

機能機構階層図を用いた知識構成型ジグソー法による学習の分析 Analysis of Learning in Knowledge –Constructive Jigsaw Method by Function Mechanism Hierarchy

大崎 理乃[†], 三宅 なほみ[‡]
Ayano Ohsaki, Naomi Miyake

[†]岡山大学, [‡]東京大学
Okayama University, The University of Tokyo
ohsaki@okayama-u.ac.jp

Abstract

This paper reveals the model of an analysis of students' conceptual change through the Knowledge-Constructive Jigsaw (KCJ) which is a method of Collaborative Learning. Recently, KCJ has drawn attention for conceptual change in elementary education, secondary education, and higher education. Little is known about the process of conceptual change. We suggested using the Function Mechanism Hierarchy (FMH) to analyse students' verbal protocol. FMH has several levels corresponding to psychological 'levels' of understanding (Miyake, 1986). Detailed analyses of four groups' protocol confirmed that students make their explanation for understanding a particular level from information of other level, and the theme of the dialogue changes to the next level when they acquire an understanding of one level.

Keywords — Collaborative Learning, Knowledge-Constructive Jigsaw, Conceptual Change

1. はじめに

近年、知識を獲得するだけでなく、知識を組み合わせて使う能力の育成が重要視されており、学生が主体的に問題を発見し解を見いだしていく能動的学修（アクティブ・ラーニング）への転換が推進されている[2]。そこで、注目されている手法の一つが協調学習である。協調学習とは、「個人の理解やそのプロセスを他人と協動的に比較、吟味、修正する過程を経て一人ひとりが理解を深化させるプロセス」と定義されている[3]。協調学習では、建設的相互作用を通して一人ひとりの学習者が自分の考えを深め、経験則と原理原則をつなぐ「説明モデル」の知識獲得を期待している[4]。つまり、その活動の中でどのような知識獲得と知識構築がおきているかを把握することは、理解のプロセスを明らか

にすることに繋がると考えられる。

学習者の理解過程を把握することの意義については、授業研究の発展、教師による学習者理解の視点の変化、授業過程と学習成果の関連強化、教師による評価と学習者の自己評価のズレの明確化、認知科学的アプローチの授業研究への導入、などがあるとされ、再生刺激法により学習者の認知を把握しようとする研究がなされている[5]。しかし、協調学習における理解深化の過程は、未だ明らかにされていない。

本研究は、協調学習における理解深化、すなわち「一つのレベルの説明ができるようになることで、その中の機能についての問いを立てることができるようになる」過程を明らかにすることを目的とするものである。仮説は、「機能機構階層図[1]が、学習者の理解過程の可視化に有用である」とした。そして、仮説の検証として、教材に対応する機能機構階層図を作成し、学習者の発話を分析した。その結果、あるレベルの理解のために他のレベルの知識を使いながら説明を構築していること、あるレベルの説明に一定の合意に到達することで次のレベルに対する問いが発生し、対話のレベルが移動することが確認された。

2. 研究の位置付け

2.1. 理解と機能機構階層図

理解過程に関する研究ではこれまでに、理解にはレベルがあること、対話の中で他者の問いがきっかけとなり理解が進むこと、そして課題遂行者とモニターの役割を交互に交代しながら

解を見出だそうとすること，が明らかにされている[1]．また，スキーマ理論では，理解とは学習者が保有する知識を使って学習材料に働きかけ，まとまりのある解釈を構成する過程であるとし，そのことにより新しい知識の獲得を生み出すとみなす [6]．

これらのことから，協調学習の理解過程においては，あるレベルにおいて学習者がもつ知識を組み合わせてまとまりのある解釈を構成し，そこに新たな問いが出現することで，更に深いレベルの知識獲得を促すことが考えられる．筆者らは，その理解過程の可視化に機能機構階層図が有効であると考えた．

