

児童教育において対話型学習を行う対人エージェントの提案 及び従来手法との比較

Proposal of an Interpersonal Agent for Interactive Learning in Children's Education and Comparison with Conventional Methods

関 陽太郎^{1*}市川 和磨¹川島 遼介¹大澤 博隆¹

Yotaro SEKI

Kazuma ICHIKAWA

Ryosuke KAWASHIMA

Hirotaka OSAWA

¹ 慶應義塾¹Keio University

Abstract: 対話型学習を行うエージェントが実現できれば、他者のいない空間でも、対話型学習が可能となる。他人に教えるという行為をする対話型学習は、講義形式や自己学習などの様々な学習形態の中で、最も学習効果が高いことが示されている。しかし、対話型学習に関する研究は十分に行われていない。そこで本研究では、小学校高学年から中学生を対象に、エージェントとの対話型学習を実現するシステムを実装した。この対話型学習は、ジグソー法をベースとした、エージェントと子供が互いに教え合う形式を採用している。また、広く用いられている Learning by Teaching 方式（学習者が一方的に教える手法）との比較検証も行った。

1. イントロダクション

学校教育においてアクティブ・ラーニングの導入が進められている[1, 2]。アクティブ・ラーニングとは、文部科学省での定義では、「学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の総称」[3]である。アクティブ・ラーニングの中には、体験学習、グループ・ディスカッション、自己説明、他の人に教える、などの種類がある[3]。Bonwell らの研究[4]では、アクティブ・ラーニングは、学級全員に教師が講義を行う一斉学習と比べて、課題に対する正答率が向上することが示されている。また、1人で行うアクティブ・ラーニングより効果的な手法として、他人に教える Learning by Teaching (LBT) と、互いに教えあうジグソー法という学習形態がある[5]。LBT とは他人に教える学習形態[6, 7]であり、ジグソー法とは、グループを作成し、グループ内で学習内容を分担して教えあう学習形態である[5]。Chi らの研究[8]でも、対話的な学習と非対話的な学習を比較した際に、対話的な学習を行った方が、課題に対する正答率が向上することが示されている。

しかし、自宅学習などの他者が存在しない空間においては、他人に教えるという行為は成立しない。

勉強を教える他者がいない状況でも、教えるという行為を可能にするのがエージェントの存在である。Human-Agent Interaction (HAI)におけるエージェントについて、山田ら[9]は「人間という外界とインタラクションをもつ自律システムや自律にみせかけるシステム」と定義している。エージェントを教育現場に導入した事例は複数報告されている。日本では、小学校において、児童が図書を紹介するユーザー生成エージェントが約2か月導入された[10]。本小学校の事例では、児童が他の児童に対して、エージェント介して図書を紹介するシステムが導入され、児童の図書に対する関心が上昇していることが示された。また、別の小学校においては、小学校3年生を対象に、英語の授業で小型ヒューマノイドロボットの導入が約1年間行われた[11]。本小学校の事例では、エージェントは外国語指導助手 (ALT) の代わりに、英語の発音の手本を児童に見せるために利用された。エージェントを学校での英語教育に用いることで児童が興味を示すことが示唆さ

れた。

これらの事例は、学校教育において、エージェントを導入することで、児童がエージェントへ興味を持ち、エンゲージメントの向上につながることを示唆された。また、Chase ら、Sjödén らの研究[12, 13]では、エージェントに教えることで、課題に対する正答率向上につながることを確認されている。そのため、アクティブ・ラーニングの相手としてエージェントを導入することで、対人間と同様の効果が得られる可能性がある。

Chase らの研究[12]では、教えられるエージェントである Teachable Agent (TA) に対して教える場合、自己学習だけの場合と比べて学習量が増加し、課題に対する正答率が高まることを示されており、LBT の有効性が示されている。また、Sjödén らの研究[13]では、特に TA を使用した低成績者が、TA を使用した高成績者と比較して、課題に対する正答率が高まることを示されている。これらの研究[12, 13]により、エージェントを用いて LBT を行うことで、課題に対する正答率の向上が達成されることが示されている。

しかし、LBT は、エージェントが受動的であるために会話の主導権を握らず、学習者の興味やエンゲージメントが低下し、それに伴い、課題に対する正答率が低下してしまうことが問題点として挙げられている[14]。そのため、学習者のエンゲージメントを低下させずに、エージェントとの学習を行わせる必要がある。

そこで本研究では、Chi らの研究[8]で一方向型の LBT より課題に対する正答率が高まると述べられている、双方向型学習の 1 つであるジグソー法をエージェントを用いて行うことを提案する。ジグソー法を用いてエージェントと相互に教えあう研究に関しては、十分な調査が行われていない。エージェントと共に教えあうことで、既存研究と比べてエンゲージメントが向上し、より高い課題に対する正答率が達成されることが期待される。本研究では、エージェントを用いたジグソー法の有効性を検証するために、小学校高学年から中学生を対象に既存手法である LBT を比較条件とした比較実験を実施した。本システムでは、構造単純化のため、グループではなく、人間対エージェントの 1 対 1 で相互に教えあう方法を採用した。

2. 関連研究：ジグソー法と LBT

本章では、本研究で取り上げるアクティブ・ラーニングの具体的な学習形態の 1 つであるジグソー法と LBT について取り上げる。

Learning by Teaching (LBT) とは、学習者が他者に教えるという行為を通じて、学習者自身の学びを深めるという学習形態のことを指す[6, 7]。LBT は他者に教えることで、課題に対する正答率が講義形式と比べて高くなることを示されている[6, 7]。LBT では、事前に他者に教えることが分かっている場合と比べて、学習者は他者に教える以前の自己学習の段階でも、課題に対する正答率が向上することが示されている。また、学習者が教える他者がエージェントである場合に関しても人間同様、課題に対する正答率が向上することが示されている[12]。一方、LBT では、エンゲージメントの低下により、課題に対する正答率が低下する問題点が指摘されている。その問題点を解決し、一方向型の学習形態である LBT と比較して、より課題に対する正答率が向上する可能性がある手法がジグソー法である。

