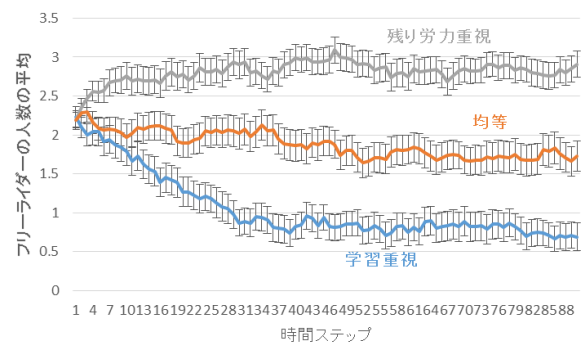


Fig. 6: 効用値別のフリーライダーの平均発生人数の推移

グループワークに深く参画するようになる結果としてフリーライダーの人数は時間経過とともに徐々に減少していくはずという理想的な学習から Fig. 5のPfに偏らせた場合とPpに偏らせた場合は外れており、学習開始時が低く40ステップほどまで増加し、そこから他のシナリオと同じく徐々に減少している。このことから、性質と戦略の組Pf, Ppは授業に参画した結果として集団を支配する特性になりうる特性であり、だからこそ初めから一定数存在するPfやPpに偏らせた場合では学習開始時のフリーライダーの平均発生数が他のシナリオと比較して少なくなったのではないかと、という仮説を立てた。それを検証するために性質と戦略の初期値がランダムの場合とPfに偏らせた場合とPpに偏らせた場合の、学習者の性質と戦略の組の割合の推移とフリーライダーの平均発生数を比較した。その結果を Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9に示す。Fig. 6, 7, 8を比較した結果、どのシナリオでもPfとNfの学習者が減少しており、PpとNpの学習者が増加している。したがってPfとPpの二つが集団を支配する特性になるという仮説は成立しない。これはfullの場合の効用値がproportionalの場合の効用値より低くなっているためと考えられる。また主にフリーライダーを生み

出しているのは N_p を持っている学習者であると考えられる。

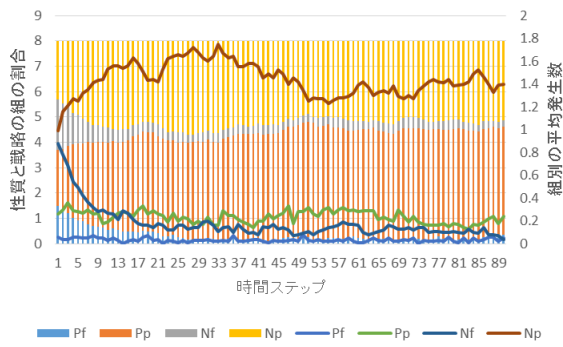


Fig. 7: ランダムの性質と戦略の組と組別の平均発生数

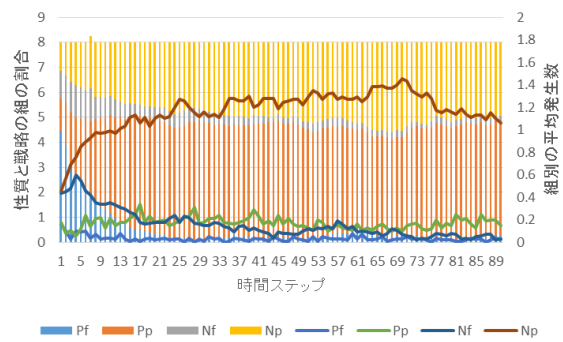


Fig. 8: Pf に偏らせた場合の性質と戦略の組と組別の平均発生数

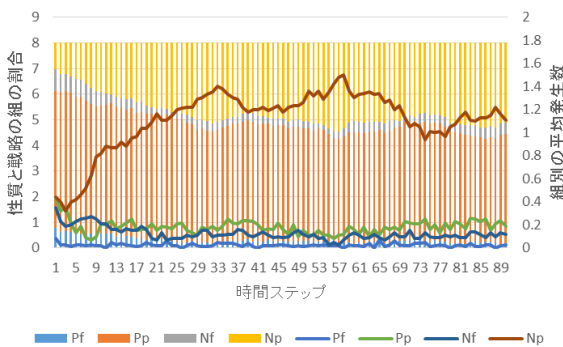


Fig. 9: Pp に偏らせた場合の性質と戦略の組と組別の平均発生数

フリーライダーが多いときや少ないときどのような状況が起こっているのか、それをフリーライダーの状況とフリーライダーではない学習者の状況の二つの観点から考察する。考察を行うためにクラスタ分析をおこなった。Fig. 9 に性質と戦略の組の初期値がランダムで、効用値のウェイトを均等とした場合の 100 試行のフリーライダーの人数のヒートマップを示す。横軸は時間ステップを表し、縦軸は試行番号が並んでいる。色が濃ければ濃いほどフリーライダーが多いということになる。フリーライダーが少ないクラスタは 52, 4~5 人で推移する中くらいのクラスタは 45, 常に殆どの学習者がフリーライダ

