

宇宙教育プログラムへの知識構成型ジグソー法の導入

村 中 崇 信

(中京大学工学部電気電子工学科)

白 水 始

(国立教育政策研究所初等中等教育研究部／教育研究情報センター)

Integrating the Knowledge Constructive Jigsaw Method into a Space Education Program

Takanobu Muranaka

(Department of Electrical and Electronic Engineering, School of Engineering, Chukyo University)

Hajime Shirouzu

(Department for Elementary and Secondary Education Research/Educational Resources Research Center
National Institute for Educational Policy Research)

Summary

This study discusses the integration of a collaborative learning method called the “Knowledge Constructive Jigsaw” (KCJ) into a space education program at Chukyo University using a satellite communication lab experiment intended to introduce undergraduates to space engineering. The program was designed so that it would resemble a familiar space communication experiment, thus allowing beginners in space engineering to perform it without possessing highly technical knowledge. The KCJ method was adapted to the experiment’s procedures in order to improve the program’s educational effectiveness. A small group dubbed the “jigsaw group” devised these procedures by integrating what each group member learned in the “expert group.” Each of them was called an “expert,” and was trained to obtain the technical skills necessary to conduct the experiment in the expert group. Obtaining these aforementioned skills increased participants’ motivation during the experiments. Moreover, communication among members in each group grew sufficiently to facilitate the exchange of technical knowledge between them. These results demonstrate that the jigsaw method not only enabled beginners to obtain technical skills but also promoted an interest in space. In the future, jigsaw groups should be formed according to each member’s level of expertise, and educational support should be provided for group activities in order to assess the scalability of the KCJ method to engineering domains.

キーワード：知識構成型ジグソー法、宇宙教育、ゼミ実習、衛星通信

Keywords: Knowledge Constructive Jigsaw Method, Space Education, Seminar Program, Satellite Communication, Scalability

1. はじめに

大学理工系学部において、物理学や工学の初学者を対象とした実験科目は、学生にとって座学で習得した知識の理解をたすけ実験技術を習得する重要な科目である。一般に、これらの実習教育では、少人数によるグループ単位で課題に着手することが通常であるが、このようなグループ実習では、参加する学生の学力や積極性に依存して個人のモチベーションに差があり、実習グループ内では特定の個人に作業が集中しがちである。また、初学者にとっては専門性の高い実習の全体像を把握することは容易でなく、課題達成までの道筋を立てにくいことも予想される。その結果として、実習を通してグループ内の学生間で作業量や課題に対する理解度に大きな差が生じる可能性がある。特に、

教員ひとりあたりが指導する学生数が多数となる場合は、時間的制約からも学生個人への指導に限界があるため、このような問題の発生が顕著となり得る。これらの問題を改善するためには、実習課題そのものよりもその実施方法の検討がより必要であると考えられるが、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」の仕掛け（三宅，2012）が教育現場で報告されている。

知識構成型ジグソー法は、後述するように、学習活動の形態は制約するものの、そこで取り扱う課題や資料内容は授業者に任せられるという意味で、授業の「型」にすぎない。つまり、特定の教科等の内容に基づいたパッケージではない。それゆえ、授業者が自らのニーズに基づいて手法の有効性や効果的な使い方を判断し、その専門分野の内容と融合させる必要がある。これは授業者による柔軟な型の活用・修正とその背後の理論の吟味を可能にする利点を持つ反面、一見どう使えば良いのかが分からない課題も持つ。この後者の課題をいかにクリアすることができるのが、ジグソー法の新規分野へのスケールアップの鍵となる。

本稿では、中京大学工学部電気宇宙工学研究室における宇宙教育に知識構成型ジグソー法を適用した実践と、実践を通じて見えたジグソー法の新規分野へのスケールアップの可能性について報告する。近年の宇宙を題材とした教育活動は、大学等における専門教育に留まることなく、ひろく一般に向けた科学教育の普及活動としても積極的に行われている。このような背景から、参加者の年齢や学力に応じた様々な教育プログラムが考案され、そのための教材もインターネット等で公開されている（JAXA 教育センター，2014）。これらの教育プログラムは、深い専門性を要求することなく宇宙科学および宇宙工学の魅力を体験できるため、これから宇宙分野を志す大学学部生への初学者向け教育教材としても価値あるものと考えられる。そこで著者らは、このような初学者向け宇宙教育の教材を理工系学部生（本稿では理工系学部3年生）を対象とした宇宙教育に用いて、学習者が宇宙工学の基礎知識を習得し、さらに今後の研究活動の動機付けとなる実習プログラムを考案した。この実習プログラムはグループ学習の形態をとりながら、知識構成型ジグソー法による協調学習を導入することで、前述した一般的なグループ学習で想定される学習上の諸問題の改善を試み、より高い学習効果が得られるよう工夫した。

