

自動化システムとの協同と人間との協同における 課題委託に関する実験的検討

Investigation of task delegation in cooperation with a system partner and with a human partner

前東 晃礼[†], 三輪 和久[‡], 小島 一晃[§]

Akihiro Maehigashi, Kazuhisa Miwa, Kazuaki Kojima

[†] KDDI 総合研究所, [‡] 名古屋大学, [§] 帝京大学

KDDI Research, Inc., Nagoya University, Teikyo University

ak-maehigashi@kddi-research.jp

概要

本研究では、自動化システムとの協同と人間との協同における課題委託について実験的検討を行った。実験では、参加者は、パートナーと追従課題を行った。パートナーは自動化システム（システム条件）、または人間（ヒューマン条件）であると教示された。しかし実際には、全ての参加者は自動化システムと課題を行った。実験の結果、システム条件の参加者は、追従パフォーマンスの変化に鋭敏であり、課題委託の適切性が高かった。この結果は、先行研究に基づいて議論された。

キーワード: 自動化システム (Automation system), 課題委託 (Task delegation), 信頼 (Trust), 過剰利用 (Misuse), 過少利用 (Disuse)

1. はじめに

1.1 自動化システムとの協同

近年、日常生活の至るところに自動化システムが入り込んできている。自動化システムは、人間が行う活動を肩代わりするシステムである [1]。今後、人間の様々な活動が自動化されるだろう。自動化システムは、環境からの入力に対して、一定の自律性を有する意思決定機構を持つ人工物である。そのため、自動化システムは、身体機能を拡張するナイフやハンマーなどの古典的な人工物や、認知機能を拡張するコンピュータなどの認知的人工物とは異なる第3世代の人工物と位置づけられる [2]。このような自動化システムを利用した活動は、道具を利用した活動よりも、チームパートナーとの協同として扱われる [3]。

自動化システムとの協同では、ユーザは、システムとユーザによる課題遂行のパフォーマンスを監視して、その優劣に基づいてシステムへの課題の委託を決定する必要がある [4]。規範的には、システムの方が高

パフォーマンスを示すときはシステムに課題を委託して、ユーザの方が高パフォーマンスを示すときはユーザが課題を行う必要がある。しかし、ユーザが行うべき課題をシステムに任せるシステム過剰利用 (Misuse) や、システムの課題遂行が優越な状況で、ユーザが課題を行うシステム過少利用 (Disuse) が生じることがある [1]。今後、様々な活動の自動化が進む中で、自動化システムとの協同における課題委託の性質を知ることが重要である。

自律性を持つ自動化システムは、その内部の情報処理が複雑であり、環境からの影響やユーザの働きかけが、どのように処理されるかを把握することが困難である [5]。このような自動化システムに対して、ユーザは信頼を形成し、その信頼に基づいてシステムへの課題の委託を決定することが明らかにされてきた。

いくつかの先行研究 [6, 7] は、自動化システムとの協同において、課題遂行中にシステムエラーが生じて、システムの正常な活動が不可能になる状況を設定した実験を行った。実験の結果、システムエラーが発生した後に、参加者のシステムに対する信頼は低下し、それに伴い、参加者がシステムに課題を委託する割合は低下することが明らかとなった。また、システムが正常な稼動を再開した後に、低下した信頼は徐々に回復し、それに伴い、システムに課題を委託する割合も徐々に回復することが明らかとなった。

このように、ユーザは、自動化システムのパフォーマンスに基づいて信頼を形成し、その信頼に依存してシステムへの課題の委託を決定する。そのため、ユーザがシステムパフォーマンスを高く見積もり、システムを過信した場合に Misuse が生じ、一方、ユーザがシステムのパフォーマンスを低く見積もり、システムに過度の不信を持った場合に Disuse が生じる。

1.2 本研究の関心と仮説

本研究の関心は、自動化システムとの協同と人間との協同におけるシステムへの課題委託の特性を対比的に検討することである。これまでに、システムとの協同と人間との協同の比較を行った先行研究 [8, 9] では、課題遂行中のパートナーのエラーに対する対応という限定的な活動が扱われていた。本研究では、課題遂行中に、参加者とパートナーとのパフォーマンスの優劣が多段階で変化する状況を設定し、それに伴う自動化システムへの課題の委託行動の性質について検討を行う。

課題委託の決定要因に関して、システムとの協同では、上述のように、システムへの信頼がシステム課題委託の決定に影響することが明らかにされている。一方、人間との協同においては、信頼の程度に関わらず敵対行動または協力的行動がとられることがあり、他者への信頼と他者に対する行動は必ずしも一致しない [10]。これらのことから、本研究では以下の仮説 1 について検討を行う。

