

《研究資料》

「ペア評価によるプログラミングへの探求学習導入」翻訳*

Embedding Inquiry Based Learning into Programming via Paired Assessment (Japanese Translation)

内 田 君 子**
UCHIDA Kimiko

訳者序文

本稿は、2011年2月に刊行された *ITALICS* (Innovation in Teaching and Learning in Information and Computer Sciences) 所収のコールマン博士 (Sonya Coleman) とニコルズ氏 (Eric Nichols) の論文「Embedding Inquiry Based Learning into Programming via Paired Assessment」¹⁾ の翻訳である。これは、コールマン博士らが2010年ダーラム大学における情報とコンピュータサイエンス研究センター第11回年次大会のために書き下ろし、筆者が訳出した「Enhancing Student Engagement Through Pair Programming」²⁾ による予備的な結果報告に、追加の統計分析と考察が加えられたものである。

この二つはともにコールマン博士³⁾ が推進する「ペア学習と評価による単位不認定の改善」研究プロジェクトの成果で、ペアプログラミングが学生の出席と実習評価を向上させ、ペアでの学びを学生が楽しんでいたことを示し、大学初年次の実習科目におけるペア学習法の効果を明らかにした。特に本論文は、過年度との結果比較ならびに他モジュールとの相互関係についての精緻な分析によって授業出席と成績が改善したかどうかを検証し、ペアプログラミングがより深い学びと理解へ導くことを示した点で、ペア学習法の可能性に関する重要な言及を含んでいることは明白と考えられる。さらにそれらは、現在筆者らが取り組んでいるペアワークを用いたコンピュータリテラシー格差拡大への対策研究において、ペア効果の実態把握とその効果向上を追求して行く上で不可欠な要素であることから、ここに翻訳報告するものである。

訳文

要旨

授業方法の変更は、一部の学生を不快に感じさせる場合がある。この問題を解決するために、知的発達と学習方法の分野における研究で強く支持されている探求学習 (Prince, 2007) を利用することがある。探究学習は、すべての学生ニーズに対応するため、従来の指導方法と組み合わせて導入することが望ましい。その学習法のひとつであるペアプログラミングは、仲間とのコミュニケーションを増加させ、学生が互いに質問し合うことを促進し、コンピュータプログラミングの実習をより意欲的にする。学生は、プログラミング課題を解決するために異なる手法を試みることで互いに自信を得て深い学習を強化する。さらに、ペアでの取り組みは、単独で教師へ質問できない一部

* 2012年9月14日受理

** 名古屋学芸大学短期大学部

の学生に質問する勇気を提供するといわれている。本論は、出席と実習成績を改善するためにペアプログラミングを用いてプログラミングモジュールにおける探求学習を促進した事例研究である。

キーワード：ペアプログラミング、評価

1. はじめに

ペアプログラミングの手法は、最近多くの米国の大学や企業へ導入されている。これは、プログラミング作成の際、二人のプログラマーが1台のPCで一つの作業に協同で取り組む方法であり、1人のプログラマーがコーディングを行い（ドライバー）、もう一方のプログラマーは入力された各コード行を再検討し（オブザーバー）、2人のプログラマーは頻繁にその役割を交代するというものである。オブザーバーはまた、ドライバーが現行作業完了のための戦略に全注意を集中できるよう、コード改良のためのアイデアを見つけ出さなければならない（Williams, 2001）。産業界では、ペアプログラミングが設計の品質、欠陥の減少、技術力の強化、チームコミュニケーションの向上を含む開発における多くの側面を改善している（Cockburn, 2001）。大学においては、2000年にミズーリ州立大学でペアプログラミングが実施され、学生にペアプログラミングについての意見を尋ねたところ、70%が肯定的であったとの報告がある（Sanders, 2003）。その他にも多くの実践研究が産業界と教育界双方で行われ、ペアプログラミングの有益性が報告されている。産業界では、Arisholm 他（2007）がヨーロッパで初級、中級、上級のJavaコンサルタントの組み合わせを用いてペアプログラミングの実験を行った。その結果、パートナーの支援を得て通常より短い時間でうまく作業を完了できた点で、新任開発者の効果が最も高かったことが明らかとなった。Dyba（2007）は、適切なペアの組み合わせによって、ペアプログラミングが大変効果的であったことを示した。この事例研究では、被験者が自分のパートナーを自ら選択することによって正しいペアを選ぶ方法が取られた。学術研究機関でも、ペアプログラミングに関する多くの研究が試みられてきた。しかし、それは英国よりもむしろ米国においてである。Braught 他（2008）の研究は、ペアプログラミングを行うことにより学生が順当にコースを完了できる可能性が高く、個々のプログラマーとして能力も向上することを明らかにした。同様な研究方法で、コンピュータサイエンスにおいて学生が自らの取り組みにいっそう自信を持つことや、特に女性の場合にそれが顕著であることなどが確認されている（McDowell, 2006; Simon, 2008）。

