

プログラミング演習における学習状況把握のためのペア学習の 会話調査

海野芽美^{*1}, 伊藤恵^{*2}

^{*1} 公立はこだて未来大学大学院, ^{*2} 公立はこだて未来大学

Pair Learning Conversational Research for Monitoring Learning Progress in Programming Exercises

Megumi Unno^{*1}, Kei Ito^{*2}

^{*1}Graduate School of Future University Hakodate, ^{*2}Future University Hakodate

In programming exercise classes, mentors such as instructors and TAs provide learning support to learners with a limited number of personnel. In such situations learners might struggle or leave tasks unfinished within the exercise duration. To address the above situations, learning situation monitoring and support systems have been proposed. In this study, we aim to develop a learning situation monitoring and support system that leverages conversation data among learners. This paper describes the investigation of learner-to-learner conversations conducted to realize this system.

キーワード：学習支援者支援, 協調学習, プログラミング演習

1 はじめに

プログラミング導入教育では、演習形式の講義が行われることが一般的である。本研究における演習形式の講義とは、講義中に演習課題が出され、学習者が自力で課題を解く授業形式のことである。Lahtinen ら⁽¹⁾によると、プログラミングを学習する上で、演習は座学の講義よりも有用である。

演習形式の講義では、講師はメンターとして学習者からの質問に対応することや進捗が遅れている学習者を発見し支援をすることなど、学習者の状況に合わせた支援を行わなければならない。しかし、講師だけでこのような支援をすることが難しいため、追加のメンターとしてティーチングアシスタント(以後、TA)が導入されることが多い。

TAに求められている役割は、授業外の支援や授業内容以外に関する質問にも対応すること、提出物の期日や授業の評価基準について把握すること、学習者が行き詰った状態を学習者と一緒に解決する支援をすることなど多岐にわたる⁽²⁾。

ただTAを追加しても、学習者の数に対して少数のメンターで学習者の質問や相談に対応するために、学習者の状況を把握して支援することが困難な場合がある。また、学習者が課題を解く過程でつまずいてもメンターに相談しない場合がある。

このような課題に対処するために、メンターが演習中に学習者の様子を把握しやすくするための学習状況把握支援システムが提案されてきた。学習状況把握支援システムには、エラーログや操作ログから学習者のつまずきを検知してメンターに表示するシステム⁽³⁾や、学習者の進捗状況を整理してメンターに表示するシステム⁽⁴⁾などがある。

一方、プログラミング導入教育において、協調学習は有効である。吉野ら⁽⁵⁾によると、プログラミングの講義で初学者に協調学習による自学自習を実践したところ、初学者のプログラミングに対する自信と興味の向上と、積極的な学習態度の喚起が見られた。

そして、近年プログラミング導入教育においてペア学習の利用が増えている。McDowell ら⁽⁶⁾はプログラ

ミング導入教育においてペアプログラミングは、落第可能性のあった者の単位取得、コードの質の向上に効果があったと述べている。

本研究では、ペア学習を使った演習形式の講義を対象とする学習状況把握支援システムの提案を行う。そのためには、ペアの会話から学習状況を把握する機能を考案する必要がある。本稿では、ペアの会話から学習状況を把握するシステムを実現するために行った会話調査の結果について報告する。

2 関連研究

2.1 学習状況把握支援システム

学習状況把握支援システムとは、演習形式の講義中にメンターが受講生の進捗や、つまづきを把握することを支援するシステムである。

市村ら⁽³⁾の学習状況把握支援システムは、つまづいている学生の早期発見と多くの学生が共通に抱える問題の発見を目的として Web ブラウザ上で動く学習状況把握支援システムの提案を行った。市村らのシステムは、エラーログと操作ログをサーバ側で収集して解析し、メンターに提示するシステムである。市村らのシステムは、受講生が共通してつまづいているポイントを可視化している。この共通してつまづいているポイントを可視化することによって、メンターが受講生全体にヒントを与えやすくなる効果がある。しかし、市村らのシステムは、エラーが出た場合はつまづきとして検知できるが、ロジックによる出力結果の誤りをつまづきとしてみることに対応していない。

