

介護者と被介護者のQOLが最適になる介護行為を選択するためのマッチング問題の定式化に向けて

佐藤 匠^{1,a)} 伊藤 徹^{2,b)} 福田 直樹^{3,c)} 渡邊 博子^{2,d)} 廣江 晃⁴ 東本 幸子⁵ 小川 貴代^{2,e)}
神成 淳司^{6,f)} 和田 智之^{2,g)}

概要：日本における高齢化の進行により、介護が必要になる高齢者が増加することで、家族や施設を含めた介護の重要性が増している。介護において、最も大切なことは、被介護者のQOL(Quality of life)である。一方、介護者のQOL(Quality of life)も重要であり、その低下から、離職者が続出しており、大きな社会問題となっている。介護者の人材不足の解決のためには、介護者のQOLを向上させることが必要であると指摘されているが、介護者及び被介護者のQOLは、多くの場合、相反するものとなっている。本研究では、介護者のQOLの維持・向上に貢献するために、介護行為のカテゴリ及び介護者と被介護者の相性を考慮した、介護者と被介護者間のQOLが最適になる介護行為を選択するためのマッチング問題の定式化に向けてシステムモデルの提案を行う。

キーワード：介護マッチング 定式化 QOL

1. はじめに

日本における高齢化の進行により、介護が必要になる高齢者も増加し、家族や施設を含めた介護の重要性が増していることが指摘されている [1], [2], [3], [4], [5]。一方で、介護者の健康維持や人材の確保の必要性（人材不足）も指摘されている [6], [7], [8], [9]。介護者の健康維持や人材不足の解決するためには、介護者のQOLの維持・向上が必要であることが指摘されている [9], [10]。

タスクのカテゴリを考慮した上での予算制約下におけるタスクを配分する研究としては、INCARE Mechanismがある [11]。INCARE Mechanismでは、タスクを依頼するInitiatorは1人だけとなっているが、介護行為のマッチングにおいては介護行為の依頼主である被介護者は複数人い

ることが考えられる。また、介護行為では、被介護者と介護者の相性も重要になる。

予算配分とマッチングを同時に解決するための方法としては、SVDA Mechanismが挙げられる [12]。SVDA Mechanismでは、学生とプロジェクトの間の選好を考慮しているが、プロジェクトのカテゴリが予算配分とマッチングに影響を与える場合は想定していない。一方で、介護行為のマッチングにおいては、介護行為のカテゴリごとに介護者の得意不得意があることが考えられる。

本研究では、介護者のQOLの維持・向上に貢献するために、介護行為のカテゴリ及び被介護者と介護者の相性を考慮した、介護者と被介護者のQOLが最適になる介護行為を選択するためのマッチング問題の定式化に向けてシステムモデルの提案を行う。

2. 介護者と被介護者のQOLが最適になる介護行為を選択するためのシステムモデル

本研究で扱う介護行為のマッチング問題の概念図を図1に示す。本研究において、被介護者は、ある介護行為から得られる自身のQOLが最大化するための介護者を見つけることが目的となる。被介護者及び介護者が得るQOLは、介護行為の難易度と介護者の各介護行為に対する介護能力に応じて変化すると考える。また、介護行為の難易度は、介護行為自体が有する固有の難しさだけでなく、被介護者

¹ 慶應義塾大学大学院政策メディア研究科
² 理化学研究所 光量子工学研究センター 光量子制御技術開発チーム
³ 静岡大学 大学院情報学領域
⁴ 社会福祉法人 こうほうえん
⁵ 一般社団法人 気づきデータ解析研究所
⁶ 慶應義塾大学 環境情報学部
a) taksat@sfc.keio.ac.jp
b) tohru.itoh@riken.jp
c) fukuta@inf.shizuoka.ac.jp
d) hiroko.watanabe@riken.jp
e) pogawa@riken.jp
f) kaminari@sfc.keio.ac.jp
g) swada@riken.jp