以降では、はじめに、この実習プログラムの教育的位置づけと実験課題に選定した衛星通信実験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、今回の実践に至る経緯や背景を解説することを通して、ジグソー法のスケールアップの可能性について論ずる。

2. 衛星通信を題材とした学部生向け実習プログラムの検討

2.1. 実習課題の選定

中京大学工学部（旧情報理工学部）では、特定の研究室での実験実習科目が学部3年次の教育カリキュラムに組込まれている。この科目は週1回2コマ連続で実施され、指導内容は研究室の担当教員に一任されている。この実習を修了した学生は、通常当該研究室で卒業研究を継続するため、ここでの実習は卒業研究に向けた研究の動機付けや基礎知識習得の機会としても非常に重要である。宇宙工学を研究テーマとする当研究室では、参集する学生がこの実習を通じて宇宙工学分野に興味を抱き、関係する基礎知識を積極的に習得することを期待した。このような背景から、実習課題の選定は、比較的簡易な準備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、衛星通信を題材とした教材としてひろく紹介されている、アメリカ海洋大気局（NOAA）の気象観測衛星（NOAA, 2014: NOAA-POSE シリーズ、以後 NOAA 衛星と呼ぶ）からの画像データ受信と復号による可視化を実習課題として採用した。宇宙工学初学者である学部3年生がこの課題を行うことの利点は、1) 衛星の軌道や衛星通信に関する基礎知識を体験的に学習することができる、2) 気象画像の取得というゴールが明確なため、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) 必要な機器等の準備や情報収集が比較的容易である、などが挙げられる。3) について補足すると、必要な受信機等のハードウェアはすべて市販の無線機器で対応可能であり、画像解析等に必要ソフトウェアもインターネット経由で無償入手可能である。また、学生が実習を進めるにあたり、この実験の実施例は多く紹介されており（例えば JAXA 教育センター教材，2014；高橋，2009；鈴木，2011）、宇宙工学や通信工学の初心者である学生でも、これらの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。

2.2. 衛星通信実験の概要

NOAA 衛星は地表高度およそ 800 km で周回する極軌道衛星であり、およそ 100 分で地球を周回しながら気象画像を観測し、同時にこの画像を所定のフォーマットで符号化して地上に送信している。地上ではこの情報を通信機器で受信し、このフォーマットに従って復号することで衛星が観測した気象画像を得ることができる。この実験の要点は、地上の観測者に対して高速で移動する電波源との通信システムの構築を行うものであり、衛星の軌道、衛星の大まかな構成、電波による高速移動物体との通信の基礎、通信システムに関係する電気工作とソフトウェアの操作を学習することができる。

ここで、この実験をもう少し詳しく説明する。気象画像取得に必要な作業を大別すると、1) 衛星の軌道情報の入手、2) アンテナと受信機の調整、3) 受信画像の解析の3つである。作業1) は先に説明したように、ある観測地点と地球を周回する NOAA 衛星との交信可能な時間が衛星の軌道運動で決まっており、このときの通信可能時間は10分程度である。そのため、実験に際して観測地点上空を衛星が通過する時刻を事前に知っておく必要がある。この情報は、ソフトウェア Calsat32 (Calsat32, 2014) および WXtoImg (WXtoImg, 2014) などを知ることができる。ソフトウェア WXtoImg による衛星軌道情報表示例を表1に示す。作業2) は無線通信に関する基礎的技術である。この実験では NOAA 衛星から APT (Automatic Picture Transmission) によって信号処理されたアナログ信号を受信するが、この通信で使用する電波の中心周波数が 137 MHz であるため、受信に必要なアンテナと受信機は、広く市販されているアマチュア無線用機器で対応できる。APT では画像情報を FM 波で送信するため、受信機側では FM 放送受信と同様に周波数調整とノイズカット調整が必要となる。受信機は受信した画像情報を音声信号に変換し出力する。作業3) は専用ソフトウェア WXtoImg を使用して、受信した画像情報を気象画像に復号する一連の作業である。WXtoImg は受信機から出力される AM 音声信号を復号して気象画像に変換するため、受信機および PC 上での音量調整が必要と

