

PCゲームを活用したプロジェクトマネジメント演習による 協働的問題解決の実践

瀬瀬潤大*1・石垣綾*2・安井清一*2

Email: 7423508@ed.tus.ac.jp

*1: 東京理科大学 創域理工学研究科 経営システム工学専攻

*2: 東京理科大学 創域理工学部 経営システム工学科

◎Key Words 問題解決型学習, game-based learning

1. はじめに

年齢・性別問わず多くの人々を熱中させるゲームは、早くから学習ツールとしての活用を期待され、ゲームの要素を学習などの他の目的へ適用するゲーミフィケーション、教育や社会問題の解決を目的としたゲームであるシリアスゲーム、Minecraft や SimCity など既存のゲームそのものを学習へ活用する Game-based learning (GBL) など、多様な方向からその有効性を検討されてきた。

ゲームが学習ツールとして期待される大きな要因は、その面白さによる学習への動機づけ⁽¹⁾である。主体的・対話的で深い学びの重要性が明確な現代において、良くも悪くも主体的かつ積極的に取り組んでしまうゲームの要素を、社会的に役立つ学習へ組み込むことは、1つの研究対象となっている。しかし、「学習目標と面白さを両立させる難しさ⁽²⁾」が、大きな課題である。

ゲームを学習ツールとして用いる方法は、既存の商用ゲームを学習目標に合わせて利用する GBL と、学習目標に合わせて専用のゲームを開発するシリアスゲーム、という2種類に分けられる。商用ゲームを用いる GBL の利点は、ゲームを開発する手間を省きつつ、面白さを担保し、学習への動機づけに大きく貢献可能なことである。特に、多数の要素が相互作用する複雑なシステムの管理を学ぶ場合、シミュレーションゲームは有効だと示す文献も存在する⁽³⁾。しかし、商用ゲームはあくまで娯楽目的に開発されており、意図する学習目標を達成させることが難しい。例えば、Rufat and Minassian⁽⁴⁾は、シミュレーションゲームを用いた学習に対して、娯楽レベルに簡略化されたモデルしか学習できないと指摘し、Lobo⁽⁵⁾は商用ゲームにおけるモデルが、学習の段階や学習目標に合わせて変えられないことを問題視している。一方で、目的に合わせた専用のシリアスゲームを新たに開発することで、このような問題は解決可能に見える。例えば、タンパク質の構造最適化問題の解決を目的としたゲーム“Foldit”は、より多くの人間が対象の問題を解ききっかけをつくり、学術的な進歩につながっている⁽⁶⁾。しかし、ゲーム開発の専門家ですら面白いゲームを作るのが難しい現代において、一般的な教育者が、面白さと学習目標を両立させられる素晴らしいゲームを立案することは困難である。仮に、ゲームのコンセプトを持ち合わせていても、それを開発する技術を身に付ける必要がある。さらに、オンライン上で協働的に問題解決を実践するためには、サーバー等の知識を踏まえてマルチプレイやそれに準ずる機能を開発しなければならない。教員の時間や教育資源には限界があり、特に、教育者であるが研究者でもある大学の教員にと

って、講義に対する負荷を可能な限り減らすことは切実な問題である。

以上より、GBLに関する問題をまとめると、商用のゲームを用いる GBL は学習目標に適さない場合が多く、一方で、専用のゲームを開発するシリアスゲームは教員の負荷が高く、面白い教材になるとは限らないことである。この問題を解決するために、本論は商用ゲームを用いる GBL を基盤としつつ、講義専用の MOD と呼ばれるゲーム変更プログラムを開発し、受講者からのフィードバックを受けながら教材であるゲームの内容を改善していく、適応的な GBL 講義設計を提案する。現代の PC ゲームは、ゲーム内容を変更する MOD と呼ばれるプログラム群を有志が開発することがあり、いくつかのゲーム提供・開発企業は新たな楽しみ方として規約を提示した上で奨励している。教材としての面白さや、マルチプレイなどの複雑な機能を元となるゲームから引き継ぎつつ、MOD を用いてゲーム内のモデルを学習目標や進度に合わせて部分的に調整することで、教員の負荷を抑えながら、面白さと学習目標を両立させた GBL の実現に貢献可能だと考える。さらに、ゲーム画面上ならば全受講者の取り組みをリアルタイム、あるいは録画して観察・分析することが容易なため、受講者の反応に合わせて、適応的に難易度等も調整可能である。

