

なぜロボットは「はい-いいえ」質問に対して「はい」と答える傾向があったか：人とロボットのインタラクション実験に基づく計算論的考察

Why did a Robot Tend to say Yes to Yes-No Questions? Computational Study Based on Human-Robot Interaction Experiments

岡 夏樹, 服部 侑介, 深田 智, 尾関 基行
Natsuki Oka, Yusuke Hattori, Chie Fukada, Motoyuki Ozeki

京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology
nat AT kit.ac.jp

Abstract

Okanda and Itakura (2010) showed that 3-year-olds tended to inappropriately say yes to yes-no questions, although they knew the answers to the questions. In our experiment, a robot concurrently learned the names of things and the appropriate responses to three modalities of utterances: telling the name of things, a request for an agreement, and a yes-no question. The experimental result showed that the robot exhibited a yes bias even though it had already learned the correct names of things. This paper examines the mechanism of the bias, and discusses the implication in the children's yes bias.

Keywords — language acquisition, hearer-oriented modality, reinforcement learning, module recombination, constructive elucidation

1. 肯定バイアス

Fritzley & Lee (2003) や Okanda & Itakura (2008) は、2歳児と3歳児が、物の性質や機能を尋ねる単純な「はい-いいえ」質問に対して肯定バイアスを示す(すなわち、「はい」と答える傾向がある)ことを示した(図1)。図1の縦軸は response bias score であるが、これは、以下の通り算出される：

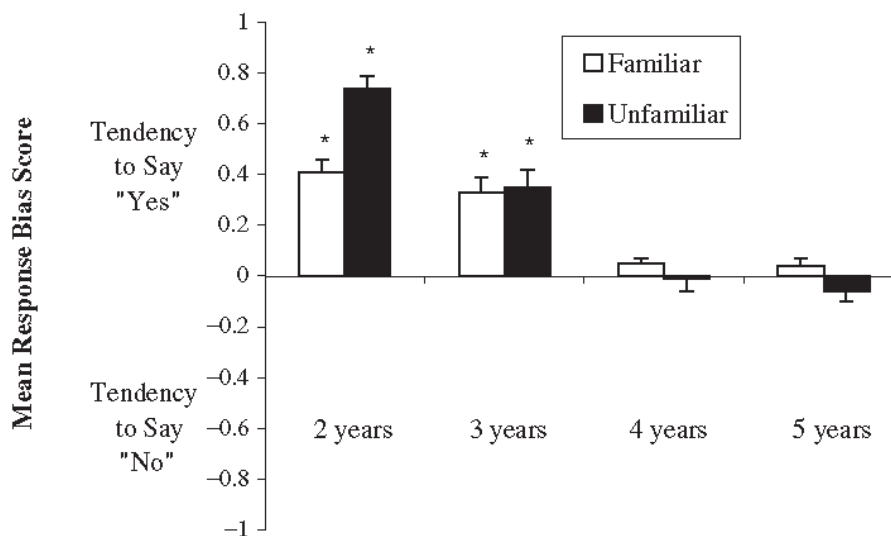


図1 肯定バイアスの強さの年齢による変化. 'Do young children always say yes to yes-no question? A metadevelopmental study of the affirmation bias', by Fritzley, V. H., & Lee, K. 2003, *Child Development*, 74, p.1301, Figure 1. から転載.

response bias score = 「はい」質問への
 正答割合 - 「いいえ」質問への正答割合
 ここに、「はい」質問とは、「はい」と答えるべき
 質問、「いいえ」質問とは、「いいえ」と答えるべ
 き質問である。右辺の正答割合は、それぞれ0か
 ら1の間の値をとるため、response bias score は、
 +1（すべての質問に「はい」と答えた場合）か
 ら-1（すべての質問に「いいえ」と答えた場合）
 の間の値をとる。図中の白い棒グラフ (Familiar)
 は子どもがよく知っている物、黒い棒グラフ
 (Unfamiliar) は子どもになじみがない物に対す
 る response bias score を示す。

また、Okanda & Itakura (2010) は、質問に答
 える知識を持っていたにも関わらず、3歳児は、
 「はい-いいえ」質問に対して不適切に「はい」と
 答えてしまう傾向があることを示した。Okanda
 & Itakura (2011) は、3歳児の反応時間（回答ま
 での遅れ時間）は、6歳児のそれと比べて有意に
 短いことを示した。