機能機構階層図（Function Mechanism Hierarchy）は，事象の機能とその機構をモデル化することで，理解のレベルを示すものである（図1）．図では「機能」と呼ばれる働きの説明を丸囲みで示し，次のレベルの四角全体を「機構」と呼び直線で繋がった上位の機能一つの説明を示している．「機構」は複数の「機能」から成り，その中の一つの「機能」を取り上げて「どのようにその機能が成立するか」を次の「機構」で示す[1]．

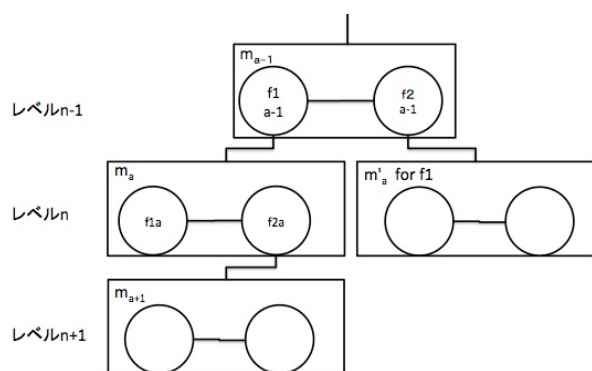


図1 機能機構階層図[1]

2.2. 知識構成型ジグソー

本研究で分析を行う学習活動は，知識獲得と知識構築を同時期に行う教材として，初等中等教育のみならず高等教育現場などでも近年着目されている「知識構成型ジグソー法」の活動である．

「知識構成型ジグソー法」は，東京大学大学発

教育支援コンソーシアム推進機構が開発した協調学習の授業実践の型である．当該手法では，知識を得ることによる次の学習への準備を重視する学習形態から得られる成果を活用し，個人内での知識の統合を明示的に支援する．知識構成型ジグソー法の型をとった授業では，稀有知識の差，学習活動への得意不得意にかかわらず，学習者が自分なりの方法で他者との関わりを通して理解を深め，新しい知識を獲得し，次の学びを準備する様子が確認されている[4][7]．

知識構成型ジグソー法では，まずその授業で答えを出したい問いを立て，その問いに答えをだすために必要な「部品」を複数に分ける．そして学習者は，それぞれの「部品」について，「エキスパート活動」と呼ばれるグループ学習を通して理解する．さらに，部品を担当した学習者が一人ずつ参加する新たなグループを作り，その中で「部品」の内容を統合して，1番始めに示された問いの答えを出す．各グループで答えがでた後，その答えをクラス内で共有し，検討や統合し，一人ひとりが納得できる解を構成する．実際の授業での活動は，次の五つのステップから成る[8]．

Step1. 学習者が個人で問いへの「解」を記述する

Step2. エキスパート活動：エキスパートグループに分かれ，異なる部品の資料を担当し，内容を確認する

Step3. ジグソー活動：新しく，各部品担当者一人ずつからなるジグソーグループに分かれ，各資料の内容を共有・統合して，グループ毎の解を作る

Step4. クロストーク：ジグソーグループで作られた解を全体で共有する

Step5. 学習者が個人で問いへの「解」を記述する

3. 研究方法

ここでは，分析の対象とした知識構成型ジグソー法授業の教材，分析のために新たに開発した機

能機構階層図, 及び実施した 2 種類の実践について説明する.

3.1. 使用した教材

教材は, 「冷房が部屋を冷やし続ける仕組み」を考えることで「ヒートポンプシステムの仕組み」を知ることのねらいとして著者らが開発した知識構成型ジグソー教材を使用した.

協調学習の鍵となる部品は, 「A. 圧力と温度」, 「B. 物質の状態変化と熱」, 「C. 熱の性質」の三つである. 「A. 圧力と温度」では流体の断熱変化を扱い, 「B. 物質の状態変化と熱」では物質の相変化に伴う外部との熱の移動を扱った. さらに「C. 熱の性質」では, 熱は高温から低温へしか移動しないという熱力学の法則を示した上で, 低温から高温へ外部からの力を利用して熱を移動させる機械を「ヒートポンプ」と呼ぶことを扱っている.

