

# ケア・レシーバー型ロボットの学習ダイナミクスの初期検討

## A Preliminary Investigation of Learning Dynamics of Care-Receiving Robots

時崎 涼輔 \*1      田中 文英 \*2

Ryosuke Tokizaki      Fumihide Tanaka

\*1 筑波大学 理工学群 工学システム学類

College of Engineering Systems, School of Science and Engineering, University of Tsukuba

\*2 筑波大学 システム情報系 知能機能工学域

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

In this paper, we discuss new functions about the learning dynamics of an educational robot called Care-Receiving Robot (CRR). We implemented six new functions for the CRR. Then, we conducted a test in which we compared two different CRRs on a task of teaching English vocabularies. We discussed the results obtained from a questionnaire and an interview. Results show that having two teachable channels and learning dynamics in the CRR promoted the teaching motivation and fulfillment of humans interacting with it. Finally, we discussed requirements that should be addressed in future works.

### 1. はじめに

近年、ロボットを用いた教育支援の試みが多数行われている。KandaらはRobovieを小学校へ導入する実験を行い、英語の学習への効果を報告している [Kanda 04]。Hanらはロボットによる英語の学習支援について、本とオーディオ教材、Web-Based Instructionといった従来の手法との比較を行い、ロボットを用いた場合、学習への集中や興味、成績の向上に優位であると報告している [Han 08]。佐藤らはロボット開発そのものを授業に導入し、コンピュータの世界と現実世界を結びつけた学習を提案した [佐藤 05]。

教育支援ロボットの一つに、Tanakaらによって提案されたケア・レシーバー型ロボット (以下 CRR) がある [Tanaka 09, Tanaka 12]。この CRR はロボットが学習者から勉強を教えてもらう仕組みの下、学習者の Learning by Teaching [Martin] を促すことを目指して設計されている。そのため、子供がロボットから勉強を教わるタイプで危惧される、ロボット倫理上のリスク [Sharkey 08] が小さいと言われている。我々はこの CRR に着目し、学習に効果的な CRR の要求仕様を探索している。

Tanakaらは CRR による子供への学習効果について研究を行った [Tanaka 12]。Tanakaらは始めに、CRR が子供のケア行動を誘発できるかについて調査を行い、その後、教示された動きを記憶し、その通りに再生を行う CRR を設計した。動きで表現できる英単語 (e.g., 「drink」) について、CRR は子供に動作教示を行ってもらい、実験結果から CRR の有用性を報告している。CRR との質的なインタラクションの向上には、多少は負担があっても、教え甲斐のある CRR を設計した方がよいと推測される。また、子供の発達段階や個性に応じて CRR の習得にかかる速度を調整できれば、より高い効果を期待できる。

松添らは、CRR の賢さの違いがもたらす影響の調査を行い、賢さの異なる三種の CRR を比較した [松添 13a]。それぞれの CRR の賢さは「教示の有無に関わらず最初から正しく答えられる」、「一度教えれば以降は間違えない」、「幾度教えても間

違える」と設定され、実験参加者に図形の英単語を教示してもらった実験を行った。この結果から、誤答する CRR への教示行動は子供の自信へ繋がり、CRR の正解提示は子供の成績向上を促進し、また、CRR に勉強を教えて単語を習得させるまでの一連の流れは興味誘引の効果があると報告している。これと併せ、「幾度教えても間違える」CRR について、子供は CRR にながかりしてしまい、最終的にはインタラクションの頻度が急激に減衰するとも述べている。従って子供が教示を行った際は、教示を行う前後で CRR の実演が改善され、教えた内容が CRR の実演へ反映されていると感じさせる必要があると推測される。また松添らは、子供の学習に効果的な CRR の弱さについても調査している [松添 14]。CRR が転倒や困惑といった弱さを連想する行動をとることによって、実験参加者へのゲーム参加を促進し、学習効果が上昇したことを報告している。一方で三宅らは子供達にアシストしてもらうことを前提としたゴミ箱ロボットを開発し、子どもたちはどのような関心や気持ちをもってロボットと関わろうとするのか調査した [三宅 13]。この時、ロボットの「ゴミへ向かう」という動作が子供のアシストしたい気持ちを引き出すと報告している。これらのように、ロボットが弱さを感じさせる振る舞いを行うこと、またロボットが何かの目的意識を感じさせる行動を取ることによって、アシスト行動を誘引できることが示唆される。これは CRR において、ロボットの学習行動に該当すると推測される。しかし松添らの研究 [松添 14] では、転倒のような CRR の弱さを感じさせる振る舞いが研究されている一方で、CRR の勉強の習得の中に弱さを付与する調査事例は少ないと考えられる。つまり子供の成績向上のために、CRR はどのように勉強を習得していくことが適切なのか、未解明な部分が多いと考えられる。