ーとなる多いクラスタは 3 となった。各クラスタの典型例を Fig. 10 に示す。フリーライダーが少ないときのクラスタのシチュエーションを Fig. 11, 多いときのクラスタのシチュエーションを Fig. 12 に示す。Fig. 11 と Fig. 12 から、集団を支配している特性が N_p であればフリーライダーが一定数発生し, P_p であればフリーライダーが減少する。しかし集団を支配している特性が N_p のときにほぼすべてのエージェントがフリーライダーとなってしまった場合には、集団を支配している特性が P_p に変わったとしてもフリーライダーは減少しない。これは *proportional* が周りの人が一切発言していなかったら発言しないためである。

Heat Map for Hierarchical Clustering (Ward)

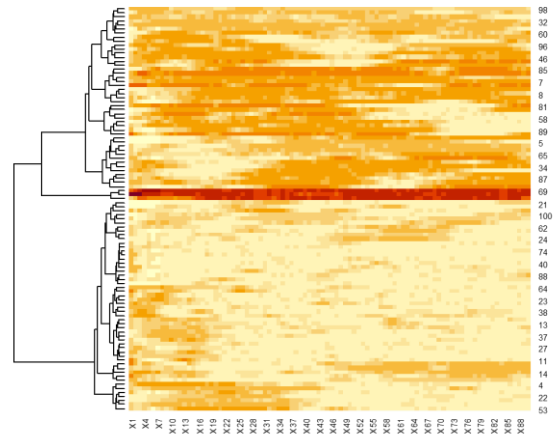


Fig. 10: ランダムかつ均等の場合のヒートマップ

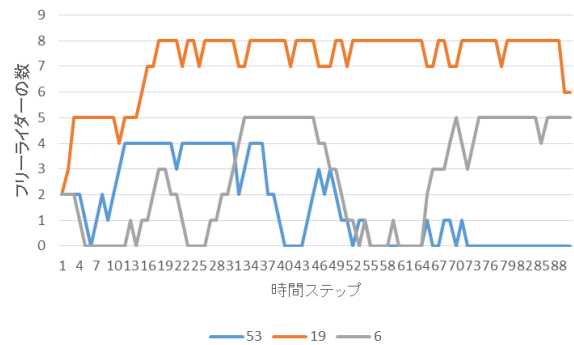


Fig. 11: 各クラスタの典型例

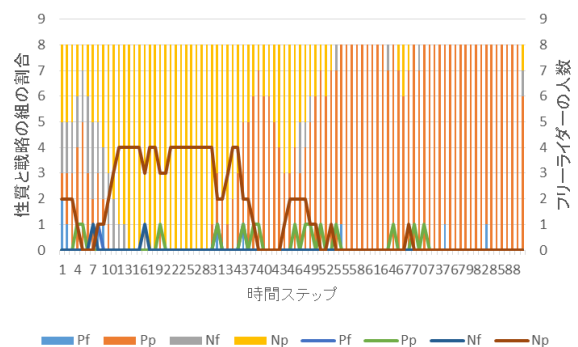


Fig. 12: フリーライダーが少ないクラスタの組の割合と組別フリーライダーの推移

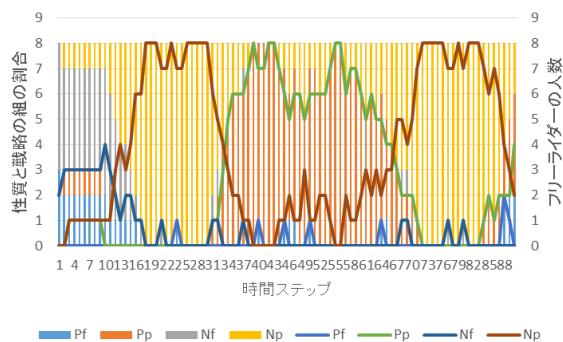


Fig. 13: フリーライダーが多いクラスタの組の割合と組別フリーライダーの推移

性質と戦略の組の初期値を偏らせたことによる影響を詳しく調べるために、各シナリオをクラスタ分けして各クラスタの数を調べたものを Table3 に示す。Positive を持っている学習者を偏らせて学習を行った場合、Negative を持っている学習者を偏らせた場合と比べて、フリーライダーが多いクラスタが少なくなっている。つまり全員が学習に参加しなくなるという致命的な状況が起こりづらくなっている。全員が学習に参加しなくなるという状況はフリーライダーが集団の中で多くないと発生しにくい。よって Positive に偏らせた場合は学習開始時のフリーライダーが少なくなりやすいことから全員が学習に参加しなくなる状況が起こりづらいと考えられる。

