

公式を自力生成する協調学習過程の効果 ～ジグソー法と協調的な転移課題解決を用いた検討～

On Effects and Processes of Collaborative Discovery Learning

伊藤智哉[†], 原田一平[‡], 田島啓[‡], 安田遼[‡], 白水始[‡]
Tomoya Ito, Ippei Harada, Satoshi Tajima, Ryo Yasuda, Hajime Shirouzu

[†]中京大学大学院, [‡]中京大学情報理工学部
Graduate School of Chukyo University, SIST Chukyo University
shirouzu@sist.chukyo-u.ac.jp

Abstract

This study tries to clarify the effects and processes of collaborative discovery learning by two innovative methods: the jigsaw method and joint transfer-problem solving method. Thirteen college students were assigned to Direct Instruction condition, while fourteen students to Discovery Learning condition. In the former condition, the students were given texts which explained formulas, types of problems, and points of solutions explicitly in the domain of SPI test. In the latter one, the students were given only problems and asked to solve them to extract problem types and points of solutions. In four successive weeks, the students in both conditions learned with the jigsaw method, taking different parts and exchanging them. In the last week, they solved transfer problems individually and then again collaboratively. Results showed that the Discovery Learning condition outperformed the Direct Instruction one in this joint solving situation. Detailed process analysis implied that, in the former condition, the students reflected upon problem situations and formed conditional knowledge, which were usable in the collaborative situations to the transfer problem.

Keywords — Collaborative Discovery Learning, Joint Transfer-Problem Solving, Jigsaw Method, Math Education

1. はじめに

最近の学習研究では、協調学習を一つのリサーチツールとして、帰納的な発見学習と演繹的な受容学習の効果を再検討しようとする機運が高まっている[1][2]. それによって、発見学習を学習者の準備状態に合わせて適切な時期、課題に導入する精緻なデザイン原則を打ち立てることが狙いである。本研究も、その動きに呼応し、数学の学習を題材に公式や解法のポイントを提示して学ばせる方法と、提示せずに問題を解かせるだけで学ばせる方法との違いについて、ジグソー法と協調的な

転移課題解決を用いて詳細に検討した。実験の結果、公式を明示すると学習の焦点が式を記憶し適用することに移り、転移課題も問題状況を吟味しないままに数値を式に代入して計算を始める傾向があった。それに対して、問題から公式や解法を自力構成させると、問題の状況の要素を包含した抽象化を行い、転移課題も問題状況を一つ一つ吟味して高い解決成績を収めることがわかった。

学習科学分野における、学習者の知識の自力構成を促すさまざまな学習活動や環境の提案に関わらず、教育現場では依然レクチャやテキストで直接「教える」ことが重視されている[3]. それが短期的な学習成果の向上に効率的だと信じられているためだろう。今後は、本研究のような知見を積み重ねることで、その弊害を明らかにし、対比的な教育手法の隠れた有効性を明示化していくことが重要である。

1.1. 協調的な発見学習と PFL

最近、協調的な発見学習が未来の学びの準備 (Preparing for Future Learning) になることを示す研究が多数報告されている[4]～[7]. 例えば、[4]は、何かを学ぶことで「今、目の前にある問題が解けるようになること」と「将来、何かを学ぶ準備ができること」を分けて考えるべきだと主張した。中学生を対象とした教室実験で、統計学を協調的な発見学習で学ぶ発見学習群と、公式やその使い方を教わる直接教示群とを設けて比較したところ、発見学習群は、公式が自力発見できなかったため、目前の課題は解けないが、遠転移課題で、ヒントになる学習素材を渡された場合は、直

接教示群より優れた成績を収めることを示した。

さらに, [5]では, より統制的な比較を行うため, 公式の説明と問題解決の順序を入れ替える実験を行った. 中学生に密度や速度の公式を教えてから, それが適用できる事例を与える「教示後解決群」と, 同じ事例を先に与え, 解法を自力で考えさせてから公式を教える「解決後教示群」とを比較した. 公式がそのまま適用できる文章題では, 両群とも好成績を収めたが, 密度や速度に通底する

「比」の概念を把握していないと解きにくい転移課題では, 解決後教示群が教示後解決群の2倍以上の成績を残した. 両群の学習期間における事例解決のプロセスを追うと, 教示後解決群では, 公式が次々と適用できた分だけ, 事例間の細かな違いを無視し, 多様な事例に適用できる解法(公式)のよさを吟味しなかったのに対し, 解決後教示群では, 一つの事例への解法が次の事例に適用できない体験を繰り返しながら, 複数事例を包含する問題状況の把握やどの事例にも適用できる一般的な解法の生成に努めたことが示唆された.