一方、探求学習においては、少人数グループの取り組みによる双方の効果に関する多くの研究が行われ、報告されてきた。探求学習は、教師が情報を伝達するのではなく学生が構築する学びを認める教育方法であり、これを用いて単位不認定者を減少させる試みが行われている（スパークス財団, 2010）。探求学習の基本原則は、「話してくれても忘れるでしょう。見せてくれれば思い出すでしょう。参加させてくれれば理解するでしょう。⁴⁾」という古い諺にみられるように、学生自身が考え、互いに問題を検討し、最終的に深い学習を定着するため学生に作業や活動させることである。そのため、プログラミングの授業に探求学習を導入することによって、問題解決に関連したプログラミングへの理解が深まるだけでなく、課題を検討し解決するため共に取り組む姿勢を学生に身につけさせることができる。実際、この方法により、学生の関与を増加させ、学生間の協力を促進し、学生がその過程を通して熟慮することでより深い知識を育成するなど、多くの効果が認められている（Prince, 2007; Prince, 2006）。学生の観点からみた探求学習の重要な側面は、学生が学習過程に関与する、探求過程に関わる、問題を提起する、説明を提案する、他者の意見を利用する、学習活動を計画し実行する、スタッフや仲間と話し合う、ことである（Prince, 2007）。できれば、コンピュータサイエンスやエンジニアリングでのプログラミング授業においても、同様に学生が理論を調査

し、それを展開し、理解できるようにする実践的適用と理論の適正水準を学生へ提供できることが理想である。高等教育の中で、我々はできる限り双方向的なモジュールにすることを目標としているが、そのモジュールではバランスを正しく保つように注意する必要がある。ある者は実践することから学び、ある者は読書から学ぶ、またある者はBGMによってよりよく学ぶ、など様々な学生が異なる方法で学習することは周知の事実である。そのため、我々の授業への取り組みにおける大きな変更が一部の学生を不快に感じさせるかもしれない。そこで本研究では、すべての学生ニーズに対処するため、既存の授業様式に探求学習を組み合わせるという方法を導入した。

本論では、アルゴリズムプログラミングモジュールに探求学習活動を定着させる一手法として試みたペアプログラミングの利用に関する調査結果、すなわち学生がペアでの取り組みを楽しみ、そしてモジュール評価点は全体的に向上することが見出された、ということを報告する。

2. 方法

探求学習の一手法として、ペアプログラミングを2009年～2010年度（AY0910）2期のアルゴリズムプログラミングⅡモジュールに導入した。このモジュールでは、理学のコンピュータサイエンスや工学の電子工学とコンピュータシステム、工学のゲーム開発など幅広い領域の一年次生が履修しており、彼らはペアになって実習および実習評価を行った。

2.1 ペアの組み合わせ⁵⁾

本モジュールの学生総数は58名であった。ランダムに選択されたパートナーはモジュールの過程で多くの問題が発生する可能性があるため、学生自身が自分のパートナーを選ぶことを認めた。第一週目、筆者は学生に協力関係の詳細をメールするよう求めた（ペアで1通）。これについて、当初はいくつかの問題があった。一部の学生が、パートナーとなることを希望したかどうか確認することなくパートナーを選択したのである。これは、2組と少数であったが、この問題は講義の中で取り上げ、学生同士でその問題解決に当たるよう指導した。また別の一部学生は、ペア組み合わせの作業に消極的であった。しかし、他に選択肢はないこと、誰かと一緒に作業せざるを得ないことを指摘して納得させた。予想通り、3週目までに数名の学生が脱落したため、そのパートナーは新たに他の誰かとペアになる必要があった。しかし、これらは大きな問題ではなく、最初の評価が行われるまでにはすべて適切にペアが組まれた。