松添らは児童集団に対して 4 日連続で実験を実施した際には、集団への CRR の利用、及びに CRR の連続使用の有用性についても報告している [松添 13b]。この時、CRR は一度学習しても、その直後に覚えたものを忘れてしまうように設計されたいたが、それでも参加者は実験期間中に CRR への教示を行い続けていた。このことから、CRR の知性が低いと感じられた場合でも、教示を誘引するポテンシャルが高いと期待でき、教示直後の CRR の実演が改善されていることが、飽きられないために必要な要素であると考えられる。

Felix らは、この CRR のコンセプトを取り入れ、発達障害グレーゾーン児童を対象としたロボットの研究 [Felix 15] を行った。実験では学習者とロボットが交互にテキストを読み上げ、ロボットが読み間違える度に学習者が訂正する形式が取られていた。この際も先述と同様に、ロボットが同じ間違いを繰り返すと、学習者は教示行動を取らなくなるという結果が報告されている。この実験結果から、動作とは異なる教示チャンネルにおいても学習者の教示行動は誘引でき、間違いを繰り返すと同時に飽きられることが示唆される。

CRR がどのような教示チャンネルを受け付け、どのような習得過程を経るか、また複数モダリティ学習を如何に統合するか、これらを全て包括した言葉として学習ダイナミクスと定義する。CRR は倫理的なリスクが低い上で学習効果への有用性が報告される一方、学習ダイナミクスと学習者の関係については未解明な部分が多いと考えられる。教育支援への有用性をより向上させるためには、この学習ダイナミクスが学習者に与える影響について調査する必要があると推測される。そこで本研究では、CRR の学習ダイナミクスに關した次の 6 つの機能を実装し、その効果と問題点を検討するとともに、従来型 CRR との教示における相違点を調査する。

- 動作・発音の異なる学習要素の導入 (2.2.1)
- 習得過程の導入 (2.2.2)
- 相互の学習段階が影響しあう干渉パラメータの導入 (2.2.3)
- 長時間教示による動作学習速度の上昇 (2.2.4)
- 学習者の飽きに応じた学習速度の自動調整 (2.2.5)
- 習得済み単語における共同実演の要求 (2.2.6)

## 2. CRR の学習ダイナミクスの改善

### 2.1 基本機能

ロボット機体には、Aldebaran Robotics 社の開発したヒューマノイドロボット NAO を用いる (図.1)。ロボットは自律で制御し、単語カードをロボットに見せることで実演させることができる。単語カードの認識には、NAO のシステム開発用に提供されているマーカ Naomark を用いる (図.2)。



図 1: ロボットと単語カード



図 2: Naomark

ロボットは実演を行うと、その後学習者に対して「OK?」と問いかけを行う。この時学習者が「NO」といった否定する言葉を返すと、CRR は学習フェーズに移行する。音声の認識は、NAO の頭部に内蔵されたマイクから、NAO 用の API モジュールを用いて行う。学習フェーズでは動作・発音の両教示を受け付けており、ここで学習者は CRR へ教示を行う。CRR は教示の有無をトリガーとして学習を進め、そして教示の終了後に再び実演を行い、改めて「OK?」と尋ねる。この時、学習者が

「NO」と答えれば再度学習フェーズに移行する (図.3)。また、円滑にゲームを進めるため、30 秒以上の教示が行われた際には、ロボットが強制的に実演フェーズに移行するように設計している。途中、別単語の教示を行いたくなった際は、処理中に別単語のカードを認識させることも可能である。また、ロボットは付近にいる人間を検知し、顔を追従することができる。他に、学習者の撫で行動への応答として、CRR は頭部接触に対して反応を返す機能も付与されている。