1.2. ジグソー学習法と協調的転移課題解決

協調的な発見学習に関する知見を現場で安定して活用するためには, その認知メカニズムが明らかになっている必要がある. 1.1節に含意されるように, そのためには単なる条件比較ではなく, 発見学習のプロセスの解明が有効である. そこで本研究では, 学習者ごとに異なる学習素材を分担し, 学習内容を交換し統合する「ジグソー学習法」を導入した[8][9]. ジグソー活動時になされる説明によって, 発見学習によって何がどう学ばれるのかを明らかにすることを狙った.

さらに, [4][5]の Schwartz らの研究では, 転移

課題の解決は各学習者一人ずつに行わせていたが, 本研究ではペアで解かせることによって, 発見学習で得た知識や思考様式がどのように活用されるのかを, 発話を通して明らかにすることを狙った.

以上によって, 協調的な発見学習が具体的な問題状況の準抽象化を促すことで記憶保持と柔軟な問題解決を可能にするのに対し, 手順主体の学習は抽象的な公式の極めて「具体的・機械的な」適用を促すことを明らかにする.

2. 実験手順

実験は, 就職活動でよく使われる「SPI テスト」の数学分野を題材とした. このテストは大学生にとって既知の項目も多いが, 短時間で大量の問題を解く必要があり, 式の機械的な暗記・適用が一見効率的に見えるため, 題材に選んだ.

学部2年生27名を「手順群」13名と「問題群」14名の2群に割り振った. 手順群には, 図1のように問題が早く正確に解ける方略(図1の左中段)や公式の解説, 問題の分類がまとめられている解説書を渡し, これをまとめてジグソー時に説明することを求めた. 問題群は, 図2のように, その単元に関わる問題のみが列挙された教材を渡し, 既有知識のみで問題を解くことで方略や公式を自力構成して, ジグソー時に説明することを求めた. 本研究による条件操作は, この最初に渡す教材のみである.

速さ・距離・時間

ここを押さえる!

①速さ・距離・時間の公式を使う。
 「速さ×時間＝距離」「距離÷時間＝速さ」「距離÷速さ＝時間」

②距離の単位は「キロメートル」、速さの単位は「時速キロメートル」を使うにもかかわらず、時間の単位は「分」を使う問題が多い。その場合、「分」を「時間」に変換することを忘れないように注意。

・分÷60＝時間 $\frac{\text{分}}{60}$ で表すとラク
 ・時間×60＝分

ここがポイント! 速度の公式を使って、分野別に攻略する

● 速度の公式を覚える (「ハ (速さ) ・ジ (時間) ・キ (距離)」を使う)
 (距離＝速さ×時間) (速さ＝距離÷時間) (時間＝距離÷速さ)

● 求めたいものを標す (出題)
 ● 標の2つの位置から式を立てる
 例: 速さ (ハ) を求める場合
 ● 速さ (ハ) を標す
 ● 距離 (キ) と時間 (ジ) はケタ並び → 距離÷時間

■ 分野別に特徴をつかむ

- ・ 出会い算 → 向き合って進んで出会う問題。速度を足し算する。
- ・ 追いかけ算 → 後ろから追いかける問題。速度を引く算する。
- ・ 通過算 → 橋などを通過する問題。移動する距離に注意する。

● 例題 ●

佐藤君は時速3.5kmで、鈴木君は時速5kmで、同時に同じ地点から同じ方向に向かって歩き始めた。5時間後、2人の間は何km離れているか。

A 4km B 4.5km C 5km D 5.5km
 E 6km F 6.5km G 7km H 7.5km

● 解答と解説 ●

H
 距離、速度、時間の関係式は次の通りである。
 速度＝距離÷時間
 距離＝速度×時間
 時間＝距離÷速度
 佐藤君が進む距離は 3.5×5＝17.5
 鈴木君が進む距離は 5×5＝25
 よって 25－17.5＝7.5kmとなる。

例題 1

X町からY市まで1.2km離れている。いま、A君はX町を出発し、分速40mの速さで歩いてY市へ向かった。

- (1) A君がY市に到着するのは、出発してから何分後か。
 A 15分後 B 20分後 C 25分後 D 30分後 E 35分後
 F 40分後 G 45分後 H A～Gのいずれでもない
- (2) A君がX町を出発すると同時に、A君の姉が自転車でY市を出発し、分速110mでX町へ向かった。A君と姉が出会うのは、姉が出発してから何分後か。
 A 6分後 B 7分後 C 8分後 D 9分後 E 10分後
 F 11分後 G 12分後 H A～Gのいずれでもない

