

ロボットによるメタなサジェスチョンが学習に及ぼす影響

Understanding Effects of Metacognitive Suggestions for Learning with Robots

太田 玲花¹ 小野 哲雄² 坂本 大介²
Reika Ota¹, Tetsuo Ono², and Daisuke Sakamoto²

¹ 北海道大学工学部

¹ School of Engineering, Hokkaido University

² 北海道大学大学院情報科学研究院

² Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University

Abstract: 課題解決において、アイデアに対する他者からの評価や批評のような「メタなサジェスチョン」が課題進行者のメタ認知を高め、アイデアの変化を促して学習効果を高めることがわかっている。本研究では、このメタなサジェスチョンをロボットが行った場合の効果について調べた。その結果、ロボットによるメタなサジェスチョンも人によるものと同様に相手のメタ認知を高めることができることが示唆された。

1 はじめに

近年、学習指導要領が改訂され、プログラミング教育が必修化される等、子どもの学習が複雑化している。そのような背景から、塾や家庭教師のような学校以外での学習の重要性が増している。特に、学習者一人ひとりの特性に対応できる個別指導が必要とされている [1][2]。一方で、塾や家庭教師は高価であり、誰もが望むような指導を受けることは困難である。

本研究ではコストを抑えつつ個別指導を受ける方策として、教育用ロボットの活用を考える。教育用ロボットは、初期費用は高価だがランニングコストは低く、長期的な活用を考えれば費用はかなり抑えられる。家庭での個別指導を意識した場合、教育用ロボットに求められる要素は、汎用性と確実な学力向上の2点である。したがって、教科や教材、学習者の学力によらない汎用性と、学習者のモチベーション面だけでなく理解度や成績を支援できること、この2点を両立できる教育用ロボットの実現が望まれる。

この目的を達成するために、本研究では「メタ認知」に着目した。メタ認知とは具体的には、「自分の認知に関する知識を持つこと」や「自分の認知過程の状態を把握すること」、「自分の認知行動を制御すること」 [3] のような、具体的な認知よりも更に高次の認知を指す。メタ認知は学習において非常に重要な役割を果たしており、メタ認知を促すことで学習者の学習に対する基本的な姿勢や考え方、動機づけ等に働きかけることができると考えられている [4]。そこで、本研究ではメタ

認知を促す方策として清河らの「メタなサジェスチョン [5]」を利用し、ロボットによるメタなサジェスチョンが課題の解決に及ぼす影響について調査した。

2 関連研究

この節では、メタなサジェスチョンに関する研究をいくつか紹介し、本研究の位置づけを示す。

2.1 メタなサジェスチョンの効果

メタなサジェスチョンとは、問題解決において他者からもたらされる、具体性を伴わない俯瞰的なアドバイスを指す。人同士のチュータリング状況においては、チューターがもたらす具体的な説明だけでなくメタなサジェスチョンが生徒の学習に大きな影響を与えることがわかっている [6]。

メタなサジェスチョンの効果を検証する実験として、清河ら [5] は図形の組の勝敗ルールを予想する「ルール発見課題 [7]」を1人で解く個人条件、2人ペアで自由に話し合いながら解く自由協同条件、そして2人ペアを予め「課題進行役」と「相談役」に分け、相談役は決められた「メタなサジェスチョン」リスト中の内容しか発言できないメタサジェスチョン協同条件に分けて結果を比較した。ただし、メタなサジェスチョンは相手の思考状況を吟味しながら行うことで効果が現れるため、相談役にメタなサジェスチョンの与え方に関

する橋渡しとなる教示を与えることの効果も合わせて検証している。その結果が図 1 である。自由協同条件とメタサジェスチョン協同（橋渡し教示あり）条件で 88.9%の正解率になっており、この 2つの条件では有意に「正解」ルールが多いことがわかった。よって、具体的な提案ができない状況でも、相談役が課題進行役の思考を十分に吟味すればメタなサジェスチョンだけで相手のメタ認知を促し、問題解決を支援できることが示された。