Moriguchi, Okanda, & Itakura (2008) は、言
 語能力や抑制制御能力は肯定バイアスと強い正の
 相関があるが、心の理論は肯定バイアスとの有意
 な相関はないことを明らかにした。Moriguchi ら
 は次のように推定した：幼児に対する両親の質問
 は、幼児が「はい」と答えるべき質問に偏ってお
 り、幼児は「いいえ」と答えるよりも「はい」と
 答える機会が多く、結果として、「はい-いいえ」
 質問に対して「はい」と答えることを学習してし
 まうのかもしれない。

一方、著者らは、人とのやりとりを通して人の
 発話への適切な応答の仕方や物の名前を学習する
 ロボットを設計してきた (Oka et al., 2013)。本
 論文では、このロボットが質問に答える知識を学
 習済みであるにもかかわらず、肯定バイアスを持
 つ傾向があることを実験的に示す。さらに、この

バイアスが生じるメカニズムについて計算論的に
 考察し、子どもの肯定バイアスに対する示唆につ
 いて論ずる。

2. 学習ロボット

著者らのロボットは、目の前に果物を置かれた
 状態 (図 2) で、終助詞「よ／ね／か」を含む発
 話（「リンゴだよ」「ミカンですか」など）に対
 してどのように反応したらよいかを学習しつつ、同
 時に、果物の名前を学習する。ロボットは、人か
 ら与えられる報酬に基づいて学習を進める（強化
 学習）。



図 2 リンゴを前にした学習ロボット

ロボットは、最初は、果物の名前も知らないし、
 『「リンゴだよ」と言われたら名前を覚えればよ
 い』ということも知らないし、『「ミカンですか」
 と言われたら記憶と照合して照合結果に応じてう
 なずくか、または、首を振ればよい』ということ
 も知らない。たとえば、『「ミカンですか」と言わ
 れたら、目の前の物の名前が「ミカン」とであると
 記憶して、うなずけばよい（そうすると報酬がも
 らえる）』とロボットが誤って学習する可能性があ
 る。