授業の流れは, まず受講者の既存知識の確認として, 「ヒートポンプを説明できる人」「ヒートポンプという言葉聞いた事がある人」を挙手にて確認する. その後, 一般的に手に入るヒートポンプに関する情報として, 電力会社によるテレビ CM と住宅メーカーによるテレビ CM を視聴した. 授業で使った CM のうち, 電力会社による CM では, ヒートポンプは 1 のエネルギーを 4 にするエコなシステムであることが語られており [9]. 住宅メーカーによる CM では, ヒートポンプは圧縮された冷媒を外気温によって冷やしたり温めたりすることで効率的に冷暖房を行うシステムであることが語られている [10].

CM 視聴の後, 学習者が個人で問いへの「解」を記述する知識構成型ジグソー授業の Step1 から活動を始めた. なお, Step1 から Step2 の間に, 全受講者に対して「冷房には室内機と室外機があること」, 「室内機と室外機間のパイプには冷媒が通っていること」を配布資料にて示した.

3.2. 作成した機能機構階層図

図 2 は本研究における分析のために, 著者らが作成した機能機構階層図である. 冷房で部屋を冷

やすという機能から始まり, 次のレベルの機構で「室内機から冷たい風が出る」とその機能の説明を示し, 「ヒートポンプシステムで熱を調整すること」をより詳しくする形で深いレベルに移行するものである. 図中の「Lv」は理解の深さを示すレベルである.

図中の機能を表す丸囲みのうち, 灰色の編み掛けのものは, 実践の際に学習者へ教材として提供された情報であることを示す. また, 図 2 中の Lv2 「部屋の空気が室内機に入る」は, 実践 B でのみ教材の中で提供された情報である.

3.3. 実践 A

一つ目の分析対象である実践 A は, 大学院農学研究科必修科目として行われている授業の中で行った. 授業の目的は, 協調的問題解決の手法を学ぶことであり, 受講者は実践までの間に, グループで協力することや, 他者に対する反論を構築することなどの体験的学習に従事してきた.

受講者数は 16 名であり, メンバーが 3 人のグループが五つ, メンバーが 4 人のグループが一つという構成とした.

実践回の授業テーマは, 未知のものに出会った時に, 他者と協力して解を見出だす事を学ぶとした.

授業開始時の受講者のヒートポンプに関する既得知識はほとんどなく, 活動の時間は, 授業時間 90 分の中で Step2 のエキスパート活動が約 13 分, Step3 のジグソー活動が約 18 分であった.

3.4. 実践 B

二つ目の分析対象である実践 B は大学の共通教育科目で行った. 当該科目は大学 1 年生から 2 年生を対象としたオムニバス形式の選択科目であり, グローバル社会でのキャリア形成について考えを深めることを目的に, 企業人による製品開発に関する講演や知的財産に関する講義などが行われるものである. 受講者は実践までの間に, 4 人から 5 人のチームで計画を立て, 実際の制作活動を行うプロジェクト活動を行う

