

## 情報系実験への知識構成型ジグソー法の導入事例研究

才田 聡子\*<sup>1</sup>

### A Case Study of Integrating the Knowledge Constructive Jigsaw Method into a Student Experiment on Algorithms and Data Structures

Satoko Saita

#### Abstract

This paper describes a design and practice of a student experiment on “Algorithms and Data Structures” at National Institute of Technology, Kitakyushu College (NitKIT). To improve the educational effectiveness of the traditional student experiment on programming, we integrated a collaborative learning method called the “Knowledge Constructive Jigsaw” (KCJ) into the experiment. The KCJ method was adapted to the experiment’s procedures for students without highly programming skills. Communication among participants facilitates knowledge exchange between them and increased their motivation. These results demonstrate that the KCJ method not only enabled beginners to obtain technical skills but also promoted an interest in “Algorithms and Data Structures”.

**key words:** *Knowledge Constructive Jigsaw Method, Algorithms and Data Structures*

#### 1 はじめに

北九州工業高等専門学校電子制御工学科で実施される実験実習のテーマの1つに、アルゴリズムとデータ構造の実装がある。このテーマの目的は学生が座学で習得するアルゴリズムの原理やデータ構造の理解をたすけ、それらを問題解決のために応用する技術を体得させることである。

このテーマでは例年、4～5人でグループを構成し2週間かけてソートアルゴリズムのプログラミングによる実装に取り組んでいた。しかし、グループ内の学力や積極性にばらつきがあり、さらにプログラミングを苦手とする学生にとってアルゴリズムやデータ構造をプログラミングによって実装することは容易でない。このためグループ内の特定の学生があらゆる実験過程をこなしてしまい、残りの学生はほぼ「作業」と化した実験過程をなぞり実習の目的や原理を理解しないまま実習を終える傾向がある。グループ内での作業量に大きな偏りが生じた結果、各学生が実習によって得られる知識と技術に大きな差が生じていた。

これらの問題に対処するためには実験の実施方法の改善が必要である。少人数によるグループ学習の実施方法のひとつとして協調学習の一手法である「知識構成型ジグソー法」[3]が教育現場で報告されている。知識構成型ジグソー法とは、ジグソーパズルのようにあえて断片化された知識や課題をを持ち寄り課題解決のために知識を交換し統合することで各個人が課題全体を俯瞰的に理解することをたすける手法で

ある。知識構成型ジグソー法の詳細については2.1章で解説する。知識構成型ジグソー法を導入した授業や実験では、学生の学力に応じた課題の設定と、課題に取り組むための知識の断片化と各個人が取り組みやすいタスクへの細分化が、知識構成型ジグソー法の有効活用への鍵となる。

本稿では当校での情報系の実験実習に知識構成型ジグソー法を適用した結果について報告する。本科4年生を対象とした情報系実験実習にジグソー法を導入し、学習者がアルゴリズムとデータ構造の基礎知識を習得し、さらにそれらを問題解決のための応用するためのプログラミングスキルを体得するための実験実習を考案した。

以降では、はじめに実験課題に選定した課題について概要を述べる。次に、知識構成型ジグソー法とこれを導入した実習プログラムの詳細を説明し、この実施状況と得られた教育効果について報告する。最後に、知識構成型ジグソー法を導入した情報系科目の可能性について論ずる。

#### 2 実験実習：アルゴリズムとデータ構造の実装

北九州工業高等専門学校電子制御工学科本科4年次の教育カリキュラムには実験実習科目が組み込まれている。この科目は週1回2コマ連続で実施されており、著者はこの科目で2週間かけて取り組むテーマ「アルゴリズムとデータ構造の実装」を担当している。この実習を通して座学で習得した知識を実際に活用し問題解決する機会を学生に与えることを目的としている。

また、当該実習は情報系科目への取り組みへの動機付けや

\*<sup>1</sup> 北九州工業高等専門学校

知識習得の機会としても非常に重要である。前期に開講される情報処理 III の履修によって学生はアルゴリズムとデータ構造についての基本的な知識を座学により修得する。著者が担当するテーマは前期に実施されるため、情報処理 III の授業と連動させることが可能である。そのため、著者は学生がこの実習を通じてアルゴリズムとデータ構造に興味を抱き、関連知識を積極的に修得することを期待した。このような背景から、実習で取り組む課題の選定は情報処理 III の授業の進行と連動し、かつ比較的容易で明快な実験結果が得られる体験学習に適したものを検討した。

