

災害時情報共有における合理的な 利用者情報開示程度決定手法の設計

萱場啓太^{a)} 高橋晶子

大規模災害発生時には、開示する利用者情報は最小限にしつつ、より多くの適切な安否・災害情報を個々の利用者に提供することが求められるが、利用者の情報の保護と、利用者の情報開示によって利用者が享受できる安否・災害情報の量や質との間にはトレードオフの関係が生じるため、この関係を適切に考慮して利用者情報を保護しつつ情報を提供する必要がある。そこで本稿では、利用者情報の開示程度を合理的に決定するトレードオフを考慮した処理手法として、トレードオフ処理機構を提案し、評価実験を通して提案手法の有効性について議論する。

1. はじめに

東日本大震災に代表される近年発生した自然災害時には、インターネットの様々なサイトで、大量の情報が共有・利用された¹⁾²⁾。これらの情報は、インターネットサービス利用者（以降、利用者と記述する）から投稿された災害情報や安否情報（以降、災害時情報と記述する）が主であり、マスメディアが提供する情報よりも、迅速かつ詳細な情報が共有された。しかし、インターネットサービスの利用に不慣れな一般の利用者が、インターネット上にある大量の災害時情報の中から自身に必要な災害時情報を適切に取得することは困難である。従って、利用者の手を煩わせずに個々の利用者に応じて適切に災害時情報を提供することが求められ、各利用者自身に関する様々な情報（以降、利用者情報と記述）に基づき災害時情報を提供することが必要となる。しかし、利用者情報をインターネット上で利用することを嫌う利用者も多数存在するため、利用者が開示する利用者情報は最小限にしつつ、より多くの適切な情報を利用者に提供する枠組みが求められる。

安否情報共有におけるサービスの質を「多くの人に自分の詳細な安否情報を知ってもらうこと」と考えると、利用者は自身の情報を開示するほどサービスの質を高めることができるが、利用者が利用者情報を開示するほど、その利用者情報が悪用されるリスクも高まる。一方、このリスクを低減するために利用者情報の開示を抑えると、安否情報共有におけるサービスの質も低下する。つまり、トレードオフの関係が生じる。したがって、このトレードオフの関係を適切に考慮して利用者情報を保護しつつ情報を提供する必要がある。

この問題に対し我々は、利用者情報の保護と利用者が享受できる災害時情報やサービスの質の間に生じるトレードオフの関係を考慮して、利用者情報の開示の程度（利用者情報開示程度）と提供する災害時情報の程度を合理的に決定する手法について研究を行っている。本稿では、利用者情報開示程度を合理的に決定する手法（利用者情報開示程

度決定手法）におけるトレードオフを考慮した処理手法としてトレードオフ処理機構を提案し、評価実験を通して提案手法の有効性について議論する。

2. 関連研究と提案

2.1 関連研究

利用者の情報を保護する手法については、様々な手法が提案されている。収集した利用者情報を基に、第三者によって利用者個人を特定されることを防止する手法としては、収集した利用者情報を匿名化する手法がある³⁾⁴⁾⁵⁾。匿名化手法は、収集した利用者情報に関するデータ項目を削除したり、余分なデータを挿入したりすることで、個人の特定を困難にする。特に、 k -anonymity³⁾は、同じ利用者情報を持つ利用者の数を k 人以上に保つことで利用者の匿名性を保ち、利用者自身を第三者に特定される可能性を低減させる。また、匿名化を実際のシステムに適用する際には、元の利用者の個人データを格納するサーバに対し、個人データの開示要求があった後に一括して匿名化処理を施す手法が一般的である。このように、 k -anonymity に代表される匿名化による利用者情報保護手法の多くは個人データの匿名度を高めるために、個人データを収集・蓄積する必要があるため、利用者情報が流出するリスクを避けることが困難である。

これに対し、利用者情報の保護と利用者の享受できる情報やサービスの質の間に生じるトレードオフを考慮して、個人データの粒度を変更することで個人データの匿名度を調整し、利用者情報を保護する手法がある⁶⁾⁷⁾⁸⁾。具体的には、個人データの情報エントロピーや特定確率を用いて個人が特定される確率を表し、これを匿名度の指標として用いて、利用者があらかじめ入力する希望匿名度とその指標を比較することで、その個人データの粒度を決定する手法等である。しかし、これらの手法では、利用者が入力可能であるのは希望匿名度のみであり、利用者情報の保護に対する利用者の意思や、サービス利用に対する利用者の意思を十分に考慮することは困難である。また一般利用者が、利用者情報を開示することによるリスク、およびそれによって享受できる情報やサービスの質を考慮して希望匿名度

(独) 国立高等専門学校機構 仙台高等専門学校
National Institute of Technology, Sendai College, Miyagi, 989-3128, Japan.
a) a1402007@sendai-nct.jp