井垣ら⁽⁴⁾は、進捗が相対的に遅れている学習者を早期発見しメンターが支援に入ることを目的として教育支援システムを提案した。このシステムでは、コード数、課題ごとのコーディング時間、単位時間当たりのエディタ操作数、課題ごとのエラー継続時間をもとにコーディング過程の可視化を行うことで、進捗が遅れている学生の支援を行った。井垣らのシステムは、学習に利用している言語に依存しない点で優れている。一方、井垣らのシステムは、課題ごとに進捗の遅れを出力しているため、課題1問がより複雑になり、難易度が上がった場合に進捗が管理しにくくなる可能性がある。

本研究では、学習者のつまづきの発見に会話から得られる情報を利用することによって、ロジックの間違

いによるつまづきを含めたつまづきの把握支援を、プログラミング言語に依存しない形で実現することを目指す。

2.2 ペア学習におけるつまづき分析に関する先行研究

ペアプログラミングにおけるつまづき解決の成功と失敗にみられる会話の違いが平井ら⁽⁷⁾によって分析されている。この研究は、つまづきの解決に成功するペアと失敗するペアの特徴の抽出を目的としていた。そして、ペアプログラミング中のペアの会話を分析対象として、発話量、説明の繰り返し、ペアの両者が交互に発話できているかに注目していた。それによると、つまづき解決に失敗するペアは、成功するペアと比べて会話の発話長が長く、説明の繰り返しが多い特徴が見られた。平井らの研究では、つまづきが発生したときに限らず、プログラミング中のすべてを通じた発話量と発話内容の計測を行っていたため、つまづきの状況にあるペアの発話状態については不明である。

3 ペア学習の会話調査

本研究の最終目標は、ペア学習を使った演習形式の講義を対象とする学習状況把握支援システムの提案を行うことである。そのためにペア学習特有のリソースである会話から学習状況を把握することを試みている。この節では、その一環として行ったペア学習時の会話を調査する実験について報告をする。

3.1 実験

初学者以上の学生を対象にペアでプログラミング課題を解く実験を行い、その時にされる会話の調査を行った。実験の目的は、ペア学習の際に行われる会話を調査し、その会話から得られる情報が学習状況の把握支援にどのように活用できるかを検討することである。

3.1.1 実験対象

著者ら所属大学において、学部1年次開講の Processing 言語¹によるプログラミングを学ぶ科目「情報表現入門」を履修済みであり、学部1年次開講の C 言語を学ぶ科目「プログラミング基礎」を履修済みもしくは履修中の8名を対象とした。

ペアの編成は、実験実施者でランダムに組み合わせた。ペアの組み合わせを表1に示す。

¹<https://processing.org/>

表 1: ペアの組み合わせ

ペア 1	被験者 A	学部 1 年
	被験者 B	学部 1 年
ペア 2	被験者 C	学部 4 年
	被験者 D	学部 2 年
ペア 3	被験者 E	学部 1 年
	被験者 F	学部 4 年
ペア 4	被験者 G	学部 4 年
	被験者 H	学部 1 年



図 1: 実験の様子

3.1.2 実験方法

被験者には、画面操作役を交代しながらプログラミングを行ってもらった。画面操作役の被験者は、実験実施者が用意したパソコンを利用してコーディングを行なった。被験者は、実験実施者が用意したパソコンとは別に、自身のパソコンを利用できるようにし、インターネットでわからないことを調べながらプログラミングに取り組んだ。

実験手順 実験は、図 1 のように 1 組ずつ行い、以下の手順で実施した。

1. 15 分ほどで被験者に対し、実験の概要と実験の手順を説明した。
2. 40 分間ペア学習を実施してもらった。10 分ごとインターバルを設けて、画面操作役の交代を行った。

