

エージェントベースシミュレーションによる知識共有コミュニティの報酬制度設計

Effective Reward System in Q&A Communities based on Agent-Based Simulation

小川 祐樹^{*}, 山本 仁志[†], 岡田 勇[‡], 諏訪 博彦[§], 太田 敏澄[¶]

Yuki Ogawa, Hitoshi Yamamoto, Isamu Okada, Hirohiko Suwa & Toshizumi Ohta

このファイルは草稿です。最終バージョンは、「小川祐樹, 山本仁志, 岡田勇, 諏訪博彦, 太田敏澄「エージェントベースシミュレーションによる知識共有コミュニティの報酬制度設計」, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D, No.6, pp.945-956, 2011(6)」を参照してください。

概要

本研究の目的は、Q&A コミュニティにおける報酬制度としての金銭の程度の違いが、回答の数や質にもたらす影響を明らかにし、コミュニティへの効果的な報酬制度の導入方針を明らかにすることである。Q&A コミュニティにおいて、質問者が回答のお礼として回答者に与える報酬は、回答者の回答モチベーションを高め、コミュニティの活性化を支援する制度設計の一つである。報酬制度に関し、現実の Q&A コミュニティでは、金銭・非金銭など異なる報酬制度の導入がなされているが、これらが質問と回答にもたらす効果について客観的な知見は明らかになっていない。そこで、本研究において我々は、質問者・回答者の知識取引をエージェントベースでモデル化し、シミュレーションによって報酬制度の効果を明らかにする。さらに、質問者と回答者の知識特性の類似性が異なるコミュニティ環境に対してシミュレーション分析を行うことで、コミュニティ環境ごとの効果的な報酬制度の導入方針を明らかにする。実験の結果、金銭報酬が高い制度においては回答の質は高いが回答の数は低く、逆に金銭報酬が低い制度においては回答の質は低い回答の数は多くなることを明らかにした。

1 まえがき

近年、インターネット上において、コミュニティ内の参加者同士が互いに質問と回答を投稿しあう Q&A コミュニティと呼ばれる知識共有コミュニティが数多く出現し、大きな発展を遂げている (Yahoo!知恵袋^{*1}, OKWave^{*2}, はてな人力検索^{*3})。

* 電気通信大学

† 立正大学 経営学部

‡ 創価大学 経営学部

§ 電気通信大学

¶ 電気通信大学

*1 Yahoo!知恵袋: <http://chiebukuro.yahoo.co.jp/>

*2 OKWave: <http://okwave.jp/>

*3 はてな人力検索: <http://q.hatena.ne.jp/>

Q&A コミュニティの運営者・設計者の立場にとって、コミュニティメンバーの活発な Q&A の利用や、そのコミュニティにとって効果的な成果をもたらすための運営方針や制度設計の策定は、サービスの維持、コミュニティの活性化・発展を考えるうえで重要な課題である。現在では、企業におけるナレッジマネジメントの方策としても知識共有コミュニティの構築は模索されている。コミュニティの運営方針や制度設計の知見を探る方法として、成功した個々のサービスに対する事例ベースでの検証は可能である。しかし、これらのケーススタディのみから、運営方針や制度設計がコミュニティの活性化に対してどのような効果をもたらすかのメカニズムについて探ることは困難である。運用方針や制度設計として、参加者のモチベーションの向上・維持といった観点に関する知見を明らかにすることは、特に重要な課題である。

Q&A コミュニティ参加者の動機には様々なものが考えられるが、運営者が設計可能な動機づけの方法としては、やり取りされた Q&A に対して、利用者相互、もしくは運営者がどのような対価を支払うかといった報酬制度があげられる。この報酬制度について、実際の Q&A コミュニティにおいては、コミュニティ運営者の方針の違いから異なる取り入れ方がなされている。例えば、「Yahoo!知恵袋」では、お礼の言葉やベストアンサーといった非金銭的な報酬制度を用いているが、「人力検索はてな」では、質問者が回答の質に応じて「はてなポイント」と呼ばれる換金性のあるポイントを支払う報酬制度を用いている。これらの報酬制度の導入方針は、非金銭的な報酬制度の場合では質問者の返報にかかるコストを下げ、逆に、金銭的な報酬制度の場合では回答者の回答モチベーションを上げることを期待した運用方針と考えられる。