を適切に決定することは困難である。

2.2 技術的課題と提案

2.1 で述べたように、利用者情報を保護する様々な手法が提案されているが、本研究が対象とする大規模災害時の利用者同士の災害時情報共有の際の「利用者情報の保護」と「利用者の享受できる情報やサービスの質」の間に生じるトレードオフの関係を考慮して、災害時情報を共有するには、以下の技術的課題がある。

- (P1) 利用者情報を開示する前に適切な開示程度を決定することは困難

利用者が利用者情報を開示した後に匿名化処理等によって利用者情報の保護を行うのではなく、利用者情報を開示する前に利用者が開示する情報の粒度を決定することは困難である。

- (P2) 利用者情報の保護と利用者が享受する情報やサービスの質の間に生じるトレードオフの関係を考慮することは困難

大規模災害時には、利用者情報の保護よりも災害時情報の流通に重きがおかれるため、利用者情報が際限なく開示され、悪用される可能性がある。従って、利用者情報を保護したいという利用者の意思と、より良い災害時情報を得たいという意思を十分に考慮して、利用者の必要とする情報やサービスの質の分だけの利用者情報の開示を促すことが困難である。

そこで、上記の技術的課題を解決するために以下の提案をする。

- (S1) 利用者による利用者情報開示制御のための利用者情報開示程度決定手法

利用者情報開示程度を利用者の意思および前述のトレードオフの関係を考慮して合理的に決定することで利用者の利用者情報開示制御を支援し、利用者情報を効果的に保護するための利用者情報開示程度決定手法を提案する。利用者情報開示程度決定手法は、利用者情報の保護と、利用者の情報開示により利用者が享受できる情報やサービスの質の間に生じるトレードオフの関係を、ゲーム理論に基づく利用者意思決定ゲームを用いることで合理的に処理し、利用者情報開示程度を適切に決定する。このために、トレードオフ処理機構を構築する。

本研究では、トレードオフの関係を考慮するために、合理性に着目する。利用者が完全合理的である場合、利用者情報の保護や享受できる災害時情報やサービスの質に対して適切に重み付けをし、利用者自身が開示しようとする利用者情報項目のリスクや利用しようとする情報共有機能を利用した場合に利用者が被るリスクを考慮して適切に利用者情報開示程度を決定する。しかし、人間は限定合理的であり、前述のトレードオフの関係を考慮した利用者情報開

示程度の決定のように、解決しようとしている物事が複雑になるほど合理的な意思決定が難しくなる。トレードオフ処理機構は、このような限定合理的な人間の意思決定を、完全合理的な利用者を想定した利用者意思決定ゲームによって支援することで、利用者にとって合理的な利用者情報開示程度を決定する。

3. 利用者情報開示程度決定手法

3.1 利用者情報開示程度決定手法の概要

災害時の安否情報共有では、利用者情報を開示することで、より広く詳細な安否情報を共有可能である。一般的に、利用者が利用者情報の保護を必要としない場合、安否情報共有を最大限に利用することが可能であるが、多くの利用者は利用者情報を可能な限り保護しつつ安否情報共有機能を最大限に利用したいと希望すると考えられるため、ここにトレードオフの関係が生じる。本研究で提案する利用者情報開示程度決定手法は、災害時情報共有を行う利用者を対象とし、利用者にとって合理的な利用者情報開示程度を決定し、利用者に提示する。さらに、利用者情報を可能な限り保護しつつ災害時情報共有機能は適度に利用できればよいと考える利用者や、利用者情報保護と災害時情報共有機能を適度に利用したい利用者等も対象とし、利用者情報開示程度を合理的に決定する。

3.2 トレードオフ処理機構の設計

本研究では、利用者情報開示程度を決定する際のトレードオフの処理をトレードオフ処理機構で行う。トレードオフ処理機構は、利用者が入力する利用者情報を保護したいという意思（利用者情報保護意思）と災害時情報が欲しいという利用者の意思（災害時情報要求意思）の重みと、客観的に評価されたリスクを基に利用者意思決定ゲームを構築し、利用者情報保護と利用者が享受できる情報やサービスの質の間に生じるトレードオフを処理する。

図1にトレードオフ処理機構の概要図を示す。トレードオフ処理機構は利用者情報セットと災害時情報共有機能セットの2つのパラメータ集合を持つ。利用者情報セットはシステムが扱う利用者情報の数と等しく、災害時情報共有機能セットは利用者が利用可能な災害時情報共有機能の数と等しい。例えば、利用者情報が「氏名」、「住所」、「電話番号」の3つである場合は、利用者情報セットは3つとなり、利用者が利用できる災害時情報共有機能が「自安否情報提供機能」、「第三者安否情報提供機能」、「安否情報提供要求機能」、「安否情報検索機能」の4つである場合は、災害時情報共有機能セット数は4つとなる。利用者情報セットは「利用者情報開示リスク」、「利用者情報保護度」、「利用者情報開示程度」を要素として持ち、情報共有機能セットは「機能利用リスク」、「災害時情報要求度」を要素として持つ。以下、各パラメータについて述べる。