収集するデータ 予備実験では、ペア学習中の音声の録音と画面操作役の操作画面の録画を行った。録画は、Zoom²のレコーディング機能を利用した。

²<https://zoom.us>

設問 設問は、TechFUL³というプログラミング学習のサイト上で出題されている問題を利用した。被験者には、C 言語を使って回答するように指示をした。

3.1.3 結果

発話量 つまずきを以下のように 3 種類定義して、つまずきの状態にあるペアの発話量を計測した。

- エラーが発生している状態
コンパイルエラーや、エディタ自体のエラーが発生している状態をつまずきとする。
- 問題の解き方がわかっていない状態
問題を解く方略を考えることができず、課題に着手できていない状態をつまずきとする。
- ペア間の会話に問題がある状態
ペア両者の作業の手と会話両方が止まってしまっている状態や、片方が会話をしない状態などのコミュニケーションの問題をつまずきとする。

発話量は、連続した発話を文字起こししたテキストデータの形態素数とした。例を表 2 に示す。発話量は、相手に対して発話したものに加えて、独り言も発話として計測した。なお、形態素数は、Yahoo!の日本語形態素解析⁴を利用して算出した。

実験中には、表 3 のようなつまずきが見られた。表は、つまずきが発生したペアと、ペアごとに発生したつまずきの原因、つまずきの継続時間、つまずきが解決したかどうか、プログラミング中全体の発話量、つまずき継続中の発話量、プログラミング中全体のペア間の発話比率、つまずき継続中のペア間の発話比率を示す。発話量はペアの両者の発話から算出した形態素数とした。ペア間の発話比率は、ペア両者の発話のうち、発話がより多かった方の発話の比率とした。発話比率の小数点以下は切り捨てた。例えば、表中のつまずき 1 の場合、ペア 1 のペアに、文法知識の不足によるつまずきが発生し、10 分 15 秒間つまずきが継続して、未解決のまま終了したことを示す。そして、つまずき継続中の会話のうち、より発話量が多い被験者 A が発話した比率は、被験者 A の発話量 787 をつまずき継続中全体の発話量 (787+83) で割って 90%である。

³<https://techful-programming.com>

⁴<https://developer.yahoo.co.jp/webapi/jlp/ma/v2/parse.html>

表 2: 実験中の発話例と発話量の算出

話者	発話の形態素解析結果	発話量
被験者 A	えー、/どう/しよう/。/いや/、/ちなみ に/、/どういう/こと/やろう/と/思って/ る/か/分かり/ます/？	19
被験者 B	よく/分かって/ない/。/2/個/目/の/for/ が/。	11
被験者 A	うーん、/そう/、/え/、/僕/の/方針/を 、/これは/普通/に/伝えて/いい/の/か/ な/。/じゃ/、/ちょっと/伝えて/みて/、/ そう/だ/な/。/文字/列/が/最初/に/c/に 、/ss/か/、/ss/に/1/回/入/って/いく/ん だ/けども/、/この/ss/の/中/から/h/と/a/ と/p/と/p/と/y/を/消し去り/続ければ、 /消し去り/続けて/消せ/なく/なれば、/ 多分/その/数/が/答え/だ/と/、/僕/は/思 って/。	85
被験者 B	うーん/。	2

表 3: 調査中のつまづき

	つまづきが 発生したペ ア	つまづきの 原因	つまづき継 続時間	解決し たか	実験全体 の発話量	つまづき 中の発話 量	全体のペ ア間の発 話比率 [%]	つまづき 中の発話 比率
つまづき 1	ペア 1	文法知識の 不足	10 分 15 秒	未解決	2862:482	787:83	85	90
つまづき 2	ペア 2	方針の未決 定	01 分 05 秒	解決	2844:738	142:27	79	84
つまづき 3	ペア 2	文法知識の 不足	25 分 55 秒	未解決	2844:738	1514:416	79	78
つまづき 4	ペア 3	文法の間違 い	00 分 30 秒	解決	1783:2745	16:27	60	62
つまづき 5	ペア 3	アルゴリズ ムの間違い	06 分 50 秒	解決	1783:2745	247:369	60	58
つまづき 6	ペア 4	大文字と小 文字の間違 い	01 分 30 秒	解決	1926:2261	18:60	54	76
つまづき 7	ペア 4	アルゴリズ ムの間違い	06 分 55 秒	解決	1926:2261	410:509	54	55