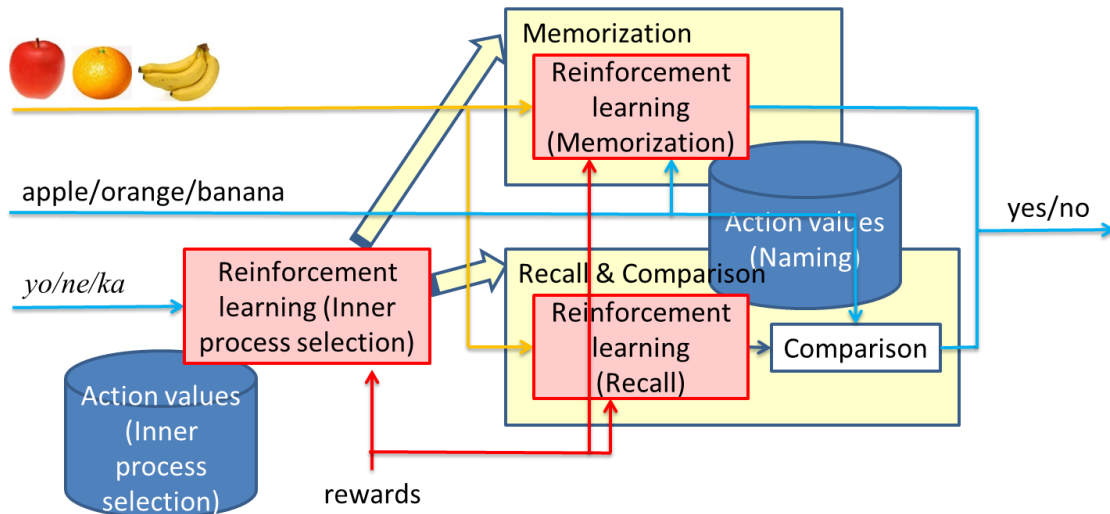


図3 学習システムの構成

ロボットの内部では、次の2種類の学習が同時に進行する(学習システムの構成は図3を参照)：

1. **内部処理の選択**：ある終助詞が与えられたとき、「目の前の果物と聞いた言葉を対応づけて記憶する(記憶)」か、または、「記憶を想起し、目の前の果物および聞いた言葉と比較する(想起・比較)」のいずれを選択すればよいかを学習する。「リンゴだよ」のような教示の「よ」に対しては「記憶」を選択することが正解であり、「リンゴだね」のような同意要求の「ね」や、「リンゴですか」のような「はいいいえ」質問の「か」に対しては「想起・比較」を選択することが正解であるとする。なお、ロボットは、記憶処理が選択されたときには、うなづくようにプログラムされており、想起・比較処理が選択されたときは、比較結果に応じてうなづくか首を振るようにプログラムされている。
2. **果物の名前の記憶**：目の前の果物と聞いた言葉を対応付けて記憶する。

3. インタラクション実験

実験の様子を図4に示す。実験参加者は、たとえばリンゴを前にして「リンゴだよ(教示)」「リンゴだね(同意要求)」「リンゴですか(「はい」質問:「はい」と答えるべき質問)」「ミカンですか(「い

いえ」質問:「いいえ」と答えるべき質問)」などとロボットに語りかけ、ロボットはそれらの発話に対して、うなづく/首を振る、のいずれかの行動を返す。実験参加者は、この行動が適切だったかどうかを評価し、ロボットはその評価(報酬)に基づいて学習する。



図4 実験の様子

実験参加者は、ロボットの内部処理は見えないため、ロボットの外部行動だけに基づいて報酬を与える。実験参加者には、次の2つをロボットが完全に学習したと判断するまで、ロボットとのやりとりを続けるように指示した：

1. 3つの終助詞「よ/ね/か」の働き
2. 3種類の果物「リンゴ/ミカン/バナナ」の名前

この終了判断も、ロボットの外部行動だけに基づいてなされる。

4. 実験結果

図5に、実験終了時点の果物の名前の想起正答割合を示す。9名の実験参加者AからI全員が8割以上の高い正答割合で実験を終了したことが分かる。

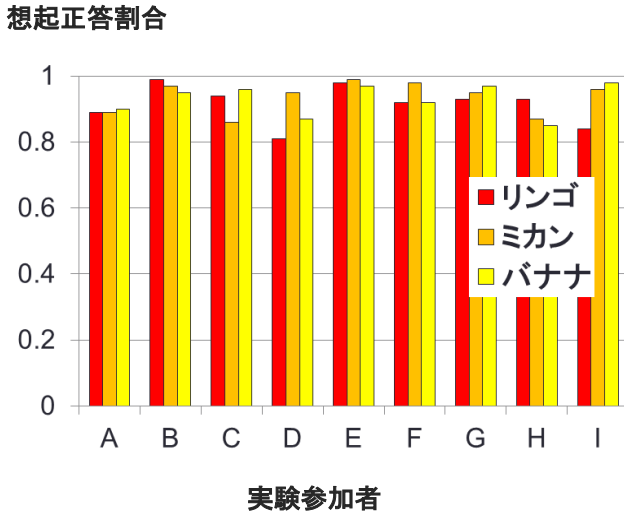


図5 果物の名前の想起正答割合

図6に、実験終了時点の内部処理の選択正答割合を示す。教示の「よ」に対する内部処理は全被験者で高い正答割合となっており、正しく「記憶」処理が選択されるようになったことが分かる。しかし、質問の「か」に対する内部処理は、実験参加者D, G, Hにおいては、選択正答割合が低い状態、すなわち、誤って「記憶」処理を選択してしまう状態で、実験を終了してしまったことが分かる(図中の赤丸)。記憶処理を実行するとなぜかのようにプログラムされているため、質問に対して誤って「記憶」処理を選択してしまう状態では、なぜかことが多くなり、肯定バイアスを示すことになる。同意要求の「ね」の学習については、実験参加者A, D, F, G, Hの5名が、内部処理を適切に選択できないまま実験を終了したことが分か

