

情報の開示程度を考慮したインセンティブ付与による ヘルスケア情報共有手法の設計

本田光来¹ 高橋晶子^{1,2}

概要: デバイス利用者のヘルスケアの収集とその利活用が進んでいる。このような情報を分析することで有益な情報が得られる可能性があり、さらなるサービスの展開が期待される。しかし、ヘルスケア情報には秘匿性が高い個人情報が多く含まれるため、情報提供者のプライバシーを配慮しつつ円滑な情報共有を行うことは困難である。そこで本稿では、ヘルスケア情報の公開範囲を調整しつつ情報提供者が満足するインセンティブを付与することで積極的な情報提供を促すヘルスケア情報共有手法の設計について述べる。また、本手法を適用したヘルスケア情報共有システムを用いてシミュレーション実験を行うことで、本提案の有効性を確認する。

Design of healthcare information sharing method by giving incentive in consideration information disclosure range

MIKU HONDA¹ AKIKO TAKAHASHI^{1,2}

1. はじめに

継続してセンサデータの収集を行うウェアラブルデバイス等の普及により、センサから得られる利用者の睡眠時間や歩行時間といった健康状態に関する情報(以降、ヘルスケア情報と記述する)の収集とその利活用が進んでいる。このような情報を収集・分析することで有益な情報を得られる可能性があるが、ヘルスケア情報はデバイス利用者(情報提供者)の個人情報を多く含むため、情報提供者にとって自身のヘルスケア情報を共有することは大きな負担となる。これにより情報提供者は自身に関する情報提供に対し消極的になり、高品質な情報を多く収集することは困難となる。したがって、多くのヘルスケア情報を収集し、その利活用を進めるためには情報提供者に対し、ヘルスケア情報の積極的な提供を促すことが求められる。

この問題に対し我々は、情報提供者の情報の保護を考慮しつつ、インセンティブを付与することで、情報提供を促す手法を提案している。本研究では、情報提供者と情報収集者の意思や価値観を反映した効用関数を用いて行うソフトウェアエージェント間の自動交渉を行うことで、情報提供者と情報収集者の意思を考慮したヘルスケア情報の提供項目と付与インセンティブ量を決定し、ヘルスケア情報の積極的な情報提供を促すヘルスケア情報共有手法を提案している。

本稿では、情報提供者とヘルスケア情報共有システムそれぞれの意思を反映したエージェント同士の自動交渉を用

いることで付与するインセンティブ量と情報の提供項目数を動的に決定し、情報提供者の個人情報を可能な限り保護しつつ有用な情報の共有を促すヘルスケア情報共有手法を提案する。また、ヘルスケア情報共有手法をヘルスケア情報共有システム上に適用し、異なる種類の情報提供者を想定したシミュレーション実験を通して本提案の有効性を確認する。

2. 関連研究と提案

2.1 関連研究

日本では高齢化が急速に進んでおり、医療や福祉に関わる分野での負担増加や、従来の医療制度や保険制度による対応が困難になりつつある[1]。これに対し、健康的な食事や適切な身体活動に関する情報を適切に共有し、個人の健康的な活動を促進する手法が研究されている[2][3]。徳永らの研究[4]では、健康や生活習慣の改善に関する講義の有無が生徒の健康および生活習慣に与える影響とその年代的差異について調査を行っている。生活習慣や運動、食生活の改善にヘルスケア情報を共有することは有用であると述べる一方、個人によって影響力のあるヘルスケア情報は異なると報告している。年齢や性別、といった調査対象者の属性が、身体活動促進および健康的な食行動に効果的なヘルスケア情報と関連性が存在すると示唆した。

また、ヘルスケア情報のような機密度の高い情報の共有や活用の動きが活発化している。これらの情報は、個人情報を多く含むため、情報の利活用が進まないという課題が

1 仙台高等専門学校

2 東北大学大学院情報科学研究科

ある。インターネット上での閲覧履歴や位置情報など個人情報の利活用についての調査[5]では、個人情報の非識別化における加工基準が存在しないことから、拡散された情報から個人が特定されプライバシーが侵害される危険性があると述べている。そのため、情報提供者は個人情報を提供することに拒否反応を示すことが多く、情報提供をする際には個人から納得感を得ることが重要であるとしている。個人情報を情報収集者に提供してもよい条件として、情報を提供することで経済的なメリットを享受できることや、サービスの利便性が向上することなどが報告されている。