以下、本論は適応的 GBL 講義の実践例として、生産システムシミュレーションゲーム Factorio を用いた講義設計を説明する。調整を行わずに GBL を行った場合、どのような問題が発生するのかを把握した後、受講者の動きや反応を踏まえて MOD 開発により適応的に教材を変更・改善した結果を示す。

2. 適応的 GBL 講義の設計

2.1 対象とした講義

経営工学実験 C (以下、実験 C と記述) は、東京理科大学 創域理工学部 経営システム工学科の3年次を対象とした、140分×15回で構成される専門科目である。今回、全受講者分の Factorio を購入し、貸与するコストの関係上、受講人数は28名に制限した。

2.2 講義の初期設計

Factorio は、プレイヤーが資源を採掘し、工場を建設して自動化し、最終的にロケットを打ち上げることを目指す生産システムシミュレーションゲームである。原材料の採掘、価値ある場所への輸送、必要とする製品への加工という3つの要素(図1参照)を適切に組み合わせる生

産システムの最適化・効率化が特徴であり、大学の生産・在庫管理の講義において利用された実績を持つ⁷⁾。また、Factorio の開発元である Wube Software は MOD の開発を奨励しており、MOD の導入を補助するポータルサイト⁸⁾等が整備されている。

実験 C 全体を通した課題は、複数人が協働で取り組むロケット打ち上げまでの時間を最小化するプロジェクトマネジメントである。ロケットの打ち上げを素早く実施するためには、絡み合った 3 つの要素を適切に分解し、各要素へ費やす資源のバランスを踏まえて生産システムを最適化しつつ、チーム全員が無駄なく役割分担をすることが重要である。本課題を通して、複雑な問題を分割し、協働で問題解決を行うプロジェクトマネジメント能力の向上を図る。第 1-3 回目の講義にて、ゲームに対する習熟度を確認し、習熟度の平均が一致するように受講者を 7 チームに割り当てた。その後、チームごとに課題へ取り組んでもらう。各受講者のゲーム上の動きはリアルタイムに観察、並びに録画しながら進捗を確認しつつ、必要に応じて直接感想を聞きに行くこととした。

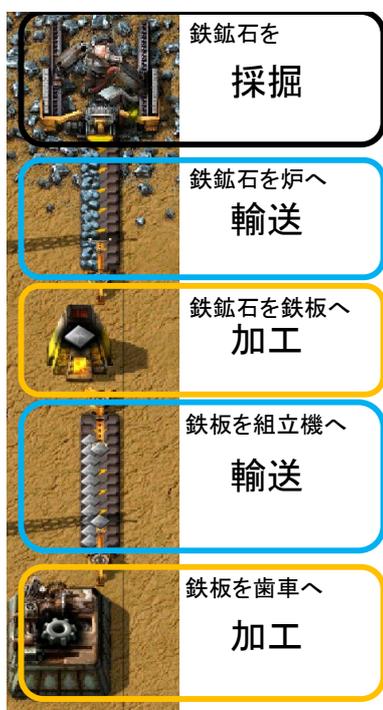


図 1 Factorio における 3 要素：採掘・輸送・加工

2.3 講義に対する問題点や要望等のフィードバック

チームごとに動き始めた最初期の講義こそ、受講者は試行錯誤しながら進めていたものの、第 5 回ではゲーム内の動きが見られなくなってしまった。そこで、講義後に話を聞いたところ、以下のような問題が受講者の積極的な取り組みを妨げていることがわかった。

- ① チーム内での習熟度格差
- ② 理論や手法を簡易的に実践可能なツールの存在
- ③ 高い難易度設定

①は、チームごとに行う講義にて常に起こりうる問題だが、適切な対処を怠った場合、GBL はこの問題を大きく悪化させると考えられる。教科書や専門書に熱中する学生は稀だが、ゲームに熱中する学生は多い。今回、