仮説 1: パートナーへの信頼と課題委託の関連は、自動化システムとの協同で現れ、人間との協同では現れない。

また、システムとの協同と人間との協同を比較した先行研究 [8, 9] では、参加者またはパートナーの課題遂行のエラーが生じた際、人間との協同よりもシステムとの協同で、エラーへの鋭敏性は高い傾向がみられた。つまり、パートナーのエラー発生時には参加者が操作を行い、そして参加者のエラー発生時にはパートナーに課題を委託する傾向がみられた。

このことから、パフォーマンスの優劣が多段階で変化する状況においても、システムとの協同では、パフォーマンスの変化に対する鋭敏性は高いと考えられる。また、それにより、システムとの協同では、課題委託の適切性が高くなると考えられる。つまり、システムとの協同では、パートナーの方が高パフォーマンスを示すときにパートナーに課題を委託し、また、参加者の方が高パフォーマンスを示すときに、参加者が課題を遂行する傾向が顕著になる可能性がある。本研究の仮説 2 は以下である。

仮説 2: 人間との協同よりもシステムとの協同で、パフォーマンスの変化に対する参加者の鋭敏性は高くなり、課題委託の適切性は高くなる。

2. 実験課題

実験では、先行研究 [11] で用いられた路線追従課題 (図 1) を使用した。参加者は、赤丸のビークルで路線の追従を行うことが求められた。ビークルが路線から離れると課題得点が減点された。課題中に、参加者は、パートナー委託モードと自己操作モードのいずれかを選択することが可能であった。パートナー委託モードでは、自動追従システムがビークルの操作を行った。一方、自己操作モードでは、参加者はゲームコントローラー (Microsoft Xbox 360 Controller for Windows) の左右の矢印キーを押してビークルの操作を行った。また、指定されたボタンを押すことによって、モードの切り替えを行うことが可能であった。

この課題では、パートナー委託モードと自己操作モードの能力値を実験的に操作した。具体的には、パートナー委託モードの能力 (CP: Capability of partner's operation) と自己操作モードの能力 (CS: Capability of self-operation) に各 5 水準 (30, 40, 50, 60, 70) の値を設けて、両モードの能力値が、課題遂行中に独立して変化するように設定した。CP と CS の能力値が高いほど、両モードの路線追従は容易であった。たとえば、CP または CS の値が 30 であれば、直線には対応できるが、カーブで路線を追従し続けることはできなかった。また、CP または CS の値が 50 であれば、緩いカーブには対応できるが、急なカーブで路線を追従し続けることはできなかった。そして、CP または CS の値が 70 であれば、ほぼ全ての路線のカーブに対応でき、完璧に近い路線追従を行うことができた。

この課題において、課題得点を最大化するためには、パートナー委託モードと自己操作モードにおける追従パフォーマンスを比較して、両モードの優劣に基づいて、高いパフォーマンスを示すモードを選択する必要があった。

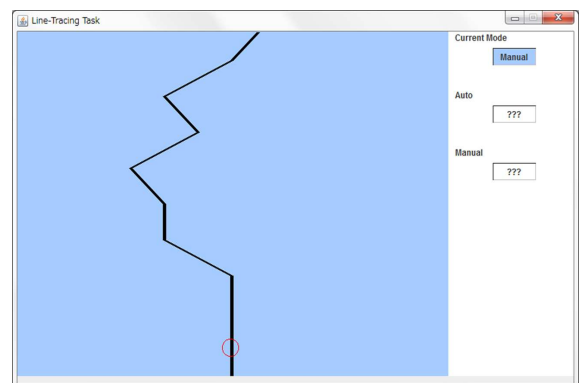


図 1 路線追従課題

3. 実験

3.1 方法

3.1.1 参加者

参加者は大学生 40 名であった。システム条件に 20 名、ヒューマン条件に 20 名が無作為に割り振られた。

3.1.2 手続き

最初に、参加者には、路線追従課題について説明し、その後、パートナーについて説明した。システム条件では、パートナーは自動追従システムであると教示した。また、ヒューマン条件では、パートナーは実験室内の他の参加者であると教示した。しかし、実際には、両条件とも、パートナーは自動追従システムであった。さらに、課題の目標として、課題得点ができる限り高くなることを目指して課題を行うように教示した。その後、課題について説明を行い、課題の練習として、1 試行 40 秒を 4 回実施した。