ジグソー法とは、1971 年にアメリカでエリオット・アロンソンによって考案されたもので[5]、その後改良が加えられていったグループ学習の学習形態のひとつである。ジグソー法では、まず、エキスパートグループとジグソーグループと呼ばれる 2 種類のグループを作成する。それぞれの目的としては、初めに所属するエキスパートグループにて資料の読解を行い、細かく分けられたテーマのうちのひとつである自分の担当部分を深く学習する。その後、所属するジグソーグループでは、グループメンバー同士で相互に担当部分の学習内容を発表し、教えあう。以上の手順で学習を行う。これにより、全ての内容について学習せずに、互いに分担し教え合うことで、情報を小分けに処理することにより、課題に対する高い正答率を達成できることが示されている[15, 16]。また、ジグソー法は相互依存が起こるように構造化されており、責任感が増加する[16]ため、講義形式と比較して、課題に対する正答率が高まることも示されている[17, 18]。

3. 実験

本実験の実験目的は、エージェントとのジグソー法および、エージェントとの LBT における、学習終了後の課題に対する正答率およびユーザーのエンゲージメントについて調査することである。

3.1 実験仮説

仮説は以下の通りである。

仮説 1：エージェントを用いてジグソー法を行った場合、LBT を行った場合と比較して、テストの得点が高くなる。

仮説 2 : エージェントを用いてジグソー法を行った場合、LBTを行った場合と比較して、エージェントとの学習時間におけるエンゲージメントが高まる。

3.2 エージェントデザイン

本実験におけるエージェントの外観を図 3.1 に示す。エージェントとしてコミュニケーションロボット Sota¹ を使用した。本実験では Vstone Magic² で作成した、jar ファイルを実行することで、Sota がランダムな動作を行うように実装した。実験配置は図 3.2 のようになっており、机の上には事前に Sota、Sota とは別のスピーカー及び使用するテキストを設置した。実験参加者には、机の前の椅子に着席してもらった。実験参加者から実験実施者が見えないように、実験参加者の横には衝立を配置し、実験実施者はその衝立後ろに着席して Sota 及びスピーカーの操作を行った。音声は VOICEVOX³ を使用して作成した。実験実施者はフローチャート (付録 D,E 参照) に従い、スピーカーに接続した PC から用意した音声ファイルの再生を行った。Sota 内蔵のスピーカーではなく、別のスピーカーを用いた理由は、音声再生時のタイムラグを減らすためである。Sota 内蔵のスピーカーを使用すると、ファイルの実行から音声が出るまでの遅延が最低でも 5 秒以上かかってしまうため、遅延による対話への影響を最小限にするために別のスピーカーを使用した。

3.3 実験デザイン

実験の流れは、図 3.3 のフローチャートの通りおこなった。実験参加者には、実験実施前に、まず自己学習を行い、その後、エージェントへ説明を行い、最後にテストを行うことを事前に教示した。学習題材は、Law らの研究[19]を参考に、絵画の分類を扱った。ジグソー条件、LBT 条件それぞれにおいて、4 つの構図[20, 21]をテキスト (付録 B) に記載している。テキストには構図名、構図の説明、キーワード、具体的な絵画の例が記載されている。テスト (付録 C) では 10 枚の絵画カードと構図名のみ書かれた紙を配布し、テキストにて学習した 4 つの構図に分類するテストを実施した。

実験参加者は、まずテキストを使用して自己学習を行い、その後エージェントとの対話を行い、テキストを回収したのちにテストを受けて、アンケートに回答

するという流れを 2 度行った。最後にデブリーフィングを実施し、実験全体を通じた感想およびエージェントの印象について調査した。エージェントとの対話およびテストは制限時間を設けずに、実験参加者が終了を宣告した時点で終了した。また、エージェントと会話をを行ったことのない実験参加者がいることを想定し、エージェントは話しかけることでその話を聞き、理解したうえで返事をすることを実験実施前に説明した。