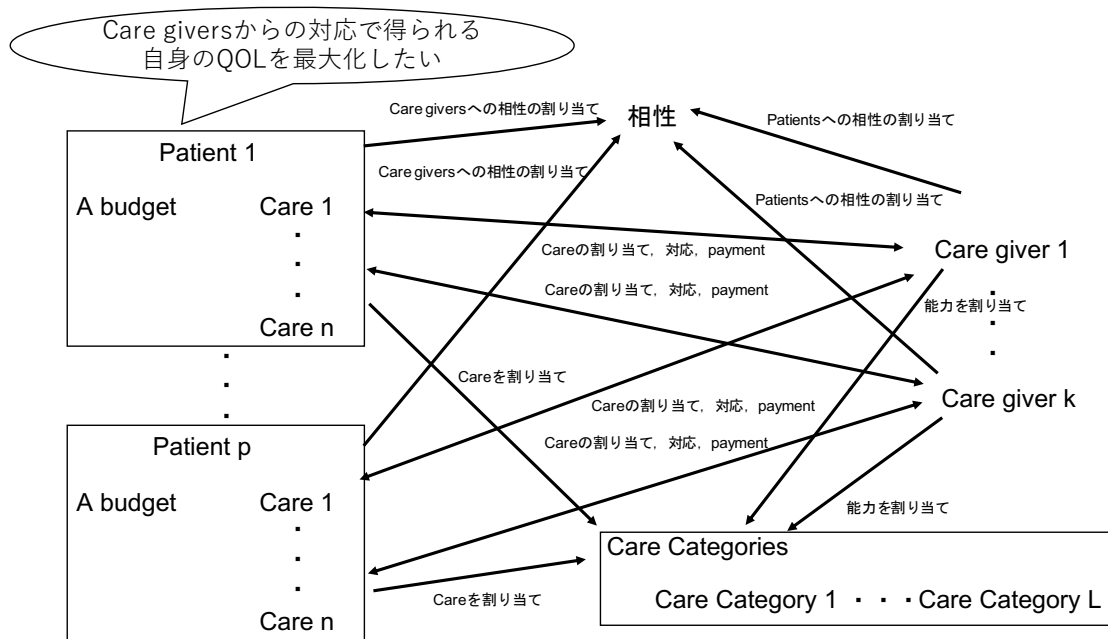


図 1 介護行為のマッチング問題のモデル (概念図)

と介護者の相性によっても決まると考える。

参考文献 [11] では, Initiator はタスクと予算を持っており, 本研究においても, 被介護者は, 介護行為と予算を持つ。一方で, 参考文献 [11] では, Initiator は一人しかいなかったが, 本研究における被介護者は, 複数人いることを想定しており $I = \{1, 2, \dots, I\}$ として示す。 I は, 予算 B_i 内で自身の QOL を示す Q_i が最大になるような介護行為 $N = \{1, 2, \dots, N\}$ を行ってもらうために, 全ての介護者 $K = \{1, 2, \dots, K\}$ に対して介護行為 N_i を提示をする。

参考文献 [11] に従い, 全ての介護者は, 依頼された介護行為に対して必要となる代金 $b_{k,i,n}$ を提示する。よって, Worker k は, m_k 回, タスクと金額のペアである $\phi_k = (n_k, b_k)$ を提示する。また, 参考文献 [11] に従い, 被介護者は, 提示された代金と介護者のそれまでの介護実績 $QOL_{i,k,n}$ を参考にどの介護者から介護行為を受けるかを決定し, 支払い金額 p を決める。