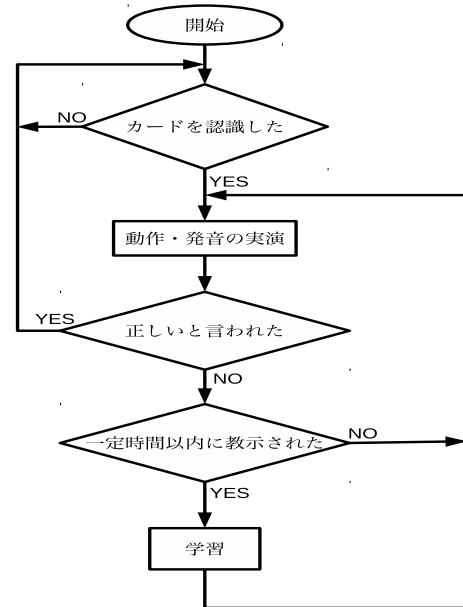


図 3: CRR の学習フェーズに關した主な部分のフローチャート

### 2.2 新たに考案した機能

本研究では次の 6 つの機能を考案し、CRR へ実装した。

#### 2.2.1 動作・発音の異なる学習要素の導入

本研究の CRR は動作の学習に加え、並行して発音の学習を行うことができる。実際の使用場面では、動作教示と発音教示を並行してやってもらうことを想定している。学習フェーズにおいて CRR に発音を教示すると、直後に学習結果を返す機能も与えられている。動作はフレームごとの各関節の目標角を学習し、発音は単語のスペルを学習していく (e.g., 「wabbit」を「rabbit」と学習し、これを発音)。ただし、発音については単語の文字数、及びアルファベットの母音 (i.e., a,i,u,e,o)・子音の位置は常に正解と一致しているとする。

#### 2.2.2 習得過程の導入

CRR は教示の有無をトリガーとして、教示を繰り返す毎に徐々に正解動作・正解発音へ近づいていくように学習曲線を設計した。正解動作・正解発音は事前に用意されており、学習者の教示はロボットが学習を行うためのトリガーの役割を担っている。従来一度教えるだけで学習が完了する One-shot learning 型とは異なる枠組みが適用されている。

#### 2.2.3 相互の学習段階が影響しあう干渉パラメータの導入

発音、動作の一方の学習段階が進んでいると、もう一方の学習速度が上昇するようなパラメータを導入した。

### 2.2.4 長時間教示による動作学習速度の上昇

動作の学習において、ロボットが長時間の動作教示を受けると、大幅に学習を進める機能である。動作の教示時間が設定した閾値を超えた時、この機能が作動するように設計した。

### 2.2.5 学習者の飽きに応じた学習速度の自動調整

学習者が飽きている状態を検知し、飽きているようであれば学習速度を速める機能を実装した。飽きの検知には、ロボットが言葉を投げかけてから返答に要するまでの時間と、動作の教示に要する時間を用いて行う。

### 2.2.6 習得済み単語における共同実演の要求

ロボットは習得の完了した単語について、学習者からもう一度実演するように持ちかけられると、学習者に「Let's play together」といったように共同実演を要求する機能を実装した。

## 3. 改善した CRR のテスト

### 3.1 テストの目的

2章で導入された機能の効果を調べるため、従来型 CRR との比較テストを行う。

### 3.2 準備

テスト環境は NAO、単語カード、正解動作パネルで構成される(図.4)。ロボットは従来型 CRR と、新たに機能を追加実装した本研究型 CRR の二体を用意する。従来型の CRR は動作のみを学習し、一度教えれば正解動作を実演できるようになっている。また、発音については最初から習得済みである。そのため発音を教示した際にはそれ以上変化することはなく、常に正解の発音を返すのみとなる。単語カードは動物をテーマに6種類用意した(図.1)。正解動作パネルは、ロボットに正解動作を教示する際の参考資料として、テスト参加者が随時確認できる位置に設置する。一度のテストへの参加者は1名とした。



図 4: テスト環境

また本テストを行う前に、1名を対象に予備テストを実施し、その際の意見や感想を基にアンケート・インタビュー項目を作成した。

テスト参加者は、研究室で雇用した筑波大学内の学生5名を対象とした。

### 3.3 テスト手順

次の3.3.1~3.3.4を全てのテスト参加者にこの順番で行った。

### 3.3.1 説明

テストを実施する前に、CRRの使い方について説明を行う。ただしこの時、二体のCRRの違いについては言及しないものとし、それぞれに英語のジェスチャーや発音を教えるようにとだけ指示した。