表 1 衛星通過時刻および軌道条件表の例

2012-08-30 UTC							
Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	N	83E	138E	08-30 12:49:42	03:49:42	11:55	137.1000
NOAA 18	N	65E	141E	08-30 13:56:44	04:56:44	11:41	137.9125
NOAA 15	N	45E	145E	08-30 15:32:34	06:32:34	10:53	137.6200
NOAA 17	N	57W	132E	08-30 18:53:06	09:53:06	11:14	137.5000
NOAA 19	S	49E	144E	08-31 01:15:41	16:15:41	11:23	137.1000
NOAA 18	S	37E	147E	08-31 02:22:35	17:22:35	11:04	137.9125
NOAA 15	S	22E	152E	08-31 03:51:51	18:51:51	9:09	137.6200
NOAA 18	S	26W	123E	08-31 04:03:37	19:03:37	10:00	137.9125
NOAA 15	S	39W	128E	08-31 05:31:02	20:31:02	10:35	137.6200
NOAA 17	S	76E	139E	08-31 07:12:00	22:12:00	11:27	137.5000

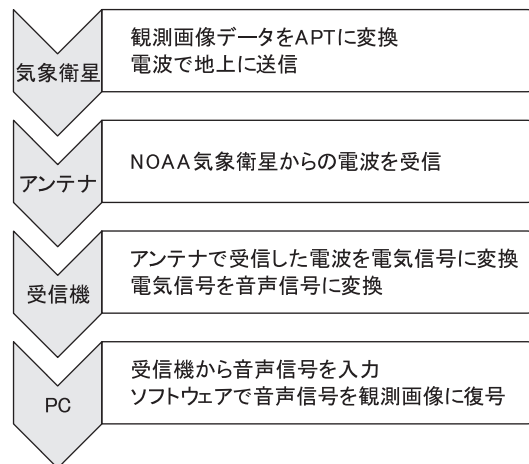


図 1 気象画像可視化までのデータの流れ

表2 今回実験に使用した通信機器とソフトウェア

受信機器	
受信機	AOR 社製 AR8600 Mk2
アンテナ	受信機付属ロッドアンテナ
解析ソフトウェア（フリー）	
受信画像の復号	WXtoImg
衛星軌道解析	Calsat32, WXtoImg（一部機能）

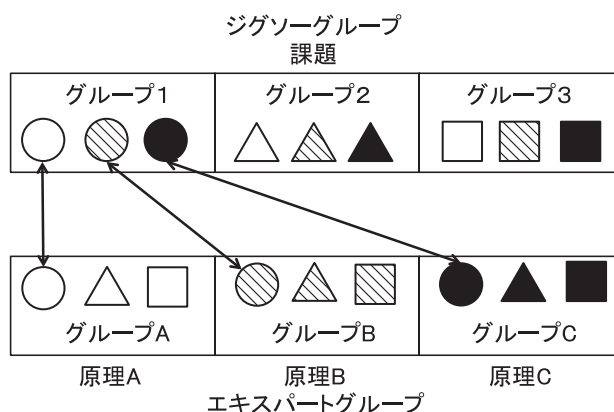


図2 ジグソー法による学習グループの分割例。各グループ内の図形は構成員を示す。

なる。ここで紹介した解析ソフトウェア Calsat32 と WXtoImg はいずれもフリーソフトであり、インターネット経由で入手できる。簡単のために、本実験では見通しの良い場所に実験機材一式を運搬し、その場で衛星からの電波を受信する。図1にNOAA衛星と通信して気象画像をソフトウェアで可視化するまでの情報の流れを示す。それぞれのプロセスで、画像情報は電波から電気信号、そして音声信号に変換される。また、表2に本実験で使用した機器とソフトウェアをまとめておく。

3. 知識構成型ジグソー法を導入した実習プログラムの構築

3.1. 知識構成型ジグソー法

知識構成型ジグソー法とは教育手法のひとつであり、世界でひろく実践された社会心理学者アロンソンらの「ジグソー法」を、「問い」を明確にして「知識を構成すること」を主眼として協調学習の手法に編み直したものである。知識構成型ジグソー法の工学教育への適用例では、ロボット工学分野での適用が検討され報告されている（林原ほか、2011）。図2に、ジグソー法（以下簡単のために知識構成型ジグソー法を「ジグソー法」と略す）によるグループ学習の方法とグループの分割例を示す。はじめに、ジグソー法ではある課題を議論するグループをつくる。これをジグソーグループとする。ここでは3名からなるジグソーグループを仮定する。次に、ジグソーグループのメンバーを3分割して新たなグループを作り、このグループでは課題に対して原理に基づく調査を行う。このグループをエキスパートグループと呼称する。原理を3つ用意すれば、もとのジグソーグループの構成メンバーそれぞれが別々の原理について調査する事となる。この後、エキスパートグループのメンバーは、元のジグソーグループに戻り、それぞれがエキスパートとして持つ固有の知識を統合して、もとの課題に対する議論を行う。よって、ジグソー法では、グループを構成するメンバーそれぞれが、課題解決に向け貢献し得る環境が形成される。