3.1.4 実験中の被験者の様子

ペア 1 このペアは、実験中に被験者 A が被験者 B に対して紙を用いて、プログラムについて説明する様子見られた。プログラミングは、被験者 A が主導で進めており、被験者 B から途中「まったくわからない」という発言があり、プログラムの仕様が理解できていない様子だった。しかし、被験者 B はプログラミング終了後に正解の解き方に近い方法について言及していた。つまり発生中以外でも、被験者 A と被験者 B の発話量に偏りが発生していた。

ペア 2 このペアは、被験者 D が主導でプログラミングを行っていた。実験中に被験者 D が被験者 C に対して紙を用いて、課題の解き方について説明する様子が見られた。途中、C 言語の文法についてインターネットで調べている様子が見られた。被験者 C は、被験者 D の説明に対して、積極的に相槌を打っていた。つまり発生中以外でも、被験者 C と被験者 D の発話量に偏りが発生していた。

ペア 3 このペアは、互いに意見を求め合いながらペアプログラミングを行っていた。例えば、被験者 E が課題の解き方について提案する前に、被験者 F に対して意見を求める発言をしていた。画面操作役になった被験者が、書いたプログラムについて自発的に説明している場面があった。

ペア 4 このペアは、互いに積極的に意見を出し合いながらペアプログラミングを行っていた。意見を求める発言がなくても、つまづきを解決するための方法について、意見を出していた。

3.1.5 考察

発話量の偏りとつまづき発生の関係 つまづき状況にあってもペア 3 やペア 4 のように発話量に偏りが少ないペアと、ペア 1 やペア 2 のように発話量に偏りがあるペアがいた。したがって、今回の実験では、発話量の偏りとつまづき発生の関係はみられなかった。発話量の偏りからつまづき状態を推定することは困難であることがわかった。

つまづき継続中に発話量に偏りがあるペアとないペアが発生していた。発話量の偏りが発生するペアとそ

表 4: ペア 1 の会話

話者	発話内容
被験者 A	char の配列。うーん、何だろう？なんでもいいや……、なんか ch とかでもいいや。これは大きさは 5 個とかかな。これを H と A と P と P と Y で初期化して。
被験者 B	初期化？
被験者 A	うん。=、その後、中括弧、中に h と a と p と p と y を、それぞれ char の形式で。
被験者 B	char の形式？ん？
被験者 A	うん。何だっけ、シングルコーテーションつけながら。

うでないペアの特徴を表 4 や表 5 に示す会話内容から、ペア間のプログラミング知識が関係しているのではないかと考える。発話量に偏りがあったペア 1 では、被験者 A が被験者 B よりもプログラミングの知識があり、コーディングを率先して誘導している様子が見られた。表 4 にあるように被験者 A が誘導する様子があったが、被験者 B が意見を出してプログラミングを行う様子は見られなかった。一方、発話量に偏りが少ないペア 4 では、それぞれが方略の提案をしあっている様子が見られた。このことから、実際の演習授業ではコミュニケーションの問題を減らすために、ペアのプログラミングの知識に差がないように組む必要があることがわかった。

発話量の偏りとつまづき解決の関係 今回の実験では、つまづき発生中に極端に発話量に偏りが発生したつまづきが全 7 つのつまづきのうち 3 つあった。極端に発話量に偏りが発生したつまづきは、ペア 1 の文法知識の不足によるつまづきと、ペア 2 の方針の未決定のつまづきと、文法知識の不足によるつまづきである。発話量の偏りが極端になったつまづきがあるペア 1 とペア 2 は、つまづき発生中以外にも発話量に偏りが発生していた。そして、ペア 1 とペア 2 は出題した課題を解決することに失敗していた。このことから、発話量に偏りがあるペアは、つまづきの解決に失敗しやすいペアであるとわかった。