その結果、日程の進行とともに課題を変化させた。

2017年4月17日, 24日

線形探索, 2分探索, ユークリッドの互助法

2017年5月1日, 8日

配列とリスト, スタックとキュー, 木

2017年5月22日, 29日

ヒープ, 2分探索木, 平衡木

2017年6月19日, 26日

バブルソート, クイックソート, マージソート

2017年7月3日, 10日

バブルソート, クイックソート, マージソート

本科4年生がこの課題を行うことの利点は以下の通りである。

- (1) 情報処理 III で得た知識を自分なりにまとめて他人に説明することで知識の定着を促し、問題解決のための知識の活用を体験的に学習できる
- (2) ポスター発表やプログラミングによる実装などの明確なゴールが設定されており、実験へのモチベーションを維持し易く実験成功時の達成感が大きい
- (3) 必要な教材や情報収集の方法は情報処理 III の授業で示されている

学生が実習を進めるにあたり、アルゴリズムやデータ構造の原理やプログラミングによる実装、応用の例は情報処理 III で紹介されている。情報学の初心者である学生でも授業で得た知識や教科書から得た情報を参考にして自ら実験に着手し推進することが十分可能な環境が整っている。

## 2.1 知識構成型ジグソー法

「知識構成型ジグソー法」は、東京大学 CoREF が提唱するアクティブ・ラーニング型授業の一手法である [4, 6]。知

識構成型ジグソー法は従来のジグソー法 [1] が人種の融合など児童生徒の関わり合いの促進にあったのに対し、グループ内での意見交換を通して一人一人が学びを深めることにあたる。CoREF ホームページをもとに基本的な実施過程をまとめて以下に示す。

### STEP.0 問いを設定する

最初にクラスでの「問い（課題）」を設定する。この時、学生が既知っていることや、3つか4つの知識を部品として組み合わせることで解けるものになるように設定することが重要である。

### STEP.1 自分のわかっていることを意識化する

「問い」を受け取った学生が一人で今思いつく答えを書いておく。

### STEP.2 エキスパート活動で専門家になる

同じ資料を読み合うグループを作り、その資料に書かれた内容や意味を話し合い、グループで理解を深める。この活動をエキスパート活動と呼ぶ。

### STEP.3 ジグソー活動で交換・統合する

違う資料を読んだ人が一人ずついる新しいグループに組み替えてエキスパート活動によって理解した内容を説明し合う。

### STEP.4 クロストークで発表し、表現をみつける 問いへの

答えとその根拠をクラスで発表する。互いの答えと根拠を検討し、その違いを通して、一人ひとりが自分なりのまとめ方を吟味するチャンスが得られ、一人ひとりが納得する過程が生まれる。

### STEP.5 一人に戻る

はじめに立てられた問いに再び向き合い、最後は一人で問いに対する答えを記述する。

エキスパート活動からジグソー活動でのグループの構成の変化を分かりやすくするため、図 1 にそれぞれの活動におけるグループの変化を示す。各グループ内の図形は構成人員である。上述した知識構成型ジグソー法の実施手法を情報系実験実習に応用するため、グループの構成を超えた教科書の講読や図書館での資料集めなどの活動や、アルゴリズムとデータ構造についてのポスター発表、そしてプログラミングによる実装を取り入れて実習を計画した。