しかし、このような報酬制度の違いが、長期的な観点において Q&A コミュニティでやり取りされる質問、あるいは回答の数や質などの Q&A コミュニティとしての成果にどのように影響を与えているかといったメカニズムについて、客観的な知見は明らかになっていない。さらに、制度の導入効果を分析する方法についても、個々の利用者の特性の違いや、複数の制度を導入しているといった現実の Q&A コミュニティの複雑さを考えると、行動データのみを主体とした回帰分析的な手法では限界があると考えられる。

本稿では、Q&A コミュニティにおける利用者間の知識取引のプロセス（質問行動・回答行動・返報行動）をエージェントベースでモデル化し、シミュレーション実験を行うことで報酬制度の導入効果を明らかにする。具体的には、コミュニティが制度として設定する返報における報酬の高さが、回答の数、回答の質、質問者の質問のしやすさといった観点においてどのような効果をもたらすのかを明らかにする。また、質問者と回答者の知識傾向の同質性が高い、あるいは低いといった異なるコミュニティ環境に対して、シミュレーションによるシナリオ分析を行うことで、コミュニティ環境にとって有効な報酬制度の導入方針に関する知見を得ることを目的とする。

2 関連研究

本章では、知識共有コミュニティに関する関連研究を述べ、本研究の位置づけを示す。

三浦ら [1] は、Q&A コミュニティにおける利用者の参加動機を明らかにすることを目的とし、Yahoo!知恵袋を対象に、利用者に対する質問紙調査を実施している。その結果、回答投稿の参加動機として、(1) 援助的動機、(2) 互酬的動機、(3) 社会的動機、(4) 報酬的動機の 4 つの因子を明らかにしている。(1) 援助的動機は質問者を助けることに、(2) 互酬的動機は回答投稿による将来的なメリット獲得への期待や過去の経験に対する返報に、(3) 社会的動機は投稿という行為そのものの社会的意味に、(4) 報酬的動機は回答投稿によって得られる（即時的な）メリットに、それぞれ重きを置く傾向を表している。比較分析により、Q&A コミュニティは基本的には利用者の積極的なサポートによって成り立っているが、同時にその他の参加動機として、回答者の回答行動に伴う自身への直接的な報酬も参加のインセンティブの一つとして影響することが示されている。

この分析結果より、Q&A コミュニティにおける利用者の参加動機は、利用者の援助的特性といった静的な要因だけでなく、質問と回答の知識取引といった動的に変化する相互作用の結果によっても影響を受けるものとして捉える必要があるといえる。

コミュニティの活性化や発展に対する研究の分析のアプローチに関しては、コミュニティのサイズと活動状況の因果関係を分析した研究 [2] や、多数の OSS 開発コミュニティのダイナミクスを測定してコミュニティの発展プロセスを数学的にモデル化する研究 [3] などがあるが、その多くが、全体的な挙動を表現する数式に基づいてコミュニティの挙動を表現するといったトップダウン的なアプローチによるものである。しかし、多様な利用者が相互作用し、その連鎖によって知識が生成される Q&A コミュニティに対し、このようなトップダウン的なアプローチでは複雑なメカニズムを記述することは困難であり、モデル化にも限界がある。

最近では、このようなトップダウン的なアプローチのほかに、コミュニティ参加者の行動パターンをエージェントとしてモデル化し、エージェントシミュレーションによってコミュニティの発展プロセスをモデル化しようとする試みもある [4][5]。山田ら [5] の研究では、OSS 開発コミュニティや Q&A コミュニティを含めて知識コミュニティとし、抽象化したモデルの構築を行っている。しかし、目的や成功の種類異なるコミュニティについて [6]、それぞれ特有の事象を理解するという点においては限界があるといえる。分析対象のコミュニティについて詳細なモデルを構築するというアプローチも必要であろう。