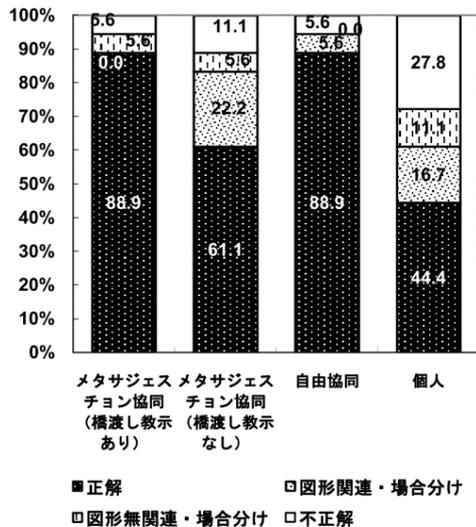


図 1: 清河の実験結果

2.2 エージェントのメタなサジェスチョン

Aleven ら [8] は幾何学学習用のチュータリングシステムを用いて、エージェントによるメタなサジェスチョンの効果について検証した。具体的には、幾何学における角度の計算を課題として設定し、システムのメタサジェスチョンを受けて生徒が計算のステップを説明しながら課題を進める場合と、サジェスチョンを受けずに解く場合で、学習後のテスト成績を比較する実験を行った。その結果、基本問題では成績に差は見られなかったが、応用問題ではメタなサジェスチョンを受けたグループが高い成績となった。このことから、エージェントによるメタなサジェスチョンは有効であることがわかる。

2.3 教育用ロボットの物理的存在

Leyzberg[9] らによると、パズルの解法についてのヒントやアドバイスを与える場合、全く同じ教示内容でも、音声のみと画面上のビデオ映像、机上のロボットで

教示したそれぞれの場合で比較すると、ロボットによる教示を受けたグループのほうが有意にパズルを解く時間が短縮されることがわかった。この結果は Bainbridge らの「人ビデオ映像からの指示よりもロボットの指示に従う」という研究結果 [10] にも合致している。よって、ロボットによる教示は音声やエージェントによる教示よりも受け入れられやすく、教育効果が高いと言える。

2.4 本研究の位置づけ

先述の関連研究の結果をまとめると、以下の 3 点となる。

1. 人によるメタなサジェスチョンはメタ認知を促す効果がある
2. エージェントによるメタなサジェスチョンは、人によるものと同様にメタ認知を促す効果がある
3. ロボットはエージェントよりも教育効果が高い

これらを踏まえて、本研究ではロボットによるメタなサジェスチョンがメタ認知と学習に及ぼす効果について調べる。

3 調査実験

ロボットによるメタなサジェスチョンが問題解決に及ぼす影響を調べるために、ロボットと協同して課題に取り組む実験を行い、正答率やタスク遂行時間、課題に対する印象を参加者一人でタスクを行った場合と比較した。

3.1 実験参加者

本実験の参加者は 1 人でタスクに取り組むグループ（以下統制群）とロボットによるメタなサジェスチョンを受けながら課題に取り組むグループ（以下実験群）に振り分けられた。統制群の参加者は 6 名（男性 4 名、女性 2 名）で平均年齢 22.00 歳、実験群の参加者は 6 名（男性 4 名、女性 2 名）で平均年齢 21.83 歳であった。

3.2 実験タスク

実験タスクとして、中島の「ルール発見課題」に類似した課題を用いた。このタスクでは、図 2 のような「形（三角形または四角形）」、「中の数字（1~9 の整数）」、「位置（左右）」の 3 次元において様々な値を取る図形の組（以下刺激対）を合計 15 組、順に表示してい

く、全ての刺激対は1つのルールにしたがって勝敗が決定されている。勝敗ルールは例えば「図形の中の数字が大きいほうが勝利する」のようなものである。この例を適用すると、図2では右の図形が勝利する。

参加者に課したタスクは、これらの刺激対の勝敗を予測した上で勝敗を決定するルールを予測することである。なお、ルールが満たすべき条件として、両群の参加者に「全ての図形の組の勝敗結果と整合していること」「なるべく記述の少ないシンプルなルールとなること」の2点を示し、「全ての刺激対を説明できるルールは複数ある可能性があるが、その中で最もシンプルなルールが正解となる」と教示した。

本実験で定めた勝敗ルールは清河と同じ「右側の数字に1を足して数字が大きいほうが勝ち」である。ただし、課題は勝敗ルールとして「数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝利」とも解釈できる課題である。これら2つのルールは、ともに刺激対における3次元の要素のうち2要素に着目したルールである。しかし、「右側の数字に1を足して数字が大きいほうが勝ち」は「数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝利」よりも記述が少なく、また「四角形ならば…三角形ならば…」という場合分けも不要であり、勝敗予想にあたって行う計算がより少ない。よって、「右側の数字に1を足して数字が大きいほうが勝ち」はよりシンプルなルールであるといえる。