図 3.1 実験の様子

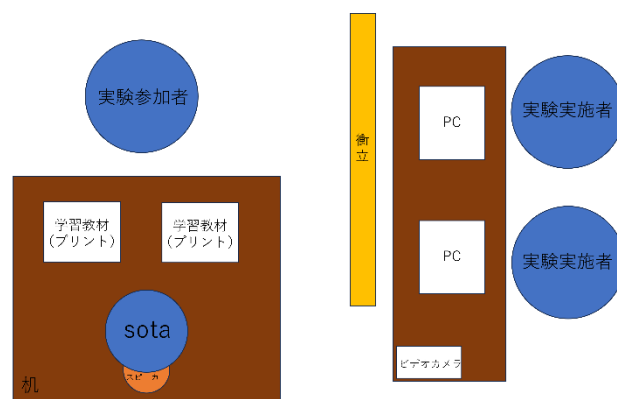


図 3.2 実験配置図

¹ Sota Official Site
<https://www.vstone.co.jp/products/sota/>

² Vstone Magic <https://sota.vstone.co.jp/sota/>

³ VOICE VOX <https://voicevox.hiroshiba.jp/>

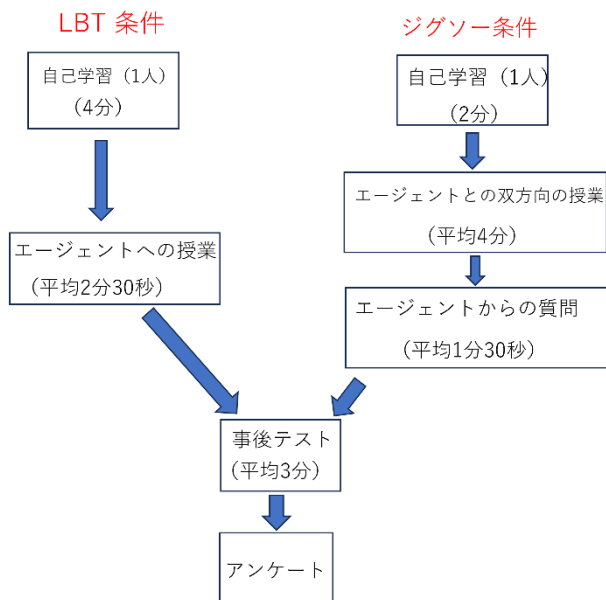


図 3.3 実験全体のフローチャート

3.4 実験条件

本実験ではターゲット条件としてジグソー条件、コントロール条件としてLBT条件の2条件を設定した。ジグソー条件は、実験参加者とエージェントが教えあう条件である。2分間で2つの構図について実験参加者が事前学習を行い、2分経過した時点で、残り2つの構図が記載されたテキストを配布した。エージェントが実験参加者に対して、フローチャートに従い、2つの構図の説明を行った（付録A）。その後、エージェントは実験参加者の説明に対して、「うん、うん」などの付録A-13群の音声をランダムに1つ再生した。実験参加者の説明が終了した後、エージェントから実験参加者へ2回の質問を行った。この質問の回答に関して、エージェントは「なるほど」などの付録A-13群の音声をランダムに1つ再生した。

LBT条件は、実験参加者がエージェントに対して教える条件である。4分間で4つの構図について実験参加者が事前学習を行い、その内容についてエージェントへ説明を行った。エージェントは実験参加者の説明に対して、フローチャートに従い、「うん、うん」などの付録A-13群の音声をランダムに1つ再生した。

3.5 評価方法

評価はテスト、アンケートにて行った。テストは絵画カードを4つの構図に分類するもので、各条件10枚ずつ行い、10点満点で採点した。テスト結果は仮説1

に対応している。なお、実験参加者には事前にテストを行うことを教示している。アンケートは表3.1に記載のアンケートを用いて5段階評価および記述式で行った。アンケート結果は仮説2に対応している。アンケートは、以下の5項目について調査した。

- ① 学習に効果的だと感じたか
- ② システムに関する注意
- ③ システムに関する関連性
- ④ システムに関する自信
- ⑤ システムに関する満足度

本アンケートは、学習におけるエンゲージメントの測定を行うためのアンケートであるRIMMS[22]をもとに、小学生を対象に行っているという実験デザインに合わせて質問数を減らして使用した。RIMMSでは、各項目に対して質問数が3問ずつあるのに対し、本実験では2問ずつ使用した。各アンケート結果は、Q1が効果的か(①)に対応しており、Q3, Q4の平均が注意(②)に対応、Q5, Q6の平均が関連性(③)に対応、Q7, Q8の平均が自信(④)に対応、Q9, Q10の平均が満足度(⑤)に対応している。Q3~Q10の平均で、システムを使用した際の総合的なエンゲージメントを算出した。また、Q2は記述式であり、各条件終了後のアンケートで、Q1の評価の理由について尋ねる質問である。

表 3.1 アンケート内容

質問番号	質問内容
Q1	ロボットとの関わりは学習に効果的でしたか?
Q2	ロボットとの関わりについて、どのような点からその評価にしましたか?
Q3	あなたは自己学習をしている間集中していましたか?
Q4	あなたはロボットとの関わりの際、集中していましたか?
Q5	今までの授業を受けた経験や、人に勉強を教えた経験とこのシステムは関連していると思いますか? (馴染み深いかどうか)
Q6	あなたは勉強する際にこのシステムは役立つと感じますか?
Q7	このシステムを利用することで、より楽しく学ぶことができると思いますか?
Q8	このシステムを利用することで、より深く知識を定着させることができると思いますか?
Q9	あなたはこのシステムを今後も使いたいと思いますか?
Q10	あなたはこのシステムが優れていると思いますか?

3.6 実験参加者

実験参加者は15名（10歳～15歳、男性7名、女性8名、平均年齢11.7歳）であった。実験参加者はショッピングモール内にて公募によって募集した。実験参加者は未成年であるため、事前に実験参加者の保護者に同意を取得した。同意の取得方法はGoogle Formにて行った。また、実験参加者には5000円分の金券を支払った。

4. 結果

実験参加者15名に対して、条件ごとに比較を行うために、対応のあるt検定（以下、t検定）、Wilcoxonの符号順位検定、およびMann-Whitney Uテスト（以下、U検定）を行った。有意水準はいずれの検定においても $p = 0.05$ と設定する。

4.1 テスト結果

条件ごとのテストの得点結果を図4.1に示す。条件ごとのテストの平均得点は、ジグソー条件で5.533点、LBT条件で5.467点であり、ジグソー条件が0.066点高かった。条件ごとのテストの得点の標準偏差はジグソー条件で1.454点、LBT条件で1.784点であり、LBT条件が0.33点高かった。テストの得点に対し、t検定を行った結果、有意差は示されなかった（ $p=0.922, r=0.040$ ）。このことから、仮説1は支持されなかった。

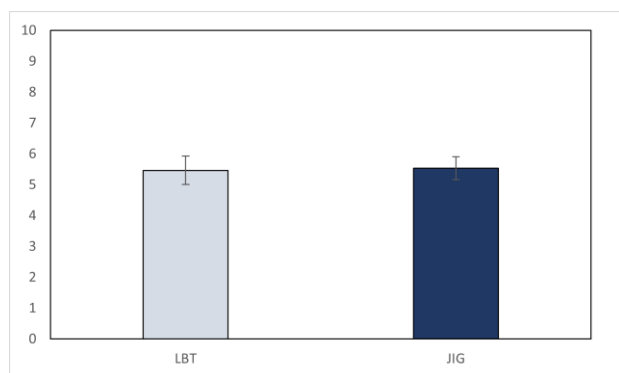


図4.1 条件ごとのテストの平均得点

4.2 アンケート結果

アンケートの分析結果を図4.2に示す。図4.2より、自信の項目においてLBT条件がジグソー条件に対して

高いという有意な傾向が認められた（ $p=0.096, r=-0.836$ ）。一方、その他のアンケート結果に関しては、効果的だと感じたか（ $p=0.131, r=-0.851$ ）、注意（ $p=0.273, r=-0.682$ ）、関連性（ $p=0.951, r=-0.557$ ）、満足度（ $p=0.257, r=-0.851$ ）であり、有意差は示されなかった。Q3からQ10の平均で求められるシステムに対する総合的なエンゲージメントは、条件間で有意差は示されなかった（ $p=0.671, r=-0.301$ ）。このことから仮説2は支持されなかった。