時間をかけないカンタン解法

- (1) 一般的な速度の問題
- 1 計算できるように、単位をそろえる
 大きな単位(km) → 小さな単位(m)に変換
 1.2km＝1200m
 - 2 公式を使って式を立てる
 A君の移動する距離÷A君の速さ＝A君のかかる時間
 $1200 \div 40 = 30$ (分)
- 正解 D

- (2) 出会い算
- 1 出会う2人の速さを足す
 A君 (毎分40m) と姉 (毎分110m) が向かい合って進む。
 ⇒ 2人の距離は1分間に、40＋110＝150(m)ずつ縮まる。
 - 2 2人の出会う時間を求める
 はじめに2人は1200m離れている。
 1分間に150mずつ縮まるので、 $1200 \div 150 = 8$ (分)
- 正解 C

図1 手順群配布教材

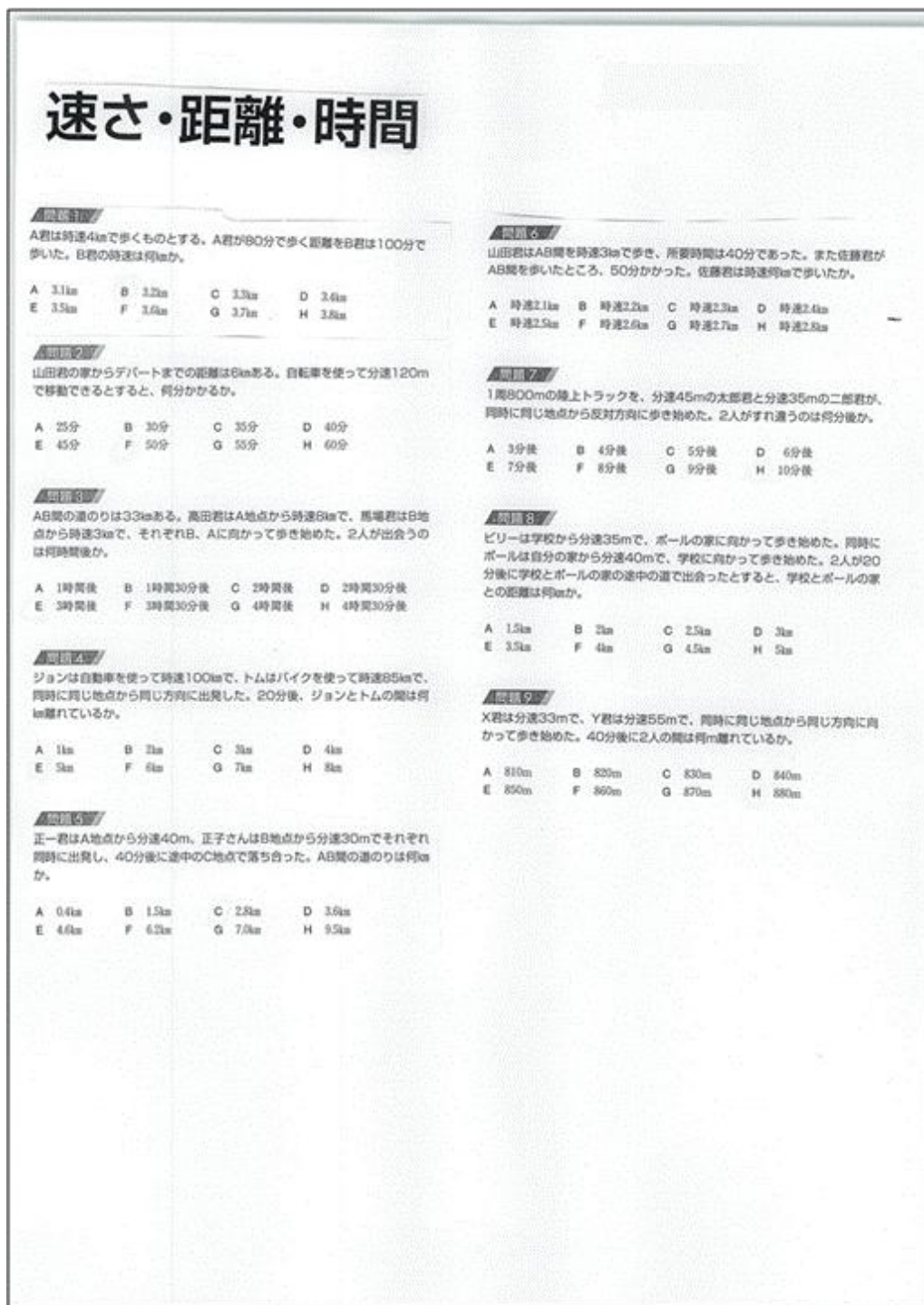


図2 問題群配布教材

市販SPI問題集の3領域（計算領域、グラフの領域、未知数領域）から「速度算」「損益算」（以上が計算領域）「グラフの領域①」「グラフの領域②」（以上がグラフの領域）「ブラックボックス」「モノの流れと矢印」（以上が未知数領域）の6分野を選び、90分×4週を掛けてカバーした。

1週目は6分野をカバーした事前テストの後、ペアで1分野を担当し内容を自由にポスターにま

とめた。この際、手順群には問題を自作して互いに解きあう活動を入れて活動時間を均等にした。

2週目は、作成したポスターを用いて同領域内で説明を交換するジグソーを行い、各自が2分野のポイントをまとめたポスターを作成した。3週目は、2週目に作成したポスターを用いて3領域の間でジグソーを行い、全員が3領域6分野をカバーできるようにした。ここでは、各自が自分の担

当した一分野に加え、領域内の異分野一つも説明したことになる。最後の4週目は、事前テストとほぼ同内容の事後テストと発展的な応用問題からなる転移課題を一人で解いた後、転移課題をペアで解き直した。

全ペアの全学習期間中の発話や行動をビデオ、ICレコーダーで記録し、その他の記述物と合わせて分析に利用した。