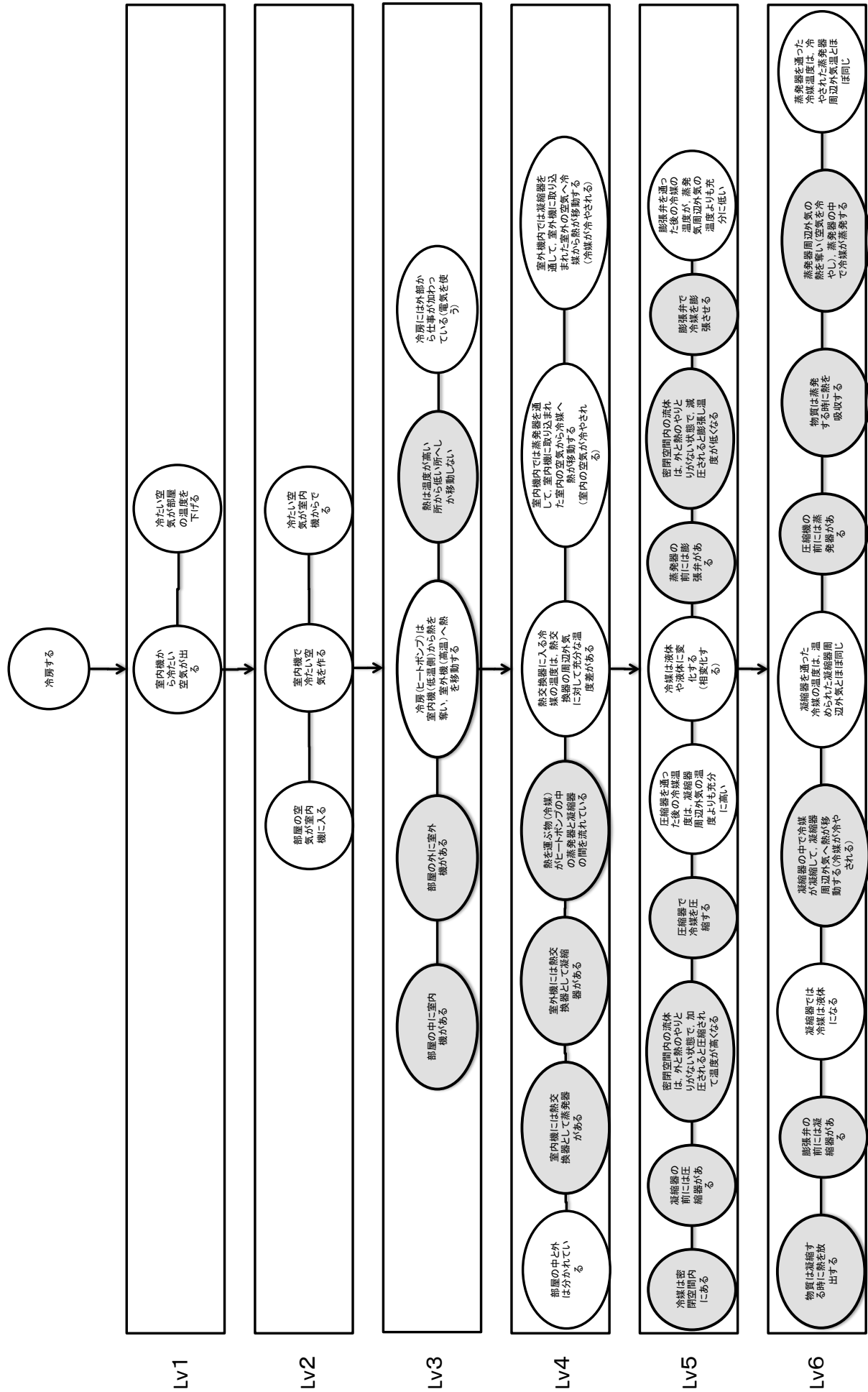


図 2 ヒートポンプの機能機構階層図

活動を中心とした授業に従事してきた。

受講者数は 69 名であり，3 人ずつ 24 のグループで活動を行った．なお，一部人数の足りないグループには，授業実施日に始めて教材の内容を知った学生アシスタントが，メンバーとして参加した．

該当回授業のテーマは，実践 A と同じく「未知のものに出会った時に，他者と協力して解を見出す事を学ぶ」である．

授業開始時の受講者のヒートポンプに関する既得知識はほとんどなく，活動の時間は，授業時間 90 分の中で Step2 のエキスパート活動が約 10 分，Step3 のジグソー活動が約 13 分であった．

4. 結果

ここでは，実践 A 並びに実践 B での Step3 ジグソー活動における発話を，図 2 の機能機構階層図におけるレベル分けを基準に，対話の内容がどのように遷移しているかを可視化した結果を述べる．