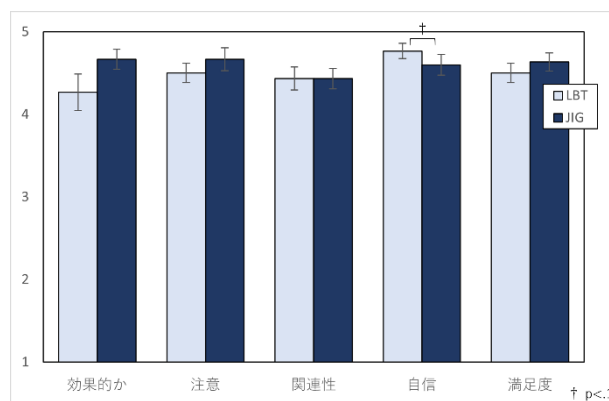


図4.2 条件ごとのアンケート結果

4.3 デブリーフィング結果

実験終了後のデブリーフィングにて、どちらの条件のシステムがより好ましかったかの調査を行った。回答結果により、2つのグループに分類し、各グループでの条件ごとのテストの得点を算出した。実験参加者15名のうち、9名がジグソー条件をより高く評価し、3名がLBT条件をより高く評価し、3名がどちらも同等であると評価した。ジグソー条件をより高く評価したグループをグループJ、LBT条件をより高く評価したグループをグループLと名付けた。各グループにおいて、条件ごとのテストの平均得点を図4.2に示す。グループJの条件ごとのテストの平均得点は、ジグソー条件で6.111点、LBT条件で4.667点であった。グループLの条件ごとのテストの平均得点は、ジグソー条件で5.333点、LBT条件で8.333点であった。また、グループJの条件ごとのテストの得点の標準偏差は、ジグソー条件で1.449点、LBT条件で1.247点、グループLの条件ごとのテストの得点の標準偏差は、ジグソー条件で0.471点、LBT条件で0.471点であった。

グループJ、グループLそれぞれのテストの平均得点を条件ごとに比較する。グループJのLBT条件の平均得点と、グループLのLBT条件の平均得点では、グ

グループ L がグループ J に対して、3.67 点高い。一方、ジグソー条件では、グループ J のジグソー条件の平均得点と、グループ L のジグソー条件の平均得点では、グループ J がグループ L に対して 0.78 点高い。ここで、各グループにおける、条件ごとのテストの得点に対して、U 検定を行った。U 検定の結果、ジグソー条件においては、グループ間で有意差がなく ($p=0.498, r=-0.487$)、LBT 条件に関しては、グループ間で有意差が認められた ($p=0.014, r=-0.883$)。

グループ J の 9 名に関して、各条件でのテストの得点に対して Wilcoxon の符号順位検定を行ったところ、ジグソー条件の方が得点が高いという有意な傾向が認められた ($p=0.0897, r=-0.652$)。LBT 条件を高く評価した 3 名はサンプル数不足により、検定は行うことが出来なかったが、全 3 名で、LBT 条件のテストの得点がジグソー条件のテストの得点を上回っていた。

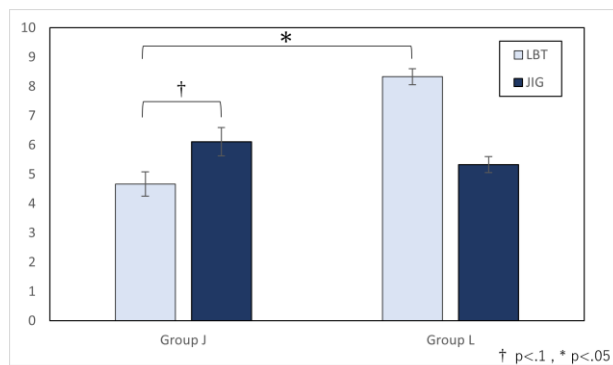


図 4.3 各グループにおける条件ごとのテストの平均得点

5. 考察

5.1 仮説に関する考察

仮説 1 について、4.1 節のテストの得点に関する結果より、条件間でテストの点数に有意差が確認されなかったため、支持されなかった。仮説 1 が支持されなかった要因としては、実験参加者ごとにシステムに対する好みが多かったことが挙げられる。デブリーフィングにおいて、より好ましかったシステムを調べたところ、ジグソー条件を高く評価した人は 9 名、LBT 条件を高く評価した人は 3 名であった。それぞれがより高く評価した条件でのテストの得点がそれぞれ高かったため、システムに対する好みとテストの得点に関係があり、実験参加者ごとに好みがあることが確認できた。また、アンケートの Q2 にて、ジグソー条件を好んだ人

では、「一緒に学びあっている感じがしてとても良かった」「教えたことを質問してもらうことでさらに覚えられた」などの回答があった。LBT 条件を好んだ人では、「自分ですべて説明した方が理解できる」「自分が説明することでよりインプットできる」などの回答があり、実験参加者ごとに好む学習形態に差があることが確認された。このことから、実験参加者ごとに適した学習形態は異なるため、条件間のテスト得点に有意差が見られなかったと考えられる。LBT 条件は既に先行研究 [7] において、一斉学習や読書などの学習形態に対して課題に対する正答率が高まること示されているため、本研究におけるジグソー条件においても、一斉学習と比較すると課題に対する正答率が高いことが示唆された。