る(図中の黒丸(点線)と赤丸)。

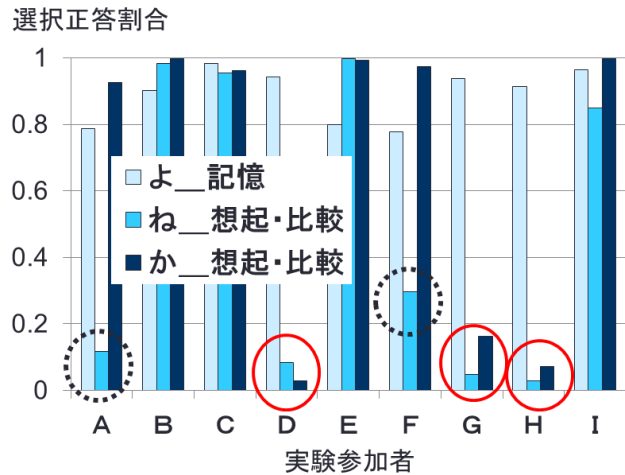


図6 内部処理の選択正答割合

続いて、代表的な学習経過を示した3名の実験参加者A, B, Dについて、「はい-いいえ」質問の「か」に対する内部処理の選択正答割合の変化の様子を図7に示す。グラフの縦軸(黒字)は、内部処理の選択正答割合であり、横軸は実験参加者の発話数であるが、「学習が完了したと判断されるまで実験を続ける」という指示を与えてあるため、総発話数は実験参加者ごとに異なり、そのため、横軸のスケールが実験参加者ごとに異なることに注意されたい。

図7のグラフの縦軸には、青字の目盛も併記してあるが、青字は response bias score である。response bias score は、「か」に対する内部処理の選択正答割合だけから決まるものではないが、『「想起・比較」処理の結果の「はい」質問への正答割合』と、『「想起・比較」処理の結果の「いいえ」質問への正答割合』が等しいという仮定(必ずしも正しいわけではない)をおいて response bias score を算出し、図7の結果が子どもの実験結果(Fritzley and Lee, 2003や, Okanda and Itakura, 2008等)(これらは response bias score で示されている)と対比できるようにした。