介護実績 $QOL_{i,k,n}$ は, 過去 (round t より前) に介護者が被介護者に対して行った介護の結果が累積されたものである。 $QOL_{i,k,n}$ は, 被介護者がある介護者からある介護行為を受けた結果として得た QOL を示す $IQOL_{i,k,n,t}$ 及び介護者がある被介護者に介護行為を提供した結果として得た QOL を示す $WQOL_{i,k,n,t}$ から構成される。被介護者は介護行為の結果として $IQOL_{i,k,n,t}$ を得ることになる (介護者はこの逆) ので, 介護実績は各被介護者が各介護者の各介護行為に対して割り当てられた QOL ($QOL_{i,k,n}$) の合計値と考える。本研究では, 介護実績として, 次の式を用いる。

$$QOL_{i,k,n} = \left[\sum_{t=1}^T IQOL_{i,k,n,t}, \sum_{r=1}^t WQOL_{i,k,n,t} \right] \quad (1)$$

このとき, T は, 最後の round とする。

$IQOL_{i,k,n,t}, WQOL_{i,k,n,t}$ は, 介護行為の難易度と介護者の各介護行為に対する能力により計算される。また, 実際の介護現場においては, 介護者と被介護者それぞれが相手との間で相性を持っていると考えられるので, 介護行為の難易度は, 介護行為固有の難易度, 被介護者と介護者の相性の 2 つから計算される。

相性が両者の QOL に与える影響は, 相性の良い関係であるほど良い方向に変化するが, 相性の悪いもの同士の場合, 相性が QOL に与える影響は悪い方向に変化すると考えられる。本研究では, 介護者対しての被介護者の相性を $WPF_{i,k}$, 被介護者に対しての介護者の相性を $IPF_{i,k}$ として定義する。 $WPF_{i,k}, IPF_{i,k}$ がとり得る値は 0 以上 1 以下の実数であると考え。被介護者と介護者の相性が最も良い場合, $WPF_{i,k} = IPF_{i,k} = 1$ となり, 被介護者と介護者の相性が最も悪い場合, $WPF_{i,k} = IPF_{i,k} = 0$ となる。

文献 [11] では, 確率変数 Z_n は, タスクの答えが 1 と 0 のどちらになるかを示していたが, 本研究においては, 介護行為が成功する場合と失敗する場合があるので, 確率変数 Z_n を介護行為の成功が失敗か (成功が 1, 失敗が 0) を示すために用いる。また, 文献 [11] では, タスクの難易度を $\theta = Pr(Z_n = 1)$ で示し, $\theta = 0.5$ の場合が最も難易度が高いことを示しており, 本研究における介護行為の難易度も, $\theta = Pr(Z_n = 1)$ を用いているが, 本研究では, $\theta = 0.5$ の場合が最も難易度が高いわけではない。本研究においては, 介護行為の難易度を介護行為が成功する確率である $\theta_{i,k,n}$ を用いて示す。

本研究においては, 介護行為の属するカテゴリ毎に介護者の能力が異なることを前提としているので, 文献 [11]

に従い、介護行為には、カテゴリ $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\}$ が割り当てられていると考え、介護行為がどのカテゴリに関連するかを示した確率も $r_n = [r_{n,1}, r_{n,2}, \dots, r_{n,l}]$ で示す。また、文献 [11] に従い、介護行為が実際にどのカテゴリに割り当てられているのかを、 $o_n = Pr(o_n = L) = r_{n,l}$ として示し、あるカテゴリに属する介護行為の難易度を、 $\eta_{n,l} = Pr(Z_n = 1 | o_n = l)$ として示す。 r_n の定義及び相性が良ければタスクの難易度が下がるという点を考慮して、 $\theta = (IPF_{i,k} WPF_{i,k}) \sum_{l=1}^L r_{n,l} \eta_{n,l}$ となることがわかる。介護者の介護能力のあるカテゴリ $d_{n,l}$ に属する介護行為を提供した場合の成功確率として考え、文献 [11] に従い、 $\delta_{n,l} = [\delta_{n,1}, \delta_{n,2}, \dots, \delta_{n,L}]$ として示す。