表 5: ペア 4 の会話

話者	発話内容
被験者 H	p が 2 番目ですよ？これ。
被験者 G	p が 2 やね。
被験者 H	ということは、これが半分になりますね。
被験者 G	半分になるね。で、もし、P って、例えば、他のやつがいっぱいあったとしても、P が 3 個やったら、HAPPY は 1 個しか作れへんやん。てことは、0.5 とかなったときには切り捨てていいやん。
被験者 H	うん。ただ、これは、array は int 型で作ってるので、多分、無言で切り捨てられるんじゃないですかね。

無言時間 ペアプログラミング中にペアが無言になる時間があった。特に、ペアのうちどちらかが 90 秒以上無言の状態だった時間は、出題してすぐの時間かつまずき発生中の時間のみであった。このことから、ペアが問題を読んでいると考えられる時間を除いて無言状態が続いていた場合、つまりきの状態にいるペアを検出できると考える。

4 おわりに

ペア学習時に適した学習状況把握支援システムの提案を目指し、ペアでプログラミングを行った時の会話調査を行った。発話の形態素数による発話量の偏りの調査では、ペアごとの発話の差が大きく、発話量の偏りから学習者のつまりき状態の推定をすることが難しいことがわかった。よって、学習状況把握支援システムでは、発話量からつまりき状態にあるペアを検出することは難しい。

今後は、会話内容に注目し、会話内容から得られた情報を学習状況把握支援システムに活かすための試行をする。その第一歩として、プログラミング中の学習者の会話に同期的に生成系 AI によるトピックの割り当てを行い、その情報をメンターに表示することで学習状況把握に与える影響を測る予定である。その結果を踏まえて、会話情報から学習状況把握支援を行う方法を検討していく。

また、今回の実験によってペア間のプログラミング知識の差が大きいと、発話量の偏りが大きくなることがわかった。一般的にペア学習のような協調学習では、発話量に偏りが少ない方がコミュニケーションがうまくいっているとされる。そこで、今後の実験やシステムを導入する際には、学習者間のプログラミング知識の差が小さくなるように組むことが理想である。

参 考 文 献

- (1) Essi Lahtinen, Kirsti Ala-Mutka, Hannu-Matti Jarvinen : A study of the difficulties of novice programmers, *ASM SIGCSE Bulletin*, vol.37(2005), pp.14–18
- (2) 時任集平, 中野康人, 中村洋右, 佐永田千尋: 実践研究報告; プロジェクト学習においてラーニングアシスタントに必要な能力に関する考察, *関西学院大学高等教育研究*, vo.7(2017), pp.89–97
- (3) 市村哲, 梶並知記, 平野洋行: プログラミング演習授業における学習状況把握支援の試み, *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 12(2013), pp. 2518–2527.
- (4) 井垣宏, 斎藤俊, 井上亮文, 中村亮太, 楠本真二: プログラミング演習における進捗状況把握のためのコーディング過程可視化システム C3PV の提案, *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 1(2013), pp. 330–339.
- (5) 吉野志保, 舟生日出男: 学生の自律的な協調学習活動に基づく課題解決型 C プログラミング演習の実践, *教育システム情報学会誌*, vol. 30, No. 3(2013), pp.226–231.
- (6) MacDowell, C., Werner, L., Bullock, H., and Fernald, J.: The Effects of Pair-Programming on Performance in an Introductory Programming Course, *ACM SIGCSE BULLETIN*, Vol. 34(2002), pp. 38–42.
- (7) 平井佑樹, 井上智雄: ペアプログラミング学習における状態の推定 つまりきの解決の成功と失敗に見られる会話の違い, *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No.1(2012), pp. 72–80.
- (8) 末田清子, 抱井尚子, 田崎勝也, 猿橋順子: コミュニケーション研究法, ナカニシヤ出版, 2011. pp174–175