2.2 評価

学生はペアで実習を完了し、ペアで評価された。しかし、評価は次の方法で個別にも行われた。

- a) 双方の学生に個人成績を決めるための授業に出席する義務を負わせた。
- b) 双方の学生に実習について個別に質問を行い、双方の学生がそれぞれ自分自身で解釈し説明するよう求めた。

このような評価方法を用いることによって、個々の学生がパートナーの努力による成果だけで評価されることはなかった。

評価は、実習の時間割の中で実施した。どのペアも約5分ないし10分間の時間をとり、その後通常の実習作業に戻ることができた。実習授業の最初に、すべての学生に対しどのPCで実習するかを選択させ、評価を行うための準備をするよう求めた。実習授業は通常通りに始まり、評価が開始された。評価者は、各ペアに対し、プログラムを実行し、その結果を説明し、コードを示すよう単純な指示をした。個々の学生がコードを理解したかどうか、あるいは実質的に本人が作業していたかどうかを判断するため、ペアの各学生に対し個別に質問を行った。評価は、下記の項目をそれぞれ

れ2点、10点満点で採点した。

- ① プログラムの実行
- ② 正確な出力
- ③ 優れたコード構造
- ④ 優れた解説
- ⑤ 理解

言うまでもなく①から④に割り当てられる成績はそれぞれのペアの学生は同じであり、個々の成績は「⑤ 理解」で行われた。

モジュールの終わりに、ペアプログラミングの有効性について2つの方法で判断した。まず、統計分析を行い、授業成績と実習授業への出席について前年度と比較して改善されたかどうか評価した。次にペアプログラミングに関する学生の意見を収集・分析するため、アンケート調査を行なった。この研究は、2期に実行されたため、すでに1年次生はペアプログラミングを使用せずに1期に1つのモジュールを終了していた。そのため、学生は双方の学習様式の利点と欠点を比較することが可能であった。

実習評価が、このモジュールにとって授業内容の一部であったことは注目される。各学生が独力で受けた2つのクラステストは、それぞれの学生の個別評価を行うためペア評価点と組み合わせられた。

加えて、モジュールの試験が終了した後、前年度と比較して全体的に試験成績が改善したかどうか確認するため、さらに追加の統計分析を行った。その結果、ペアプログラミングが深い学習と理解に結びつくことが明らかになった。しかしながら、全体的な改善がアルゴリズムプログラミングモジュールに特有のものか、あるいは単に学生が前年度より学問的に優っているだけなのかを確認するため、他のモジュール成績との相互関係を示すことが必要であった。

3. 学生の意見

モジュールの最後に、ペアプログラミングについて学生の考えや意見を得るため、アンケートを行った。そして、本研究で用いられたペアプログラミング手法を1期のプログラミングモジュールで使用された個別プログラミングと比較、対比を行った。これによって、ペアプログラミングについて学生の意見を把握することができた。全体で58名中21名の学生が、アンケートに記入した。質問と各項目に「はい」と答えた学生の割合を表1にまとめた。

この表に示されるように、76.2%の学生がペアでの取り組みを楽しんでいた。全体的な結果は、協力関係の中に知識移転が生起したことを示唆している。それはさらに、学生が評価の手段としてグループワークを含む多くの他のモジュールに影響する可能性がある多人数グループよりも、ペア

表1 学生意見の要約

質 問	「はい」の割合 (%)
ペアで取り組むのは好きですか	76.2
独力で取り組む方が好きですか	28.6
より大きなグループで取り組む方が好きですか	28.6
ペアでの取り組みはプログラミングの理解に役立ったと思いますか	57.1
あなたはプログラミングパートナーから学んだと思いますか	57.1
プログラミングパートナーはあなたから学んだと思いますか	42.9
あなたとパートナーは時間外のプログラミング実習に協同で取り組みましたか	47.6

で取り組むことを好むことも示している。また、学生の47.6%が時間割上の授業外で、一緒に実習に取り組んだ点は注目される。おそらく、ペアプログラミングの使用が一年次生の間の絆と親密感を強化する効果があったものと思われる。