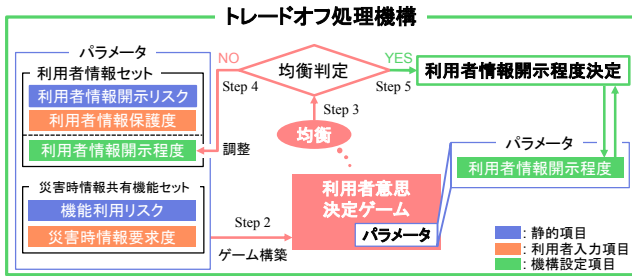


図1 トレードオフ処理機構の概要図

利用者情報開示リスク：利用者情報セットが対応する利用者情報が悪用された際のリスクを静的に表す。

利用者情報保護度：利用者情報セットが扱う利用者情報に対する利用者の利用者情報保護意思の重みを表す。

利用者情報開示程度：利用者情報セットが対応する利用者情報を開示する程度を表すパラメータであり、0.0は未公開、0.5は半分程度公開、1.0は全公開を意味する。

機能利用リスク：災害時情報共有機能セットが対応する災害時情報共有機能が利用される際に、利用者情報に及ぶリスクの要素集合である。機能利用リスクの要素数は利用者情報セットの数と等しい。

災害時情報要求度：災害時情報共有機能セットが対応する災害時情報共有機能に対する利用者の災害時情報要求意思の重みを表す。

トレードオフ処理機構の処理の流れは、以下の通りである。利用者が入力する利用者情報保護度および災害時情報要求度と、トレードオフ処理機構で設定した利用者情報開示リスクおよび機能利用リスクによるパラメータセットを用いて、トレードオフ処理機構は利用者意思決定ゲームを構築し、ゲームの均衡を求める。利用者情報開示程度は、合理的な利用者情報開示程度を求めたい利用者情報の項目毎に決定する。これにより、全ての利用者情報項目について、利用者に適切な利用者情報開示程度を求める。具体的には、以下の流れに従って、項目毎の利用者情報開示程度を決定する。ただし、下記の手順開始前のトレードオフ処理機構は、利用者による利用者情報保護度と災害時情報要求度の入力が完了し、パラメータが確定していない要素が利用者情報開示程度のみ状態であるとする。

Step 1. 利用者情報開示程度を求めたい利用者情報の項目に対応する利用者情報セットの利用者情報開示程度の初期値を0.0、それ以外の利用者情報セットの利用者情報開示程度の初期値を1.0とする。

Step 2. 利用者情報開示程度を決定する時点のパラメータセットによって利用者意思決定ゲームを構築してナッシュ均衡を求める。

Step 3. そのナッシュ均衡を表す行動の組（利用者情報項目の組）がどちらも利用者情報開示程度を求めたい利用者情報項目である場合には Step 5、その他の場合は Step 4 へ。

Step 4. 利用者情報開示程度を求めたい利用者情報項目に対応する利用者情報セットの利用者情報開示程度を増加させ、それ以外の利用者情報セットの利用者情報開示程度を減少させて、Step 2 へ。

Step 5. 利用者情報開示程度を求めたい利用者情報項目に対応する利用者情報セットの利用者情報開示程度を利用者にとって合理的な利用者情報開示程度として決定する。

3.3 利用者意思決定ゲーム

利用者意思決定ゲームは、利用者の意思である利用者情報保護意思と災害時情報要求意思をゲーム理論における完全合理的なプレイヤーに見立て、完全合理的な意思決定をするため、利用者情報項目をプレイヤーのとり行動、パラメータセットを環境として、プレイヤーが行動する際の環境を分析する。ゲームに参加するプレイヤーは、自身の効用を最大化するような合理的な意思決定を行うため、両プレイヤーが最適反応をとった際の均衡であるナッシュ均衡は、「あるパラメータセット（環境）において、利用者の両意思の選択はどの利用者情報項目で安定するのか」を示す。以下、利用者意思決定ゲームの定義を行う。

利用者情報セット数を $N_p \in \mathbb{Z}$ 、災害時情報共有機能セット数を $N_d \in \mathbb{Z}$ とし、利用者情報セットを $P_i \in P (i = 1, 2, \dots, N_p)$ 、災害時情報共有機能セットを $D_j \in D (j = 1, 2, \dots, N_d)$ とすると、利用者意思決定ゲームで用いるパラメータの全体集合 U は、

$$U = \langle P, D \rangle = \{ \langle P_i, D_j \rangle \mid i = 1, 2, \dots, N_p, j = 1, 2, \dots, N_d, N_p \geq 2, N_d \geq 1 \}$$

と定義される。ここで、利用者情報開示リスクを $disc_risk_i$ 、利用者情報保護度を w_p_i 、利用者情報開示程度を $disc_lv_i$ とおくと、 P_i は

$$P_i = \{ disc_risk_i, w_p_i, disc_lv_i \mid 0 < disc_risk_i \leq 1, 0 \leq w_p_i, disc_lv_i \leq 1, disc_risk_i, w_p_i, disc_lv_i \in \mathbb{R} \}$$