本実験では最もシンプルなルールとして「右側の数字に1を足して数字が大きいほうが勝ち」を用意することで、「数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝利」というルールから、「位置」次元という「数字」次元よりも注目されにくいと考えられる次元[5]を用いたシンプルなルールへの変更が行われるかどうかを調べた。

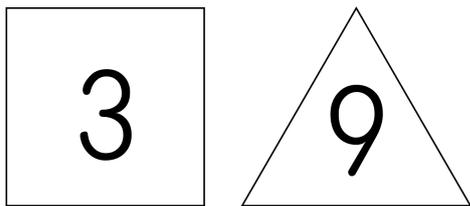


図 2: 刺激対の例

3.3 実験手順

実験は以下のような手順で行われた。まず、参加者をタスク実行用 PC の前に座らせ、実験者が手順書を

配布するとともに実験手順について説明した。その後、実験者は実験室内の参加者から見えない位置に移動し、参加者の任意のタイミングタスクを開始してもらった。実験者はタスク進行の様子を観察しつつ、実験群では参加者のタスク進行に沿って Wizard of Oz 法を用いてサジェスチョンを行った。全 15 課題を終了し参加者が予想したルールを入力して送信した後、事後アンケートを実施した。なお、実験群ではタスクの最初と最後にロボットが参加者に挨拶と実験参加のお礼を述べた。また、実験の様子はビデオカメラで撮影した。

実験タスクは統制群と実験群でそれぞれ以下の手順で行った。

統制群

1. 表示された刺激対の勝敗を予想し、選択する
2. 実際の勝敗が表示され、表示を参考に勝敗ルールを予想してフォームに入力する
3. 次の課題へ進む (図)
4. 1~3 を 15 課題繰り返す
5. 最終的なルールをフォームに入力する

実験群

1. 表示された刺激対の勝敗を予想し、選択する
2. 実際の勝敗が表示され、表示を参考に勝敗ルールを予想してロボットに説明する
3. フローチャートに沿ってロボットがメタなサジェスチョンを行う
4. ルールを変更したいと思った場合は新しいルールを説明する
5. 参加者が納得するまで 3~4 を繰り返した後、参加者の意思で次の課題へ進む
6. 1~5 を 15 課題繰り返す
7. 最終的なルールをフォームに入力する

3.4 評価方法

本実験では、各群の参加者に対してそれぞれタスク終了時にアンケート調査を行った。アンケートの内容は、統制群に対しては Brown らに基づいたタスクに関する 7 段階尺度、6 項目の質問 [11] (表 1)、実験群に対しては統制群と同一のアンケートに Leyzberg らに基づいた教育用ロボットに関する 7 段階尺度、4 項目の

質問 [9] (表 2) を追加したものであった。7 段階尺度アンケートは質問に対して最も同意できる場合を評価 7 とした。また、この他に両群にタスクやロボットの印象に関する自由記述アンケートを実施した。

表 1: タスクに関する質問項目

	項目
Q1-1	緊張
Q1-2	退屈さ
Q1-3	楽しさ
Q1-4	難易度
Q1-5	自己評価
Q1-6	迅速さ

表 2: ロボットに関する質問項目

	項目
Q2-1	ロボットからの助言はどの程度適切でしたか？
Q2-2	ロボットからの助言をどの程度理解できましたか？
Q2-3	ロボットからの助言がどの程度自分のタスク進行に影響したと思いますか？
Q2-4	ロボットをどの程度邪魔に思いましたか？

3.5 結果

本実験で参加者が回答した最終的な勝敗ルールが表 3 である。本実験では、表現に差はあるものの参加者全員が「図形内の数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝ち」という勝敗ルールを予想した。また、参加者 12 名中 11 名が最初の課題の時点で「数字が大きいほうが勝利する」というルールを予想しており、その後このルールが当てはまらない課題が表示されたタイミングで適宜ルールを変更していった。

表 3: 最終的な勝敗ルール

グループ	勝敗ルール	人数
実験群	数字に図形の頂点の数を足して数字が大きいほうが勝利	4 名
	四角形に書かれた数字に 1 を足して数字が大きいほうが勝利	2 名
統制群	数字に図形の頂点の数を足して数字が大きいほうが勝利	3 名
	数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝利	3 名

アンケート結果を図 3, 図 4 に示す。タスクに関する印象のアンケート結果 (図 3) に対して Wilcoxon の符号付順位和検定を行ったが、各項目について有意な差は見られなかった。