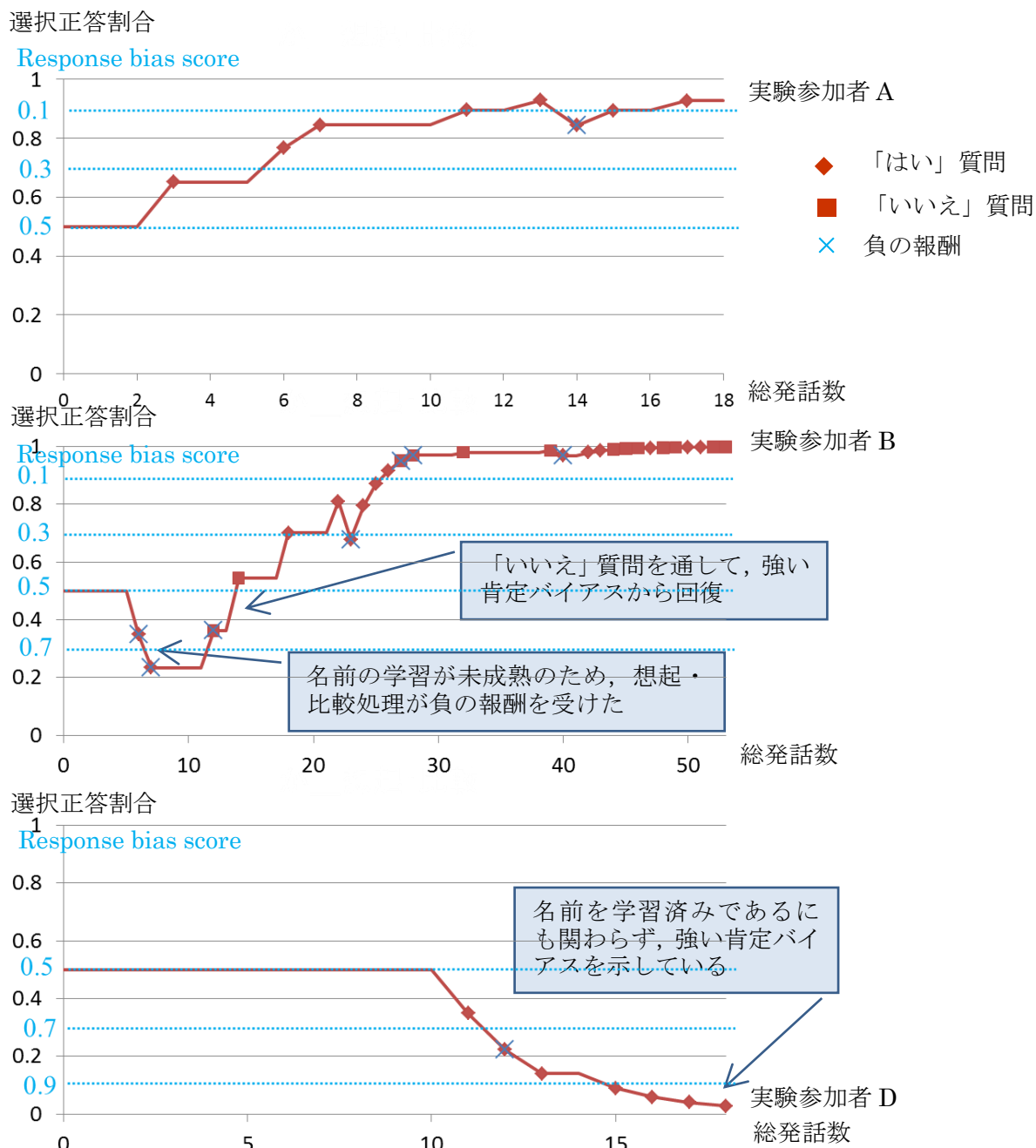


図7 「はいいいえ」質問に対する内部処理の選択正答割合の変化の様子

実験参加者 A は、「いいえ」質問（グラフ中の少し大きめの四角のデータ点）はせず、「はい」質問（小さい菱形のデータ点）だけをしたが、果物の名前の学習が速やかに進行した（バナナ、ミカンについては当初から正しく名前を想起できることが多く、リンゴについては 12 発話の時点で 8 割程度の確率で正しく名前を想起できるように学習が順調に進んだ）こともあって、たまたま内部

処理選択学習が順調に進んだ事例となった。なお、学習前の初期状態では、2 種類ある内部処理がランダムに選択されるため、選択正答割合は 0.5 となっている。この状態では、「はいいいえ」質問に対して、二分の一の確率で「記憶」処理が選択されてうなづくことになり、残りの二分の一の確率で「想起・比較」処理に応じた応答を返すことになる。「想起・比較」処理が選択された場合の「は

い」質問への正答割合と「いいえ」質問への正答割合が等しいと仮定すると、response bias scoreの初期値は0.5となる。

実験参加者Bは、最初の2回、たまたま正しい選択をしたが、名前の学習がまだできていなかったため、不適切な行動を示すことになり、負の報酬（グラフ中、×印をつけたデータ点）を受け、肯定バイアスが増す方向に学習が進んでしまった。しかし、その後、「いいえ」質問（少し大きめの四角）を発することにより、肯定バイアスから回復したことが見てとれる。

実験参加者Dは、Aと同様、「はい」質問だけを発した。このため、記憶処理を選択した場合のうなずきが、常に正しい外部行動になってしまい、response bias score（グラフ中、縦軸の青い目盛）が1に近い、強い肯定バイアスを示すこととなった。なお、図1に示したグラフでは、2歳児、3歳児のresponse bias scoreは概ね0.3~0.4程度の値をとることが読み取れるが、これは各実験参加者のスコアを平均した結果であり、個々の参加者のスコアは、1に近い値を含む広い値に分布していると考えられる。また、実験参加者Dの場合は、実験終了時点で、果物の名前の正答率は十分上がっている（図5）にも関わらず、強い肯定バイアスを示していることが分かる。

5. 考察

5.1. 子どもの肯定バイアスに関する知見との整合性

本節では、本論文の冒頭で紹介した子どもの肯定バイアスに関する知見と、本論文で提案した学習モデルとの整合性について考察する。

提案モデルは、2, 3歳児に見られる肯定バイアス（Fritzley & Lee, 2003; Okanda & Itakura, 2008等）と、定性的に整合したバイアスを示す。定量的な整合性は、今後の検討課題である。学習の進行に伴い、肯定バイアスから脱却していく点は、2, 3歳から4歳以上への変化（肯定バイアスが無くなっていく）の初期過程と対応している可能性がある。しかしながら、主に4歳以上の子ども