Factorio を購入したアカウントを全受講者に貸与しており、講義外においても自由に使用可能であった。各アカウントにおける Factorio の起動時間を確認したところ、21 人が講義時間以上にゲームを起動しており、受講者によっては 100 時間を超えている (図 2 参照)。なお、本講義を受講する前から Factorio を遊んでいた受講者は 1 人もいないため、本講義で触れたことをきっかけとして、熱中したと考えられる。結果、講義の教材であるゲームに熱中した学生と、そうではない学生の習熟度にとつてもなく大きな差が生まれ、チーム内の習熟度が高い受講者が全てを決定するため負荷が上昇し、その他の受講者は議論へ参加できず、双方のモチベーションが下がってしまう。

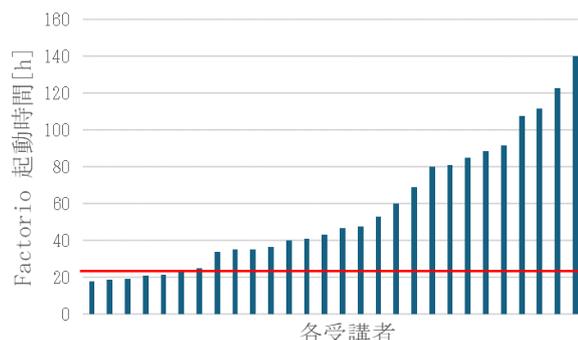


図 2 各受講者の第 11 回までのゲーム起動時間 (グラフ) と合計講義時間 (赤線)

②は、座学にて学ぶいくつかの理論や手法を手作業で実践することが、かなりの負荷になりうるのが原因だと考えられる。例えば、プロジェクトや生産ラインが完了する最短時間を求め、重要な経路を導出する方法としてクリティカルパス法という理論が存在し、座学形式の講義も行っている。しかし、座学にて対象とする問題の規模は、ロケット打ち上げプロジェクトに比べると非常に小さい。いくつかのチームは、クリティカルパス法を実践し、ロケット打ち上げまでの最短時間と重要経路を導出しようと試みたものの、対象とするプロジェクトの規模が大きすぎるため、手作業での実践は不可能だと考え、諦めていた。理論を実規模の問題で実践するためには、理論を自動化するツールが必要だと考えられる。一方で、このような要望が現れたこと自体が、本講義により受講者の主体的な取り組みを促進できている 1 つの結果とも考えられる。

③は、①、②に関連するゲームの問題である。Factorio において初めてロケットを打ち上げるためには、個人差もあるが 10~30 時間程度必要である。課題の難易度が高い結果、習熟度の低い受講者はチームへ貢献することが難しく、また、プロジェクトの規模が大きくなるため、理論を実践することが困難になる。全 15 回を通した課題であるため、難易度の高い課題を提示したものの、高すぎる難易度は、1 回の講義時間中に達成感等を得づらくしてしまい、受講者のモチベーションを下げてしまう。

2.4 講義の適応的な変更・改善

フィードバックを踏まえて、講義を改善した過程を説明する。まず、問題②に対処するために、クリティカルパス法等を実践するためのツールを作成した。Excel による部品構成表、VBA (Visual Basic for Application) と Python

を組み合わせ、作業分解構成図から PERT 図を自動的に作成し、クリティカルパス法を自動的に行うツール、ガントチャートを作成するツールを作成し、チームごとのオンラインストレージへ配布した。

問題①, ③に対処するために、難易度の調整方法と、チーム間のわかりやすい競争・達成要素を追加しようと考へ、MOD である TUSFactorio⁹⁾を開発した。TUSFactorio は、複数のチームに分かれて指定された製品を生産・納品するまでの早さを競うことができ、複雑な資源は自動で供給される、他のチームの進捗状況が一目でわかるなど、講義の問題に対処する機能を備えた MOD である。開発期間は、ゲームファイルの構造把握、プログラムにおけるランダム要素の特定、生産・納品すべき製品や自動供給される資源の設定方法の理解を、Open AI が提供する Chat GPT の補助を受け、初期実装まで 4 時間程度、テストプレイを通した難易度調整を含めて 8 時間程度である。なお、筆者らは MOD 開発が初めてかつ、プログラミング経験も大学の講義で Python を習った程度である。プログラミング経験の豊富な方ならば、内部データを変更する程度の MOD は、より短い時間で開発できると考えられる。