両群でのタスク遂行時間を図 5 に示す。ここで、タスク遂行時間とはスタートボタンを押してから最終的なルールを入力して送信するまでの時間である。ただし、本実験では実験群のみロボットが発話しているため、実験群のタスク遂行時間からはロボットの平均発話時間 (120.54sec) を引いている。

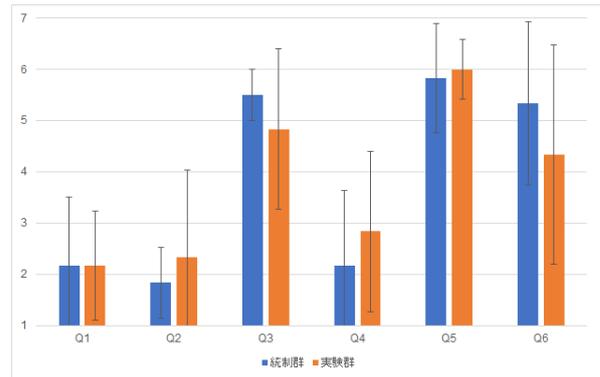


図 3: タスクに関する印象の平均値と標準偏差

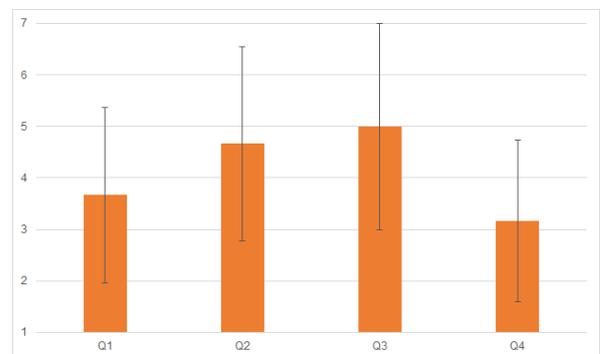


図 4: ロボットに関する印象の平均値と標準偏差

4 考察と議論

4.1 タスク結果について

本実験では統制群、実験群双方において参加者全員が「図形内の数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝ち」というルールを予想した。このような結果となった原因について考察する。本実験のタスク設定は清河 [5] を参考に行ったが、その結果は清河の実

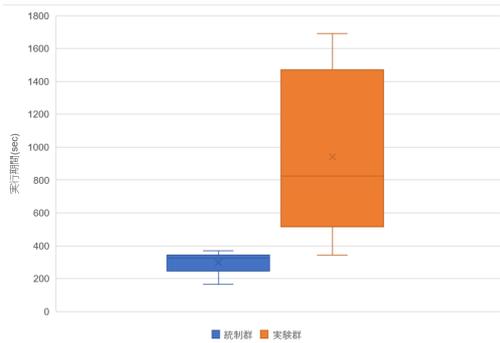


図 5: タスク遂行時間の箱ひげ図

験結果 (図 1) とは大きく異なる。この原因の考察のために、清河の実験と本実験の違いをまとめる。

本実験と清河の実験の違い

1. 課題数
 - ・清河 : 全 30 課題
 - ・本実験 : 全 15 課題
2. 課題設定
 - ・清河 : 「図形内の数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝ち」の反例が存在する
 - ・本実験 : 「図形内の数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝ち」もルールとして成立する
3. 実験参加者
 - ・清河 : 学部学生 108 名 (個人条件 18 名, ペア条件各 18 組 36 名)
 - ・本実験 : 学部学生・大学院生 (全て情報系の学生) 12 名 (統制群 6 名, 実験群 6 名)

特に大きな要因となったのは課題設定であると考えられる。統制群・実験群を問わず参加者の多くは「図形内の数字に図形の辺の数を足して数字が大きいほうが勝ち」というルールを最初に予想したあとは、以降の課題において他のルールが存在する可能性について考慮していなかった。これは、「辺の数を足す」というルールを予想した時点でそのルールが最もシンプルであるとの思い込みに囚われていたためであると考えられる。次節のケーススタディでも述べるように実験群ではよりシンプルなルールについて様々な予想をたてた参加者も見られたが、「位置」次元は他の次元と比較して気が付きにくい次元であることも影響して、「右の数字に 1 を足して数が大きいほうが勝利する」という実験者が設定した最もシンプルなルールの予想には至らなかったと考えられる。