3.2. ジグソー法を導入した実習プログラムの構築

グループ学習による実習プログラムを構築するにあたり、予想される問題を解決しつつ学習の実効性を向上させるために、グループ構成方法にジグソー法による協調学習の仕掛けを導入することとした。この仕掛けによって、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

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。

前述した衛星通信の実験手順を踏まえて、この実験をジグソー法に倣った実習プログラムとして構成することを考える。はじめに、ジグソーグループで共有する課題は、「気象画像の可視化」という目標を設定した。この課題は達成度が明快であり、グループ内メンバーで最終目的を共有するのに極めて適している。次にエキスパートグループは、2.2. で述べた実験項目別に3グループとした。この3グループをグループA、B、およびCとし、実習におけるそれぞれの役割と作業内容を以下のように設定した。

1) グループA：ソフトウェア担当

- ・ Calsat32 および WXtoImg の PC へのインストールと動作確認
- ・ Calsat32 および WXtoImg による衛星軌道の確認
- ・ 実験中の WXtoImg による画像データ取得の確認と取得画像の復号

2) グループB：受信機とアンテナ担当

- ・ アンテナの基礎知識と受信機の基本操作の習得
- ・ 受信する電波の周波数に合わせた、アンテナ長と受信機の調整
- ・ 実験中は、受信機の周波数調整、ノイズ調整と PC への入力音量調整を行う

3) グループC：電波強度計測担当

- ・ スペクトラムアナライザの操作方法の習得
- ・ スペクトラムアナライザによる NOAA-POSE の電波強度を測定する

実験に至るまでのすべての準備作業は、各エキスパートグループが責任を持って担当し、実験本番は再びジグソーグループに戻って実施する。ただし、実験結果の総括となる受信画像の解析作業は、上記担当に関わりなくジグソーグループ全体の作業とした。エキスパートグループの分割手法は作業分担とも見えるが、それぞれが独立可能である単純な作業分担とは性質が異なる。各担当作業はそれぞれに相関があり、ジグソーグループで実験を成功させるためには、ジグソーグループ内の各エキスパート間の情報共有と作業連携が実験成功の鍵となる。このため、各エキスパートは分担した知識と実験技術を正しく習得した後、これらを他のエキスパートと共有するコミュニケーション能力が必要となる。ここで、グループCの実験については、NOAA 衛星からの電波強度を定量的に測定する実験であり、気象画像データ受信と解析実験から分離して実施することも可能である。

次に、実習の進行方法について説明する。ここでは実習は全7回（1回90分）で構成し、それを全15回の授業中に2回繰り返した。全7回の各回は表3に示すように、ジグソーグループとエキスパートグループそれぞれを対象と

表3 全7回で構成した実習の内容

第1回 ジグソーグループ
・ 実習プロジェクト説明 ・ ジグソーグループ決定 ・ 担当作業の説明とエキスパートグループの決定 ・ 衛星軌道、通信など実験前基礎知識の共有
第2回 エキスパートグループ
・ 実験機器およびソフトウェアの準備と動作確認 ・ グループA：衛星軌道解析ソフトウェア、画像解析ソフトウェアの動作確認 ・ グループB：受信機の動作確認 ・ グループC：予備的電波強度測定
第3回 エキスパートグループ
・ 各担当の予備実験
第4、5、6回 ジグソーグループ
・ 本実験（実験および実験後の反省と改善）
第7回 ジグソーグループ
・ 成果報告会およびレポート提出

した実験準備と、ジグソーグループによる本実験から構成されている。第1回は実習プロジェクトの説明とジグソーグループ、エキスパートグループの分割を行った。その後、学生全員に対して衛星軌道や衛星通信に関わる基礎知識の共有を行った。第2回では、エキスパートグループに別れて、それぞれが担当する受信機やソフトウェアの準備を行い、動作確認を行った。続く第3回では、本実験を想定した受信機およびソフトウェアの動作確認と予備的電波強度測定を行った。第4、5、6回はジグソーグループで本実験を実施した。各回での実験終了後は、ジグソーグループ内およびエキスパートグループ内で実験結果の共有と、実験結果を踏まえて次回実験までの改善点の議論を行った。第7回では、まとめとして成果報告会を実施した。