人間の行動変化・改善を促進する手法として、ある特定の行動をした対象者に対してインセンティブを与えることが有効だとされている。復習テストと学生の学習意欲の関連性を検証した研究[6]では、インセンティブを付与することで授業時間外の学習時間が長くなり、復習テストの点数も高くなることが示された。また、交通調査の参加インセンティブについて調査を行った研究[7]では、調査目的が明確かつ簡易な調査であっても、プライバシー保護方法に不信感がある場合には調査協力を得られない可能性が高いと報告している。この問題に対し、調査受諾率を上昇させるためには金銭的インセンティブの付与が有効ではあるが、プライバシー意識についての程度の差等の理由から、行動を促進するために必要なインセンティブの量は個人によって異なることも報告されている。さらに、パーソナルデータを匿名化するための技術課題について検討した研究[8]では、情報提供者の個人情報が悪用されるリスクがあったり、他人に知られたくない情報の種類は個人ごとに異なったりすることから、情報提供者自身が開示する情報をコントロールする自己情報コントロール権の重要性が増しており、自身の意思に基づき機微な情報の提供項目を調節することが機微情報を開示するのに効果的であると述べているが、一般利用者が提供項目を決定することは困難であると述べている。

2.2 技術的課題と提案

2.1 節で述べたように、ヘルスケア情報ははじめとした個人のプライバシーに深く関わる情報の共有手法が提案されているが、ヘルスケア情報は情報提供者の個人情報を多く含むことから情報提供者にとって自身のヘルスケア情報を共有することは大きな負担となる。このことから、情報提供者は情報提供に対し消極的になる可能性がある。この問題に対しインセンティブを付与することで情報提供者に情報提供する誘因を与え、情報提供を促進する手法が提案されているが、ヘルスケア情報を提供するために必要な基準となるインセンティブの量は個人の価値観に依存するという問題点が存在する。また、機微な情報を提供するにあたり、一般利用者が機微な情報の公開範囲を適切に決定することは困難である。したがって、有用なヘルスケア情報の積極

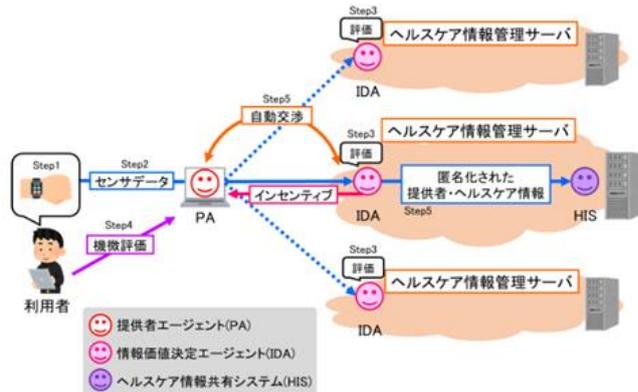


図1 ヘルスケア情報共有手法の処理の流れ

的な情報提供を促進するために、情報提供者が提供するヘルスケア情報の公開範囲を調整しつつヘルスケア情報の価値を考慮した情報提供者が満足するインセンティブを付与するためには以下の技術的課題が存在する。

(P1) 情報提供者に対し情報提供を行う誘因を付与することは困難

行動を促すために必要なインセンティブの量は人によって異なる。また、情報提供者が提供するヘルスケア情報の有用性は各データ収集者によって異なるためインセンティブ量を一律に決定することはできない。

(P2) 情報提供者の機微な情報を合理的に保護することは困難

ヘルスケア情報などの高機微情報を共有することで相互利益をもたらす可能性はあるが、提供者の個人情報が悪用されるリスクがあったり、他人に知られたくない情報の種類は個人ごとに異なったりする。したがって、情報提供者の価値観に基づいた情報開示項目の決定が必要である。

そこで本研究では、上記の技術的課題を解決するために効用関数を持つソフトウェアエージェント間の自動交渉による情報提供者の意思とヘルスケア情報の質を考慮した合意形成を行うヘルスケア情報共有手法を提案する。情報提供者とヘルスケア情報共有システム間の意思を反映したエージェント間の自動交渉によって、情報提供者に付与するインセンティブ量と情報の提供項目を自動的に決定し、情報提供者に秘匿性の高い情報の提供を促す。