なお、実験は認知科学の研究方法を学ぶ授業内で行い、実験参加者となった学部2年生が自分たちの学習過程に対する振り返りを基にして、新たな学習法をデザインする基礎とした。

3. 結果

3.1. テスト結果

テスト結果については、事前テストの正答率は手順群が77%、問題群が67%、事後テストの正答率は手順群が77%、問題群が74%であった。問題群で若干の上昇が認められた程度であった。しかし、転移課題の解決成績は一人で解いた時点から手順群より問題群で良く、さらにペアで解いた場合に差が拡大した(図3)。

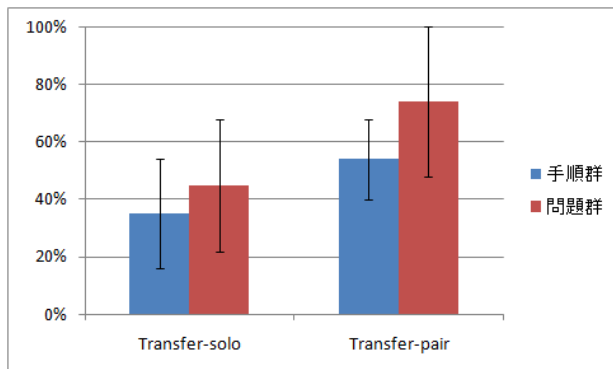


図3 転移テスト正答率

3.2. 協調的な転移課題解決過程

転移課題から両群の正答率の差が大きかった問題「速度算」「3つの異なる価格の品物の購買額を最適化するグラフ領域」を2題選んで協調的な解決内容の発話を分析した。速度算の問題は、「1周1kmのレース場がある。時速30kmで1週目を走ったあと、2週目で平均時速60km/hにするには、

2週目を時速何kmで走ればよいだろうか? それとも、そもそもそんな平均時速にすることはできないだろうか?」というものだった。2周合計で平均時速を60km/hにするには、2周を2分間で回りきらなければならないが、すでに1週目で2分間が経ってしまっているため、不可能だという答えになる。

これに対する問題群のペアでの解決発話例は下記の通りである。

表1 問題群の協調的転移課題解決過程

- A: 1週目は、30分の1時間でしょ?
- A: で、2週目の速度をXキロとして、2週目のかかった時間がX分の1時間でしょ?
- A: 足すと、30分の1+X分の1時間でしょ
- B: で、2週分の合計が出てくる
- A: これが2周…2周が2キロでしょ?
- A: これをやると、まず分母を通分して…
- B: で、平均速度が60キロになりますよ、と
- A: あ、できないんだ、0になるもん
- B: なんで?
- A: そもそも、そんな速度が存在しない
- B: 無理なの?
- A: とりあえずさ、1週に2分かかるんだって
- A: で、60キロで2周走るには、1週1分で走ってくれてことになるので
- A: だから、1週目の時点で2週分の時間を使っちゃってるから