文献 [11] では、タスクの答えが 1 と 0 のどちらであるかを $y_{n,k} \in \{0, 1\}$ として示しているが、本研究においては介護者が行った介護行為の成功・失敗を $y_{n,k} \in \{0, 1\}$ として示す。また、文献 [11] に従い、介護者が $t-1$ までに行ったあるカテゴリの介護行為についての確率を重みとして集めたものを、 $v_{k,l}^{t-1} = \sum_{j \in N_k^{t-1}} r_{j,l}$ として示す。 N_k^{t-1} は、 $t-1$ までに介護者 k が行った介護行為の記録である。 t における、介護行為の難易度、介護者の能力に関するパラメータの全ての可能性から構成される状態空間を、文献 [11] に従い、以下のように定義する。

$$S^t = \{ \{ \eta_{j,l}^t \}_{j \in N, l \in L}, \{ \theta_j^t \}_{j \in N}, \{ \delta_{i,l}^t \}_{i \in K, l \in L}, \{ v_{i,l}^t \}_{i \in K, l \in L}, \{ IPF_{i,k} \}_{i \in I, k \in K}, \{ WPF_{i,k} \}_{i \in I, k \in K} \}$$

round t において、被介護者が介護者が提示した ϕ から ϕ_k^m を 1 つ決定した場合、介護行為と介護者のペア $\omega^t = \{n^t, k^t\}$ が決定されるため、次状態 S^{t+1} として事後確率 $Pr(y_{n^t, k^t} | S^t, n^t, k^t)$ が計算可能になる。文献 [11] に加えて、被介護者と介護者の相性を考慮する必要があるため、事後確率の計算は次の通りとする。相性が最も悪い場合には、介護行為が成功する確率は 0 となる。被介護者及び介護者がより良い QOL を得るためには、以下の式から計算される成功する確率が高くなり、失敗する確率が低くなる介護者あるいは被介護者と介護行為を選択をする必要がある。

$$Pr(y_{n^t, k^t} = 1 | S^t, n^t, k^t) = \sum_{l=1}^L (IPF_{i,k} WPF_{i,k}) r_{n,l} [\delta_{k,l}^t \eta_{k,l}^t + (1 - \delta_{k,l}^t)(1 - \eta_{n,l}^t)] \quad (2)$$

$$Pr(y_{n^t, k^t} = 0 | S^t, n^t, k^t) = \sum_{l=1}^L (1 - IPF_{i,k} WPF_{i,k}) r_{n,l} [\delta_{k,l}^t (1 - \eta_{k,l}^t) + (1 - \delta_{k,l}^t) \eta_{n,l}^t] \quad (3)$$

被介護者及び介護者が介護行為 n が成功した場合に、得ることが可能な QOL を以下の式として定義する。

$$IQOL_{i,k,n,t} = WQOL_{i,k,n,t} = (IPF_{i,k} WPF_{i,k}) \sum_{l=1}^L r_{n,l} \eta_{n,l} \delta_{k,l}^t \quad (4)$$

被介護者及び介護者は、 t までの間に提示する介護行為において、事後確率を用いない場合に得られる効用と事後確率を用いた場合に得られる効用の差の総計の期待値が大きくなることを目的とする。文献 [11] に従い、 $IQOL_{i,k,n,t}^0$ は、介護行為 n に関する事前情報を示し、 $IQOL_{i,k,n,t} | \mathcal{F}^{i,w}$ が事後情報を示す。 $\mathcal{F}^{i,w}$ は、どの介護者、被介護者間で介護行為が行われるかを決定する過程で集められた情報を示す。被介護者の効用を U^i 、介護者の効用を U^k として、以下の式として定義する。

$$U^i = U^w = E \left[\sum_{t=0}^x IQOL_{i,k,n,t} | \mathcal{F}^{i,w} - IQOL_{i,k,n,t}^0 \right] \quad (5)$$