と定義される。次に、機能利用リスクを RoO_j (Risk of Outflow)、災害時情報要求度を w_d_j とおくと、 D_j は

$$D_j = \{ \langle RoO_j, w_d_j \rangle \mid 0 \leq w_d_j \leq 1, w_d_j \in \mathbb{R} \}$$

と定義される。ただし、 RoO_j は

$$RoO_j = \{ ro_{ji} \mid 0 \leq ro_{ji} \leq 1, ro_{ji} \in \mathbb{R} \}$$

であり、例えば、 $ro_{21} = 0.2$ は「災害時情報共有機能項目2を使用する際は、利用者情報項目1が0.2程度流出する危険性がある」ことを意味する。

ここで、災害時情報要求度を利用者情報保護度に対応させるために、利用者情報開示要求度 $w_d'_i$ を

表1 利用者意思決定ゲーム

β		$w_{\beta 1}$	$w_{\beta 2}$	...	$w_{\beta l}$	
		$a_{\beta 1}$	$a_{\beta 2}$	...	$a_{\beta l}$	
α	$w_{\alpha 1}$	$a_{\alpha 1}$	$(u_{\alpha}(a_{\alpha 1}) * w_{11}, u_{\beta}(a_{\beta 1}) * w_{11})$	$(u_{\alpha}(a_{\alpha 1}) * w_{12}, u_{\beta}(a_{\beta 2}) * w_{12})$	...	$(u_{\alpha}(a_{\alpha 1}) * w_{1l}, u_{\beta}(a_{\beta l}) * w_{1l})$
	$w_{\alpha 2}$	$a_{\alpha 2}$	$(u_{\alpha}(a_{\alpha 2}) * w_{21}, u_{\beta}(a_{\beta 1}) * w_{21})$	$(u_{\alpha}(a_{\alpha 2}) * w_{22}, u_{\beta}(a_{\beta 2}) * w_{22})$	...	$(u_{\alpha}(a_{\alpha 2}) * w_{2l}, u_{\beta}(a_{\beta l}) * w_{2l})$
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
	$w_{\alpha k}$	$a_{\alpha k}$	$(u_{\alpha}(a_{\alpha k}) * w_{k1}, u_{\beta}(a_{\beta 1}) * w_{k1})$	$(u_{\alpha}(a_{\alpha k}) * w_{k2}, u_{\beta}(a_{\beta 2}) * w_{k2})$	...	$(u_{\alpha}(a_{\alpha k}) * w_{kl}, u_{\beta}(a_{\beta l}) * w_{kl})$

$$w_{-d_i} = \frac{\sum_j^N (r_{oj} * w_{-d_j})}{N_d}$$

と定義し、この利用者情報開示要求度 w_{-d_i} から求めた利用者情報保護度 w_{-p_i} を

$$w_{-p_i} = 1.0 - w_{-d_i}$$

と定義する。

利用者意思決定ゲームを「プレイヤー」, 「行動空間」, 「効用関数」に基づき構築すると、利用者意思決定ゲーム G は

$$G = \langle N, A, u \rangle$$

と定義される。ここで、 $N = \{\alpha, \beta\}$ はプレイヤー集合であり、 α は利用者情報保護意思、 β は災害時情報要求意思に基づいて生成されるプレイヤーである。また、 $A = \langle A_{\alpha}, A_{\beta} \rangle = A_{\alpha} \times A_{\beta}$ は行動空間の全体集合であり、

$$A_{\alpha} = \{a_{\alpha k} \mid a_{\alpha k} \in A_{\alpha}, k = 1, 2, \dots, N_p\}$$

$$A_{\beta} = \{a_{\beta l} \mid a_{\beta l} \in A_{\beta}, l = 1, 2, \dots, N_p\}$$

はプレイヤー α, β がとりうる行動空間の全体集合である。 A の要素 a_{kl} は行動の組 $(a_{\alpha k}, a_{\beta l})$ を表す。 $u = \langle u_{\alpha}, u_{\beta} \rangle$ は効用関数の組を表し、 u_{α}, u_{β} はそれぞれプレイヤー α, β がある行動を選択したときに得る効用を表す。

プレイヤーの行動空間は利用者情報セットが対応するプレイヤーが選択した行動（利用者情報項目）であり、効用関数は利用者情報項目に対応する利用者情報セットの利用者情報開示リスク、利用者情報開示程度、および利用者の意思生起確率を用いて定義される。一般的に、利用者情報開示リスクが高い場合、利用者が得ることのできる効用は高くなるため、利用者意思決定ゲームでは利用者情報開示リスクを利用者の効用とし、利用者情報開示程度に比例してこの効用を増大させる。また、意思生起確率は利用者の意思の重みを表すパラメータであり、利用者情報開示リスク、利用者情報開示程度、および意思生起確率の積により、利用者の意思を考慮した効用関数を表す。意思生起確率 W は、

$$W = \langle W_{\alpha}, W_{\beta} \rangle$$

$$W_{\alpha} = \{w_{\alpha k} \mid k = 1, 2, \dots, N_p, 0 \leq w_{\alpha k} \leq 1, w_{\alpha k} \in \mathbb{R}\}$$

$$W_{\beta} = \{w_{\beta l} \mid l = 1, 2, \dots, N_p, 0 \leq w_{\beta l} \leq 1, w_{\beta l} \in \mathbb{R}\}$$