3. ヘルスケア情報共有手法

3.1 ヘルスケア情報共有手法の処理の流れ

ヘルスケア情報共有手法は、情報提供者の意思に基づいて動作する提供者エージェント(PA)と、情報収集者の意思に基づいて動作する情報価値決定エージェント(IDA)、収集されたヘルスケア情報を管理するヘルスケア情報共有システム(HIS)で構成する。図1にヘルスケア情報共有手法の処理の流れを示す。なお、図1中に示すStepは、以下のStep

	人数					
	1	2	3	4	...	n
歩数(歩)	230	220	216	601	0	290
体重(kg)	33	56	90	44	38	52
運動時間(時間)	5	6	3	7	2	0
心拍数	70	80	50	80	99	80
水分摂取量(L)	15	9	2	60	5	4
摂取カロリー(kcal)	200	300	500	600	700	800
睡眠時間(時間)	9	8	7	6	5	4

図 2 ヘルスケア情報の例

と同じ処理を表す。

- Step.1 PA が情報提供者のヘルスケア情報を取得
- Step.2 PA はヘルスケア情報の機微度を IDA に送信
- Step.3 IDA は情報の優良度・希少度からヘルスケア情報を即時評価
- Step.4 PA は情報の価値を最も高く評価した IDA から順に自動交渉を行い、ヘルスケア情報の提供項目数とインセンティブを算出
- Step.5 IDA が Step.4 で算出されたインセンティブを PA に付与
- Step.6 PA が匿名化したヘルスケア情報を HIS に送信

以上の流れに従い、情報提供者が提供したヘルスケア情報の価値を考慮しつつ、情報提供者に対し情報の質に応じたインセンティブの付与を行うことで、積極的なヘルスケア情報提供を促す。

3.2 ヘルスケア情報の即時評価

情報収集者側のエージェントは、情報提供者が提供したヘルスケア情報をデータの優良性や希少性など、即時的に評価できる要因に基づいて評価する。

情報提供者が装着しているウェアラブルデバイスから取得可能なデータのうち、血圧や睡眠時間といった数値的なデータのみを評価対象とし、マハラノビスの距離を用いて定量的に評価する。データ収集者が定めた優良なヘルスケア情報の集団から算出されたマハラノビスの距離 [9] に基づいて、ヘルスケア情報の即時的な評価を行う。

ここで、ヘルスケア情報の即時評価に用いるマハラノビスの距離 (d) を、情報提供者が提供したヘルスケア情報のデータ (x)、優良なデータの集団の平均ベクトル (μ) を用いて以下のように定義する。

$$d = \sqrt{(\bar{x} - \bar{\mu})\Sigma^{-1}(\bar{x} - \bar{\mu})}$$

より優良なヘルスケア情報の集団に近い情報であるほど、マハラノビスの距離も大きくなるため、ヘルスケア情報の優良性を即時的に評価することが可能となる。この値を $[0, 1]$ に正規化し、情報の即時評価とする。

表 1 想定する情報提供者の種類

	センサデータの質	分散
提供者A	高(0.7-1.0)	低
提供者B	中(0.4-0.7)	低
提供者C	低(0.0-0.3)	低
提供者D	高(0.7-1.0)	高
提供者E	高(0.7-1.0)×6項目 低(0.0-0.3)×1項目	低

3.3 エージェント間の自動交渉

情報提供者の代理として動作する提供者エージェントと、情報収集者側の代理として動作する情報価値決定エージェント間で自動交渉を行い、付与するインセンティブ量と情報の提供項目数を動的に決定する。自動交渉は、二者間交渉において頻繁に用いられる Alternating Offers 交渉プロトコル [10] に基づいて行う。Alternating Offers 交渉プロトコルでは、双方のエージェントが互いに合意するまで交互に合意案を提案する。各エージェントは交互に Offer, Accept, End Negotiation の 3 つの選択肢から 1 つの行動を選択する。

(a) Accept

相手側から提示された合意案を受諾し、その合意案のインセンティブ量および情報の提供項目数を交渉結果として決定し、交渉を終了する。

(b) Offer

相手側から提示された合意案候補を拒否し、新たな合意案候補を相手に提示する。

(c) End Negotiation

相手側から提示された合意案候補を拒否し、新たな合意案候補を提示せず、交渉を終了する。

各エージェントは、各々が持つ効用関数によって自身の行動を決定する。効用関数は、人の損益によって感じる満足度を効用として表した関数である。効用関数を用いることで、等しい損益に対しても異なる効用を感じる個人の価値観の差異を表現できる。効用は $[0, 1]$ の範囲で表され、0 のときその損益に対し不満を抱いている状態であり、1 のときその損益に対し満足している状態を表す。

