

大学入試に資する学びを目指した 高等学校数学科の協調学習の実践と遅延評価方法の検討 A study of Designing Collaborative Learning in High School Mathematics and Delayed Assessments to Contribute the University Entrance Examination

大村 勝久[†], 遠山 紗矢香[‡], 松澤 芳昭^{††}
Katsuhisa Ohmura, Sayaka Tohyama, and Yoshiaki Matsuzawa

[†]静岡県立浜松北高等学校, [‡]静岡大学情報学部, ^{††}青山学院大学社会情報学部

[†]Hamamatsu-kita Prefectural High School, [‡]Faculty of Informatics, Shizuoka University,

^{††}School of Social Informatics, Aoyama Gakuin University

[†]katsuhisa01.omura@edu.pref.shizuoka.jp

要旨

The aim of this study is to examine how long students' knowledge or understanding remain after they learned it. We focused on the high school students who may enter four-year universities after they graduate. We designed collaborative learning to help solving mathematics problem about complex number for 76 2nd graders who belong A or B classroom and asked them to solve the same problem individually as a post-test, and as delayed assessments twice: 1 month later and 3 months later.

The results show that the maximum number of the students who solved the problem correctly was post-test in A classroom. In B's situation it was the observed in second delayed assessment. More students in B classroom succeed to solve the problem in delayed assessments than A classroom students. Implication for the results of delayed assessment comparing A and B classroom was discussed.

Keywords —delayed assessment, collaborative learning, high school, mathematics, complex number

1. 背景

眼前の問題に合わせて、学習者が持っている知識を組み合わせて活用し問題を解決できるようになることの重要性が指摘されている[1]. 次期学習指導要領で「深い学び」[2]と呼ばれるこのような営みを引き起こすためには、アクティブ・ラーニングが有効である可能性も示されている[3]. 現在進められている大学入試改革はその成果を評価するための取り組みの一つだと予想される.

「二次試験」と呼ばれる、国公立大学等が個別に作問し出題している 2017 年度末現在の個別入学試験問題は、高等学校での学習で得られた知識や理解を組み合わせて活用することによって解くことができる問題として古くから注目されてきた. 一方で、大学入学試験対策の現実場面では、上記のような問題とは捉えられていないと思われる場合が少なくない. 実際に、高等学校の生徒が入試対策として行い

がちなのは、夥しい数の例題を解き、それらの解き方をそれぞれ覚えていくという学習方法である. 先行研究では、こうした学習方法で得られた知識や理解は長期間保持されずに剥落したり、異なる問題へ転用できなかったりすることが少なくない[4]とされている. 評価実施者の意図に反した学習方法が採用されている可能性がある.

そこで本研究では、公式へのあてはめや問題の類型化等による入試対策が行われがちである数学科の分野を対象として、いわゆる二次試験を受験することが予定されている高等学校の生徒のために、知識を組み合わせ活用し問題を解決するための授業を設計し、そこでの生徒らの学習がいかに保持され活用されるのかを、重要な既習事項を組み合わせる必要がある問題を用いて検討した.

2. 目的

ほぼ全員が国（公）立大学二次試験を受験すると想定される高等学校の生徒を対象とした数学科の授業において、知識を組み合わせ活用し問題を解決するための協調的な学習で構成された理解がどのような期間において保持されていたのかを検討することを目的とする. そのために、国公立大学の個別入学試験問題等で既習知識の活用がしばしば求められる「複素数平面」の問題に焦点を当てた.

3. 研究方法

3.1. 概要

静岡県浜松市の県立高等学校普通科に在籍する 2 年次 A, B の 2 クラスに在籍する理系コースの生徒 80 名の中で、当該日に出席した 76 名（A クラス 37 名, B クラス 39 名）に対する数学科の授業のうち、複素数平面について扱った 1 コマ完結型での協調学習形式の授業、及び授業から約 1 ヶ月経過後、および 3 ヶ月経過後の遅延テストとインタビュー結果を本研究の対象とした. 例年この高等学校の生徒は、

全員が四年制大学への進学を希望してきていた。対象生徒は校内において標準的な進度で学んでいるクラスの生徒であった。AおよびBに対する週6コマの数学科の授業のうち第一著者は数学Bおよび数学Ⅲの複素数平面といろいろな曲線を中心に週3コマ(1コマ50分)を担当しており、残り3コマは他の教員が担当していた。

AクラスとBクラスでは授業の主目的と構成、遅延テストの内容とタイミングは同様だったが、授業内での時間配分の都合で、協調学習後に生徒が初めて個人で問題を解いたタイミングが以下のように異なっていた。