以上の通り、問題群は最初時速の公式から問題を解決しようとするが、Aの洞察後(下線)、問題の状況を的確に捉え、解が納得できる言語化(波線下線)を行っている。これに対して、手順群の典型ペアの発話は次の通りである。

表2 手順群の協調的転移課題解決過程

- C: 1週目と2週目の合計平均速度を60キロにしたいから、2週目だけの時速を求めればいい

- D: 90 キロになった?
 C: 90 になった
 D: ちょっと待ってよ、時間で考えたら…
 D: 60 分の 1 にしたらいいんだろ?
 D: 距離は、速さ×時間でしょ?
 D: 距離を速さで割ったら時間でしょ?
 D: これが 1 周目の時間でしょ
 D: 2 周目の時間を 2 で割ったら…
 C: 2 周目はわかんないんだよね
 D: 平均を求めるからね
 D: 普通に考えて、90 キロにならないとおかしいんだよね?
 C: おかしくなっちゃうね
 D: まず、1 周目が 30 キロ毎時で、2 周目を X とおいて…
 D: この平均…1 周目と 2 周目の平均が 60 だから、普通は 90 キロになる

手順群は下線の通り答えが 90 になることに固執し、そこに時速 (キハジ) の公式を当てはめようとしている。翻って、問題群は何を求めればよいのかを考えるため、解や公式に固執しない特徴が見て取れる。

そこで、公式や計算に関する発話を「計算」、という問いで何を求めればいいのかなど問題の本質や方略に関する発話を「問題」として発話数のバランスを求めた (図 4)。

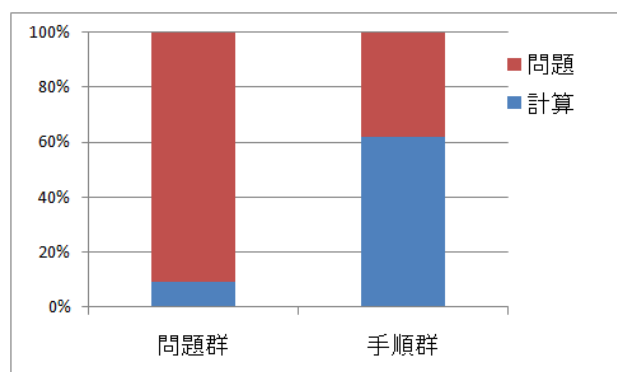


図 4 転移課題解決中の発話内容

結果、問題群は問題、手順群は計算の発話が多かった。問題への取り組み方は両群とも文中のキ

ーワードから手順を導出 (「平均」ならば足して 2 で割るなど) して計算するところから始めるが、手順群が答えと見なせる結果が出るまでひたすら計算を繰り返す一方、問題群は計算と共に問題の分析を行う活動がみられた。

3.3. 協調的な発見学習過程

4 週間の学習過程にいかなる知識が獲得されたかをポスターや記述回答から追った。具体的には、1 週目の担当分野のポスターの記述、2 週目にジグソーでカバーした 1 領域 2 分野に関する 3 週目冒頭の遅延再生記述、3 週目までにジグソーでカバーした全 3 領域 6 分野に関する 4 週目冒頭の遅延再生記述の 3 点から、「公式」に関する記述、例題など「具体的な計算例」に関する記述、具体的な計算例から抽象化された問題の考え方や計算のポイントなど「解法のポイント」に関する記述に分類した (図 5, 6)。