仮説 2 について、4.2 節のアンケートに関する実験結果より、アンケートの点数に関して、自信のみ LBT 条件が高いという有意な傾向が認められた。しかし、システムを使用した際の総合的なエンゲージメントおよび、自信以外の項目である、効果的か、注意、関連性、満足度に関して、アンケート結果の点数について、ジグソー条件と LBT 条件に有意な差は確認されなかった。よって、仮説 2 は支持されなかった。仮説 2 が支持されなかった要因としては、仮説 1 同様、実験参加者ごとに好む学習形態に差があるため、アンケート結果においても、有意な差は見られなかったと考えられる。自信の項目に関して、LBT 条件がジグソー条件に対して高いという有意な傾向を示した要因として、LBT 条件では実験参加者が全ての学習内容をエージェントに対して説明する必要がある点が挙げられる。説明を聞いている時間や、エージェントからの質問に回答している時間よりも、実験参加者自身が説明を行うことで、自信が増したためと考えられる。また、実験参加者からの LBT 条件のシステムに対する評価として、「すごく褒めてくれるので、やる気が出るから」「ロボットと話しながら学ぶことで、自分の中でも整理しながら理解できたと思ったから」などと回答があった。これは、実験参加者自身が全ての説明を行い、それに対してエージェントが肯定的な反応をすることで、理解できたという自信につながったと考えられる。

5.2 各条件の好ましさとテスト得点の考察

デブリーフィングで行った、システムの好ましさによるグループ分けにおいて、グループ J の平均年齢は 11.2 歳であり、グループ L の平均年齢は 13.0 歳であった。筆者の観察では、グループ L では、エージェン

トへの説明を行う際に、テキストを読み上げるだけでなく、テキストに記載されている個別の絵画に関する説明や、テキストに記載されていない自身の考えなどについても話している人が多い印象を受けた。この傾向は、年齢が高いと自らの力で説明を行う力や、内容を抽象的に捉える力が高いから[23]であると考えられる。一方で、グループJでは、LBT条件の際に、学習内の説明に課題が見られた実験参加者が、ジグソー条件では、エージェントからの説明を受け、それに習い、論理的かつ一貫した説明を行っている様子が見られた。各グループの年齢に関してはサンプル数が不足しており、統計的検定は行えていない。しかし、エージェントと1対1で行うジグソー法は、LBTと比較して、低年齢層に対してより効果的な学習形態である可能性が示唆された。ただし、この傾向を定量的に検証するには、さらに多くの調査が必要である。

これは、LBT条件は、LBTを好む人にとっては優れた学習形態であるが、LBT好まない人にとっては、あまり優れた学習形態でないといえる。一方、ジグソー条件はジグソー条件を好む人にとっても、好まない人にとっても、テスト得点の差が少ない学習形態であると考えられる。そのため、ジグソー条件は手法に対する得意不得意や、エンゲージメントの差に影響を受けづらい手法である可能性が示唆された。

5.3 研究の限界

本研究には、5つの制約がある。1つ目はジグソー条件において、実験参加者からエージェントへの質問を実施できなかった点である。本実験では、システムの制約上、事前に用意していない音声を再生することができなかった。そのため、実験参加者に対して、エージェントが質問を行うことは可能であったが、予測できない実験参加者の質問に対して回答することはできなかった。これにより、実験参加者とエージェントで質問しあうという、本来のジグソー法の形式を再現できなかった点は、テストの得点に有意差が出なかった要因として挙げられる。エージェントが実験参加者からの質問に回答するためには、音声認識機能および自然言語処理機能を実装し、適切な回答を即座に行うことが必要である。質問に回答する機能を実装することで、LBT条件の課題点として指摘されている、受動的であることによるエンゲージメントの低下の問題を解決し、それに伴うテスト得点の低下を改善する可能性がある。これにより、テスト得点向上につながることを期待される。

2つ目は、エージェントがWoZ形式で動いている点である。エージェントを教育現場や家庭などで使用することを指すうえで、エージェントのみで独立して動いている必要がある。しかし、本研究では、用いたシステムの技術的制約により、システムが独立して動作しているわけではない。これにより本システムを直ちに現場に導入することは可能でない。そのため、今後、音声認識機能を利用し、システムのみで独立して動作するエージェントの作成が求められる。

3つ目は、全実験参加者に対して統一の内容を発話しているという点である。本研究では、使用者のレベルに合わせてエージェントの動作や発言内容を変化させることは実現できていない。しかし、本研究でも2つの手法に対して使用者の好みが分かれたように、学習を行う使用者ごとに、年齢や得意とする学習形態は異なる。大矢らの研究[24]によると、計算問題と漢字の読みの問題をもとに測定した基礎学力レベルを考慮せずにランダムにペアを作成した場合と、基礎学力レベルを考慮してペアを作成した場合は、基礎学力レベルを考慮して作成したペアの方がテストの得点が高くなることが示されている。このことから、エージェントが使用者の学力レベルを判断し、エージェント自身の基礎学力レベルを調整することで、よりテストの得点を向上させることが出来る可能性がある。したがって、学習者に応じて、適切な難易度や学習形態を選択できるシステムの開発が求められる。

4つ目は長期的な定着率についてである。本研究は時間の制約上各実験者につき30分~40分程度の時間のみで実験を実施した。しかし、学習は短期的な記憶だけでなく、長期的な定着率も重要である[25]。そのため、本研究で採用したエージェントを用いたジグソー法の長期的な知識の定着率に関して調査が必要である。

5つ目は、実験対象者についてである。本研究は日本でのみ実施しており、文化や言語の異なる国で実施した場合、発言量などから異なる結果が得られる可能性がある。このことから、様々な文化や言語の異なる地域での調査が求められる。

6. 結論

本研究では、従来のLBTにおける課題である、エージェントが受動的であることでエンゲージメントおよび正答率が低下を解決することを目的とした。エージェントを用いてジグソー法を行うことを提案し、その有効性を検証するために、小学校高学年から中学生を

対象として、従来の LBT との比較実験を実施した。その結果、エージェントを用いて行うジグソー法は、LBT と比較して、課題に対する正答率が高かったものの、有意差は確認されなかった。また、ジグソー条件は LBT 条件と比較して、参加者ごとのテストの得点の差が低下することが確認できた。また、デブリーフィングの結果より、ジグソー条件は低い年齢層から高い評価を受けており、論理的な説明を行うことになれていない児童でも、課題に対する正答率が向上する可能性が示唆された。一方、システムを使用した際の自信は、全てに関して自分で説明を行う LBT 条件がジグソー条件に対して高いという有意な傾向が認められた。これらの結果から、年齢が低く、論理的な説明を行うことに慣れていない人にはジグソー法が有効であり、年齢が高く、論理的な説明を行うことができる人には、LBT が有効である可能性が示唆された。