Aクラス：協調学習実施直後の授業時間内

Bクラス：協調学習実施から4日経過後

対象生徒とその保護者には、文書を通じて本研究に対する同意を得たうえで、生徒が書き込んだプリント類を回収して匿名化し電子的に保存した。また、授業中の様子をビデオカメラ及びICレコーダで記録した。

3.2. 授業デザイン

本研究の対象授業は数学科教員である第一著者が第二著者と協議しながら行った。授業は2クラスを対象として2017年12月15日および18日に1コマ50分の授業として行われた。授業の運営は第一著者のみで行った。授業は知識構成型ジグソー法[3]に基づいた協調学習形式で実施した。知識構成型ジグソー法では、解決したい問いに対して、解決方法を考えるための材料となる資料を複数用意して生徒に分担させ(エキスパート活動)、異なる資料を担当した生徒同士が話し合いながら問題を解く(ジグソー活動)。その後、クラス内で各グループが求めた解決方法を共有する(クロストーク)。これら一連の協調学習の事前及び事後において、生徒には問いに対する解を一人で考えて記述するよう求める。ただし、本研究の対象授業では時間の制約によりクロストークの実施を見送った。

本授業は、複素数平面の学習を行う単元の総括として位置付けられた。学習課題は「複素数のよさはどのようなものか?」とし、学習問題として複素数平面の図形の証明問題を設定した(図1)。この問題は、複素数平面を利用することで図形の証明問題に解答できることに気付かせ、かつ生徒全員が完全に解答できるようにすることを目ざして、問題集[5]の中から第一著者によって選択された。

協調学習型の授業設計の意図は、複素数平面上における回転や距離・分点といった複素数の性質について、垂直条件や、ベクトルとの類似点あるいは相違点といったポイントに留意しながら、学習者自身が既習事項を組み合わせることによって、未知の応用問題を解決できるようにすることだった。エキスパート活動で用いるための資料として垂直条件、回転、距離・分点の3種類を用意し、それぞれの性質やその活用方法について学習できるようにした。ジグソー活動では、垂直条件、回転、距離・分点の3

つを組み合わせながら問題を解いていく話し合いの発現を期待した。

$\triangle OAB$ があり、その外側に、正方形 $ODEA$ および正方形 $OBFG$ を作る。また、複素数平面上で $A(\alpha)$, $B(\beta)$, とする。線分 GD の中点を M とするとき、 $AB=2OM$, $AB \perp OM$ であることを証明せよ。

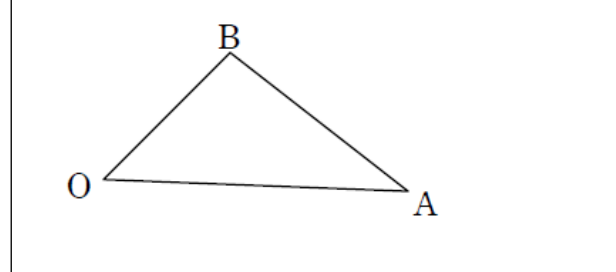


図1 生徒に提示した問題

3.3. 遅延テスト

協調学習直後の事後テストの結果と比較するため授業後に2度の遅延テストを実施した。1度目は授業から約1ヶ月、2度目は約3ヶ月経過時点であった。遅延テストは各クラスの数学の授業時間を用いて実施した。比較のため、問題はすべて授業で出題したものと同じとした。問題解決の過程では他者と相談せず1人で解くよう指示した。制限時間は20分とした。20分は高校生が初見で同問題を解き終えることが期待される時間として第一著者が設定した。なお、遅延テスト1度目と2度目の間には定期テストが行われ、数学科の問題として複素数に関する問題が出題された。

3.4. 問題に対する所見

協調学習直後と、遅延テスト2度目の2度にわたり、問題用紙の末尾にて「複素数平面で図形の証明問題を扱うときのあなたが考えるよさとか醍醐味は何ですか」という質問を投げかけ、生徒一人ずつに自由記述形式で回答させた。

3.5. インタビュー

補助的な資料として、Bクラスの生徒のうち、協調学習時点では不完全解答だったが事後テストで正答した1名と、協調学習時点では解答がほぼ作成できていたが事後テストでは不完全解答であった1名の合計2名を抽出し、インタビュー調査を実施した。インタビューは第一著者が務めた。インタビューで尋ねた質問項目は、(1)協調学習の前後でどのような家庭学習を行ったか、(2)協調学習は問題解決にどのように寄与したと思うか、であった。