生産・納品すべき製品と自動供給される資源を調整できるようになったため、ロケット打ち上げに必要な一部分の要素を小課題として設定し、講義を実施した。結果、初見であっても 30 分足らずですべてのチームが課題を達成し、講義終了前の測定ではしっかりと役割分担がなされ、10 分を切るチームも現れた。講義時間 140 分を通して全チームに動きが見られ、受講者の反応は概ね好印象であり、特に、習熟度が低い受講者が議論に参加できるようになった。その後、各チームのゲーム内の動きと議論の様子を観察しつつ、小課題の難易度を適応的に増加させていった結果、第 11 回の講義から、すべての小課題を組み合わせたロケット打ち上げプロジェクトマネジメントを実施した。

3. 適応的 GBL 講義の結果

3.1 適応的 GBL 講義を通じた成果物

実験 C では、受講者のプロジェクト立案や改善を助けるために、問題②へ対処するためのツール群をまとめた“プロジェクト計画書.xlsm” (図 3 参照) と、結果やプロジェクトの改善結果をまとめる“PDCA.xlsx” (図 4 参照) をチームごとのオンラインストレージへ配布し、自由に使用させた。また、いくつかのチームは、Word や Excel を用いて独自のプロジェクトマネジメントを行っており、教員の指示が無くとも、課題達成に向けて主体的に取り組んでいたことが確認できた。

3.2 適応的 GBL 講義の面白さ

PDCA.xlsx はすべてのチームが活用しており、1 回 140 分程度の講義時間中に 3~6 回もの試行を行っていたことが記録されている。1 回の試行に 10~30 分程度必要なことを踏まえると驚異的な試行回数であり、また、試行の度に達成時間の短縮が確認できるため、有効な PDCA を回していることもわかる。これは、ゲームや課題に対する慣れの要素も考えられる一方で、改善の結果が迅速かつグラフィカルに表示されるゲームの利点が、達成感や没入感

を高め、140 分間休むことなくプロジェクトの改善へ取り組む受講者を増加させたとも考察できる。しかし、プロジェクト.xlsm の使用履歴は、各小課題の部品構成表を作成する程度であり、積極的に活用したチームは限られている。自作ツールである使いにくさ、1 回の講義時間中に作成する時間不足などから、全チームのプロジェクト立案の手助けにはならなかった。一方で、活用をしたチームは講義時間外に対象の Excel を編集し、綿密なプロジェクト立案を試みており、また、上記の成果物以外の Excel を作成し、使いやすい形に改造したチームも存在した。以上の結果から、実験 C にて実施した適応的 GBL 講義は、講義時間中の 140 分程度ならば集中でき、人によっては講義時間外でも取り組むほどの面白さを有していると考えられる。

担当者	タスク番号	タスク説明	作業時間	作業開始	作業終了
調敏寛大	1.1.1	お米を洗い、炊飯器に入れる	60	0:40	
	1.1.2	炊飯器のスイッチを入れる	3	0:43	
	1.1	ご飯を作る	0	0:43	0:43
	1.3.1	ご飯を食器に盛る	20	0:43	0:43
	1.6.1	炊飯器を洗う	40	0:43	0:43
	1.6	後片付け	0	0:43	0:43
	1	石垣先生にカレーを作ろうPJ	0	0:43	0:43
木村真心	1.2.1	玉ねぎを切る	150	0:150	
	1.2.2	玉ねぎを炒める	300	0:150	0:450
	1.2.3	にんにく、ジャガイモを炒める	400	0:450	0:850
	1.2.1	牛肉を炒める	200	0:850	1:050
	1.2.2	材料を炒める	0	1:050	1:050
	1.3	カレーライスを用意に盛る	0	0:378	0:378
	1.4	カレーライスを食べずに並べる	30	0:378	0:378
	1.6.1	食器を洗う	20	0:378	0:378
寺崎拓馬	1.2.1	にんにくを切る	100	0:100	
	1.2.2	じゃがいもを切る	120	0:100	0:220
	1.2.4	牛肉を切る	200	0:220	0:420
	1.2.1	材料を切る	0	0:420	0:420
	1.6.2	包丁とまな板を洗う	30	0:420	0:450
	1.2.3	鍋に水、材料を入れる	90	0:450	0:540
	1.2.3	鍋にカレー粉を入れる	10	0:540	0:550
	1.2.3	材料を煮る	0	0:230	0:230
	1.2	カレーを作る	0	0:230	0:230
	1.2.2	カレー食器に盛る	25	0:230	0:255
1.6.3	鍋を洗う	60	0:255	0:315	
炊飯器	1.1.3	炊く	3600	0:3600	0:3600
鍋	1.2.3	煮込む	1200	0:500	1:700
	1.2.4	煮込む	600	1:100	1:700
石垣先生					