本研究では、Q&A コミュニティに焦点をあて、三浦ら [1] の研究によって示された心理的動機をベースとしたエージェントベースモデルを構築し、シミュレーション実験を行うことで報酬制度の導入効果を明らかにする。また、質問者と回答者の知識傾向の同質性が高い、あるいは低いコミュニティ環境に対して、シミュレーションによるシナリオ分析を行うことで、コミュニティ環境にとって有効な報酬制度の導入方針に関する知見を得ることを目的とする。

3 Q&A コミュニティのモデル化

本章では、利用者間の質問・回答・返報といった相互作用（以下、知識取引）、利用者（質問者、回答者）、報酬制度、利用者の効用、コミュニティ環境（質問者と回答者の同質性）のモデル化について述べる。

3.1 知識取引のモデル化

我々は、Q&A コミュニティにおける質問者と回答者の相互作用を、(1) 質問者の質問投稿、(2) 回答者の質問への回答投稿、(3) 質問者の回答者への返報投稿といった知識取引のプロセスとしてモデル化する。さらに、各プロセスで質問者や回答者が得られる利得・コストを変数化し、質問者と回答者それぞれの効用を定式化する。なお、このモデル上での利得は、三浦ら [1] での利用動機を満たすものを意味するものとして用いている。

シミュレーションのモデル設計におけるモデルの抽象度に関しては、シミュレーションを用いる目的によってことなる設計方針が必要である。Gilbert ら [7] は、将来予測を目的とした場合には詳細なモデル化が必要であるが、現象の理解という目的においては、本質的な要素のみのシンプルなモデル化が重要であると述べている。本研究は、報酬制度の違いがコミュニティにもたらす効果を明らかにすることを目的としているため、報酬が影響を与える動機について焦点をあてたモデル化を行うこととし、三浦ら [1] であげた回答者の動機因子の社会的動機と互酬の動機についてはモデルには組み込まないものとした。これら二つの因子を除いた理由として、社会的動機については、Q&A コミュニティは SNS などのコミュニケーションを主体としたコミュニティではない点と、三浦ら [1] での分析結果において他の因子よりも影響の小さい因子であったこと、また、

互酬の動機についても、報酬の効果とは直接的に関与しない要素である点からモデル化の対象外とした。

以下の項では、質問者と回答者における知識取引のプロセス（(1) 質問投稿，(2) 回答投稿，(2) 返報投稿）について詳細を述べる。

3.1.1 質問者の質問投稿

質問者は、自分の疑問にもとづいて質問をコミュニティに投稿する。このとき、質問者の行動として、質問を詳細に記述すればするほど、よりマッチした回答（質問者の意図した回答）が集まり高い効用を得られると考えられる。しかし、質問自体は質問者が記述する文章という形で表現されるため、質問投稿にはいくらかの質問作成のための労力を有するものと考えられる。また、どれだけ真面目に文章を記述するかは、質問者ごとに異なっていると考えられる。以上より、質問者の質問投稿は、質問者が自身の疑問と、努力特性によって生成される質問をコミュニティに投稿するものとする。

3.1.2 回答者の質問への回答投稿

回答者は、投稿された質問に対し回答を行うことで満足やポイント等の利得を得る。このとき、回答者の行動としては、自分の知識で応えられる質問、あるいは、お礼（以下、返報）をしてくれそうな質問者かどうかを考慮して質問を選択すると考えられる。また、このとき回答する文章も、どれだけ質問者の意図に合った回答を記述するかは回答者の回答努力によって異なっていると考えられる。以上より、回答者は、自身の知識特性と、質問者の返報特性を考慮して質問を選択し、自身の努力特性にもとづいて質問に合った回答を投稿するものとする。