4. 分析方法

生徒一人ひとりの複素数平面に対する解答の変化を調べるため、図1の問題に対する生徒個人の協調学習の事前及び事後の2度の遅延テストの解答の正誤を分析した。

次に、遅延テスト2度目のときに上記問題と共に示した「あなたが考える複素数平面で図形の証明問題を解く良さとか醍醐味は何ですか」という問いに対する回答を分析した。分析では、回答内容に「回転」や「角度」、「座標」、「ベクトル」といった複素数を用いることの利点を表すキーワードを用いて説明できた回答とそうでないものを質的に分類した。

続いて、生徒が今回の協調学習に対してどのような印象を持ったのかを調べるため、協調学習後に行った生徒へのインタビュー結果を分析した。インタビューでは、生徒の発言を書き起こして、本研究の問題に関する授業外での学習の有無や本研究でとりあげた協調学習に対する印象について生徒が述べた部分を抽出した。

5. 予想される結果

以上より、生徒が協調学習で問題の解き方を学んだ後に、同じ問題を解いた場合、協調学習からの経過時間が短いほど事後テストの正答率が高くなると考えられる。また、「あなたが考える複素数平面で図形の証明問題を解く良さとか醍醐味は何ですか」という問いに対しては、テストの正答率が高い時点で尋ねるほど期待される回答が得られると考えられる。さらに、インタビュー調査では、上記の結果に対する考察を深めるための補助的な情報が得られると考えられる。

6. 結果と考察

6.1. 遅延テスト

6.1.1. 遅延テストの結果

テストに正答した生徒数の割合を、問題を解いたタイミングとクラス別に図2に示す。問題を解いたタイミングは、それぞれ協調学習実施前（事前）、協調学習実施直後（事後）、協調学習から1ヵ月経過後（遅延1度目）、協調学習から3ヵ月経過後（遅延2度目）である。なお、協調学習実施直後（事後）のテストは、Aクラスは協調学習実施から数分後、Bクラスでは4日後に行われたため、結果を別々に示した。

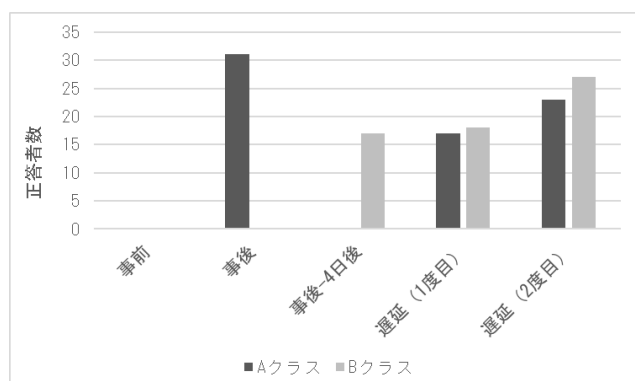


図2 正答者数 (Aクラス37名, Bクラス39名)

事前では、生徒全員が問題を解くことができなかったのに対して、事後では、Aクラスの8割以上の生徒が解くことができていた。また、二度の遅延テストと比べてAクラスでは事後テストの正答率が最も高かった。一方で、Bクラスの事後の正答率は4割程度にとどまっていた。また、正答率が最も高かったのは遅延テスト2度目であった。

Bクラスにおいて事後の正答率がAクラスと比較して相対的に低かったことは、Aクラスが協調学習実施から数分後に事後テストを実施したことが影響した可能性が否定できない。これは1度目や2度目の遅延テストの正答率がAクラスとBクラスの間で同程度だったことから示される。

6.1.2. 異なる遅延テスト間の比較

Aクラス、Bクラスともに、1度目よりも2度目の遅延テストの方が、正答率が高くなっていた。事前テストに正答した生徒がいなかったことを踏まえれば、出題された問題は生徒にとって容易ではなかったと考えられる。テストがそのような難易度にもかかわらず、学習時点からの経過時間が長くなるほど正答率が高まったという結果は特筆すべきと言える。数学教師の視点に立つと、数学科教員歴29年の第一著者だけでなく、同2年の彼の同僚や先輩教員にとってもこれらの結果は期待を大きく上回るものだったという。