図 3 プロジェクト計画書.xlsm の一部分、配布時はカレーを作るプロジェクトの例が記入されている

2 回目	
Plan	目標時間 + 各班員の手順を更新
	班員Aの目標
	班員Bの目標
	班員Cの目標
	班員Dの目標
Do	秒
	目標時間との差 + その原因
Check	班員Aの目標は達成できた? できなかった場合はその原因は?
	班員Bの目標は達成できた? できなかった場合はその原因は?
	班員Cの目標は達成できた? できなかった場合はその原因は?
	班員Dの目標は達成できた? できなかった場合はその原因は?
Act	原因に対する全体としての改善案 or 目標時間を短縮する提案
	班員Aの原因に対する改善案
	班員Bの目標に対する改善案
	班員Cの目標に対する改善案
	班員Dの目標に対する改善案

図 4 PDCA.xlsx の一部分

3.3 適応的 GBL 講義の学習目標への貢献

チームごとの小課題の平均達成時間と、Factorio の平均起動時間を図 5 に示す。チーム数が少ないため信頼度は低いものの、相関係数は-0.732 と強い負の相関を持つ。実験 C の学習目標は、複数人が協働して課題を達成するプロジェクトマネジメント能力の実践を通じた向上である。実験 C の講義設計が学習目標達成に貢献できたのかについて、否定的な考察と肯定的な考察が可能である。

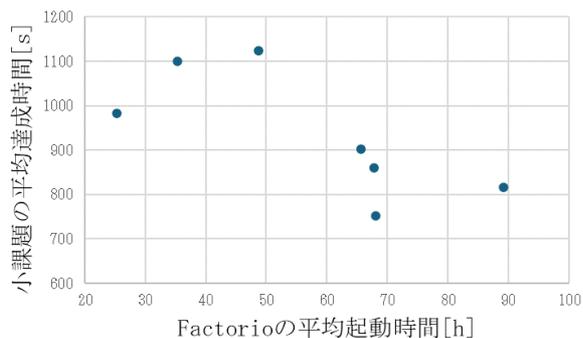


図5 各チームの課題達成時間とゲーム起動時間の関係

まず、貢献していないと考える否定的な考察を行う。実験Cは、チーム内の全受講者がプロジェクトの管理者かつ作業となる講義設計である。従って、プロジェクトの達成時間を最小化するためには、プロジェクト管理能力を向上させる以外にも、そもそも作業速度を向上させる方向性も存在する。Factorioを多く起動し触れている受講者ほど、当然作業速度も速くなるため、プロジェクト管理能力の向上につながらなくとも、結果が良くなってしまふ。従って、より学習目標に合わせるためには、受講者が作業者にならない講義設計へと変更しなければならない。特に、GBLを実践する場合、ゲームに対する習熟度にて結果や評価が示されてしまう場合が多い。だからこそ、MOD等により学習目標に合致したゲーム内容へと調整することが重要だと考えられる。

次に、学習目標の達成に貢献していると考えられる肯定的な考察を行う。図5右下4チームのオンラインストレージ上に存在する成果物を確認したところ、追加の成果物や、プロジェクト計画書.xlsmが大きく改造されていた。例えば、最もFactorioの平均起動時間が長いチーム④は、プロジェクト計画書.xlsmに加えて、各課題で生産・納品すべき製品に必要な直接的な資源のみならず、施設や処理時間といった間接的な資源をまとめ、最適な施設建設数等を記述した追加の成果物(Excel)が存在していた。また、課題達成時の状況を確認すると、他のチームと比べて施設の建設数をかなり抑えており(図6参照)、無駄な施設建設が行われていない。よって、ゲームの起動時間が長く熱中した受講者ほど、より効率よくプロジェクト管理を行う方法を講義外であっても主体的に考え、取り組むため、作業速度の増加と重なり、強い負の相関が生まれたと考えられる。学習目標をゲームの面白さと適切に組み合わせることで、学習者は少ないストレスで、主体的に学習を進めることができる。