## 2.2 実験実習のデザイン

知識構成型ジグソー法の工学教育への適用例では、ロボット工学分野や宇宙工学分野での適用が検討され報告されてい

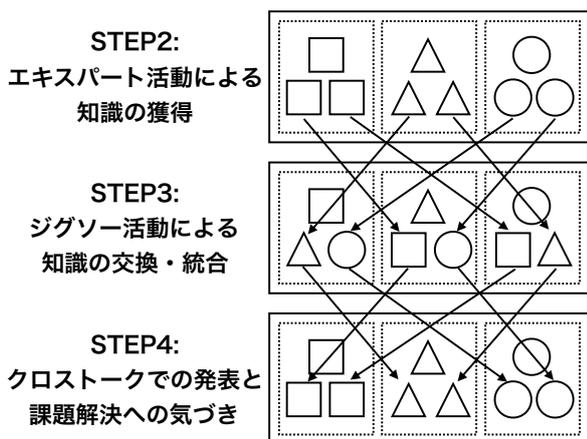


図 1 知識構成型ジグソー法の実施過程の概念図。

る [7, 5]. 先行する知識構成型ジグソー法の実施手法を参考に計画した実験実習「アルゴリズムとデータ構造の実装」の流れは以下のとおりである。

- (1) 実習の課題の説明を行い、2～3人1組のグループを構成させそれぞれに異なるアルゴリズムやデータ構造を担当させる。このグループをジグソーグループとする。
- (2) グループ内の学生同士の話し合いにより、概念の解説、処理の流れの解説、プログラミングの解説についてそれぞれ担当を決定させる。
- (3) 学生達の活動をグループ内に限定せず情報処理 III での教科書講読や図書館での資料集めなどを実施しそれぞれが担当する知識について詳しくなるように促した。この過程がエキスパート活動となる。
- (4) 学生達は再びジグソーグループを構成し、それぞれが学習した知識を持ち寄りポスターを作成する。
- (5) 学生達は作成したポスターを使って発表し、異なるグループと意見交換する。
- (6) C 言語によるプログラミングを行い、アルゴリズムやデータ構造が実装される様子を体験する。
- (7) 実習後、学生達は個人でレポートを作成し実習の課題に対する答えを記述する。

この計画によりグループ内の特定の個人に知識や作業が集中することなく、メンバー全員がそれぞれ責任を持って実習に参加し、グループ内での密なコミュニケーションにより課題達成に向かうことを期待した。

次に、実習の進行方法について説明する。2週かけて取り組む本テーマでは、第1週ではポスター発表まで取り組み、2週目では前半にポスター発表を行い課題解決のためのクロストークを実施した。その後プログラミングによるアルゴリズムやデータ構造の実装に取り組み、計算量やデータ処理の流れをプログラム実行により観察した。各回での実験終了後は各個人が実験レポートを作成し、クロストークによって共有した知識をもとに課題全体を俯瞰的にまとめ、プログラム実行の結果から各グループが担当したアルゴリズムやデータ構造の長所について考察した。

### 3 結果

実習開始時、北九州工業高等専門学校電子制御工学科4年生の大半は情報処理 III の履修を通してアルゴリズムとデータ構造の概念を理解しつつあるものの、その知識を自分なりの言葉で他者に説明したり、問題解決のためにそれらに応用する機会を与えられていなかった。

実習に1度に参加できる人数は8～9人であるため、グループ構成は2～3名で構成される3つのジグソーグループとグループを超えたエキスパート活動によって実習を進めた。実習にジグソー法を導入することで課題が細分化され、各個が取り組むタスクが明確になり実験全体の作業工程が明確になった。また、学生への指導は細分化した課題を小グループ単位で行いグループ内での学び合いを推奨したため、簡単な質問への対応は学生同士で解決するなど効率よく行うことが可能となった。

また、すべての学生がエキスパートとして活動し実験過程で必ず一度は作業責任者となるため、従来の実験で観察されたような、特定の学生があらゆる実験過程をこなしてしまうような負荷の偏りは発生しなかった。

図2は実験で作成したポスターである。ジグソーグループで行ったポスター作成および発表では学生間のコミュニケーションが密であり、エキスパート活動で習得した知識を学び合う能動的な学習姿勢が見られた。また、実験の後半では各グループが担当するアルゴリズムやデータ構造のプログラミングによる実装にも成功し達成感も得られた。図3は実験中に作成したソートアルゴリズムプログラムでソートに必要な計算時間を記録しグループで共有した様子である。

### 4 考察

本実習は情報処理 III の授業と連動しているため、本実習による教育効果を調査するため情報処理 III の期末試験終了後の成績を集計した。比較のため、2016年の成績(図4)と本研究による実験を実施した2017年の成績(図5)を示す。