もが示す様々な振舞い（たとえば、見知らぬ大人に質問されるか、母親に質問されるかによる肯定バイアスの違いや、日本とハンガリーの子どもの違い（Okanda et al., 2012）や、生の対面で大人から質問されるか、大人が質問しているビデオを見るか、ロボットが質問しているビデオを見るかによる肯定バイアスの違い（Okanda et al., 2013））は、現時点で本モデルが想定している計算過程の範囲内では説明できず、他者モデルの導入により他者との社会的関係への配慮や他者の意図推定を可能にする等が必要であると考えられる。また、4歳、5歳の子どもの場合は、ある種の条件の下では、「はい」質問にも「いいえ」と答えてしまう逆方向のバイアスを示す場合があることも報告されている（たとえば Fritzley & Lee, 2003; Okanda et al., 2012）が、この逆方向のバイアスも、現時点で本モデルが想定している計算過程の範囲内では説明できない。

提案モデルは、質問に答える知識を持っているにも関わらず肯定バイアスを示す。また、肯定バイアスを示す場合は記憶処理を選択することが多くなっている。想起・比較処理と比べて記憶処理の実行時間が短いとすると、反応時間が短い点についても、3歳児の知見（Okanda & Itakura, 2010, 2011）と整合していると言える。

また、提案モデルは、言語能力や抑制制御能力は肯定バイアスと強い正の相関があるという知見（Moriguchi, Okanda, & Itakura, 2008）とも整合していると思われる。さらに、本研究は、Moriguchiらの推定（幼児に対する両親の質問が「はい」と答えるべき質問に偏っており、そのため「はい」と答えることを学習してしまう）が、人とロボットのインタラクション実験場面で、実際に起こっていることを示した。これは、幼児の発達過程で、同様のことが起こっている可能性を示唆する結果であると言える。

5.2. 肯定バイアスの成因についての計算論的な分析

ここでは、本論文で提案した学習アーキテクチ

ャが肯定バイアスを示す理由を計算論的に分析し、幼児の肯定バイアス成立メカニズムへの示唆について論ずる。

今回のロボットは、モジュール型強化学習アーキテクチャを採用し、

1. どのモジュールを使うかの選択学習と、モジュール自体の学習が並行して進む—ことを仮定した。また、
2. 内部処理は観察不可能であり、報酬は外部行動だけから決定される—ことを仮定した。さらに、
3. ロボットが置かれた環境の状態（ロボットへの入力分布）に偏りがある場合があった（これは、仮定ではなく、人とのインタラクション実験を実施したら偏りがある場合がある（「いいえ」質問がないか、ほとんどない実験参加者がいる）ことが分かった）。

以上の仮定や環境の状態は、十分一般的なものであると考えられるが、この仮定と環境の状態の下では、次のことが言える：

1. 学習システムの出力が誤っていた場合、モジュールの選択が誤ったのか、それとも、モジュールの選択は正しかったがモジュールの出力が正しくなかったのか—は分からない。このような場合は、両方が誤っているとして学習を進めるのが妥当であると考えられるが、そうすると、モジュールの学習が進行中の場合は、正しかったモジュール選択が否定されることになる。
2. 学習システムの出力が正しかった場合でも、モジュールの選択が正しかった保証はない。選択は誤っているのに、たまたま正しい結果が出ただけかもしれない。選択が誤っていてもたまたま正しい結果となるように、環境が偏っていると、この誤りは是正されない。

上記の 2 つの結果は、今回の実験においては、次の結果となって現れた：

1. 「はいいいえ」質問に対して、想起・比較が正しく選択されたのに、記憶が未完成の間は、はいいいえの応答が不適切になってしまい、

選択学習が逆方向に進んでしまうことがある。実験参加者 B の最初の 2 回の「はいいいえ」質問に対する回答が誤ってしまったのがこのケースであり、肯定バイアスを強める方向に働いた。

2. 「はいいいえ」質問に対して、記憶が選択されたが、環境（この場合、人の発話）に偏りがあり、「はい」質問しか来ないため、たまたま正しい行動となることが続き、強い肯定バイアスが形成された。実験参加者 D がこのケースに当たる。