ここで、自動交渉に用いる効用関数 (U) を、情報提供者が保持するヘルスケア情報と提供するヘルスケア情報の提供項目数の割合を $[0, 1]$ の範囲で正規化した情報保護度 (w_1)、情報の保護に対する重み (e_1)、3.2 節で述べた情報の即時評価値 (w_2)、インセンティブに対する重み (e_2) を用いて以下の式で定義する。

$$U = w_1 \times e_1 + w_2 \times e_2$$

なお、各論点に対する重み e_1, e_2 は、 $[0, 1]$ の範囲で表され、双方の値を足すと 1 になる。各論点の重みは、インセンティブおよび情報保護に対する個人の捉え方の違いを表現する。

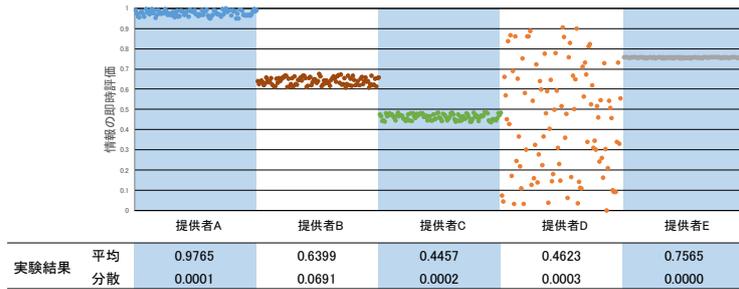


図 3 情報の即時評価に関する実験結果

4. 実験と評価

4.1. 情報の即時評価に関する評価実験

4.1.1 実験目的と概要

ウェアラブルデバイスなどのセンサ端末から取得されたデータを即時評価可能な要因に基づく評価が可能かどうか確認するために、シミュレーションによる実験を行った。

ヘルスケア情報としてウェアラブルデバイスから取得可能な数値データ 7 種類を想定した。ヘルスケア情報の例を図 2 に示す。表 1 に示す情報の質と分散が異なる 5 種類の情報提供者を各 100 人生成し、各情報提供者はヘルスケア情報をそれぞれ 1 回提供する。3.2 節で述べたパラメータ μ を算出するために、すべてのデータの差異が 5% 以内に収まったデータの組を 100 個生成し平均ベクトルを求めた。この平均ベクトル μ を用いて情報の即時評価を算出し、実験結果とした。

4.1.2 実験結果

図 3 に実験結果を示す。提供するヘルスケア情報の質が低い提供者 C とヘルスケア情報の質が高い提供者 A 間では、提供者 A が提供者 C の即時評価の 2.19 倍高い結果を示した。

また、質の高いデータの項目数が少ない提供者 E と質の高いデータの項目数が多い提供者 A 間では、提供者 A が提供者 E の即時評価の 1.29 倍高い結果を示した。

4.2. ヘルスケア情報の価値決定に関する評価実験

4.2.1 実験目的と概要

提案手法により、価値観の異なる情報提供者の意思を優先したインセンティブおよび情報の提供項目数が動的に決定可能かどうかを確認するために、シミュレーションによる実験を行った。

3.3 節で述べた効用関数のパラメータを $w_1, w_2=0.5$ とし、表 2 に示す論点の重みを変化させた 2 種類の情報提供者 100 人を想定した上で実験を行った。各情報提供者はそれぞれ 1 つのヘルスケア情報を提供する。それぞれの情報提供者と情報収集者間で自動交渉を行い、各情報提供者に付与されたインセンティブ量と情報保護度を実験結果とした。

4.2.2 実験結果

図 4、図 5 に実験結果を示す。インセンティブ量につい

表 2 想定する情報提供者の種類

	インセンティブ重要度	情報保護重要度
情報提供者A	高(0.7-1.0)	低(0.0-0.3)
情報提供者B	低(0.0-0.3)	高(0.7-1.0)