3.1.3 質問者の回答者への返報投稿

質問者は、質問に回答があった場合に、回答者に対し返報を行う。しかし、集まる回答は必ずしも質問者にとって意図した回答でない場合もあるため、自分の質問意図（疑問）にある程度マッチした回答に対してのみ返報を行うものとする。

3.2 利用者のモデル化

本節では、3.1 節の 1～3 項であげた知識取引のプロセスにもとづき、Q&A 質問者・回答者と、そこで投稿される質問・回答をモデル化する。

なお、本研究で扱う知識とは、個人の持つ知識特性を抽象的に表現したものである。個人の特性についてのモデル化に関して、Axelrod[8] は、文化の流布のシミュレーションモデルにおいて、ある個人の文化特性を抽象的に記述できるようにするために、文化特性をさまざまな次元（言語、宗教、技術、衣服のスタイルなど）を表す数字のリストによってモデル化している。また、鳥山 [9] では、組織内での個人が持つスキーマ（ものの見方、判断基準）が組織内でどのように伝搬されていくかをシミュレーションモデルで分析するために、個人の持つスキーマを数字列のリストで表現している。本研究においても、これらのモデル化をふまえ、個人の持つ知識特性と個人間で取引される質問・回答について、その特性を抽象化して表現したものとモデル化する。具体的には、ジャンルなどのある特定の知識単位に対する知識特性を 0,1 で表現し、これらのまとまりをビット列として表現する。なお、現実的には、ある知識単位の特性は多次元であることが考えられるが、本研究では簡素化のために 0,1 といった二次元の値で抽象化したモデル化とする。

また、参加者の役割については、本稿では互酬性を扱わないことと、モデルの簡略化のために、質問者・回

答者の役割は固定的なものとしてモデル化した．現実的には質問者・回答者の役割は固定ではなく，その時々によって変わりうることを考えられる．本研究では，質問者と回答者の相互作用による Q&A コミュニティの挙動を観察する．そのために，同一エージェントが両者の役割を持つと，援助性や報酬制度の導入効果の分析が困難になるため，本研究では役割固定のモデル化とした．また，[1]においても，参加者の利用行動のうち全体の約半数は質問のみ，あるいは回答のみの固定的な利用が行われていることから，役割固定のモデル化妥当であるとする．役割が動的に変化するモデルについては今後の検討課題とする．

以下の項では，質問者のモデル，回答者のモデルの詳細について述べる．

3.2.1 質問者のモデル

疑問 ($Prop^Q$) 本稿では，質問を投稿する質問者 i の疑問 (質問者の疑問の特性) $Prop_i^Q$ を以下のように表現する．ここで，各ビットは，ある知識単位における質問者 i の知識特性を表わしている (例えば，音楽という知識単位に対する特性 [邦楽, 洋楽]，スポーツという知識単位に対する特性 [野球, サッカー] など)．

$$Prop_i^Q = [x_1, x_2, \dots, x_k] = [x_n \in 0, 1] \quad (1)$$

質問努力 ($Effort^Q$) 投稿される質問の内容は，質問者が記述する文章という形で表現されるため，質問がどれだけ詳細・曖昧に記述されるかは，質問者がどれだけ労力をかけて文章を作成するかといった質問者の質問努力に依存すると考えられる．質問文章の詳細・曖昧さは，回答者が回答できるかどうか (自分の知識に合っているか)，回答しようと思うかどうか (不真面目な文章ではないか) といった回答動機に影響を与える重要な要素の一つである．本稿では，質問を投稿する質問者 i の質問努力 $Effort_i^Q$ を 0 から 1 の実数値として以下のように表現する．この $Effort_i^Q$ の値が大きいほど質問者 i は努力して文章を記述する (質問 $Info_i^Q$ を生成する) ことを表す．

$$0 \leq Effort_i^Q \leq 1 \quad (2)$$

質問 ($Info^Q$) 質問者 i によって投稿される質問 $Info_i^Q$ を，質問者 i の疑問 $Prop_i^Q$ をもとに，質問努力に応じて曖昧さが生じるものとして以下のように表現する．

$$Info_i^Q = [x_1, x_2, \dots, x_k] = [x_n \in 0, 1, *] \quad (3)$$

ここで，ビット列における * は情報の曖昧さを意味するものとし， $Prop_i^Q$ の各ビット列が $(1 - Effort_i^Q)$ の確率で * に変化するものとする．