この結果に対する反論は主に2点考えられる。1点目は、授業後に生徒が自主的に複素数平面の学習に取り組んだことによる成果だという見方である。これに対しては、もし本研究の協調学習が契機となって生徒が複素数平面の学習へ自主的に取り組み、その成果が遅延テストとして表れたのであれば、その動機付けも含めて総合的に好ましい結果が出たと捉えることもできる。2点目は、繰り返し同じ問題を解いたことによる学習効果である。この点は被験者内実験計画で回避しがたい。そのため、以下の節で述べるデータもあわせて検討する。

6.1.3. 遅延テスト結果の個人内変遷

事後及び二度の遅延テストの合計3回のテストについて、生徒個人を対象にどのテストに正答したのかを調べて分類した結果を表2に示す。この結果から示されるように、Aクラスでは事後に正答した31名のうち全てのテストで正答したのは13名、遅延テスト1度目でも正答したのは2名、遅延テスト2度目でも正答したのは6名だった。遅延テストのみで正答した者は4名に留まった。

一方でBクラスでは、事後に正答した17名のうち全てのテストで正答したのは11名、遅延テスト1度目でも正答したのは1名、遅延テスト2度目でも正答したのは4名だった。遅延テストのみで正答した者は12名で、このうち6名が2度目の遅延テストでのみ正答していた。

AクラスとBクラスを比較すると、Aクラスでは事後に正答した者31名中21名(68%)が遅延テストでも正答を維持していたが、Bクラスでは17名

のうち 16 名 (94%) が正答を維持していた。事後テストに正答した者に限定すれば、B クラスは A クラスよりも、問題解決方法が長期にわたり保持されやすかった可能性が指摘できる。

また、遅延テストのみで正答した者を比較すると、A クラスでは 4 名だったのに対して B クラスでは 12 名が該当した。このことから、B クラスは A クラスよりも、学習時期から遅れて正答できるようになった者が多かったことが示された。

これらの結果から、B クラスは A クラスと比べて、協調学習で問題解決方法がわかった生徒の知識の保持と、協調学習から遅れて生徒が問題解決方法をわかるようになることの両方についてより効果的だった可能性がある。一方で、全てに正答できなかった生徒が B クラスでは多かったことから、本授業が効果的だった生徒とそうでなかった生徒の差が生まれた可能性も指摘される。

表 2 生徒個人に着目した解答の変遷の分類

	A クラス (N=37)	B クラス (N=39)
全て正答	13	11
事後及び遅延 1 度目で正答	2	1
事後のみ正答	10	1
事後及び遅延 2 度目で正答	6	4
遅延 1 度目及び 2 度目で正答	2	6
遅延 2 度目のみ正答	2	6
全て不完全回答	2	10

6.2. 問題に対する所感の記述

事後テスト及び遅延テスト 2 度目時点で尋ねた「あなたが考える複素数平面で図形の証明問題を解く良さとか醍醐味は何ですか」という問いかけに対する自由記述の内容を分析した。その結果、複素数を用いることの利点について「回転」や「角度」、「座標」、「ベクトル」といったキーワードを用いて説明することができていたのは、事後テストでは A クラスで 3 名、B クラスで 0 名だった。一方、遅延テスト 2 度目では A クラスで 10 名、B クラスで 9 名だった。以下に遅延テスト 2 度目で得られた二つの記述を例として挙げる。

「平面上の回転移動を普通の xy 平面で三角関数で扱うときは、複素数平面を用いるときよりも複雑になるから、回転移動を簡潔に表せると言う点で複素数平面は非常に有効であった。また、ベクトルと似た感覚で取り扱うことができる。」(A クラスの生徒)

「本来 1 つ 1 つの特別な数に見え、それをかけあわせると単にかけあわせたものが導き出せるものだと考えられがちだが、それを実際に『平面』の場で

考えると原点を中心に『回転』していることが分かるので、僕はそこが『複素数』という数のおもしろさだと思う。座標平面上の点として複素数を見始めた人の功績がいかにすばらしいかが感じられる。また、複素数を用いた図形の証明は初めて見る人にはさっぱりであることも、にくい。」(B クラスの生徒)

これら合計 19 名から得られた生徒の記述は設定された学習目標に対する高い到達度を反映したものだと考えられる。遅延テスト 2 度目は、定期テストが終わった後でもあったため、生徒は事後テストの後に個人で学習を進めたと考えられ、そこでの学習がこのような記述を生んだ可能性が指摘される。

6.3. インタビュー

協調学習から 4 日後の事後テストに正答した 1 名 (Y) と正答しなかった 1 名 (Z) に対してインタビューを行った。以下にインタビューで得られた生徒の発言を要約して示す。