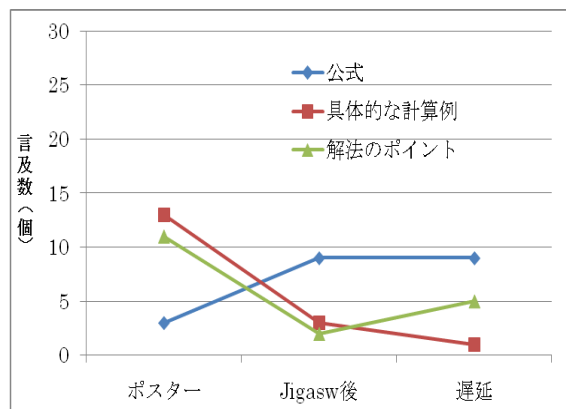


図 5 手順群の記述内容の推移

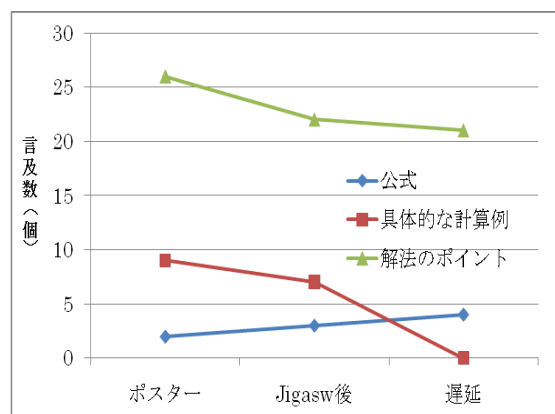


図 6 問題群の記述内容の推移

結果、手順群はポスター作成時に公式を簡潔に記した上で、計算例、解法ポイントのある程度豊富に記述していたにも関わらず、活動を経るごとに後者は抜け落ち、各分野の公式だけが残ることになった。一方、問題群はポスター時に多くのポイントが抽象化され、それらが長期に亘って分野ごとに収集・保持されたことが見て取れる。

そこで、ポスター作成時におけるペアの発話を見たところ、表3のように手順群がまとまった表を覚えることに重点を置いていた反面、表4に示すように問題群は計算の仕方の理由や考え方を説明しようとする違いが見られた。

表3 手順群のポスター作成過程

E: この表見たら完璧なんだって
 F: じゃあさ、基準となる理解を教えてよ
 E: 利益を計算するには原価をみる。利益は定価を基準としているから仕入れ値っていうか原価をxとして…割引分があって売値がでると
 F: この程度の文だけで全然分かる

表4 問題群のポスター作成過程

G: すれ違う問題は、単位を合わせる
 H: なんていうかな～
 G: どうやって計算したかどう説明する?
 H: そうそれだね
 G: これって二人で足して、ほいで一方から行ったことにして着くってことで考えてもいいのかな?
 H: あ～あ、それで計算してるよね

4. 考察

以上の結果を総合すると、手順群のように先に公式が与えられると、問題から数値を読みとって公式を適用することに焦点化するため、短期的な達成感とは裏腹に「どういう問題ならどういう解き方をすべきか」という条件づけられた知識

(conditionalized knowledge) が獲得され難いと考えられる。問題群は学習時に問題状況と具体的な計算法を吟味して「何を求められて、そのための解法手順として何が要るのか」を言語化することにより準抽象的な解法知識を獲得し、転移課題にその知識と吟味の様式自体を適用することで高い正答率を示したと考えられる。今後はジグソー時の発話も詳しく分析してメカニズムを解明する。また、今回は、ジグソー活動時に一定の説明ができるように、速度算などある程度既知な分野を対象としたが、今後は公式が未知な分野でも、こうした過程が再現できるかについても検討したい。

参考文献

- [1] Tobias, S. & Duffy, T. M. (Eds.). "Constructivist instruction." New York: Routledge.
- [2] 白水始 (2010). "協調学習と授業" 高垣マユミ (編) 授業デザインの最前線II, 北大路書房, pp. 136-151.
- [3] Linn, M. C. & Eylon, B. S. (2011) "Science learning and instruction." New York: Routledge.
- [4] Schwartz, D. L., & Martin, T. (2004). "Inventing to prepare for learning: The hidden efficiency of original student production in statistics instruction". *Cognition & Instruction*, Vol.22, No.2, pp.129-184.
- [5] Schwartz, D. L., Chase, C., Chin, D., & Oppezzo, M. (2009). "How direct instruction distracts students from processing similarities and differences and thereby undermining transfer", *Paper presented at the 13th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction*, Amsterdam, The Netherlands.
- [6] Kapur, M. (2008). "Productive Failure", *Cognition and Instruction*, Vol.26, No.3, pp.379-424.

- [7] Schwartz, D. L., Lindgren, R., & Lewis S. (2009). “Constructivism in an age of non-constructivist assessments”, In S. Tobias, & T. M. Duffy (Eds.). *Constructivist instruction*. New York: Routledge. pp.34-61.
- [8] 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—「スキーマ」の学習を例に一” 認知科学, Vol.16, No.3, pp.348-376.
- [9] 三宅なほみ (2010). “知の活用のためのコラボレーション” 河合塾編『初年次教育でなぜ学生が成長するのか——全国大学調査から見えてきたこと』東信堂, pp.229-247.