4. 評価

4.1 量的評価

アルゴリズムプログラミングⅡモジュールにペアプログラミングを取り入れた結果について量的分析を行った。十分な統計的分析を行うために、まず出席が改善したかどうかを確認する目的で2008年度、2009年度のアルゴリズムプログラミングⅡと出席を比較した。さらに、出席の改善が特定の集団に依存していなかったことを確認することと予想される出席の概要を得る目的で、2009年度と2010年度1期の数学モジュールの出席を分析した。分析の詳細は付録Aに示されている。

探求学習の手段としてペアプログラミングをプログラミングモジュールに組み込む目的は、実習の出席を改善し、深い学習の効果を高めて、初年次の単位不認定を改善するとともに、実習の評価点を向上させることであった。実習の出席に関して、2008年度、2009年度と比較して出席が全体的に2.5%増加したことが示された。さらに、同じ群の1期データと2期データの関連を調べたところ、出席が予想より顕著に高いこともわかった。具体的には、実習の出席が予想より27.8%高かった。実習時にペアで取り組むことが講義への出席に影響したかどうかを調査したところ、講義の出席が予想より10.35%高かったことが明らかとなった。これは、まだ改善の余地は残されているものの、ペアワークが2期の実習科目と講義科目の出席を促進したことを意味していると思われる。

次に、ペアプログラミングが実習の評価結果を向上させたかどうかを判断するため、モジュールの全体的な実習評価を分析した。その結果、実習評価点が昨年度と比較して31.2%増加し、予想より26.2%高かったことが示された。他のモジュールとの相関分析も行い、アルゴリズムプログラミングモジュールの出席と成績が数学モジュールより若干良かったことが明らかとなった。しかし、これが厳密にペアプログラミングによるものか、学生のモジュールの好みの結果によるものかは明確ではない。そのため、次年度、各モジュールの好意度を示す質問を含む学生アンケートによって判断するつもりである。

これらの分析に加え、モジュールに参加したと判断された学生、すなわち授業課題のすべてを提出し、試験を終えた学生の出席と成績を調査した。これらの学生を対象として、アルゴリズムプログラミングⅡの成績と同じ学生群が完了した他のモジュール成績を比較したところ、表2に示されるように出席と成績の両方で大きな改善が認められた。

表2 数学モジュールとの相互関係の概要

		改善の割合 (%)
実習の出席	— 全学生	+20.6
実習の出席	— 女性	+21.8
講義の出席	— 全学生	+19.9
講義の出席	— 女性	+15.7
評価点	— 全学生	+53.5
評価点	— 女性	+61.0

4.2 質的評価

アンケート結果と学生との対話から、モジュールのペアプログラミングを学生が楽しんでいたことが明らかとなった。このことは、ペアで実習を行う時だけでなく、一緒に講義に参加し、チュー

トリアルの問題に共に取り組むことへと発展していった。一部の学生は、一緒に旅行したりすることになった。学生がペアで取り組むことに賛同していたという事実は、実習中の学生の建設的な変化を生み出したと考えられ、実際チュートリアルでは積極的に問題に取り組むため互いに話をし、相互に考えを引き出し、最適な解決を考え出していた。学生が共に取り組み、問題点を議論し、そして深い有意義な方法で互いから学ぶという点は、探求学習の明確な目的の一つである。さらに、ペアプログラミングが女子学生に大変適していることが判明した。伝統的に、コンピュータサイエンスやその関連分野では男性が数で上回っており、女性はこれらの分野への参加に消極的な姿勢がみられていた。ペアでの取り組み（すべてが女性と取り組む）は、一緒に問題を解決し、また一緒に学問的質問をすることで女性が自信を持つことになる。これは、この専門領域に女子学生を確保するという課題の解決にきわめて重要である。

ペアプログラミングの使用は、大きなモジュールサイズ時でも容易な方法で実習の評価を可能にし、また、モジュールサイズが拡大する場合でもペアから小グループに変更することで対処可能となる。ただ、ペアプログラミングは実習や講義の出席を促進し、モジュールの実習評価点は前年度より顕著に高かったが、試験成績に反映されていない点は留意すべきである。試験成績は、有意な改善が認められず、前年度と同様であった。