Y: 協調学習の時点では自分には解けない問題だと感じていた。しかし、同じグループの仲間から説明を聞いて、終了間際に何となく理解できたような感じを持つことができた。協調学習から事後テストまでの間に復習はしなかった。事後テストでは協調学習の際に仲間から丁寧に説明してもらったことを思い出しながら答案を作成した。今後もグループで深く授業を増やして欲しい。

Z: 協調学習では仲間 2 名から説明してもらったことを整理しようと答案の一部分に 3 つの各エキスパートから何が求められるのかをまとめていた。しかし、エキスパート間がどのようにつながっているのかは腑に落ちなかった。このため復習をしようと思っていたが、時間の都合でできなかった。結局、事後テストでは答案が書けなかった。

以上のように、2 名は協調学習から事後テストまでの間に復習をしていなかったことが示された。また、Y の発言からは、協調学習時点では話し合いに時間を使ったため答案を作成する時間を確保できなかった可能性が示された。さらに Z の発言からは、問題解決の難しさはエキスパート資料として与えられた知識を関連付けることにあった点も示唆された。

7. まとめと今後の展望

本研究では学習時点から遅れて行われる遅延テストに焦点をあて、協調学習形式で行われた高等学校数学科の授業で解いた問題を対象に、遅延テストでの生徒の正答率の変化や生徒個人の回答の変遷、問題や協調学習に対する生徒の所感について分析を行った。協調学習直後のテストと遅延テストの成果を比較した結果、A クラスでは事後の正答率が最も高く、B クラスでは遅延テスト 2 度目の正答率が最も高かった。また、A クラスと B クラスを比較した結果、B クラスの方が協調学習で問題解決方法がわかった生徒の知識の保持と、協調学習から遅れて生徒が問題解決方法をわかるようになることの両方についてより効果的だった可能性が指摘された。さらに、

事後テスト及び遅延テスト2度目時点で尋ねた「あなたが考える複素数平面で図形の証明問題を解く良さとか醍醐味は何ですか」という問いかけに対する自由記述の分析結果からは、AクラスBクラス両方で遅延テスト2度目の記述の質が高まっていたことが示された。抽出生徒2名に対して行ったインタビューからは、協調学習中に時間切れになったことや、協調学習で困難だったのは与えられた知識の間を関連付けることだったことが示された。

Schwartz ら[6]の先行研究では、学習者が主体的に学ぶ形式で行われた先行学習の後で適切な学習材料を提供することが知識の転移を促すことが示されている。この結果を踏まえれば、本研究にて2度実施した遅延テストの間で行った、複素数平面の類題は、後から提供されて学習材料として捉えることができる可能性がある。このため、今後はこの類題に対する生徒の解答を分析することで、遅延テストで見られた結果を解釈するための手掛かりとしたい。

また、本研究で取りあげた協調学習の受講者からは、与えられた問題を生徒全員が一斉に考えた後で代表生徒が板書しながら解き方を説明する授業形式は、協調学習と比べてあまり役に立たないが、自分が代表として説明をするときには勉強になる、という趣旨の発言があった。この発言では、協調学習によって生徒一人ひとりが「代表」として説明したり議論したりする学びの有効性が指摘されていると捉えることもできる。今回のような分析結果を用いることで「生徒達に対して何をしゃべるのか」ではなく、「生徒達に何をしゃべらせるのか」を検討するための手掛かりが得られると考えられる。

本研究を活かして、今後の分析方法の再検討と、分析結果を活かした授業改善の両方を進めていきたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (17K17786) の支援を受けた。本研究の趣旨に賛同しデータ取得に協力くださった生徒のみなさんに感謝いたします。

参考文献

- [1] 三宅芳雄・三宅なほみ(2014). 『教育心理学概論』. 放送大学教育振興会.
- [2] 文部科学 (2017). 新学習指導要領. 文部科学省. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1383986.htm
- [3] CoREF (2017). 『「主体的・対話的で深い学び」を実現する知識構成型ジグソー法による数学授業』. 明治図書.
- [4] Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (2000). How People Learn: Brain, Mind, Experience and School. National Academy Press.
- [5] 啓林館編集部 (2013). 『Focus Gold 数学 3 (3rd edition)』, pp.206-207. 啓林館.
- [6] Schwartz, D. L. & Martin, T. (2004). Inventing to Prepare for Future Learning: The Hidden Efficiency

of Encouraging Original Student Production in Statistics Instruction. *Cognition and Instruction*, 22(2), 129-184.