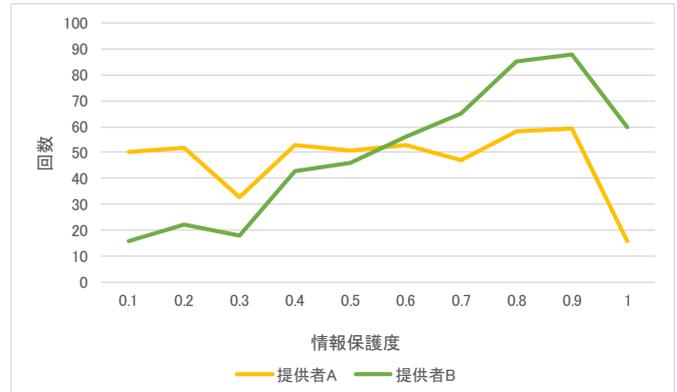


図 4 情報保護度に関する実験結果

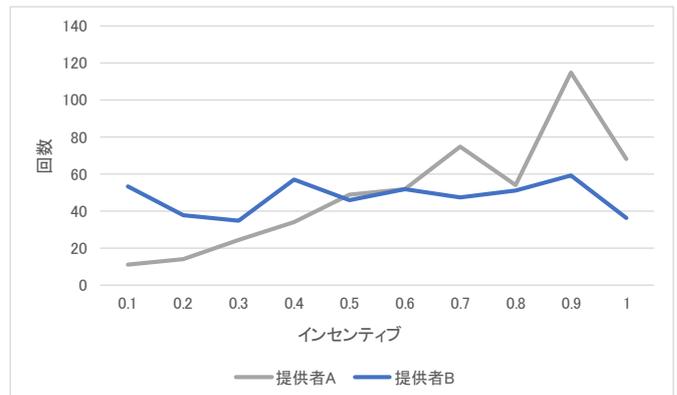


図 5 インセンティブに関する実験結果

てより重視している提供者 A は、提供者 B よりも高いインセンティブ量を獲得する結果を示した。また、情報保護度についても同様の結果を示した。なお、重要視していない論点に着目すると、いずれも低い値を示した。

4.3. ヘルスケア情報共有手法の評価実験

4.3.1 実験目的と概要

提案手法が単純手法よりも情報提供者の意思と情報の質を考慮した結果が算出可能かどうかを確認するために、シミュレーションによる提案手法と単純手法との比較実験を行った。論点の重みが異なる 3 種類の情報提供者を想定し、適切な評価を行えるか確認した。

3.3 節で述べた効用関数のパラメータを $w_1, w_2=0.5$ とし、表 3 に示すような論点の重みを変化させた 3 種類の情報提供者各 100 人を想定した上で実験を行った。提供者はそれぞれ 1 つのヘルスケア情報を提供する。それぞれの情報提供者と情報収集者間で自動交渉を行い、算出された付与インセンティブ量、情報保護度および効用を実験結果とした。これらの実験結果について提案手法と表 4 に示す 3 種類の単純手法と比較することで、提案手法の有効性を確認する。

表 3 想定する情報提供者の種類

	インセンティブ重要度	情報保護重要度
情報提供者A	低(0.0-0.3)	高(0.7-1.0)
情報提供者B	中(0.3-0.7)	中(0.3-0.7)
情報提供者C	高(0.7-1.0)	低(0.0-0.3)

表 4 想定する単純手法の種類

offer値付与手法	システム側が提案した値をインセンティブおよび情報保護度とする
質付与手法	情報提供者が提供したヘルスケア情報の即時評価をそのままインセンティブおよび情報保護度とする
重み付与手法	情報提供者が提供したヘルスケア情報の重要度をそのままインセンティブおよび情報保護度とする

4.3.2 実験結果

図 6 に実験結果を示す。付与インセンティブ量に関して、提案手法は offer 値付与手法に対して+14%、質付与手法に対して+11%、重み付与手法に対して+12%の結果を示した。情報保護度に関して、提案手法は offer 値付与手法に対して10%、質付与手法に対して+15%、重み付与手法に対して11%の結果を示した。また、効用に関して、提案手法は offer 値付与手法に対して+52%、質付与手法に対して+53%、重み付与手法に対して+50%の結果を示した。

4.4. 評価

4.1 節の実験では、より質の高いヘルスケア情報に対し、即時評価を高くすることに成功した。また、質の高い情報の項目数が多い情報提供者に対しても、即時評価を高くすることに成功した。この結果から、ウェアラブルデバイスから取得可能なデータを定量的に評価可能であることを確認した。