と定義される。ここで、要素 $w_{\alpha k}, w_{\beta l}$ が

$$w_{\alpha k} = \frac{w_{-p_k}}{\sum_{k'}^{N_p} w_{-p_{k'}}$$

$$w_{\beta l} = \frac{w_{-p'_l}}{\sum_{l'}^{N_p} w_{-p'_{l'}}$$

であるとする、意思生起確率 W の全体集合 $W = W_{\alpha} \times W_{\beta}$ は、 $W = \{w_{kl} \mid w_{kl} = w_{\alpha k} * w_{\beta l}, w_{kl} \in W\}$ となる。このとき、効用関数 u の要素 u_{α}, u_{β} は

$$u_{\alpha}(a_{kl}) = u_{\alpha}(a_{\alpha k}) * w_{kl} = disc_risk_k * disc_lv_k * w_{kl}$$

$$u_{\beta}(a_{kl}) = u_{\beta}(a_{\beta l}) * w_{kl} = disc_risk_l * disc_lv_l * w_{kl}$$

と定義される。

上述の通り構築される利用者意思決定ゲームを表1に示す。

利用者意思決定ゲームにおける戦略は、利用者意思が行動 $a \in A$ を選ぶ際の選び方を表す。戦略空間の全体集合を $S = \langle S_{\alpha}, S_{\beta} \rangle$ とすると S_{α}, S_{β} はプレイヤー α, β が利用可能な戦略の集合であり、その要素は s_{α}, s_{β} と表される。また、戦略空間の全体集合は $S = S_{\alpha} \times S_{\beta}$ であり、その要素 $s = (s_{\alpha}, s_{\beta})$ は戦略の組を表す。利用者意思決定ゲームでは、プレイヤーは最適反応を取り、その結果として現れるナッシュ均衡が合理的な利用者の意思決定を意味する。すなわち、プレイヤー α, β の最適反応 $s^* = (s_{\alpha}^*, s_{\beta}^*)$ は

$$u_{\alpha}(s_{\alpha}^*, s_{\beta}) \geq u_{\alpha}(s'_{\alpha}, s_{\beta})$$

$$u_{\beta}(s_{\alpha}, s_{\beta}^*) \geq u_{\beta}(s_{\alpha}, s'_{\beta})$$

と定義される。このとき、最適反応の組 $s^* = (s_{\alpha}^*, s_{\beta}^*)$ がナッシュ均衡となる。このナッシュ均衡 s^* が合理的な利用者の意思決定であり、このように求められるナッシュ均衡を表す最適反応の行動の組を $(a_{\alpha k}^*, a_{\beta l}^*)$ とする。

3.4 トレードオフ処理の流れ

利用者情報開示程度の集合を $X (\in \mathbb{R})$ とすると、 $X^* \subseteq X$ は利用者に適切である利用者情報開示程度の集合を示し、 $V (\in \mathbb{R})$ は利用者情報開示程度 $disc_i (\in \mathbb{R})$ および増加値と減少値の絶対値 δ を要素として持つ集合、 G は利用者意思決定ゲームを表すとすると、トレードオフ処理機構 M は

$$M = \langle X^*, V, G \rangle$$

と定義される。また、 i 番目 ($i = 1, 2, \dots, N_p$) の利用者情報セットに対する X^* および V は

表2 想定利用者情報セット

項目名	利用者情報セット	
	利用者情報 開示リスク	利用者情報保護度
氏名	0.7	利用者入力
年齢	0.5	利用者入力
性別	0.1	利用者入力
住所	1.0	利用者入力
電話番号	1.0	利用者入力
位置情報	0.8	利用者入力

$$X^* = \{x_i^* \mid 0 \leq x_i^* \leq 1\}$$

$$V = \{disc_i, \delta \mid 0 \leq disc_i \leq 1, 0 < \delta, 1 \equiv 0 \pmod{\delta}\}$$

と定義される。δを小さく設定することで、利用者情報開示程度をより細かい粒度で決定することが可能となる。ここで、適切な利用者情報開示程度を求めたい利用者情報項目を*i*'番目 (*i*' = 1, 2, ..., *N_p*)とすると、利用者情報開示程度の決定手順は以下の通りである。