本研究における $IQOL_{i,k,n,t}$, $WQOL_{i,k,n,t}$ としては、被介護者、介護者及び介護行為の全ての組み合わせに対して計算可能であることが最も望ましい。しかし、実際の介護の現場において、介護者、被介護者及び介護行為の数が増えた場合、全ての介護者と被介護者の組み合わせにおいて介護行為が行われるわけではない。新しい介護行為については、介護カテゴリとして分類することで組み合わせの数が増えるのをある程度防ぐことは可能だと考えるが、介護行為が行われていない介護者と被介護者の組み合わせに関する計算は必要となる。

また、介護実績が、介護者と被介護者の組み合わせによって独立に計算されるわけではなく、他の介護者・被介護者との比較により計算される場合には数値ではなく順序しか知ることができない可能性もある。例えば、両者の QOL を計算するには相性 $IPF_{i,k}$, $WPF_{i,k}$ を考慮する必要があるが、相性については数値で知ることが難しく、順序で知ることしかできないことも考えられる。介護行為が 1 度でも成立してれば、相性を他の介護者・被介護者との比較による順序で知ることができるという前提でも、介護行為が 1 度も成立していない介護者と被介護者の相性は、順序を知るのが難しいことも考えられる。また、被介護者の健康状態が相性や QOL にも影響を与えることも考えられ、相性や QOL が順序あるいは数値で知ることができた場合に、被介護者、介護者、介護行為（及びそのカテゴリ）が同一であっても相性や QOL が変動することも考えられる。

このように、本研究で定式化したシステムモデルに対して truthful なメカニズムがあっても、実際の介護現場においてシステムを実現する上では値を得ることが難しいという課題がある。よって、本研究では、 $IQOL_{i,k,n,t}$, $WQOL_{i,k,n,t}$ を機械学習手法を用いて予測する。

被介護者が受けた介護行為と回数を $PCA_{i,k,n}$ 、機械学習モデルを IL_i として、被介護者が受けた介護行為から得られる $IQOL_{i,k,n,t}$ の予測値である $PIQOL_{i,k,n,t}$ を求めるために以下の式として定義する。

$$PIQOL_{i,k,n,t} = IL_i(PCA_{i,n}) \quad (6)$$

介護者が行った介護行為とその回数を $WCA_{i,k,n}$ 、介護者が介護を提供した時間を $WCT_{i,k,n}$ 、介護者が介護を担当した人数を $WCPN_{k,n}$ 、機械学習モデルを WL_k として、介護者が行った介護行為から得られる $WQOL_{i,k,n,t}$ の予測値である $PWQOL_{i,k,n,t}$ を求めるために以下の式として定義する。

$$PWQOL_{i,k,n,t} = WL_k(CA_{k,n}, CT_{k,n}, WCPN_{k,n}) \quad (7)$$

また、 $PIQOL_{i,k,n,t}$ に基づく被介護者の効用を PU^i 、 $PWQOL_{i,k,n,t}$ に基づく介護者の効用を PU^w と示し、以下の式として定義する。

$$PU^i = E[PIQOL_{i,k,n,t}] \quad (8)$$

$$PU^w = E[PWQOL_{i,k,n,t}] \quad (9)$$

3. おわりに

本研究では、介護者の QOL の維持・向上に貢献するために、介護行為のカテゴリ及び被介護者と介護者の相性を考慮した、介護者と被介護者の QOL が最適になる介護行為を選択するためのマッチング問題の定式化に向けてシステムモデルの提案を行った。

本研究の定式化に基づいて最適化を行う場合、単純に被介護者の効用の総和を最大化することだけを目的とすると、特定の少数者が大きな不利益を受ける状況を生み出す可能性があり、公平性に欠け、倫理上の問題が生じることが考えられる。また、介護者の効用に関しては、介護者の効用がある基準値を下回る場合には、介護とは異なる仕事への転職をするということが考えられる。文献 [9] では、介護者の人材不足が指摘されており、本研究においても介護者が転職をしないように最適化を行うことが求められる。このように本研究の定式化に基づいて最適化を行う場合には、被介護者及び介護者の効用に関して、単純に総和を最大化するというだけでなく、公平性を考慮することにより、倫理上の問題が生じないように最適化の定義を行う必要がある。