### 3.3.2 テスト1

従来型 CRR をパターン1とし、英単語の教示を行ってもらおう。目安時間は20分とし、飽きた際には早く終了しても良く、逆に20分で足りなければオーバーしても問題無いと伝えてある。そしてテスト1が終了後、アンケートを実施する。

### 3.3.3 テスト2

テスト1のアンケート終了後、続いて新たに機能を実装した CRR をパターン2として英単語教示を行ってもらおう。テスト時間についてはテスト1と同様に扱った。

### 3.3.4 アンケート・インタビュー

テスト2が終わり次第、テスト2と全体を通したアンケートを実施する。アンケート後、各機能について説明を行い、意見を得るためにインタビューを実施した。

## 4. 結果

2種類のCRRについて比較をするアンケートとインタビューを行い、表.1のような結果を得られた。また、それぞれの質問項目について、その理由や意見を一部抜粋したものを表.2へまとめる。理由・意見の内容については、意味合いが大きく異なる程度に表現等を一部編集している。

表 1: 比較アンケートの結果

質問番号	内容	パターン1の票数	パターン2の票数
1	どちらの方が教えていて楽しいと感じたか	1	4
2	どちらの方が間違えた際に教えてあげたい気持ちになったか	1	4
3	どちらの方がまた教える機会があれば教えてあげたいか	1	4
4	どちらの方が単語習得時の達成感が強いのか	0	5
5	どちらの方が疲労感を覚えるか	1	4
6	どちらの方が好きと感じたか	2	3

## 5. 考察

結果から、本研究型の CRR は全ての項目で過半数の票を得ることが確認できた。疲労感についての評価も過半数を超えているが、一方でロボットが習得した際の達成感は、参加者全員から本研究型の方が大きいとの回答を得られた。表.2中の「出来の悪い」という表現を「動作も発音も間違え、一度教えただけでは覚えられない」と解釈する。各項目でパターン2を選択した理由から、「繰り返し教えることで少しずつロボットが正解へ近づく点」、「動作も発音も間違える点」が今回の結果に起因するものの一つとして示唆された。これは本研究で提案した機能の内、「習得過程の導入」と「動作・発音の異なる学習要素の導入」の二つに該当していると考えられる。このことから、CRR を実用場面へ導入した際、これらの機能は学習者

表 2: 比較アンケートの各項目におけるパターン 2 の本研究型 CRR を選んだ理由・意見

質問番号	パターン 2 の本研究型 CRR を選んだ理由・意見
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・教えていくと、だんだんと習得してくれる</li> <li>・覚えるのが遅い分、余計長く遊んでいられる</li> <li>・英単語、発音がめちゃくちゃな状態から習得してくれたのは楽しかった</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・悩んで、改善しようという様子がみえる</li> <li>・出来が悪い方が、仕方がないなあという気になり、何度も付き合ってあげたくなる</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ある程度出来の悪い方が教えて楽しい</li> <li>・覚えてくれた時の嬉しさが大きく、また覚えたものを一緒にやろうと言ってくれるなど、人懐っこさを感じた</li> <li>・単純な作業でないし、自分で教える楽しさがある</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>・間違えながらも、少しずつ成長するから</li> <li>・覚えが悪い方が、自分も頑張って教えるため、やりがいを感じる</li> <li>・発音を繰り返すうち、自分も正しい発音を身につけられたと感じた</li> <li>・何もわかっていない状態から教えるとやり甲斐、達成感があった</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・何度も繰り返し返さねばならず、聞き取りも悪いと感じた</li> <li>・何回も発音を繰り返すのが大変であった</li> <li>・習得が遅いと教えることに疲労感があった</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・何度も繰り返し遊べる点と、長時間触れる点、一緒にやれる点で、人間らしさ・人懐っこい感じがあった</li> </ul>

の教示へのモチベーションと達成感向上といった面において、有効であることが示唆される。今後は、学習者のモチベーションを維持した状態で、教示による疲労感を低減する試みが必要であると考えられる。