集計結果から、学生全体の学習達成度が底上げされていることがわかる。実習を通して知識を習得し実際の問題解決に

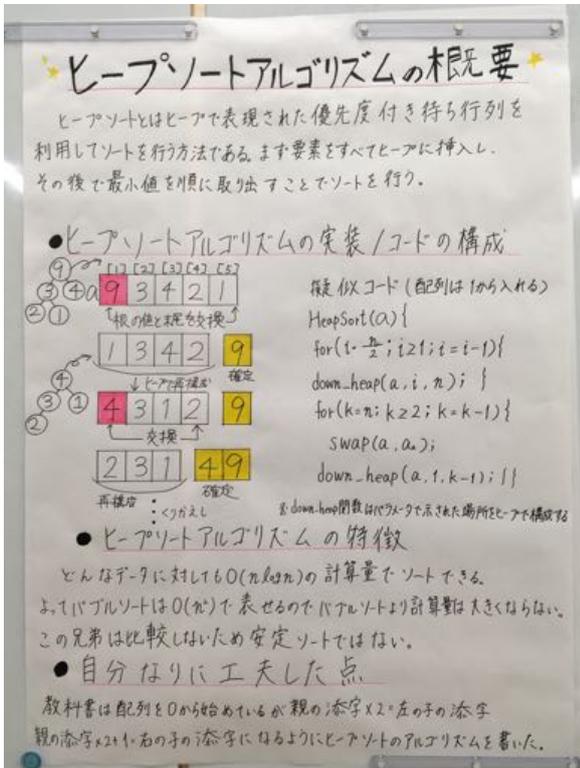


図 2 実験で作成したポスターの例.

応用する体験を得て、アルゴリズムとデータ構造全体への理解につながったのではないかと考えられる。

また実習中の取り組みやレポートの内容も含めた評価についても集計し、取り組み姿勢やレポートの内容の変化を調査した。比較のため、2016 年の評価 (図 6) と本研究による実験を実施した 2017 年の評価 (図 7) を示す。その結果、2016 年の実験では評価のばらつきがあるのに対して 2017 年の実験ではばらつきが少なく、さらに平均点は大幅に向上した。

これらの結果から経験的ながら本実習プログラムでは以下のような教育効果があったと考えられる。1) 実習中はすべての学生に責任と作業が発生し、特定の学生のみ作業が集中することはなかった、2) 実習が終了するまでグループ内で学生の団結が見られた 3) 実習中の取り組みを通して情報処理 III の授業の理解をたすけ、学生の学習達成度を全体的に底上げした

実験へのモチベーションを維持できた理由は、課題テーマが情報処理 III の進行と連動していたために特に定期試験前には試験勉強も兼ねて取り組むつもりで実習に取り組んだ学生が多かったことも一因と考えられる。どのような課題をグループに与えるか、他の科目との連動も非常に重要であると考えられる。特定の個人に作業負荷が集中せずグループ内で密に意見交換を実施できたことは、知識構成型ジグソー法を実習に導入した直接的な成果であると推測できる。これらの相乗効果によって、実習の目的であったアルゴリズムとデータ構造の基礎知識および問題解決のための技術の習得への動機付けを行うことができたと考えている。

	10,000	20,000	40,000	80,000	100,000
バブル (倉林)	0.355000	0.091000	4.870000	18.280000	29.500000
ヒープ (高外)	0.104000	0.431000	1.622000	6.348000	9.875000
マージ (岩瀬)	0.117000	0.338000	0.757000	1.1716000	2.157000
クイック (李)	0.233023	0.660066	1.565157	3.449345	4.381438
クイック (山)	0.001000	0.002000	0.004000	0.010000	0.014000