4.2 ロボットによるメタなジェスチオンの効果について

図 5 で示したとおり、実験群のタスク遂行時間は統制群と比較すると非常に大きい。タスク遂行時間に大きな差が見られた原因としては、参加者がロボットによるメタなサジェスションを受けて自らの発想を考え直したり、新しい着想を得るための探索を行ったりしていたことが考えられる。よって、これらのタスク遂行時間から、ロボットによるメタなサジェスションによって参加者のメタ認知が促され、問題に関する理解が深まったことが示唆されていると考えられる。

ロボットによるメタなサジェスションが参加者の思考を深める効果をもたらした例についてケーススタディを行う。実験群の参加者 A は、本実験において最も様々なルールを考えた参加者であった。A は他の参加者と同様に、初期の段階では「辺の数を足して大きいほうが勝利」というルールを予想した。そのため、ロボットからはよりシンプルなルールを求めるサジェスションが行われた。これらのサジェスションを受けた A は最終的に実験者が用意した最もシンプルなルールを予想することはできなかったものの、「図形の面積」や「数字の偶奇」等、他のどの参加者とも異なる独自の着眼点からルールを予想した。また、A はアンケートにおいてタスクの楽しさ、ロボットによる助言の適切さ、ロボットによる助言の適切さ、助言をどれだけ理解できたか、助言がタスク進行に与えた影響の 5 項目において高い評価をしており、自由記述では「基本的なことを考えさせる質問をもらって、今までと違う視点から考えられるようになってよかった」と答えている。したがって、A はロボットによるメタなサジェスションによって、思考が深化されていたと考えられる。

5 まとめ

本研究では、汎用性と学習効果を両立するロボットの実現を目的としてメタなサジェスションを行うロボットを提案し、ロボットによるメタなサジェスションが学習者の問題解決に及ぼす影響について調査した。具体的には、ルール予想課題をタスクとして用意し、ロボットによるメタなサジェスションを受けながらタスクを進行するグループと 1 人でタスクを進行するグループでタスク進行の様子やタスク結果、参加者の印象等を比較した。その結果、予想されたルールとアンケート結果にはグループ間で大きな差は見られなかったが、タスク実行時間と参加者にタスク進行中の様子に大きな差が見られた。よって、ロボットによるメタなサジェスションが参加者に対して思考を深める効果をもたらしたことが示唆された。特に、ケーススタディを行っ

た一部の参加者の様子からは、ロボットによるメタなサジェスションによって新しい着想が得られる、課題に対する理解が深まる等、メタ認知を促す効果が示唆された。

参考文献

- [1] 山田恭子, 岡直樹, 木舩憲幸. 認知カウンセリングによる一次方程式の文章題解決へ向けての個別学習援助. 広島大学心理学研, Vol. 9, pp. 283–299, 2009.
- [2] 平田永哲. 通常学級における LD 児理解と個別指導の必要性 (1) : 漢字書字に困難を示す LD サスペクト児の指導事例を通して. 琉球大学教育学部障害児教育実践センター紀要, Vol. 1, pp. 17–40, 1999.
- [3] 市川伸一. 学習と教育の心理学 増補版. 岩波書店, 2011.
- [4] 三宮真智子. メタ認知 : 学習力を支える高次認知機能. 北大路書房, 2008.
- [5] Sachiko Kiyokawa and Kazuhiro Ueda. Effects of Metacognitive Suggestions on Representational Change. *System*, pp. 1–6, 2007.
- [6] Michelene T.H. Chi, Stephanie A. Siler, Heisawn Jeong, Takashi Yamauchi, and Robert G. Hausmann. Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, Vol. 25, No. 4, pp. 471–533, 2001.
- [7] Nobuko Nakajima. ルール修正に及ぼす反例遭遇経験の役割 : 理論の節約性に関するメタ知識の教授の効果. 教育心理学研究, Vol. 45, pp. 263–273, 1997.
- [8] Vincent A.W.M.M. Aleven and Kenneth R. Koedinger. An effective metacognitive strategy: learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor. *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 147–179, 2002.
- [9] Daniel Leyzberg, Samuel Spaulding, Mariya Toneva, and Brian Scassellati. The Physical Presence of a Robot Tutor Increases Cognitive Learning Gains. *34th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, No. 1, pp. 1882–1887, 2012.
- [10] Wilma A. Bainbridge, Justin Hart, Elizabeth S. Kim, and Brian Scassellati. The effect of presence on human-robot interaction. *Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN*, pp. 701–706, 2008.
- [11] Lavonda N. Brown and Ayanna M. Howard. The positive effects of verbal encouragement in mathematics education using a social robot. In *ISEC 2014 - 4th IEEE Integrated STEM Education Conference*, 2014.