5. 考察

本研究は、モジュールにおける学生の参加と関与を促進し、最終的には初年度の単位不認定を改善するアルゴリズムプログラミングⅡモジュールの実践を紹介することを目的としている。そこで、研究目的を達成することはできたのか、また、その達成に向けて行ったいくつかの方法がうまく機能したのかを検討した。

英国およびアイルランド内では、学生の単位不認定の問題が顕著である。しかし、我々は学年を通じた学位課程における授業出席と関与の量に基づいて調査したところ、初年度に失敗する学生が多いということがわかってきた。学生が高等学校で情報通信技術 ITC を学び、これがコンピュータサイエンスだ、と思って入学してくることが特にコンピュータサイエンス関連の分野に蔓延している。そのため、学位課程に入る時、多くは彼らが思っていた学問分野ではないことに気づくのである。

プログラミングモジュールにペアプログラミングを導入する主な理由は、学生相互をモジュールに関与させ、出席や成績、全体的な単位不認定を改善することである。実習の出席は、2008年、2009年と比較して改善した。表2に示すように、実習評価点は予測値と比べ平均で約54%高くなった。表2はまた、ペアプログラミングの予測値で、特にクラス内の女子学生が著しく成績向上していることを示している。

このプロジェクトのもうひとつの主要な狙いは、実習と実習評価への出席を促進し、プログラミングの理解を深めることによって学びの質を高めることであった。学びの改善は、改良されたクラステストと試験得点によって判定を試みた。しかし、残念なことに、今回の結果はクラステスト得点の平均点が2%下降し、全体の試験得点はこれまでと同様であった。そのひとつの原因として、主にモジュールに参加せず、試験を受けなかった8名の学生の影響が大きかったと思われる。本研究の目的がモジュールへの関与と出席を改善することであったので、これらの学生については今後議論する必要があるだろう。しかし、ペアプログラミングに参加した学生に限って言えば利点が多かったことは明らかである。

6. 結論

本論では、ペアプログラミングの利用によってアルゴリズムプログラミングモジュールに探求学習を取りこむ試みを示した。このモジュールでは、学生はペアと一緒に課題に取り組み、実習評価においてもペアで評価された。今回の調査結果として、ペアプログラミングの利用が学生の講義や実習への出席を促進したこと、また全体的にモジュール評価点が過年度からの成績と評価点の経験に基づく予想よりもかなり高かったことが明らかとなった。しかし、ペアプログラミングの利用は有意な点は多いものの、試験成績が改善しなかったこともまた明らかとなった。

7. 謝辞

本研究は高等教育アカデミー情報とコンピュータサイエンス研究センターの研究助成を受けた。関係各位に感謝する。

文献

- (1) Arisholm, E., Gallis, H., Tore, D., Sjoberg, D.I.K., "Evaluating Pair Programming with Respect to System Complexity and Programmer Expertise" *IEEE Trans on Software Engineering*, Vol. 33, No. 2, Feb 2007.
- (2) Braught, G., Eby, L.M., Wahls, T., "The Effects of Pair-Programming on Individual Programming Skill" *SIGCSE*, March 2008.
- (3) Cockburn A., Williams, L., "The Costs and Benefits of Pair Programming" The XP Series, *Extreme Programming Examined*, pp. 223-243, 2001.
- (4) Dyba, T., Arisholm, E., Sjoberg, D.I.K., Hannay, J.E., Shull, F., "Are Two Heads Better than One? On the Effectiveness of Pair Programming" *IEEE Software*, Vol. 24, No. 6, pp. 12-15, 2007.
- (5) McDowell, C., Werner, L., Bullock, H. E., Fernald, J., "Pair Programming Improves Student Retention, Confidence and Program Quality" *Communications of the ACM*, Vol. 49, No. 8, August 2006.
- (6) Prince, M., Felder, R.W., "The many faces of inductive teaching and learning" *Journal of College Science Teaching*, Vol. 36, No. 5, pp.14-20, March/April 2007.
- (7) Prince, M., Felder, R.W., "Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases". *Journal of Engineering Education* 95 (2), pp. 123-138, 2006.
- (8) Rice, P., "Facilitating learning in small groups" <http://www.heacademy.ac.uk/>
- (9) Sanders, D., "Student Perceptions of the Suitability of Extreme and Pair Programming" *Computer Science Education*, 2003.
- (10) Simon, B., Hanks, B., "First-Year Students' Impressions of Pair Programming in CS1" *ACM Journal on Educational Resources in Computing*, Vol. 4, No. 7, Jan 2008.
- (11) The Sparks Foundation (2010). Why promote inquiry based science programming? Retrieved August 6th 2010. <http://scienceexplorers.com/wp-content/uploads/promoting-inquiry-based-learning.pdf>
- (12) Williams, L., "Integrating Pair Programming into a Software Development Process" (PDF). *14th Conference on Software Engineering Education and Training*, 2001.