- Step 1. for all *i* if *i* == *i*' then *disc_i* = 0.0 else *disc_i* = 1.0
endif
- Step 2. for all *i* *disc_{lv_i}* = *disc_i*, generate *G*
- Step 3. if *k** == *l** == *i*' then goto Step 5 else goto Step 4
endif
- Step 4. for all *i* if *i* == *i*' then *disc_i* = *disc_i* + δ else *disc_i* = *disc_i* - δ endif, goto Step 2
- Step 5. *x_i** = *disc_i*'

この利用者情報開示程度の決定手順は、利用者意思決定ゲームの効用関数が負値を返さないとする、効用関数の線形性に関係なく必ず Step 5 に至る。これは、Step 2~Step 4 を繰り返し、適切な利用者情報開示程度を求めたい利用者情報項目の利用者情報開示程度が 1.0, それ以外の利用者情報項目の利用者情報開示程度が 0.0 となり、このとき必ず *k** = *l** = *i*' となるためである。

4. 実験と評価

4.1 実験の概要

本提案手法の有効性を確認するために、複数の安否情報共有機能と利用者タイプを想定し、提案手法による利用者情報開示程度と、利用者情報開示程度を利用者の意思のみを考慮して単純に決定する手法（単純手法）による利用者情報開示程度を求めシミュレーション実験を行うことで、各利用者タイプがトレードオフを考慮できている程度について定量的に評価を行った。実験では、表2と表3に示すパラメータを用い、δ = 0.01として、1万回のシミュレーションを行い、その平均を実験結果とした。

本実験では、利用者が開示する利用者情報項目を「氏名」、「年齢」、「性別」、「住所」、「電話番号」、「位置情報」とし

表3 想定災害時情報共有機能セット

項目名	災害時情報共有機能セット	
	機能利用 リスク	災害時情報 要求度
自安否情報共有	1.0,...,1.0	利用者入力
第三者安否情報共有	1.0,...,1.0	利用者入力
安否情報提供要求	1.0,...,1.0	利用者入力
安否情報共有	1.0,...,1.0	利用者入力

た。また利用者が利用者情報を開示するほど享受できる情報やサービスの質が高まる災害時情報共有機能として、災害時情報共有機能項目を「自安否情報提供機能」、「第三者安否情報提供機能」、「安否情報提供要求機能」、「安否情報検索機能」とした。利用者情報項目の利用者情報開示リスクは特定確率の概念を参考に経験的に設定した。また、全ての災害時情報共有機能項目が利用者の全ての利用者情報項目に対して最大のリスクをおよぼすとして、災害時情報共有機能項目の機能利用リスクは全ての利用者情報項目に対し 1.0 とした。表2と表3の利用者の入力は、表4に示す6種類の利用者タイプによって決定するパラメータであり、表4に示す範囲で利用者情報保護度と災害時情報要求度を不規則に決定することを想定した。このとき、User_HLとUser_LHのように利用者情報保護度と災害時情報要求度に差がある利用者の場合は、利用者の意思が強い方を採用して利用者情報開示程度を単純に決定するため、トレードオフを考慮する必要性は低い。一方、User_LL, User_MM および User_HH のように、利用者情報保護度と災害時情報要求度が同程度の利用者の場合は利用者情報開示程度を慎重に決定する必要があるため、トレードオフを考慮する必要性が高い。

単純手法は、利用者情報保護度が高く災害時情報要求度が低いときは利用者情報開示程度を低く、利用者情報保護度が低く災害時情報要求度が高いときは利用者情報開示程度を高くした。また、利用者情報保護度と災害時情報要求度が同程度のときには利用者情報開示程度は 0.5 付近となる。*i*番目の利用者情報項目に対する単純手法の利用者情報開示程度を $x_{si} \in X_s (\subseteq X)$ とすると、単純手法は

$$x_{si} = 0.5 + \frac{w_{d_i}' - w_{p_i}}{2}$$

と定義される。

4.2 評価指標

利用者情報保護と利用者が享受できる情報やサービスの質の間に生じるトレードオフを提案手法と単純手法がどの程度考慮して利用者情報開示程度を決定するかを評価するために、利用者情報保護と効用による調和平均を用いた以下の評価指標を用いる。トレードオフ処理機構および単純手法が*i*番目 (*i* = 1, 2, ..., *N_p*)の利用者情報項目に対して決

表4 想定利用者タイプ

User	利用者情報 保護度	災害時情報 共有要求度	利用者タイプ
User_HL	0.7~1.0	0.0~0.3	利用者情報保護意思は強いが災害時情報要求意思が弱い
User_LH	0.0~0.3	0.7~1.0	利用者情報保護意思は弱いが災害時情報要求意思は強い
User_LL	0.0~0.3	0.0~0.3	利用者情報保護意思, 災害時情報要求意思が弱い
User_MM	0.4~0.7	0.4~0.7	利用者情報保護意思, 災害時情報要求意思が中程度
User_HH	0.7~1.0	0.7~1.0	利用者情報保護意思, 災害時情報要求意思が強い
User_Rand	0.0~1.0	0.0~1.0	利用者情報保護意思, 災害時情報要求意思が完全に不規則