本研究ではプログラムに誤りがあり、30 秒以上教示を行った際に強制的に実演へ移行する機能が作動した時、教示の時間データを取得できていなかったことがテスト後に判明した。そのため時間データを用いる「学習者の飽きに応じた学習速度の自動調整」と「長時間教示による動作学習速度の上昇」のこれら二つの機能が、状況によっては適切に作動していないケースがあったと考えられ、また実際に確認されることもあった。「習得過程の導入」については、CRR の学習速度の点でこの誤りの影響を受けていたと考えられるが、ロボットが徐々に正解へ近づく点は変わらないため、結果の見通しは同様であるように予想している。

また、本研究では制約として、テスト参加者が大学生であり、テストで用いた英単語がほとんど知られしまっていたことが挙げられる。そのため、参加者の学習成績への効果については検証を行うことができず、アンケート・インタビューによる参加者の主観的な評価を得ることしかできなかった。今後は、英単語を知らない参加者を募り、実際に英単語学習への程度の効果があるのか、改めて検証する必要があると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では CRR の有用性を向上させるため、学習ダイナミクスに着目し、6 つの機能を実装してテストを行った。従来型との比較を行った結果から、「習得過程の導入」と「動作・発音の異なる学習要素の導入」という要素が教示へのモチベーションと CRR が単語を習得した時の達成感の向上へ有効であることが示唆された。これは、学習者と CRR の質的なインタラクションの向上に貢献すると期待できる。一方で本研究型 CRR は学習者へ与える疲労感も大きいことがわかり、今後はこれを低減することが課題として挙げられる。

## 謝辞

本研究は、科研費・新学術領域研究「社会的認知発達モデルとそれに基づく発達障害者支援システム構成論(課題番号

24119003)」の支援を受けて行われた。また、テストにご協力いただいた参加者の皆様により感謝する。

## 参考文献

- [Kanda 04] Kanda, T., Hirano, T., Eaton, D., and Ishiguro, H.: “Interactive Robots as Social Partners and Peer Tutors for Children : a Field Trial.” *Human-Computer Interaction*, Vol. 19, No. 1, pp. 61-84 (2004).
- [Han 08] Han, J., Jo, M., Jones, V., and Jo, J. H.: “Comparative Study on the Educational Use of Home Robots for Children.” *Journal of Information Processing Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 159-168 (2008).
- [佐藤 05] 佐藤和浩, 紅林秀治, 兼宗進: “小学校におけるプログラミング活用の現状と課題”. 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE), No.15(2004-CE-078) , pp. 57-63 (2005).
- [Tanaka 09] Tanaka, F., and Kimura, T.: “The Use of Robots in Early Education: a Scenario based on Ethical Consideration.” *Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009)*, pp.558-560 (2009)
- [Tanaka 12] Tanaka, F., and Matsuzoe, S.: “Children Teach Care-Receiving Robot to Promote Their Learning: Field Experiments in a Classroom for Vocabulary Learning.” *Journal of Human-Robot Interaction*, Vol. 1, No. 1, pp. 78-95 (2012).
- [Martin] Martin, J.: “Lernen durch Lehren.” <http://www.1d1.de/> (2016 年 3 月参照).
- [Sharkey 08] Sharkey, N. E.: “The ethical frontiers of robotics.” *Science*, Vol. 322, Issue 5909, pp. 1800-1801 (2008).
- [松添 13a] 松添静子, 田中文英: “教育支援ロボットの賢さの違いが子供の英単語学習に及ぼす影響”. 人工知能学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 170-178 (2013).
- [松添 14] 松添静子, 葛岡英明, 田中文英: “WOZ 型との同時比較による自律型ロボットの進歩的開発: 幼児教育支援への適用とその効果の検証”. 第 28 回人工知能学会全国大会, 2J1-03 (2014).
- [三宅 13] 三宅泰亮, 山地雄士, 大島直樹, DeSilva, R.: “Socialable Trash Box : 子どもたちはゴミ箱ロボットとどのように関わるのか: フィールドにおける調査結果とその考察”. 人工知能学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 197-209 (2013).
- [松添 13b] 松添静子, 田中文英: “ケア・レシーバー型ロボットによる集団の子どもたちを対象とした英単語学習支援”. 第 27 回人工知能学会全国大会, 1G5-5 (2013).
- [Felix 15] Felix, J., 吉川大弘, 古橋武, 加納政芳, 中村剛士: “発達障がいと教育支援ロボットの共同学習における教育支援効果に関する報告 その 1: ロボットとの共同学習の実現可能性”. 第 29 回人工知能学会全国大会, 2K4-OS-14a-1 (2015).