練習の後に本課題を行った。本課題では、5(CP: 30,40,50,60,70)×5(CS: 30,40,50,60,70) の各能力値の組合せを 1 試行として、全ての組み合わせ全 25 試行を実施した。1 試行は 40 秒であった。CP と CS の能力値の組み合わせの順序はランダムであった。課題中に、CP と CS の値は表示しなかった。試行が切り替わる際は、課題画面中央に「操作能力が変更されました」と表示した。また、参加者は、課題中にモードの切り替えを自由に行うことができた。システム条件では、パートナー委託モードを選択中は「Auto」、自己操作モード選択中は「Manual」と課題画面に表示した。一方、ヒューマン条件では、パートナー委託モードを選択中は「Follower」、自己操作モード選択中は「Leader」と課題画面に表示した。

課題終了後は、参加者に、パートナーに対する課題遂行の信頼評定 (1: 全く信頼できなかった～7: 非常に信頼できた) を行わせた。さらに、操作切り替えの判断方法について自由記述で回答させた。

3.2 結果

まず、仮説 1 に関して、パートナーに対する課題遂行の信頼評定と課題全体の委託率について相関分析を行った。その結果、システム条件では、信頼と委託率の相関が有意であった ($r = .52, p < .05$)。しかし、ヒューマン条件では有意ではなかった ($r = .14, p = .55$)。この結果から、パートナーへの信頼と課題委託の関連

は、システムとの協同で現れ、人間との協同では現れないことが明らかになり、仮説 1 は支持された。

次に、仮説 2 に関して、パフォーマンスの変化に対する鋭敏性について検討を行うために、委託率にロジスティック回帰を実施した (図 2)。以下に算出されたロジスティック回帰式を示す。実験の実測値とロジスティック回帰から予測される予測値の適合度を確認するため、Hosmer-Lemeshow 検定を行った結果、システム条件 ($\chi^2(8) = 0.27, p = .1$) とヒューマン条件 ($\chi^2(8) = 1.74, p = .98$) で適合度に問題はみられなかった。

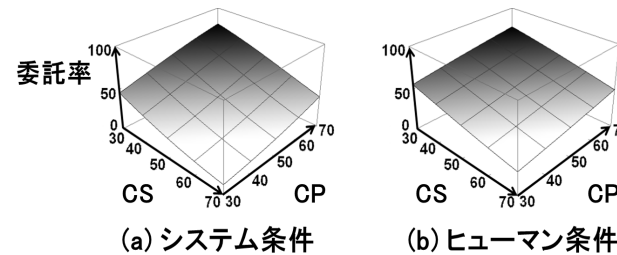


図 2 ロジスティック回帰から予測された (a) システム条件と (b) ヒューマン条件における委託率の平面。

システム条件:

$$\text{委託率} = 100 / 1 + e^{-(0.059 + 0.038CP - 0.046CS)}$$

ヒューマン条件:

$$\text{委託率} = 100 / 1 + e^{-(0.509 + 0.022CP - 0.031CS)}$$

ロジスティック回帰で算出された式から、オッズ比の値を算出した (表 1)。CP と CS のオッズ比の値は、CP と CS それぞれの値の変化に伴う委託率の変化量を示す。CP または CS のオッズ比の値が 1 よりも高いほど、CP または CS の値の変化に伴う委託率の増加が大きいことを示す。一方、CP または CS のオッズ比の値が 1 よりも低いほど、CP または CS の値の変化に伴う委託率の低下が大きいことを示す。

表 1 CP と CS のオッズ比の値

	CP の オッズ比の値	CS の オッズ比の値
システム条件	1.038	0.954
ヒューマン条件	1.022	0.968

オッズ比の値を算出した結果、CP のオッズ比の値に関して、両条件で 1 を上回り、かつ、ヒューマン条件よりもシステム条件でその値は大きかった。つまり、ヒューマン条件よりも、システム条件で、CP の値の

増加に伴う委託率の増加が大きいことが明らかとなった。また、CS のオッズ比の値に関して、両条件で1を下回り、かつ、ヒューマン条件よりもシステム条件で値は小さかった。つまり、ヒューマン条件よりも、システム条件で、CS の値の増加に伴う委託率の低下が大きいことが明らかとなった。

図3は、オッズ比で示された委託率の変化を示す。図3から、ヒューマン条件よりもシステム条件で、CPとCSの値の変化に対する委託率の変化が大きいことがみとれる。これらの結果から、人間との協同よりもシステムとの協同で、自分とパートナーのパフォーマンスの変化に対する鋭敏性は高いことが示された。