一方で、本研究では、これらの結果を定量的に検証できていない。今後は、年齢および論理的な説明を行えるかどうかで分類を行った実験者群に対して、ジグソー法と LBT の比較を行う調査を実施したい。また、本研究では、構造単純化のため、人間対エージェントの 1 対 1 で実験を行ったが、エージェントが複数体存在するパターンや、人間が複数人存在するパターンに関しては調査できていない。そのため、ジグソー法本来の 4 名程度で行う場合にエージェントを導入することで、情報を小分けに処理するというジグソー法のメリット[18]をより有効活用でき、本研究以上の得点向上の可能性がある。今後はグループ内のエージェントの比率に関しても様々な人数で比較検証を行い、様々な形式の双方向型学習に関する調査を行いたい。

謝辞

本研究において、ご指導いただいた大澤博隆先生に深く感謝いたします。また、実験を行うにあたり、ご協力いただいた、群馬大学中村賢治先生、群馬大学の学生スタッフの方々、群馬県関係者およびスマーク伊勢崎様、そして、実験にご参加いただいた小学生・中学生とその保護者様にも深く感謝申し上げます。

本研究は、JSPS 科研費：サイエンス・フィクションが示唆する未来の発達・加齢観の分析 JP23H03896 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] 新しい学習指導要領の考え方 - 中央教育審議会におけ

る議論から改訂そして実施へ - , 文部科学省 , 2017 年 https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afiedfile/2017/09/28/1396716_1.pdf?utm_source=chagtpt.com , (参照 2025-01-25)

[2] 教科等の本質的な学びを踏まえた主体的・対話的で深い学びの視点からの学習・指導方法の改善の推進 平成 30 年度実践地域 研究課題及び概要一覧 , 文部科学省 , 2018 年 https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afiedfile/2018/08/03/1401806_2.pdf , (参照 2025-01-25)

[3] 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) (平成 24 年 8 月 28 日) 用語集 , 中央教育審議会 , 2012 年 https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afiedfile/2012/10/04/1325048_3.pdf , (参照 2025-01-25)

[4] Bonwell, C. C. and Eison, J. A. *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom*. ASHE-ERIC Higher Education Report, School of Education and Human Development, George Washington University, Washington DC, 1991, p. 121.

[5] Aronson, E. *The Jigsaw Classroom*. Sage, 1978, p. 179.

[6] Gartner, A., Kohler, M. C., and Riessman, F. *Children Teach Children: Learning by Teaching*. Harper & Row, 1971, p. 180.

[7] Bargh, J. A. and Schul, Y. "On the cognitive benefits of teaching." *Journal of Educational Psychology*, vol. 72, no. 5, 1980, pp. 593–604.

[8] Chi, M. T. and Wylie, R. "The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes." *Educational Psychologist*, vol. 49, no. 4, 2014, pp. 219-243.

[9] 山田誠二. *人とロボットの〈間〉をデザインする*. 東京電機大学出版局, 2007, p. 314.

[10] Sato, T., Kudo, Y., and Osawa, H. "Book Introduction Robot Designed by Children for Promoting Interest in Reading." In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction (HAI '17)*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2017, pp. 17–25.

[11] 山田 航也 , 人型ロボットが私たちの先生! 小学 3 年

生向けの授業で英語発音の「外国語指導助手」にロボット「NAO」を起用 , 2018 年 5 月 25 日
<https://robotstart.info/2018/05/25/nao-alt.html> (参照 2025-01-25)

[12] Chase, C. C., Chin, D. B., Opezzo, M. A., and Schwartz, D. L. "Teachable agents and the protégé effect: Increasing the effort towards learning." *Journal of Science Education and Technology*, vol. 18, no. 4, 2009, pp. 334–352.

[13] Sjöden, B. and Gulz, A. "From learning companions to testing companions: Experience with a teachable agent motivates students' performance on summative tests." In *Artificial Intelligence in Education: 17th International Conference, AIED 2015, Madrid, Spain, June 22-26, 2015. Proceedings 17*, Springer International Publishing, 2015, pp. 459-469.

[14] Sabnis, N. and Nagashima, T. "Empowering Learners: Chatbot-Mediated 'Learning-by-Teaching'." In *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2024, Article 122, pp. 1–9.

[15] アロンソン, E. *ジグソー学級: 生徒と教師の心を開く協同学習法の教え方と学び方*. 松山安雄 (訳), 原書房, 1986, p. 228. (Originally published in 1978.)

[16] Guo, X., Ibrahim, N. M., and Fang, Y. "Implementation of Jigsaw Teaching Model in College English Reading Classes to Improve Student Engagement." In *Proceedings of the 2023 International Conference on Information Education and Artificial Intelligence (ICIEAI '23)*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2024, pp. 160–165.

[17] 鈴木大助. "ジグソー学習法を取り入れた新入生を対象とするネットワーク利用ガイダンスの実践と評価." *情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE)*, vol. 4, no. 2, 2018, pp. 14-22.

[18] 大島 淳, 大島 亮, and 藤田 渉. "ジグソー指導における共有認識主体性を複数の時間スケールで分析するための混合手法アプローチ." *Journal of Learning Analytics*, vol. 5, no. 1, 2018, pp. 10–24.

[19] Law, E., Baghaei Ravari, P., Chhibber, N., Kulic, D., Lin, S., Pantasdo, K. D., Ceha, J., Suh, S., and Dillen, N. "Curiosity Notebook: A Platform for Learning by Teaching Conversational Agents." In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on*

Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2020, pp. 1–9.

[20] 内田広由紀. *巨匠に学ぶ人物画の基本* 第1版, 株式会社視覚デザイン研究所, 東京, 2023, p. 141.

[21] 内田広由紀. *巨匠に学ぶ構図の基本* 第1版, 株式会社視覚デザイン研究所, 東京, 2009, p. 141.