以上のように、情報処理システムとして一般的な設定の結果生じるこの 2 点が肯定バイアスを強めるように働くため、提案学習システムが肯定バイアスを示すこととなったと考えられる。人の幼児の場合も、同様のメカニズムで、肯定バイアスを示す実験結果がロボストに得られている可能性が十分あると考えられる。

6. まとめと今後の課題

著者らは、人の発話への適切な応答の仕方や物の名前を、人から与えられる報酬に応じて学習するロボットを設計してきた (Oka et al., 2013)。本論文では、このロボットが質問に答える知識を学習済みであるにもかかわらず、肯定バイアスを持つ傾向があることを実験的に示し、さらに、肯定バイアスが生じるメカニズムについて計算論的に考察した。

現在の学習アルゴリズムの仕様では、ロボットが選択しうる内部処理が「記憶」と「想起・比較」の 2 種類に限定されている。また、ロボットの行動も「うなずく」と「首を振る」の 2 種類に限定されている。今後は、これらの制限を少し緩めた上で、人とのインタラクション実験を実施し、様々な条件下の人の幼児の実験結果との定量的な整合性を調べる予定である。

さらに将来は、主に 4 歳以上の子どもが示す、質問者による違い (Okanda et al., 2012, 2013) や、「はい」質問にも「いいえ」と答えてしまう逆方向のバイアス (Fritzley & Lee, 2003; Okanda

et al., 2012) について, 他者モデルの導入等によるモデル化の可能性を検討したい。

なお, 本論文でのロボット実験における「はいいいえ」質問は物の名前を尋ねるものであったが, 人の幼児の肯定バイアスを調べる実験は, 物の性質や機能を尋ねるもの (Fritzley & Lee, 2003; Okanda & Itakura, 2008 等) が中心で, その他に, 実験参加者の好みを尋ねたり (Okanda & Itakura, 2010), 動作について尋ねたり (Fritzley, Lindsay, & Lee, 2013) したものはあるが, 物の名前を尋ねる実験は報告されていない。物の名前についてだけ肯定バイアスについての実験結果が大きく異なるということは考えにくい, 今後, 人の幼児に対して物の名前を尋ねる実験を実施して肯定バイアスが同様に存在する確認をしておきたい。

謝辞

本研究は, 科研費(25330260)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Fritzley, V. H., & Lee, K. (2003). Do young children always say yes to yes-no question? A metadevelopmental study of the affirmation bias. *Child Development*, **74**, 1297-1313.
- [2] Fritzley, V. H., Lindsay, R. C. L., & Lee, K. (2013). Young children's response tendencies toward yes-no questions concerning actions. *Child Development*, **84**, 711-725.
- [3] Moriguchi, Y., Okanda, M., & Itakura, S. (2008). Young children's yes bias: How does it relate to verbal ability, inhibitory control and theory of mind? *First Language*, **28**, 431-442.
- [4] Oka, N., Wu, X., Fukada, C. & Ozeki, M. (2013). Concurrent Acquisition of the meaning of sentence-final particles and nouns through human-robot interaction, M. Lee et al. (Eds.): *ICONIP 2013*, Part I, LNCS 8226, 387-394. Springer, Heidelberg.
- [5] Okanda, M. & Itakura, S. (2008). Children in Asian cultures say yes to yes-no question: Common and cultural differences between Vietnamese and Japanese children. *International Journal of Behavioral Development*, **32**, 131-136.
- [6] Okanda, M., & Itakura, S. (2010). When do children exhibit a yes bias? *Child Development*, **81**, 568-580.
- [7] Okanda, M. & Itakura, S. (2011). Do young and old preschoolers exhibit response bias due to different mechanisms? Investigating children's response time. *Journal of Experimental Child Psychology*, **110**, 453-460.
- [8] Okanda, M., Somogyi, E., & Itakura, S. (2012). Differences in Response Bias Among Younger and Older Preschoolers: Investigating Japanese and Hungarian Preschoolers. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, **43**, 1325-1338.
- [9] Okanda, M., Kanda, T., Ishiguro, H., & Itakura, S. (2013). Three- and 4-year-old children's response tendencies to various interviewers. *Journal of Experimental Child Psychology*, **116**, 68-77.