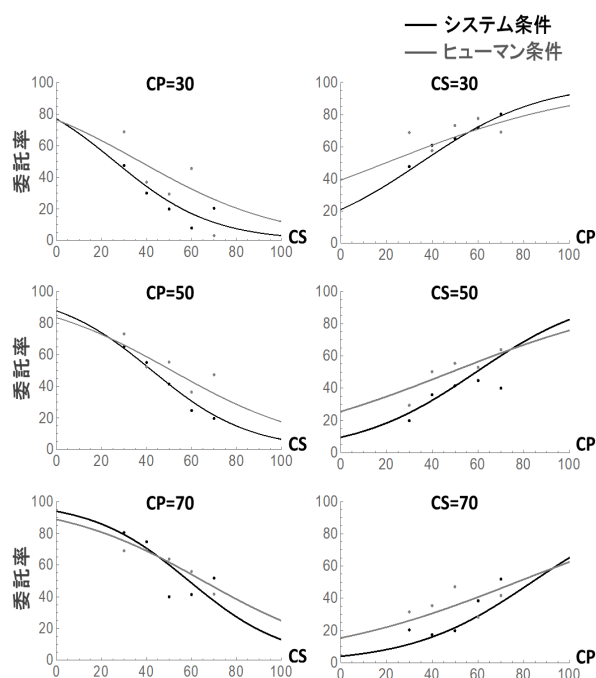


図3 CPとCSが30, 50, 70のときの断面図。各断面のドットは実測値、曲線はロジスティック回帰で算出された予測平面の断面を示す。

最後に、仮説2に関して、課題委託の適切性について検討を行うために、パートナー委託モードと自己操作モードのそれぞれが優位な状況における委託率について分析を行った。実際には、CSよりもCPの値が高い10試行(パートナー委託優位)と、CPよりもCSの値が高い10試行(自己操作優位)のそれぞれで、各条件の委託率を比較した(図4)。パートナー委託優位な状況では、課題をパートナーに任せて、委託率を高めることが適切な課題の委託といえる。一方、自己操作優位な状況では、課題をパートナーに任せて、委託率を高めることは不適切な課題の委託といえる。分析の結果、パートナー委託優位な状況

では、両条件間に委託率に有意差はみられなかった($t(38) = 0.78, n.s.$)。一方、自己操作優位な状況では、ヒューマン条件よりもシステム条件で委託率は有意に低かった($t(38) = 3.88, p < .001$)。つまり、自己操作優位な状況のとき、ヒューマン条件よりもシステム条件で、適切な課題の委託が行われた。この結果から、人間との協同よりもシステムとの協同で、課題委託の適切性が高いことが明らかとなった。これら一連の分析の結果から、仮説2が支持された。

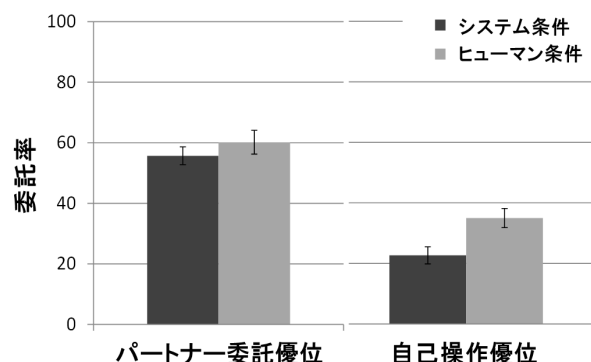


図4 パートナー委託モードと自己操作モードの優位な状況における委託率。エラーバーは標準誤差を示す。

4. 総合考察

本研究では、自動化システムとの協同におけるシステムへの課題委託の特性について検討を行った。特に、自分とパートナーとのパフォーマンスの優劣が動的に変化する状況を設定し、それに伴うパートナーへの課題の委託、または自分への課題の割り当てについて検討を行った。

実験の結果、仮説1に関して、パートナーへの信頼と課題委託の関連は、システムとの協同で確認され、人間との協同では確認されなかった。自動化システムとの協同においては、ユーザは、システムパフォーマンスに基づいて信頼を形成し、その信頼に依存してシステムへの課題の委託を決定する[6, 7]。しかし、人間との協同においては、パートナーへの信頼がなくても、お互いの望みが一致するなどにより協力的な行動をとることがある[10]。そのため、システムとの協同では、信頼は課題委託を決定する重要な要因であるが、人間との協同では、信頼以外の要因が課題委託に影響すると考えられる。システムとの協同と人間との協同を比較した先行研究[8, 9]では、このような信頼と委託率との直接的な関係の違いは検討されなかったが、本研究では、その違いを明らかにした。