発話のレベル判定は，表 1 に示す分類基準キーワードに類する語が出現したことをもって行った．発話のうち，資料作成のための文房具の貸し借りなど，テーマの理解に関係しない語は分類していない．相づちなど単独では意味をもたない発話は，文脈に応じて前後の発話と同じレベルに分類している．なお，表 1 の分類区分は，第一著者が図 2 の機能機構階層図を元に作成した．

対話の遷移状況は実践 A と実践 B にて，Step5 の記述課題に，提供された全ての部品を統合して解を記述したメンバーのいるグループを，それぞれ二つずつ選択して分析を行った．分析の結果は，横軸で時間を，縦軸で理解の深さを示した図でまとめた．図中には，学習者による Step2 エキスパート活動結果の「鍵の共有」を一重線囲みで，教師による時間に関する全体アナウンスを灰色の編み掛けで，Step4 クロストークのための「説明資料作成」活動を二重線囲みで表した．さらに，特徴的な発話 appeared した部分を点線囲みと丸数字で示し，その後の表で対話の内容を示した．

表 1 発話の分析基準

Lv	期待する説明（出現判定キーワード）
1	室内機から出る冷たい空気が温度を下げる（冷たい空気が室内へ出る）
2	室内の空気が室内機に入り，冷たい空気を作る（室内機に空気が入る，冷たい空気を作る）
3	室内の熱を室外に運ぶ（室外機，熱力学第二法則）
4	冷媒と空気で熱の移動があり，冷媒が熱を運ぶ（熱交換，熱の移動，冷媒，冷媒の循環）
5	断熱圧縮・断熱膨張で冷媒の温度を調整する（圧縮，膨張）
6	冷媒と空気の熱交換に，状態変化が利用される（液体になる，気体になる，状態変化，効率化）

4.1. 実践 A の分析結果

実践 A の一つ目の分析対象グループは，Step5 の記述課題において，メンバー 4 名中 3 名が提供された全ての部品を統合して解を記述した A1 グループである．グループ内の対話遷移状況を図 3 で示す．

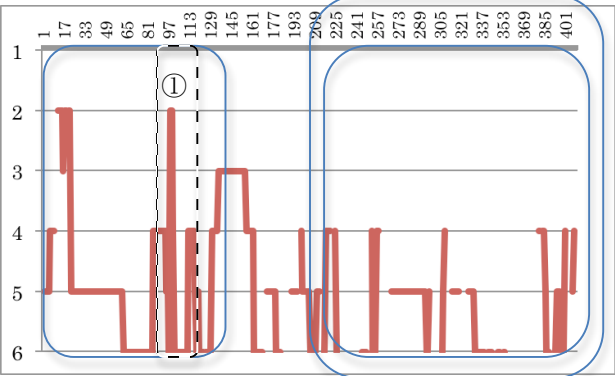


図 3 A1 グループの対話レベル遷移

対話の中では，鍵の共有を終えたあたりから，「分かった」「だんだん分かって来た」という発話の確認され始め，ジグソー活動の最後では「暖房にしたいときはその向きを逆にしたら良い」と，与えられた問いに対する解だけでなく，構築した知識の利用方法を示す様子が確認された．

機能機構階層図を用いた分析によって明らかになった特徴は，Step2 のエキスパート活動にて，それぞれの鍵を使って複数のレベルにまたがる説明を作ってきたことである(表 2)．その説明は科学的には充分ではないものの，複数のレベルにまたがるそれぞれの説明を持ち寄ることで，ジグソー活動中に，知識構築型ジグソーがめざす一人