具体的には，各ビット列の値は質問者の疑問 $Prop_i^Q$ と対応し，ある知識単位に対する質問者が求める知識特性の値を意味している．また，あるビット列が*であるということは，質問者が投稿した質問において，*に対応する知識単位に関する記述が欠けており，この箇所に関しては回答者が努力してあらゆる知識特性を網羅的に記述することによってうめられる状態の部分であることを表現している．

返報閾値 (Th^Q) 質問者 i が，回答者 j に対して返報を行うかどうかは，質問者 i の疑問 $Prop_i^Q$ と，回答者 j の回答 $Info_j^A$ とのマッチ度が，質問者 i の返報閾値特性 Th_i^Q (0 から 1 の実数値) を越えるかどうかによって決定するものとする．この Th_i^Q の値が大きいほど，質問者 i は回答とのマッチ度が高い回答者にしか返報を行わないことを表す．

$$0 \leq Th_i^Q \leq 1 \quad (4)$$

ここで、マッチ度の計算は、 $Prop_i^Q$ と $Info_j^A$ のハミング距離を 0 から 1 の実数値に正規化したもの（ハミング距離/ビット幅 k ）とする。

3.2.2 回答者のモデル

回答知識 ($Prop^A$) 質問に対する回答は回答者の知識に基づいて投稿される。そこで、回答者 i の回答知識 $Prop_i^A$ は、質問者の疑問 $Prop_i^Q$ と同様に、ある知識単位に対する知識特性の集合として以下のように表現する。

$$Prop_i^A = [x_1, x_2, \dots, x_k] = [x_n \in 0, 1] \quad (5)$$

回答努力 ($Effort^A$) 回答者が質問に回答する際、質問者の曖昧な質問文章に対してどの程度努力して回答文章を記述して回答するかを表現する特性として、回答者 i の回答努力 $Effort_i^A$ を以下のように表現する。この $Effort_i^A$ の値が大きいくほど、回答者 i は努力して文章を記述することを表す。

$$0 \leq Effort_i^A \leq 1 \quad (6)$$

回答閾値 (Th^A) 回答者 i が、質問者 j の質問 $Info_j^Q$ に対して回答を行うかどうかを、回答者 i の回答知識 $Prop_i^A$ と質問者 j の質問 $Info_j^Q$ のマッチ度に対する回答閾値 Th^A として以下のように表現する。

$$0 \leq Th_i^A \leq 1 \quad (7)$$

ここで、マッチ度の計算は、 $Prop_i^A$ と $Info_j^Q$ のハミング距離を 0 から 1 の実数値に正規化したもの（ハミング距離/ビット幅 k ）とする。なお、ビット列における * は、情報の曖昧さを表現しているため、距離 1 として計算する。