図 3 実験中に作成したソートアルゴリズムプログラムでソートに必要な計算時間を記録しグループで共有した。

the scores of the experiment in 2016

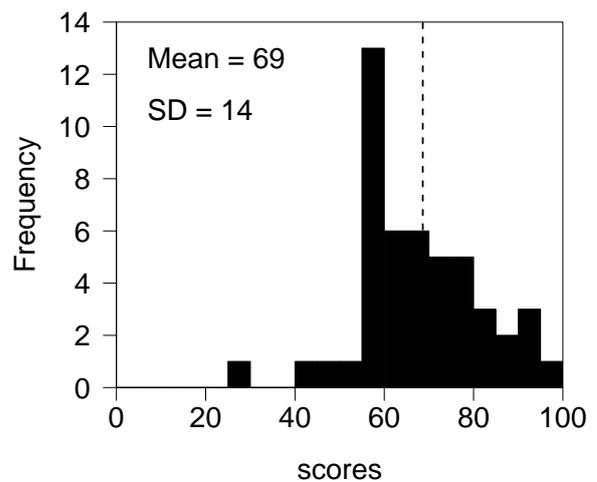


図 4 2016 年の情報処理 III の成績分布。図中の Mean は平均値、SD は標準偏差を示す。縦の破線により平均値の位置を示す。

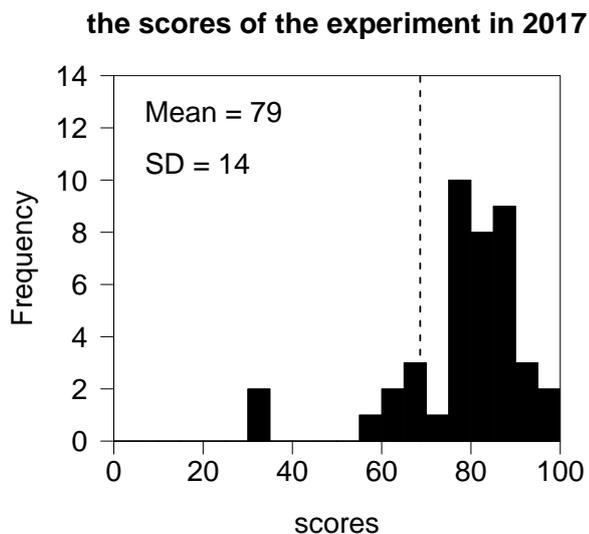


図 5 2017 年の情報処理 III の成績分布. 図 4 と同じフォーマットである.

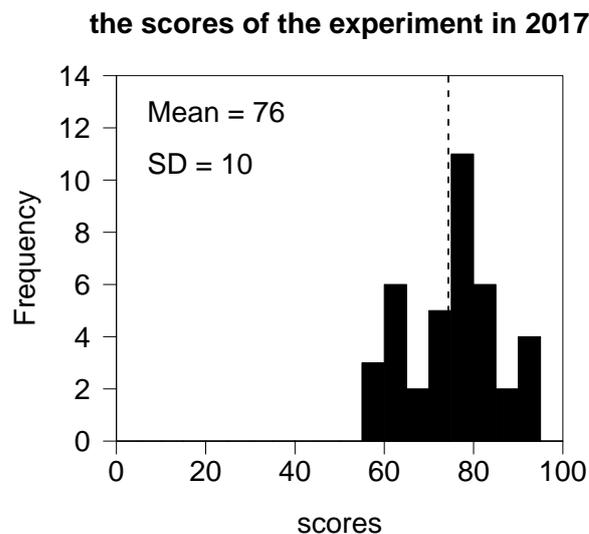


図 7 2017 年度実験実習：アルゴリズムとデータ構造の実装の評価分布. 図 4 と同じフォーマットである.

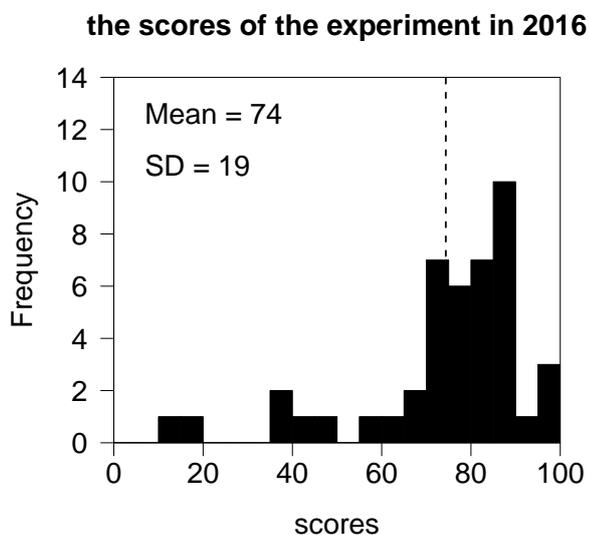


図 6 2016 年度実験実習：アルゴリズムとデータ構造の実装の評価分布. 図 4 と同じフォーマットである.