ひとりの説明から原理原則への説明モデルの構築が成され、全ての部品を正確に統合した解の記述に繋がったと考えられる。

表 2 A1 グループ① 発話例

No	発話内容	Lv
3	A、A は、断熱膨張と断熱圧縮、	5
4	に、ついてで、	5
5	うん、うんうん	5
6	はい	5
7	まあ、つまりその、	4
8	冷房の、温度を、	4
9	どういう風に、変えてるかっていう、	4
10	仕組みについて、	4
13	室内機？	2
14	ん？	2
15	あ、ご（相づち）	2
16	あっ、室内機、ああ（相づち）	2
17	結局ここで、温、熱を持ってきて、冷やして、	3
18	ここで出してるのが一般的なんよ	2
19	うん	2
21	この中の、空気を、どういう風に、	2
22	下げたり上げたりしてるかっていうのを、	2
23	断熱圧縮と断熱膨張を、使って、	5

実践 A の二つ目の分析対象グループは、Step5 の記述課題において、メンバー3 名中 3 名が提供された全ての部品を統合して解を記述しているものの、一部の説明に誤りが確認された A2 グループである。グループ内の対話遷移状況を図 4 で示す。

対話の中では、鍵で得られた知識は正しく把握しつつも、その鍵の統合時に「これにとらわれ過ぎたら、こっちが書けなくなるから」「そうさせておくか？」と納得する前に仮の状態での説明を作って進める様子が確認された。対話の中では、「これが全部ヒートポンプなんじゃない？」というような気付きが、グループ内で共有されていないことも確認された。

機能機構階層図を用いた分析によって明らかになった特徴は、資料作成時にレベル 1 から順に説明の構築を試みていることである(表 3)。図 4 に示された通り、当該グループはレベル 1 からの説明を作り始める前は、A1 グループに対して他のレベルの知識を使用した説明の構築が少ない。そのため、改めてレベル 1 からの知識を整理して説明を構築しようとしたことが考えられる。

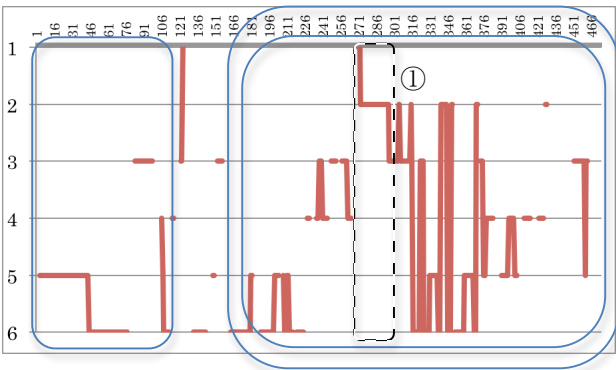


図 4 A2 グループの対話レベル遷移

表 3 A2 グループ① 発話例

No	発話内容	Lv
271	まあ部屋が暑いと	1
272	熱い空気を、まずはどうするか	1
273	出すんかな、入れるんかなまず先に	2
	温かい空気ってどこからくる？そもそも、	
276	空気	2
277	温かい空気をそこにあるから？？？	2
278	冷やしたいから、まず、	2
279	こいつをまず逃がしてやりたいから、	2
280	吸うのこれ？エアコンで	2
281	吸ってこう循環してるよね、こうやって	2
282	どこを、どこから吸うにする？	2
283	どこを？吸う、吸うの	2
284	吸うのか？	2
285	ここらへんにしよっか？	2
287	説明しやすいし	2
288	吸っていい？吸っていい？こんな感じ？	2
293	温かい空気を、	2
294	吸って、	2
295	で、どうしょうね？	2
296	でここで温かい空気、	2
297	ここからもう温かい空気を出すっていう	3
298	あー、これこれこれが	3
299	室外機で暖かい空気を出して、	3
300	こっから温かい空気を出しちゃう？	3
301	そうなん？	3

4.2. 実践 B における発話

実践 B の一つ目の分析対象グループは、Step5 の記述課題において、メンバー3 名中白紙提出者 1 名を除く 2 名が提供された全ての部品を統合して解を記述したもの、一部の説明に誤りが確認された B1 グループである。グループ内の対話遷移状況を図 5 で示す。