4. 本実習プログラムの実習状況と教育効果の考察

4.1. 実習状況と実験結果

今回実習に参加した学生は、中京大学情報理工学部3年生7名で、実習開始時において全員が宇宙工学初学者であった。参加学生数に応じて、グループ構成は2つのジグソーグループ（メンバー3名もしくは4名）と3つのエキスパートグループ（メンバー2名もしくは3名）として実習を進めた。実習にジグソー法を導入することで課題が細分化され、達成までの道筋が明確となった。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うことから、効率よく行うことが可能となった。実習では、すべての学生がエキスパートとして何れかの作業責任者として実験に関与するため、特定の学生のみ作業が集中することはなかった。ジグソーグループで行った衛星通信実験では、概して学生間のコミュニケーションが密であり、エキスパートグループで習得した担当スキルを互いに他者と共有し合う積極的な学習姿勢が見られた。複数回の実験の結果、最終的にNOAA 気象衛星が観測した画像の受信と可視化にも成功した。実験の様子を図3に、実験成功時に取得できた気象画像の解析結果を図4にそれぞれ示す。



図3 実際の衛星通信実験の様子

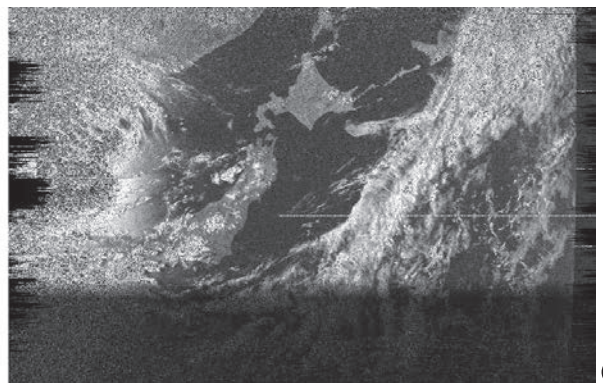
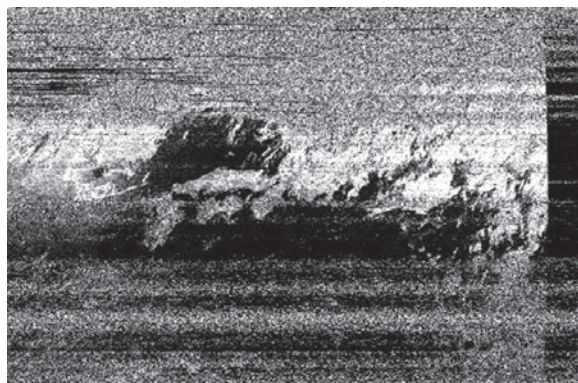


図4 中京大学豊田キャンパスにおいて取得したNOAA-15衛星の気象画像：(a) 本実習で学生が取得したものと、(b) 予備実験で指導教員が取得したもの。両画像は雲と陸地が視認出来る範囲を抽出した。

4.2. 本実習プログラムの教育効果の考察

本実習プログラムの教育効果を調査するために、実習終了時にアンケートを実施した。アンケートでは教育効果の概要を判定するために、技術の習得とモチベーションの向上に関する次の4項目を問うた。それらは、1) プロジェクト全体についての感想、2) 作業中で最も面白かったところ、困難だったところ、3) このプロジェクトを通じて身に付いたこと、4) プロジェクト担当作業の理解度、である。1) から3) の回答はそれぞれ原文のまま以下に示し、4) は回答結果をグラフ化して図5に示す。尚、アンケート結果については、回答した学生7名をA～Gで区別し、対応する回答者を括弧内に明示した。

1) プロジェクト全体についての感想

- ・衛星画像の取得に成功し、達成感のある実習だった（学生A）
- ・衛星を身近に感じる事ができた（学生B、C）
- ・座学での学習が実験に直接役立ってよかった（学生D）
- ・基礎知識がなく不安だったが実験が成功して良かった（学生E）
- ・受信機等機器の操作を学ぶことができてよかった（学生F、G）

2) 作業中で最も面白かったところ、困難だったところ

面白かったところ

- ・実験中リアルタイムに衛星の軌道を確認できたこと（学生A、B）
- ・実験計画の立案（学生C、F）
- ・衛星観測画像がモニターできたとき（学生D、F）
- ・衛星からの電波を受信して、音として聞こえたとき（学生E、F、G）
- ・実験の精度を向上させるための工夫作業（学生G）