定した利用者情報開示程度 x_i^* , $x_{si}(=x_i \in X)$ と利用者の意思との差を表す関数は

$$D_\alpha(x_i) = |(1.0 - w_{pi}) - x_i|$$

$$D_\beta(x_i) = |w_{di}' - x_i|$$

で表され, $D_\alpha(x_i)$ は利用者の利用者情報保護意思に関して, $D_\beta(x_i)$ は利用者の災害時情報要求意思に関しての利用者の意思の差を表す. また, 利用者情報保護および利用者の効用において, 利用者の意思を考慮可能である程度として, 利用者情報保護達成度 $PA(x_i)$ と効用取得達成度 $UA(x_i)$ を

$$PA(x_i) = disc_risk_i * (1.0 - D_\alpha(x_i))$$

$$UA(x_i) = disc_risk_i * x_i * (1.0 - D_\beta(x_i))$$

と表す. ここで, $disc_risk_i * x_i$ は効用を表す. $PA(x_i)$, $UA(x_i)$ はともに値が高いほうが利用者にとって望ましい状態であるが $PA(x_i)$ と $UA(x_i)$ はトレードオフの関係にある. 従って, 評価指標 F を

$$F(x_i) = \frac{2 * PA(x_i) * UA(x_i)}{PA(x_i) + UA(x_i)}$$

$$F = \sum_i^{N_p} F(x_i)$$

と表す. ここで, 評価指標 F は利用者情報保護達成度と効用取得達成度の調和平均の総和であり, 評価指標 F が高いほど利用者にとって望ましい状態である. 調和平均はトレードオフの関係にあるパラメータを評価する指標として用いられる. この評価指標 F を用いることで, トレードオフを考慮可能である程度を定量的に評価することができる.

4.3 実験結果

4.3.1 利用者効用

想定する利用者それぞれに対する効用のグラフを図2に示す. User_LH 以外の利用者では, 単純手法より提案手法が高い効用を示した. 特に, 利用者が入力する利用者情報保護度と災害時情報要求度を[0.0, 1.0]の範囲で不規則に決定する多様な利用者を想定した User_Rand では, 単純手法より提案手法が 36%高い効用を示した. User_LL, User_MM および User_HH の平均である Average_LL-HH は, 単純手法より提案手法が 24%高い効用を示した. また, User_HL では, 単純手法より提案手法が 286%高い効用を示したの

に対し, User_LH においては, 提案手法の効用が単純手法の 80%となり, 提案手法より単純手法が高い効用を示した.

4.3.2 評価指標 F

想定する利用者それぞれに対応する評価指標 F に関するグラフを図3に示す. User_LH と User_LL 以外の利用者において, 単純手法より提案手法が高い評価指標 F を示した. また User_LL, User_MM および User_HH の平均である Average_LL-HH は, 単純手法より提案手法が 5%高い評価指標 F を示した. また, User_HL においては, 単純手法より提案手法が 66%高い評価指標 F を示したのに対し, User_LH では, 提案手法の評価指標 F が単純手法の 75%となり, 提案手法より単純手法が高い評価指標 F を示した.

4.4 考察

利用者効用について, User_LL, User_MM, User_HH, および User_Rand では, 単純手法の効用はほぼ一定である. これは, 単純手法では利用者の意思にトレードオフが生じているときに利用者の効用を考慮できず, 単純に利用者の意思の中間点である利用者情報開示程度 0.5 付近に決定するためであると考えられる. これに対し, 単純手法と比較して提案手法は高い効用を示しており, これは提案手法が利用者の効用を考慮して利用者情報開示程度を決定しているためである. 特に, 多様な利用者を想定した User_Rand では, 単純手法より提案手法が 36%高い効用を示した. すなわち, 多様な利用者に対して提案手法が有効であることが確認された.

また, User_LH は, 提案手法の効用が単純手法の 80%となり, 提案手法より単純手法が高い効用を示した. これは, 利用者の意思のみを考慮して利用者情報の開示程度を決定する単純手法では, 利用者情報開示に積極的である User_LH の利用者情報開示程度は極端に高くなり, 結果として利用者の効用も極端に高まるためである. これに対し User_HL では, 提案手法より単純手法が 286%も高い効用を得た. これは, User_LH と同様に, 単純手法の場合利用者の意思のみを考慮して利用者情報開示程度を決定するため, 利用者情報保護度が極端に高いとき利用者情報開示程度は極端に低くなり, 結果として利用者の効用が極端に低下するためであると考えられる.