4.2 節の実験では、インセンティブ、情報保護度において、重視している項目が高く算出する結果を示した。この結果から、情報提供者の意思を優先した結果が算出可能であることを確認した。また、重視していない項目に対する結果が低く算出されているのは、インセンティブと情報保護度との間にトレードオフの関係が生じているためと考えられる。

4.3 節の実験では、効用について 3 種類の単純手法と比較して、提案手法のほうが高くすることに成功した。これは、提案手法は情報提供者の要求を考慮して自動交渉を行いインセンティブおよび情報保護度を算出する一方、単純手法は情報の質および情報提供者の要求をまったく考慮せずにインセンティブ量、情報保護度を決定するため、情報提供者が感じる効用の平均値が低下したということが考えられる。

5. おわりに

本稿では、情報提供者の個人情報をも多く含むため、共有することが大きな負担となるヘルスケア情報の積極的な情報提供を促すため、情報提供者とヘルスケア情報共有シ

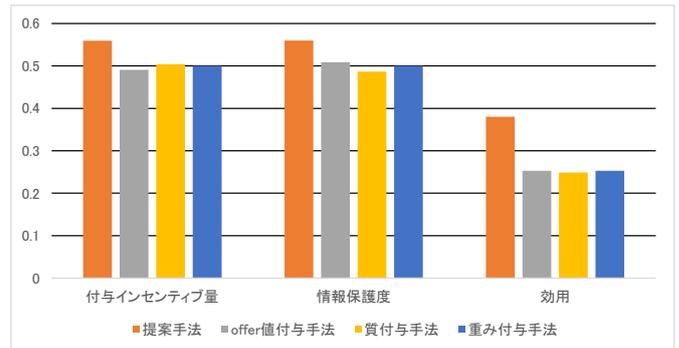


図 6 付与インセンティブ量、情報保護度、効用に関する実験結果

テム間の意思を反映したエージェント同士の自動交渉を用いることで付与するインセンティブ量と情報の提供項目数を自動的に決定し、情報提供者の個人情報可能な限り保護しつつ、有用な情報の共有を促すヘルスケア情報共有手法を提案した。さらに、本手法を適用したヘルスケア情報共有システムを用いた複数のシミュレーション実験を通して、ヘルスケア情報の動的な評価が可能であることを確認した。

今後の課題として、ヘルスケア情報の提供確率や継続率といったより詳細な条件を想定し、評価実験を行う必要がある。さらに、高いリスクを好む情報提供者または低いリスクを好む情報提供者といった情報提供者についての詳細なモデル化を進め、より現実的な効用関数を定義する予定である。

参考文献

- [1] 公益財団法人長寿科学振興財団. 日本の超高齢社会の特徴. 入手先 <https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/tyojyu-shakai/nihon.html>(参照 2020-05-11)
- [2] 厚生労働省(2016)「個人の予防・健康づくりに向けたインセンティブを提供する取り組み事例」入手先 <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-12401000-Hokenkyoku-Soumuka/0000124573.pdf>(参照 2018-11-21)
- [3] 松下 宗洋,原田 和弘,荒尾 孝:運動行動の動機づけに効果的なインセンティブ,日本健康教育学会誌,22 卷(2014)1 号
- [4] 徳永幹雄; 橋本公雄. 研究資料 健康度・生活習慣の年代的差異及び授業前後での変化. 健康科学, 2002, 24: 57-67.
- [5] 健二福島, 要之助原田. ライフログ利活用とビジネス上の効果と課題～ ライフログ利活用企業の調査～. 研究報告電子化知的財産・社会基盤 (EIP), Vol. 2014, No. 4, pp. 1 (may 2014.)
- [6] 郁生笹山. 復習テストが授業時間外学習に及ぼす効果 (2). 福岡教育大学紀要. 第六分冊, 教育実践研究編, Vol. 65, pp. 1 {5, feb 2016}
- [7] 荒尾孝. 身体活動促進に関する集団戦略的研究. 日本健康教育学会誌, Vol. 21, No. 2, pp. 154{164, 2013}
- [8] 中川 裕志: 匿名化の実社会での利用に向けての技術課題, 2014 年度人工知能学会全国大会(2014)
- [9] 救仁郷 誠,マハラノビスの距離入門,Quality Engineering,2001
- [10] Ariel Rubinstein. Perfect equilibrium in a bargaining model. Econometrica: Journal of the Econometric Society, pp. 97{109, 1982}