困難だったところ

- ・実験中の通信機器の調整（学生A、B、C、F、G）
- ・ソフトウェアの操作（学生D、E）

3) このプロジェクトを通じて身に付いたこと

- ・衛星および電波についての基礎知識（学生A、D、E、G）
- ・実験機器の使用方法（学生A、B、D、E、F）
- ・実験への取り組み姿勢。失敗を繰り返し成功に繋がる体験（学生C）
- ・アンテナについての基礎知識（学生D、F、G）

ここまでのアンケート結果を考察すると、参加7名すべての学生が肯定的反応を示していることが分かる。実習に必要な最低限の知識と機器操作を習得し、それを実際の実験に応用した結果、成功体験に繋がったことへの喜びが見て取れる。また、学習することや試行錯誤することの意義を体験できたことも分かる。さらに、実験を通じて衛星を身近に感じることで、この実習が宇宙工学への導入としての役割を果たすことができたことも伺うことができる。

4) プロジェクト担当作業の理解度

この項目では、各人がエキスパートグループで担当した作業の理解度を自己判定で問うた。アンケートを学期終了時点で実施したため、アンケート記入時に学生は前半と後半のプロジェクトに関与した結果2つのエキスパートグループで作業を経験している。アンケート結果をグラフ化したものを図5に示す。このグラフは前述したAからCの3つの担当作業の理解度を学生自身が10点満点で自己評価した得点状況を示している。横軸には各自が担当した作業のうち最も理解度が高かった作業を担当1とし、その得点を示す。縦軸には、その他2つの担当作業の理解度を担当1の得点の相対値でそれぞれ示す。このうち、担当2は開講期間中実施した2回の実習プログラムのなかでエキスパートとして担当経験を有し、担当3は作業担当として学習経験が全くなかったものである。このグラフから判定する限り、学生が主に担当した作業の理解度の自己評価が総じて高いと言える。また、全く担当しなかった作業への自己評価もある程度の値を示すが、その多くは主に担当した作業のものと比較すると高いとはいえない。これは、学習課題が要請する統合よりも、エキスパート活動や資料の習熟に力点が置かれたジグソー法の授業の場合によく起きる現象であり（三宅、2006）、今後に向けた課題と言える。

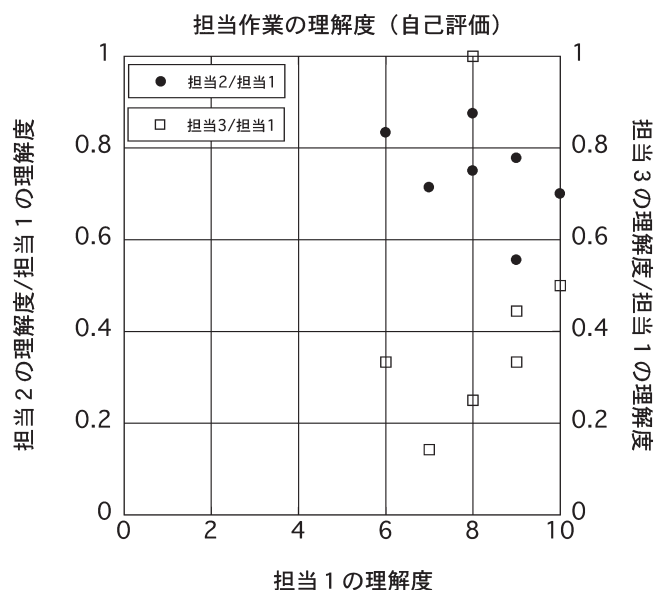


図5 学生の自己評価による担当作業の理解度

アンケート結果と実習中における学習姿勢を総括すると、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) 学生の実験へのモチベーションが総じて高かった。
- 2) 実験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。
- 3) 実験が成功するまではグループ内で学生の団結が見られた。
- 4) 実験成功後は、学生らのこの実験への更なるモチベーションの向上が見られ、実験手法の改善方法の検討など、積極的な学習姿勢が見られた。
- 5) 衛星通信の基礎知識と電波受信の基礎技術が実習を通じて習得できた。
- 6) 衛星通信を題材とした体験学習によって、初学者に宇宙工学への動機付けを行う事ができた。

実験へのモチベーションが高かった理由は、課題テーマが人工衛星に関するものでそれ自体に興味があったことも一因と考えられる。よって、課題テーマの選択も非常に重要であると考えられる。特定の個人に集中することのない学生間の作業分担と学生間の密なコミュニケーションは、実習プログラムにジグソー法を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衛星通信の基礎知識および技術の習得と、宇宙工学研究への動機付けを行うことができたと考えている。