[22] Wang, S., Christensen, C., Xu, Y., Cui, W., Tong, R., and Shear, L. "Measuring Chinese Middle School Students' Motivation Using the Reduced Instructional Materials Motivation Survey (RIMMS): A Validation Study in the Adaptive Learning Setting." *Frontiers in Psychology*, vol. 11, 2020, Article 1803.

[23] Piaget, J. "La pensée symbolique et le pensée de l'enfant [Symbolic thought and the thought of the child]." *Archives de Psychologie*, vol. 18, 1923, pp. 273–304.

[24] 大矢芳彦, 内田君子. "大学の情報基礎教育におけるペア学習の有効性とその問題点." *名古屋外国語大学外国語学部紀要*, vol. 34, 2008, pp. 267–288.

[25] Ebbinghaus, H. *Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Duncker & Humblot, Leipzig, 1885, p. 169.

付録 A Sota の発言

A-1 Jigsaw 条件での、Sota の説明①

僕が勉強してきた1つ目は、シンメトリー型だよ。シンメトリーっていうのは日本語で対称っていう意味で、左右対称っていう言葉とかでよく使うね。シンメトリー型は、名前の通り、ほぼ左右対称で中心が明確にある、一番安定した構図なんだ。中心に注目が行くから、迷いがなくて堂々として見えるよ。キーワードは、紙にも書かれているように、伝統、威厳、内向、神聖とかがあるね。2枚の絵を見ると、2枚とも左右対称で、左の絵は、奥にある山に注目が向いて、右の絵は真ん中にある、お母さんと子供に注目が行くね。それぞれの周りの風景とかも、おおよそ左右対称で、安定感があるんだ。右の絵とかはキーワードにある、神聖さを感じるね。こんな感じで、左右対称で、安定感のある絵がシンメトリー型だよ。

A-2

じゃあ次に行くね。

A-3 Jigsaw 条件での、Sota の説明②

僕が勉強した2つ目は、片流れ型だよ。片流れ型は、主役を左右のどちらかに寄せて、視線をどちらか一方だけに寄せた構図のことだよ。少し不安定だけど、スマートさとかおしゃれさがあるんだ。キーワードは、こだわり、都会、スタイリッシュ、哀愁とかだね。左の絵も、右の絵も、人が少し真ん中からずれたところにいるよね。そして、二人とも正面は見ていなくて、少し横の方を見てるんだ。シンメトリー型と違って、ど真ん中に人がいるわけじゃないんだけど、少し落ち着いた、なんかおしゃれな感じがあるよね。こんな感じで、主役が左右どちらかに寄っているのが、片流れ型の特徴だね。

A-4

じゃあ次は、君が勉強した、2つの型について僕に教えてね。

A-5 Jigsaw 条件での、Sota の説明③

僕が勉強した1つ目は衛星型だよ。衛星型は主役を中心に置いて、その周りを小さな形で囲んでいるんだ。この衛星型っていうのは主役が引き立てられていて、華やかさがあるよ。キーワードとしては、紙にも書いてあるように、華やか、内向プラス開放、穏やかな自由、落ち着きとかがあるね。2つの絵を見ても、どちらも真ん中に主役となる人がいて、その周りを小さな形とか人とかが取り巻いているんだ。左の絵では、真ん中のおじいさんが主役で、その周りを人の絵とか、富士山の絵とか花の絵とかが囲んでいるね。この周りの小さな絵たちのおかげで、真ん中におじいさんが引き立てられてて、絵の全体を見ても何となく明るくて華やかさがあるんだ。右の絵では、真ん中におじいさんの人が主役で、その周りに主役の女の人を目立たせるように人がいるよ。この絵も左のおじいさんの絵と同じで、主役が目立っていて、華やかさと落ち着いた感じがあるよね。ここまで衛星型の説明をしてきたけど、わかったかな？

A-6 Jigsaw 条件での、Sota の説明④

僕が勉強した2つ目は流水型だよ。流水型は、主役が中心に置かれていなくて、主役があいまいな、川の流れるような構図のことだよ。ゆったりとしていて自由さがあるんだ。キーワードは、穏やかな開放、自然、ゆったりした、癒しとかだね。左の絵も右の絵も、さっきの衛星型みたいに主役が中心にどーんと描かれていなくて、絵の全体に人がまばらにいるから、穏やかな開

放感とかゆったりした感じがあるよね。どっちの絵も、描かれている人たちが、あまりこっちを見ていないところとか、記念撮影じゃなくて、普段の風景を自然に写真に撮ったような感じがするよね。どれが主役か聞かれても、ぱっとは答えづらくて、自然な風景のこの感じが、流水型の特徴なんだ。ここまで流水型の説明をしたけど、大丈夫かな？じゃあ次は、君が勉強した2つの型について、僕に教えてね。

A-7 jigsaw 条件での Sota からの質問①

いくつか質問したいことがあるから、質問してもいいかな。

A-8 jigsaw 条件での Sota からの質問②

- ・シンメトリー型と囲い込み型って、どんな違いがあって、どうやって見分ければいいかな。
- ・片流れ型ってどんな特徴があったっけ？

A-9 jigsaw 条件での Sota からの質問③

- ・中心型と衛星型って、どんな違いがあって、どうやって見分ければいいかな。
- ・流水型ってどんな特徴があったっけ？

A-10 jigsaw 条件での Sota からの質問への返答①

- ・シンメトリー型は、左右対称なことが重要で、囲い込み型は、周辺を何かで囲っていることが大切なんじゃないかな。
- ・じゃあ、片流れ型の説明のところに、なんて書いてあるか教えて。

A-11 jigsaw 条件での Sota からの質問への返答②

- ・中心型も衛星型も、主役は中心に置かれているけど、主役の周りがあるものが違うんじゃないかな。
- ・じゃあ、流水型の説明のところに、なんて書いてあるか教えて。