付録A

出席について検討するため、1期モジュールからの出席総数を、学生数に週の数に掛けることで算出した。次に、学期の毎週の出席を合計し、出席総数で割って出席率を得た。これは、今年度および前年度に実行された。今期のアルゴリズムプログラミングⅡモジュールに期待される出席を示すため、これら前期出席記録の比較が、前年度のアルゴリズムプログラミングⅡモジュールの出席

に対して行われた。同じ方法が、実習評価結果を予測するために用いられた。この方法を使う利点は、差が数量化されて、異なる年度に同じ学生の出席や試験、クラステストに適用できることである。この方法によって、能力ではなくペアの結果による分析の違いが残り、ペアの手法を用いなかった学生の向上あるいは低下の量が見出された。

訳者注

- 1) Sonya Coleman, Eric Nichols, "Embedding Inquiry based learning into Programming via Paired Assessment", *ITALICS 10(1)*, 72-77, 2011.

原文は、<http://www.ics.heacademy.ac.uk/italics/vol10iss1.htm> からダウンロードすることができる。

- 2) 「Enhancing Student Engagement Through Pair Programming」は、コールマン博士(Sonya Coleman)とニコルズ氏(Eric Nichols) が2010年8月にダーラム大学で開催された情報とコンピュータサイエンス研究センター第11回年次大会(11th Annual Conference of the Subject Centre for Information and Computer Sciences)で発表した論文で、筆者によって訳出されている。これは、大学のプログラミングモジュールにペアプログラミングを導入した結果の概要で、モジュールにおける試験の構成要素に関する分析が完了する前に行われた先行報告である。

内田君子:「ペアプログラミングによる学生関与の促進」翻訳, 名古屋学芸大学短期大学部研究紀要第9号, 37-43, 2012.

- 3) 第一著者のソニア・コールマン博士(Sonya Coleman)は、アルスター大学マギーキャンパス SCIS (School of Computing and Intelligent Systems) の講師 (Senior Lecturer) で、イメージ処理やコンピュータビジョン、医療画像処理、ロボット工学を研究領域としている。博士は、本論において取り上げた「ペア学習と評価による単位不認定の改善」の研究プロジェクトを推進している。

- 4) 原文は "Tell me and I forget, show me and I remember, involve me and I understand."。実践による学びの奥深さについての Native American の諺で、人は学ぶ際、見たり聞いたりするだけでは身につかず、人々と関わり合いを持ちながら、一つの目標に向かうことで、より深く学ぶことを体験を通して学んできたことを表すものである。

- 5) ペアの組み合わせについては、複数の先行研究でペア編成が学習効果に影響することや、その編成法の開発が課題であることなどの指摘がある。本論文におけるペアの組み合わせは、ペアプログラミングのためのパートナーを学生が自分で選択する方法で行われた。この点について筆者らは、効果的なペア組み合わせの抽出を目的としたペアワークの実践研究を行い、情報基礎教育におけるペア組み合わせ指標として基礎学力差と性別が有効であることや、コミュニケーション量も課題達成度に影響することなどを明らかにした。

Oya Y. and Uchida K.: Practical Consideration on Pair problem solving in Computer Literacy Education, *The Third Asian Conference on Education Official Proceedings*, pp. 235-246, 2012.

内田君子, 大矢芳彦:情報基礎教育におけるペア学習導入に向けた実践的検討, 2011教科開発研究会発表論文集, 74-77, 2011年.