4.3. ジグソー法導入に対する課題

この実習プログラムを構築するにあたり、課題テーマの達成を導くエキスパートグループの考案に苦心した。参集する学生の学力が未知数であるなかで、彼らの学力に応じたエキスパートグループ内分担作業の難易度と作業工程を設定する判断材料が乏しいまま作業項目を設定した。

結果的に今回の実習では、設定したエキスパートグループ内の分担作業の難易度と参集した学生の学力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エキスパートグループをあらかじめ検討しておくことが望ましい。しかしながら、これは実験を構成するエキスパートグループ数が増加するため、多数のエキスパート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、学習指導をサポートする準備が十分出来ないまま実習を進めることとなったが、指導教員ひとりで最大3つのエキスパートグループを同時並行して指導する場面もあり、指導者への負担は少なくなかった。

4.4. 本実践の位置付け

本実践は、一回きりの実践で参加者数も少なく、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、今後の工学教育に役立つ先行例となり得る可能性、及び、学習科学的な授業の「型」（知識構成型ジグソー法）の普及に関する示唆があると考えたからである。

工学教育に役立つ点は、少人数ゼミ教育での協調学習の在り方、及び、そのための学習課題の設定の2点である。私立大学中堅理系学部では往々にして、1、2年生時の大人数教室での教育に限界を感じ、2年次にゼミ配属を前倒しするなど、少人数教育を早期から行うことがある。そこでは、学部上級生や大学院生が大学教員と共に下級生の指導に当たる、一種の「認知的徒弟制」（Collins et al., 1989）が行われやすい。そこには徒弟制の特徴として、学ぶ意味や目的が掴みやすい利点、学習成果を現実の課題に適用して自分の理解度や習熟度をチェックできる利点や、熟達度の異なる先輩から教わることができる利点などが備わりやすい。その反面、学習者の興味関心やスキルに応じて異なる学習課題にOJT的に取り組むことが多くなり、ゼミの同級生同士で共通課題を達成することなどは少ない。特に、工学部の場合は、大学教員の取り組む研究課題が下位分割されて大学院生や学部生に任されることが多く、学生レベルでの知識や技能の統合は生じ難い。それゆえ、本実践のような、たとえ7名の少人数でも、その中で役割を分担し知識や技能を交換しながら、共通に取り組む協調学習は、新しいゼミ教育の在り方として意味があるだろう。

上記の協調学習成立のためには、学習課題の設定が重要になる。今回は、人工衛星からの電波を受信して気象画像として可視化するという、極めて具体的に明確な課題であった。また、技術的な観点から言えば、学習者が最初には不可能に見えても、要素技術を学んで統合すれば実現できると感じられる課題であった。こうした特徴が、学生の動機付けを高め、協調的な知識統合を促進した可能性が考えられる。今後、少人数ゼミ教育での協調学習の在り方を考えるために、デザイン実験を通じて、こうした要因を一つ一つ確かめていく研究が求められる。

本実践が学習科学の実践の普及（スケールアップ）に関して与えた示唆は、次のようなものである。本実践は、中京大学工学部電気電子工学科（学生はその前身の情報理工学部情報システム工学科所属）においてであったが、同学部別学科の情報知能学科（及び、その前身の情報科学部認知科学科）では、認知科学の研究者兼教員が、教育目標と方法、評価を一体的にデザインし、ハンズオンやジグソー、反転授業など、今でいえばアクティブラーニングと呼ばれる協調的な学習法を駆使した実践を行い、成果を評価し改善するデザイン研究を2000年頃から10年以上にわたって行っていた（例えば白水・三宅，2009）。問題は、「もし実践が成果を上げていたのであれば、なぜ同一学部の他学科に波及しなかったのか」ということである。その全期間に在籍した第二著者が知る範囲では、10年間に4回、次のような大きな機会があった。

- [1] 2003～2005年度 授業公開：認知科学科で行っていた2年生対象の一学期をかけたジグソー授業を他学科教員に公開し、及び学生の説明の聞き手として参加してもらった
- [2] 2005年度 学部改組に向けたシラバス改訂：情報科学部から情報理工学部の改訂に際し、全学科の1、2年次のシラバスを他学科教員と吟味し、基礎教育の在り方を集中的に議論した
- [3] 2006年度 文部科学省関連事業への申請：情報知能学科のモデル授業を核として全学科に波及させる案の申請時に、基礎教育の連携を集中的に議論した
- [4] 2013年度 工学部1年生に向けたオリエンテーション合宿での知識構成型ジグソー授業実演：2013年度の情報理工学部からの工学部の改訂に際し、電気電子工学科への初めての入学生対象に第二著者が120分で「電気ポットでなぜ湯が沸くのか？」というジグソー授業を行った。第一著者もその場に居合わせ、授業を参観するとともに、学生のポスター発表の聞き手などを務めた。