また、仮説2に関して、人間との協同よりもシステ

ムとの協同で、自分とパートナーのパフォーマンスの変化に対する鋭敏性と、課題委託の適切性は高いことが確認された。人間との協同におけるパートナーへの課題委託の要因の一つとして、社会心理学の分野で示されている「労力の均等化」が考えられる。システムとの協同においては、課題遂行の責任はユーザに集中する [4]。しかし、人間との協同を行う際、課題遂行の責任は自分とパートナーに分散される [12]。このように人間との協同で、課題遂行の責任が分散する状況では、人間は、自分とパートナーの活動労力を均等にしようとする「労力の均等化」が生じる [13]。人間はこの「労力の均等化」に敏感であり、特に、パートナーが自分の労力に頼ること (Free-rider 効果) を敏感に察知して避けようとする [14]。

本実験においても、ヒューマン条件では、参加者は、参加者とパートナーのパフォーマンスの優劣だけに基づいて課題委託を決定したのではなく、パートナーとの「労力の均等化」を考慮して課題委託を決定した可能性が考えられる。つまり、参加者自身とパートナーの間で、課題遂行時間を均等にしようとした可能性がある。特に、パートナーよりも参加者が高いパフォーマンスを示す状況で「労力の均等化」の調整を行った結果、パフォーマンス変化への鋭敏性が全体的に低くなり、参加者が優位な状況で、パートナーへの不適切な課題の委託が生じた可能性がある。

実際に、ヒューマン条件の課題全体の委託率 ($M = 50.82, SD = 7.48$) は 50%前後に落ち着いた。また、課題終了後に、参加者に、操作切り替えの判断方法について自由記述させたところ、ヒューマン条件の参加者 3 名は、自分とパートナーとの課題遂行時間が均等になるように意識したことを明確に記述していた。これらの結果は、ヒューマン条件の参加者が、「労力の均等化」を考慮した可能性を支持する。

文献

- [1] Parasuraman, R., & Riley, V., (1997) "Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse", *Human Factors*, Vol. 39, No. 2, pp. 230-253.
- [2] 前東晃礼, 三輪和久, 寺井仁, (2014) "自動化システムの使用と信頼の役割" *認知科学*, Vol. 21, No. 1, pp. 100-112.
- [3] Paris, C. R., Salas, E., & Cannon-Bowers, J. A., (2000) "Teamwork in multi-person systems: A review and analysis", *Ergonomics*, Vol. 43, No. 8, pp. 1052-1075.
- [4] Lee, J. D., & See, K. A., (2004) "Trust in automation: Designing for appropriate reliance", *Human Factors*, Vol. 46, No. 1, pp. 50-80.
- [5] Rasumussen, J., (1986) *Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. NY: Elsevier Science Publishing.
- [6] Lee, J. D., & Moray, N., (1992) "Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems", *Ergonomics*, Vol. 35, No. 10, pp. 1243-1270.
- [7] Muir, B. M., (1994) "Trust in automation: Part I. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems", *Ergonomics*, Vol. 37, No. 11, pp. 1905-1922.
- [8] Dzindolet, M. T., Pierce, L. G., Beck, H. P., & Dawe, L. A., (2002) "The perceived utility of human and automated aids in a visual detection task", *Human Factors*, Vol. 44, No. 1, pp. 79-94.
- [9] Lewandowsky, S., Mundy, M., & Tan, G. P. A., (2000) "The dynamics of trust: Comparing humans to automation", *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 6, No. 2, pp. 104-123.
- [10] Mayer, C., Davis, J. H., & Schoorman, F. D., (1995) "An integrative model of organizational trust", *The Academy of Management Review*, Vol. 20, No. 3, pp. 709-734.
- [11] Maehigashi, A., Miwa, K., Terai, H., Kojima, K., & Morita, J., (2013) "Experimental Investigation of Calibration and Resolution in Human-Automation System Interaction", *IEICE transactions on Fundamentals*, Vol. E96-A, No. 7, pp. 1625-1636.
- [12] Darley, J., & Latané, B., (1968) "Bystander intervention in emergencies: Diffusion of responsibility", *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 8, No. 4, pp. 377-383.
- [13] Jackson, J. M., & Harkins, S. G., (1985) "Equity in effort: An explanation of the social loafing effect", *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 49, No. 5, pp. 1199-1206.
- [14] Shepperd, J. A., (1993) "Productivity loss in performance groups: A motivation analysis", *Psychological Bulletin*, Vol. 113, No. 1, pp. 67-81.