A-12

机の上にある紙をおもてにしてね。今から君が勉強した4つの型について、僕に教えて欲しいな。

A-13

- ・なるほど
- ・うん、うん
- ・そうなんだ

A-14

- ・合ってると思う
- ・はい

A-15

- ・いいえ
- ・本当にそれであってるかな

A-16

- ・それいいね
- ・ありがとう
- ・そうだね
- ・いいよ

A-17

- ・ほかに説明できる場所はああるかな？
- ・他にはあるかな

A-18

- ・これで終わりでいいかな

A-19

- ・教えてくれてありがとう
- ・とっても良くわかったよ、ありがとう

A-20

- ・大丈夫かな？

A-21

- ・難しいね
- ・ごめん、わからない。君はどう思う？
- ・考えてみて
- ・ごめん、それは分からないから、一旦次に行こうか
- ・それってどういうこと
- ・もう一回テキスト見てみて
- ・今考えてる
- ・今のもう一回教えて
- ・どうして

A-22

- ・ちょっと待ってね
- ・お待たせ
- ・ごめん、間違えた
- ・ごめんね。僕には触らないでね。動いてるときに触ると壊れちゃうんだ。
- ・それは今関係ないから、勉強に戻ろうか

A-23 構図名一覧

- ・中心型
- ・市場型
- ・衛星型
- ・流水型
- ・シンメトリー型
- ・片流れ型
- ・囲い込み型
- ・対決型

A-24 理解の確認一覧

ここまでシンメトリー型の説明をしてきたけど分かったかな？

ここまで片流れ型の説明をしてきたけど分かったかな？

ここまで衛星型の説明をしてきたけど分かったかな？
ここまで流水型の説明をしてきたけど分かったかな？

A-25

- ・だと思う
- ・わどうかな

付録B 使用したテキスト

シンメトリー型

左右対称で中心が示されている、最も安定した構図をシンメトリー型といいます。
中心に注目がいき、迷いがなく堂々として見えます。

【キーワード】伝統・威厳・内向・神聖



かたなが 片流れ型

主役を画面の左右どちらかに寄せて、視線を一方だけに流す構図を片流れ型といいます。少し不安定で、都会的な抑制されたスマートさや、おしゃれさがあります。

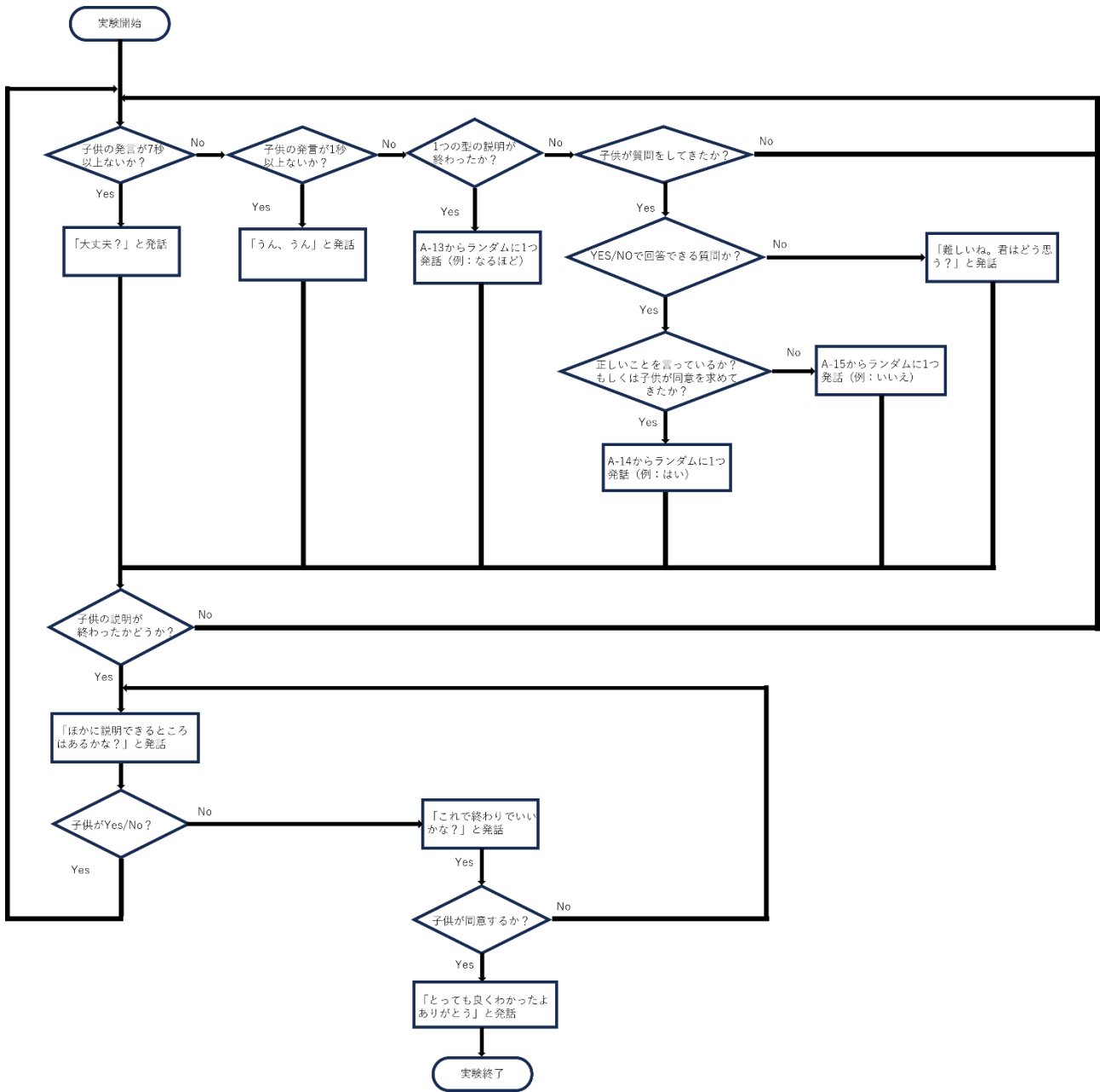
【キーワード】こだわり・都会・スタイリッシュ・哀愁



付録C 使用したテスト



付録D LBT 条件発話フローチャート



付録E ジグソー条件発話フローチャート