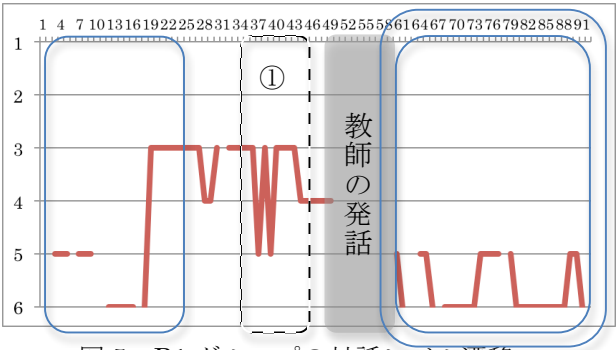


図 5 B1 グループの対話レベル遷移

対話の中では、幾つかのレベルの知識を使いながら説明を構築する様子が確認された。さらに、ジグソー活動の最後では、「室内の熱を冷媒が吸収して、ここで外に出しているということかな」と、冷房のヒートポンプシステムとしての説明がしっかりと構築されている。

機能機構階層図を用いた分析によって明らかになった特徴は、レベル 3 の説明をレベル 5 の知識を使いながら構築し、ある一定の合意に到達した後に問いが発生し、その次のレベルであるのレベル 4 の話題に進むことである（表 4）。表 4 では合意を示す語と、次のレベルの問いを太字で示した。

表 4 B1 グループ① 発話例

No	発話内容	Lv
35	冷たいのが外に逃げんということか。	3
36	冷たいのが、どうということやろ。	3
37	俺が言ったのだったら、外で圧縮して温度が上がるんや、ここで。ここでは逆に下がるんだけど、部屋の中を涼しくさせたいけ、こっちの冷たいのを外に逃がしたくないってこと。	5
38	ああ、なるほどな。	3
39	暖かいのはもう入ってきても圧縮するけ、ここで冷たくするんだけど、こっちは逃げん。外には逃げんということ。	5
40	これがあるからってこと。	3
41	そうそう。	3
42	なるほど。	3
43	かな。	3
44	冷媒というのが。	4
45	そうやん。どういことなの、冷媒って。	4
46	パイプの中を循環していく。	4

実践 B の二つ目の分析対象グループは、Step5 の記述課題において、メンバー 3 名中 1 名のみが提供された全ての部品を統合して解を記述した B2 グループである。グループ内の対話遷移状況を図 6 で示す。

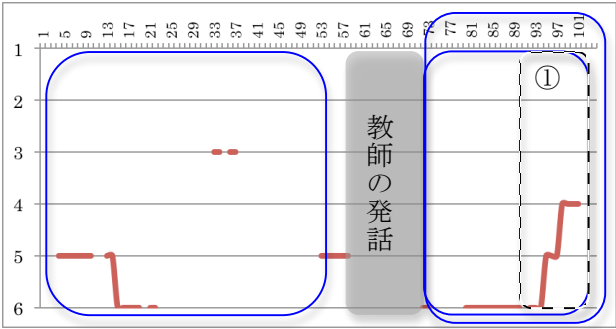


図 6 B2 グループの対話レベル遷移

対話の中では、教師の発話後に「これに何を書けばいいんやろう」「冷やす仕組みじゃないかな」と課題を改めて確認し、特に室内空気と冷媒の熱交換に関する内容であるレベル 6 の説明を構築しようとする様子が確認された。

機能機構階層図を用いた分析によって明らかになった特徴は、当該グループは説明を構築する際に他のレベルの知識を使うことが少なく、活動の終盤に始めて他のレベルの内容を意識し、説明を構築しようとしたことである（表 5）。