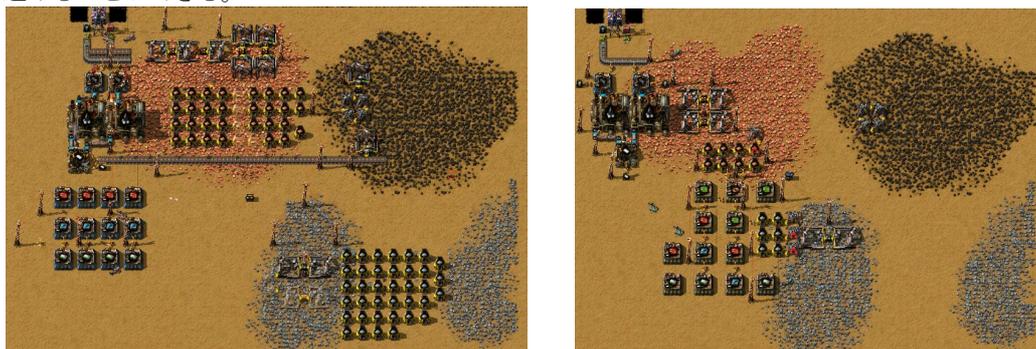


図6 小課題達成時の状況比較 左図：チーム⑤ 右図：チーム④

4. おわりに

本論は、面白さと学習目標を小さな負荷で両立させるために、受講者のゲーム上の動きを記録・観察しつつ、ゲームの内容をMODにより調整する適応的GBLを提案し、生産システムシミュレーションゲームFactorioを用いた実践例を説明した。専用のゲーム開発に比べ、MODによるゲーム内容の調整は遥かに容易であり、講義の途中からゲームの内容を調整し、よりよい講義設計へと改善することで、受講者の主体的な取り組みを促進することができた。特に、各受講者の動きを教員側がデータとして保存しながら、リアルタイムに観察できることはGBLの強みであり、適応的な講義設計の改善へ大いに役立った。

来年度は、第1回から適応的に難易度調整を行い、習熟度の格差を抑えられるよう努めると共に、受講者が作業者にならない講義設計へ変更し、学習目標と合致するようMOD開発を行う。また、学習目標の達成を客観的に示せるようなデータを集められるよう、教育研究としての設計も検討していく。

参考文献

- (1) Prensky, M. : "Digital game-based learning", Computers in Entertainment, 1, 1, pp.1-4, (2003).
- (2) Harteveld, C., Guimarães, R., Mayer, I., Bidarra, R. : "Balancing Pedagogy, Game and Reality Components Within a Unique Serious Game for Training Levee Inspection", Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, 4469, pp.128-139, (2007).
- (3) Iuraschek, M., Hermann, C., Thiede, S. : "Utilizing Gaming Technology for Simulation of Urban Production", Procedia CIRP, 61, pp.469-474, (2017).
- (4) Rufat, S., Minassian, H. : "Video games and urban simulation: New tools or new tricks?", Cybergeo European Journal of Geography, 622, (2012).
- (5) Lobo, D. : "A city is not a toy: How SimCity plays with urbanism", pp.6-9, London School of Economics and Political Science (2005).
- (6) Cooper, S., Khatib, F., Treuille, A., Barbero, J., Lee, J., Beenen, M., Leaver-Fay, Andrew., Baker, D., Popović, Z., 57,000 Foldit players. : "Predicting protein structures with a multiplayer online game", Nature, 466, 7307, pp.756-760, (2010).
- (7) Boardman, B., Krejei, C. : "Simulation of Production and Inventory Control using the Computer Game Factorio", Proceedings of the 2021 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference, Paper ID #35091 (2021).
- (8) Wubu Software : "Factorio Mod Portal". <https://mods.factorio.com/>, 閲覧日 ; 2024/6/26
- (9) Wubu Software : "TUS Factorio". <https://mods.factorio.com/mod/TUSFactorio>, 閲覧日 ; 2024/6/26