上記のような機会にも関わらず、ジグソー学習法を認知科学科（情報知能学科）以外の教員が採り入れて教育の質が上がったと報告したのは、上記[4]を契機とした第一著者の本実践が初めてだった。その鍵は、第一著者の資質にもあるだろうが、第一著者の属する学科の学生を相手に、その専門分野を対象としたジグソー授業実践を、1コマで完結するサイズで行った点にもあったと考えられる。上記[1]、[2]の場合は、学期（や少なくとも単位）にわたるサイズの認知科学科（情報知能学科）用のジグソー授業すべてを参観、もしくは応用してもらおうとしていたが、[3]の当時から1コマ単位で完結するモデル授業を構想するなど、「サイズ」の縮小を志向し始めた。それが[4]で、普及先の学習者を対象に、彼・彼女らが話し合いながら考える協調的な学習の姿を他学科教員に観察可能な形で示す

模擬授業に至ったと言える。加えて、第一著者は、少人数ゼミの教育の在り方を模索し、単なる作業分担ではない協調学習や、3年次の学習が卒業研究のリサーチクエストにつながるなど、学んだことが次の学びへと繋がる学習形態を求めている。

以上の経緯は、スケールアップのために、新しい学習観を示しうる授業を、「自分でもやれば手に届く」と思えるような具体的な「型」(知識構成型ジグソー法)で提供すること、そして、見る側もその「一見」の機会を活用できる課題意識を持っていることの両方が必要であることを示唆している。

5. まとめ

本稿では、ジグソー法を導入した宇宙教育の実践例として、中京大学工学部において実施した衛星通信を題材とした初学者向け実習プログラムを紹介し、この実践を通じて見えたジグソー法の新規分野へのスケールアップの可能性について報告した。この実習プログラムでは、ジグソー法による協調学習の仕掛けを導入して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。実験へのジグソー法の導入では、衛星通信実験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衛星通信実験を実施した。実習後に実施したアンケート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、実習に対する学生の満足度は総じて高く、また、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。この実習は学部3年生を対象に行われたが、卒業研究に向けた研究への動機付けとしても十分機能したと考えている。今後は、得られた経験を実習プログラムにフィードバックし、学生の知識・技術の習得と学習意欲の向上により実効性の高い実習方法を検討していく。実験において難易度に応じた作業工程の細分化によるエキスパートグループの再構築や、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、参集する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(遠山、2013)を構築することを考えている。

参考文献

- Calsat32 (2014). http://homepage1.nifty.com/aida/jr1huo_calsat32/index.html (2014.08.31 retrieved)
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- JAXA 宇宙教育センター (2014). <http://edu.jaxa.jp/> (2014.08.31 retrieved)
- JAXA 宇宙教育センター教材 (2014). 「人工衛星の電波をキャッチしようⅡ」
<http://edu.jaxa.jp/materialDB/detail/78845> (2014.08.31 retrieved)
- 三宅なほみ (2006). 「学習科学：協調的な実践科学と理論構築との互恵関係を目指して」『人工知能学会誌』 21, 77-84.
- 三宅なほみ (2012). 「概念変化のための協調過程」『心理学評論』 54, 328-341 頁.
- NOAA POSE (2014). <http://www.ospo.noaa.gov/Operations/POES/index.html> (2014.08.31 retrieved)
- 白水始・三宅なほみ (2009). 「認知科学的視点に基づく認知科学教育カリキュラムー『スキーマ』の学習を例に一」『認知科学』, 16, 348-376 頁.
- 鈴木憲次 (2011). 『気象衛星 NOAA レシーバの製作』 CQ 出版社.
- 高橋恭一 (2009). 「長岡工業専門学校における極軌道衛星からの APT (AUTOMATIC PICTURE TRANSMISSION) 信号受信の試み」『長岡工業専門学校研究紀要』 第 45 巻第 2 号、81-88 頁.
- 遠山紗矢香 (2013). 「初期理解の構築支援による建設的相互作用の促進ー認知科学の協調学習を例としてー」『認知科学』, 20 巻 2 号, 177-203 頁.
- WXtoImg (2014). <http://www.wxtoimg.com/> (2014.08.31 retrieved)
- 林原靖男, 琴坂信哉, 三宅なほみ, 佐藤知正 (2011). 「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」『第 29 回日本ロボット学会学術講演会』, RSJ2011AC2C1-3.