表 5 B2 グループ① 発話例

No	発話内容	Lv
95	冷媒を圧縮すると、こっから辺でめっちゃ空気、熱に逃げてって、膨張っていうの、冷やす、膨張のような。膨張するとどうなるやったけ。	5
96	温度が下がる。	5
97	下がるよな。	5
98	下がって、ここで熱が、部屋の熱入ってくるのか。	4
99	なるほど。	4
100	冷媒から送る。	4
101	こっちで回っているの？こういう回りか。どっちに回とんの、これ。	4

5. まとめ

本研究では、協調学習における理解深化過程を明らかにすることを目的とし、「機能機構階層図が、学習者の理解過程の可視化に有用である」と設定した。そして、仮説の検証のため、教材に対応する機能機構階層図を作成し、学習者の発話を分析した。

その結果、あるレベルの理解のために他のレベルの知識を使いながら説明を構築していること、あるレベルの説明に一定の合意に到達することで次のレベルに対する問いが発生し、対話の

レベルが移動することが確認された。このことから機能機構階層図の有用性が示唆されたと考えられる。

他にも、機能機構階層図を用いた分析により、大学院生を対象とした A1・A2 グループでは説明の構築中に他のレベルの情報を利用しているのに対して、大学生を対象とした B1・B2 グループでは他のレベルの知識を使うことが少ないことが確認された。これを、卒業研究などの探求的学習経験が多い学習者と探求的学習経験の少ない学習者の差として捉えることで、今後は複数レベルの情報を取り入れた説明構築を促す教材をデザインするなどの教材改善を図ることが可能と考えられる。このように、今回の分析から、機能機構階層図は教材開発にも有用であると示唆された。

なお、本研究で使用した機能機構階層図の作成方法や発話の分類方法はより一層の検討が必要と考えられる。今後、更なる実践と分析を続けると共に、機能機構階層図の検討を進めていく予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり、放送大学 三宅芳雄氏、国立教育政策研究所 白水始氏、静岡大学 遠山紗矢香氏、日本教育大学院大学 山田雅之氏から多大なる助言を賜った。また、知識構成型ジグソー授業の実施並びに教材作成にあたり、東京大学 大学発教育支援コンソーシアム (CoREF)、わくわく理科の会、日本技術士会 三好正夫氏、静岡大学大学院教育学研究科附属学習科学研究教育センター (RECLS) にご協力頂いた。ここに記して、感謝する。

参考文献

- [1] Miyake, N, (1986) “Constructive interaction and the iterative processes of understanding”, *Cognitive Science*, Vol.10, pp.151-177
- [2] 中央教育審議会 (2012): “新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する

大学へ～ (答申) ”,

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm (参照日 2015.07.07.)

- [3] 佐伯胖, 渡部信一, (2010) “「学び」の認知科学辞典”, 大修館書店
- [4] 三宅なほみ, 飯窪真也, 杉山二季, 齊藤萌木, 小出和重, (2015) “協調学習 授業デザインハンドブック—知識構成型ジグソー法を用いた授業づくり—”, 東京大学 大学発教育支援コンソーシアム推進機構
- [5] 吉崎静夫, 渡辺和志, (1992) “授業における子どもの認知過程: 再生刺激法による子どもの自己報告をもとにして”, *日本教育工学雑誌*, vol.16, No.1, pp.23-39.
- [6] 波多野諄余夫, (1982) “認知心理学講座 4 学習と発達”, 東京大学出版会, pp.27-40
- [7] 三宅なほみ, 齊藤萌木, 飯窪真也, 利根川太郎, (2012) “学習者中心型授業へのアプローチ: 知識構成型ジグソー法を軸に”, *東京大学大学院教育学研究科紀要*, vol.51, pp. 441-458
- [8] 白水始, 三宅なほみ, 益川弘如, (2014) “学習科学の新展開”, *認知科学*, vol.21, No.2, pp.254-267
- [9] 東京電力, (2010/07-2011/03 放送) “ヒートポンプ”
- [10] セキスイハイム, “快適エアリー”, <http://www.sekisuiheim.com/appeal/heater.html> (参照日 2015.07.20.)