#### 4.1 知識構成型ジグソー法導入の課題

この実習プログラムを構築するにあたり、課題の設定および取り組み内容の考案に苦心した。結果的に今回の実習では、学生の学力に応じてジグソーグループで担当するアルゴリズ

ムの難易度やグループ内の分担作業の負荷は大筋では合致していたと思われるが、多様な学生が作業分担できるように難易度に応じた課題を何種類か検討しておくことが望ましい。しかしながら、細分化された課題に応じてグループ数が増加するため、多数のグループの並行指導に対応できるスタッフの増員や WEB 等による学習ツールの構築などの指導体制を準備しておくことも同時に必須であると思われる。今回報告した実習では、実習を進めることとなったが、指導教員ひとりですべてのエキスパート活動を同時並行して指導し、プログラミング実装の段階では個別のプログラミングについての質問に対応する場面もあり、指導者への負担は少なかった。

#### 4.2 今後の知識構成型ジグソー法導入の方針

本研究による知識構成型ジグソー法の導入は今年度のみの実践であり、学習成果・過程も詳細に分析していない試行段階のものである。それにも関わらず報告したのは今後の情報学教育に役立つ先行例となり得る可能性があり、知識構成型ジグソー法の応用と展開に関する示唆があると考えたからである。本稿により本校の授業および実験実習の改善のために新しい授業・実験形態を提示した。今後は単なる作業分担ではない協調学習としての実験のあり方や、授業と実験を連動させることで 4 年次で習得する知識をより深く自分の言葉で説明させるなど、能動的な学習形態を求めていきたい。

## 5 まとめ

本稿では知識構成型ジグソー法を導入した情報学教育の実践例として、北九州工業高等専門学校電子制御工学科の本科4年生を対象に実施したアルゴリズムとデータ構造の実装の実験実習を紹介し、知識構成型ジグソー法の教育効果向上の可能性について報告した。この実習では、グループ学習の実効性を向上させることを目標とし、その結果として学生による積極的な基礎知識の習得と学習意欲の向上を期待した。実習ではアルゴリズムやデータ構造を使って解決する課題をそれぞれ関連のつよい作業工程に分割し、各作業工程を担当するエキスパートグループを考案した。これらエキスパートから構成されるジグソーグループでポスター発表やプログラミング実装を実施しクロストーク活動を実施した。実習は情報処理 III の進行と連動していたため、実習の効果を確認するために情報処理 III の成績と実習のレポートへの評価を集計した。集計された成績と実習時の学生の様子からこの学習効果を検証したところ、基礎知識の習得や積極的な学習姿勢、さらに学習グループ内でのコミュニケーションなど、期待以上の学習効果が得られたものと推察する。今後は得られた経験を実験実習デザインに反映させ、学生の知識・技術の習得と学習意欲の向上につながる実習計画を検討していく。そのためには学生の学力に応じた作業工程の細分化や、エキスパートグループの設定、エキスパートグループ内での個別学習をサポートする指導体制の準備など、学生それぞれに対する課題の理解を助長することで、学習グループ全体に建設的相互作用を促進させる仕組みづくり [2] を構築することを考えている。

## 参考文献

- [1] E. Aronson. *The Jigsaw Classroom*. A SageView edition. SAGE Publications, 1978.
- [2] 遠山 紗矢香. 初期理解の構築支援による建設的相互作用の促進—認知科学の協調学習を例として—. *認知科学*, 20(2):177–203, 2013.
- [3] 三宅なほみ. 概念変化のための協調過程. *心理学評論*, 54:328–341, 2012.
- [4] 三宅なほみ, 齊藤 萌木, 飯窪 真也, 利根川 太郎. 学習者中心型授業へのアプローチ. *東京大学大学院教育学研究科紀要*, 51:441–458, 2011.
- [5] 村中 崇信, 白水 始. 宇宙教育プログラムへの知識構成型ジグソー法の導. *京都大学高等教育研究*, 20:39–48, 2011.
- [6] 東京大学 CoREF ウェブサイト. 知識構成型ジグソー法. <http://coref.u-tokyo.ac.jp/archives/5515>. Accessed: 2017-11-07.

- [7] 林原靖男, 琴坂信哉, 三宅なほみ, 佐藤知正. RT コンポーネントを用いたジグソー法によるロボット工学の教育手法とその論文化に関する検討. In 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, pages RSJ2011AC2C1–3, 2011.

(2017 年 11 月 6 日 受理)