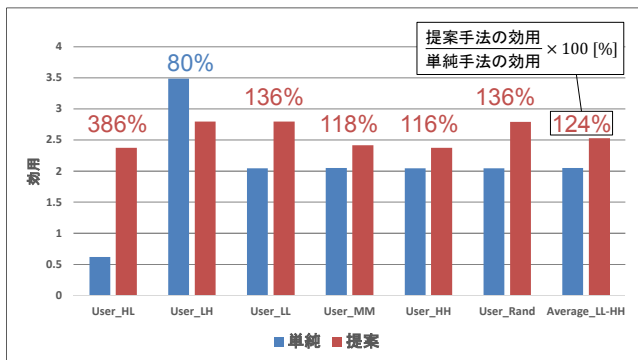


図2 効用と想定利用者タイプ

さらに、User_LL, User_MM および User_HH の平均を表す Average_LL-HH は、単純手法より提案手法が 24%高い効用を得た。これにより、トレードオフを慎重に考慮する必要がある利用者の効用についても単純手法より提案手法が高い効用を示すことを確認した。

次に、評価指標 F について、User_LL では同程度、User_MM, User_HH および User_Rand では、単純手法より提案手法が少し高い評価指標 F を示した。図2では、これらの利用者に対し、単純手法より提案手法が高い効用を示したが、評価指標 F においても単純手法と同程度か、単純手法より提案手法の方が高い値を示すことから、提案手法は利用者の効用を考慮しつつ、トレードオフを適切に処理できるといえる。また、User_HL では、単純手法より提案手法の評価指標 F が高いが、効用に関しては提案手法が 286%高いのに比べ、評価指標 F は 66%にとどまった。これは、提案手法が利用者の意思のみでなく利用者の効用も考慮して利用者開示程度を決定するため、利用者の意思が多少犠牲にされたからだと考えられる。User_LH に関しては、単純手法と提案手法の評価指標 F に図2に類似した差がみられる。これは、利用者情報保護達成度と効用取得達成度に生じるトレードオフが弱いため、評価指標 F が、取得する効用の影響を大きく受けたからだと考えられる。以上により、(P1), (P2) を解決可能であることを確認した。

5. おわりに

本稿では、利用者情報の開示と利用者が得られる災害時情報のサービスの質の間に生じるトレードオフの関係を考慮して、利用者情報の開示の程度と提供する災害時情報の程度を合理的に決定する手法を実現するために、利用者情報開示程度決定手法におけるトレードオフ処理機構を提案した。また安否情報共有機能を想定したトレードオフ処理機構の評価実験を行うことで、本提案手法の有効性の確認を行った。

今後の課題として、非線形の効用関数を考慮した実験や、より具体的な状況を想定した実験を行い、本手法の改良や、有効性の更なる確認を行う。

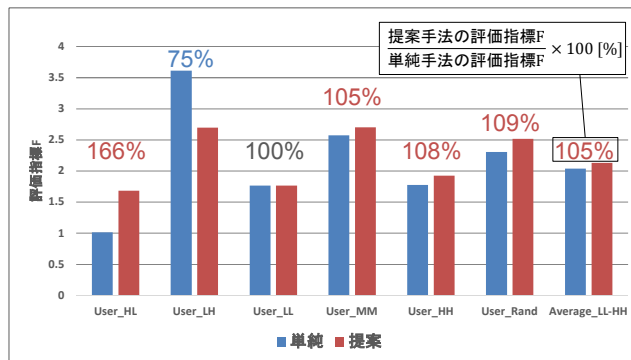


図3 評価指標 F と想定利用者タイプ

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金（若手研究 B (26730054)）の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 総務省：大規模災害時におけるインターネット有効活用事例集ダウンロードページ，総務省（オンライン），入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/kyouiku_johoka/saigai_jireishu.html)（参照 2015-06-08）。
- 2) 河井孝仁，藤代裕之：東日本大震災の災害情報における Twitter の利用分析，広報研究，No.17，pp.118-128（2013）。
- 3) Sweeny, L.: *k*-Anonymity: A Model for Protecting Privacy, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, Vol.10, No.5, pp.557-570（2002）。
- 4) Machanavajjhala, A., Kifer, D., Gehrke, J. and Venkitasubramaniam, M.: *ℓ*-Diversity: Privacy Beyond *k*-Anonymity, *Proc. 21st IEEE International Conference on Data Engineering (ICDE)*（2006）。
- 5) 五十嵐大，千田浩司，高橋克巳：*k*-匿名性の確率的指標への拡張とその適用例，コンピュータセキュリティシンポジウム 2009（CSS2009）論文集，pp.1-6（2011）。
- 6) 今田美幸，高杉耕一，太田昌克，小柳恵一：ユビキタスネットワーク環境におけるプライバシー保護手法：LooM，電子情報通信学会論文誌，Vol.J88-B, No.3, pp.563-573（2005）。
- 7) 宮本崇弘，竹内亨，奥田剛ほか：プライバシーとサービス品質のトレードオフを考慮した個人情報制御機構の提案，電子情報通信学会データ工学ワークショップ（DEWS2005）論文集，6-A-01（2005）。
- 8) 浜本一知，田原康之，大須賀昭彦：ユーザ背景情報及びコミュニティ状況を考慮した匿名度制御によるプライバシー保護エージェントの提案，電子情報通信学会誌，Vol.J94-D, No.11, pp.1812-1824（2011）。