参考文献

- [1] 斉藤 基: 家族介護における介護行動及び介護者の QOL に関する研究 介護行動スケールの開発とその信頼性・妥当性の検討, 日本看護科学会, Vol. 23, No. 3, pp. 57-68 (2003).
- [2] 宮下光子, 酒井真理子, 飯塚弘美, 町田玲子, 中村光江,

- 横井由美子, 新谷周三, 椎貝達夫, 戸村成男: 在宅家族介護者の介護負担感とそれに関連する QOL 要因, 日本農村医学会雑誌, Vol. 54, No. 5, pp. 767-773 (オンライン), DOI: 10.2185/jjrm.54.767 (2006).
- [3] 岩切一幸, 高橋正也, 外山みどり, 平田 衛, 久永直見: 高齢者介護施設における介護機器の使用状況とその問題点, 産業衛生学雑誌, Vol. 49, No. 1, pp. 12-20 (オンライン), DOI: 10.1539/sangyoeisei.49.12 (2007).
- [4] 岡前暁生, 原田和宏, 岡田 誠, 松下和弘, 村岸亜伊子, 和田智弘, 和田陽介, 浅川康吉, 道免和久: ショートステイ利用前後における要介護者の ADL と介護者の介護負担の変化, 理学療法学, Vol. 43, No. 4, pp. 323-332 (オンライン), DOI: 10.15063/rigaku.11121 (2016).
- [5] 今井弥生: 在宅療養高齢者と家族介護者の家族機能の特徴と QOL の関係, 目白大学健康科学研究 = Mejiro journal of health care sciences, No. 13, pp. 67-75 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/120006859858/>) (2020).
- [6] 岩切一幸, 松平 浩, 市川 洵, 高橋正也: 高齢者介護施設における組織的な福祉用具の使用が介護者の腰痛症状に及ぼす影響, 産業衛生学雑誌, Vol. 59, No. 3, pp. 82-92 (オンライン), DOI: 10.1539/sangyoeisei.16-026-B (2017).
- [7] 高橋美岐子, 藤沢緑子, 佐藤沙織, 佐藤 怜: 介護専門職のストレスの現状と課題-特別養護老人ホーム介護職員のストレス要因体験頻度の分析から, 日本赤十字秋田短期大学紀要, No. 6, pp. 61-68 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/110000037684/>) (2001).
- [8] 橋本 力: 介護老人福祉施設における介護職員のワーク・ライフ・バランスと職務満足度および離職意向との関連, 老年社会科学, Vol. 38, No. 4, pp. 401-409 (2017).
- [9] 打和 登, 稲谷ふみ枝, 打和華子: BPSD に対応する介護専門職の共感性と QOL の関連, 日本心理学会大会発表論文集, Vol. 82, pp. 2EV-034-2EV-034 (2018).
- [10] 杉山育子, 庄司春菜, 五十嵐尚子, 佐藤一樹, 高橋 都, 宮下光令: がん患者の家族介護者の quality of life に影響を与える要因 日本語版 CQOLC (The Caregiver Quality of Life Index-Cancer) を用いた検討, *Palliative Care Research*, Vol. 12, No. 3, pp. 259-269 (オンライン), DOI: 10.2512/jspm.12.259 (2017).
- [11] Luo, Y. and Jennings, N. R.: A Budget-Limited Mechanism for Category-Aware Crowdsourcing Systems, *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS '20, Auckland, New Zealand, May 9-13, 2020* (Seghrouchni, A. E. F., Sukthankar, G., An, B. and Yorke-Smith, N., eds.), International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 780-788 (online), available from (<https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3398761.3398854>) (2020).
- [12] Yahiro, K. and Yokoo, M.: Game theoretic analysis for two-sided matching with resource allocation, *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS 2020* (An, B., El Fallah Seghrouchni, A. and Sukthankar, G., eds.), Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS, International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems (IFAAMAS), pp. 1548-1556 (2020).