Table3: 各シナリオのクラスタ別の試行数

	少ない	中	多い
ランダム	52	45	3
Pfに偏らせた	74	24	2
Ppに偏らせた	86	13	1
Nfに偏らせた	55	40	5
Npに偏らせた	67	29	4

フリーライダーの発生こそが学習の格差を生んでいるということから、フリーライダーの発生数と学習の格差を表す知識の標準偏差の間には正の相関があると考えられる。そのことを検証するために、知識標準偏差と学習終了時のフリーライダーの人数の平均の関係を Fig. 17,18 に示す。Fig. 17,18 の両方とも知識標準偏差とフリーライダーの人数の平均には負の相関があることが分かった。このことはフリーライダーの発生こそが学習の格差を生んでいるということから導かれる仮説に反している。これは本モデルにおいて発言を行った学習者の知識の更新の仕方が指数関数的になっていることから、より発言を行うほど各学習者の知識の差は開いていく。おそらく、フリーライダーの発生によって生じる学習者間の格差よりもこのことによる差の方が大きくなってしまっていると考えられる。このことから本モデルはフリーライダーと学習の格差の関係性について分析するのに適していないということが言える。仮にこの関係性を分析するならば、発言を行った学習者の知識の更新の仕方を変更しなければならない。例えば知識を上限なく上昇させるような形ではなく、上限を定めて理論的な最大値が上限値を超えないように傾きを調整した一次関数のように上昇させれば

分析ができると考えられる。このことは今後の課題としたい。

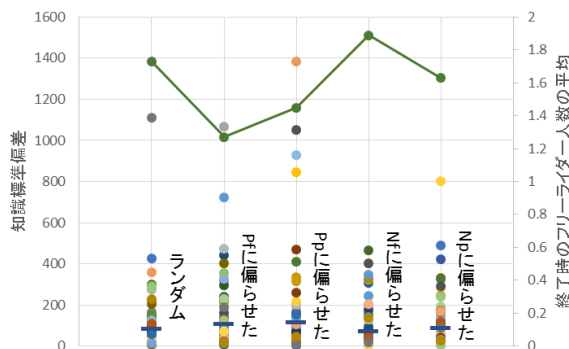


Fig. 14: 組の初期値別の知識標準偏差と学習終了時のフリーライダーの人数の平均

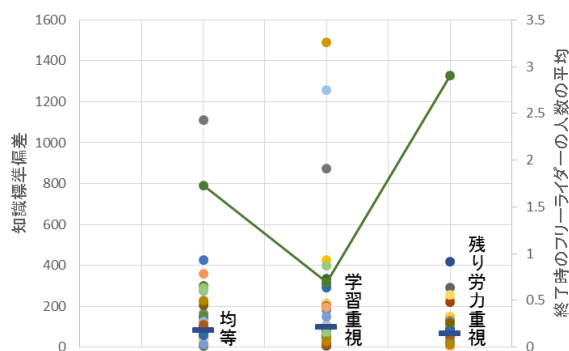


Fig. 15: 効用値別の知識標準偏差と学習終了時のフリーライダーの人数の平均

6. 結論

本研究ではグループワーク型授業におけるただ乗り問題についてモデルを構築し、相互作用に影響を及ぼす要因である、学習者の性質や戦略、授業に対する印象に着目して、ただ乗り行動にどのような影響を及ぼしているのかを分析した。その結果、長期的にはグループの特色は和らいで差異がなくなることと、授業に対する印象によってただ乗り行動は変化すること、ただ乗り行動を生み出しやすいのは消極的で周囲に同調する学習者であることが分かった。

以上のことから、フリーライダーを抑制するためには発言の内容に関わらず発言を行わせるような行動ルールを徹底させるように授業設計を行うことが効果的であると言える。また、グループ分けを行う際に学習者の特色を考えて編成することはそこまで効果がないと言える。

参考文献

- 1) 文部科学省 学習指導要領「生きる力」
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/ 最終閲覧日 2019/12/19
- 2) 松下佳代：ディープ・アクティブラーニング，勁草書房(2015)
- 3) 森朋子，溝上慎一：アクティブラーニング型授業としての反転授業 理論編，ナカニシヤ出版(2017)
- 4) 白石弘幸：組織学習と学習する組織，金沢大学経済論集，29, 233/261(2007)