回答 ($Info^A$) 回答者 i の、質問者 j の投稿した質問 $Info_j^Q$ に対する回答 $Info_i^A$ を以下のように表現する。

$$Info_i^A = [x_1, x_2, \dots, x_k] = [x_n \in 0, 1] \quad (8)$$

ここで、回答者 i の回答努力 $Effort_i^A$ の値が大きいくほど、回答者 i は質問者 j の質問 $Info_j^Q$ に近づけた文章を記述するものとする。具体的には、回答者 i は質問者 j の質問 $Info_j^Q$ の k 列のビット列中の * について、 $Effort_i^A$ を超えるまでのビット列の割合 (* のビット列/ビット幅 k) に対し、質問者 j の質問 $Prop_j^Q$ の各ビット列に近づけた値（値のコピー）の回答 $Info_i^A$ を生成するものとする。なお、 $Info_i^A$ の各ビット列は、回答者の回答知識 $Prop_i^A$ 、質問 $Info_i^Q$ 、質問者の疑問 $Prop_i^Q$ と対応しており、ある知識単位に対する回答者の知識特性を表している。また、質問 $Info_i^Q$ の * の部分に対して、回答者が質問者の疑問 $Prop_i^Q$ に近づけた値を生成するという行為は、質問において情報が欠けている箇所に対して、回答者が努力してあらゆる知識特性を網羅的に記述することによって質問者の疑問に合った回答を記述するということを表現している。

援助性 (S) 我々は、[1] での回答者の動機因子を参考に、回答者 i が回答という行動のみで得られる満足の利得を S_i (0 から 1 の実数値) として表現する。

$$0 \leq S_i \leq 1 \quad (9)$$

3.3 報酬制度のモデル化

効用は、金銭的なものと非金銭的なものとに分類できる [10]。質問者と回答者の知識取引による効用としての報酬を考えたとき、報酬は金銭的な報酬（お金、ポイント）と非金銭的な報酬（感謝・お礼の言葉）とを合わせたものとして表現できる。ここで、金銭的報酬についてはコミュニティの報酬制度として外部から操作可能な変数である。

そこで、本研究では、知識取引における非金銭的報酬を一定とし、Q&A コミュニティの制度として操作可能な金銭的報酬の大きさを金銭取引性 PT (Pecuniary Transaction) という値として表現する。この値が大きいほど、知識取引における金銭的報酬が大きいコミュニティ制度であることを表す。なお、現実でのサービスにおける報酬を考えた場合には、報酬の値の上限に際限はないと考えられる。しかし、本研究における報酬のモデル化においては、質問者が支払う報酬は、最大でも回答を得ることによる利得以上の値は支払わないと仮定し、これに即した抽象的なモデル化とした。具体的には、質問者が払う報酬 PT の値は、回答から得られる利得（質問者の質問と回答とのマッチ度）の範囲である $[0,1]$ の間としてモデル化する。

$$0 \leq PT \leq 1 \quad (10)$$

3.4 利用者の効用のモデル化

本節では、3.1~3.3 節であげた知識取引のモデル、利用者のモデル、報酬制度のモデルをふまえ、質問・回答のやり取りといった知識取引から得られる利得とコストをもとに、質問者 i と回答者 j の効用の式を以下のように定式化する。

3.4.1 質問者の効用 (U^Q)

式 (11) における質問者 i の効用 U_i^Q は、回答 j から得られる回答 $Info_j^A$ とのマッチ度の利得関数 $match()$ から、質問作成コスト $Effort_i^Q$ を引き、さらに回答へのお礼にかかる返報コスト PT を引いた値として表現する。なお、マッチ度の関数 $match(x, y)$ は、ビット列 x と y のハミング距離を正規化した 0 から 1 の実数値とする（ビット列 x と y のハミング距離/ビット幅 k ）。

$$U_i^Q = match(Prop_i^Q, Info_j^A) - Effort_i^Q - PT \quad (11)$$

3.4.2 回答者の効用 (U^A)

式 (12) における回答者 j の効用 U_j^A は、質問者から得られる返報利得 PT から、回答作成にかかるコスト $Effort_j^A$ を引き、回答をすること自体の援助利得を意味する援助性 S_j を足した値として表現する。

$$U_j^A = PT - Effort_j^A + S_j \quad (12)$$

3.5 コミュニティ環境（質問者と回答者の同質性）

Q&A の利用は、様々なコミュニティ環境での利用が考えられる。例えば、Yahoo!知恵袋のような多様なカテゴリのもとで多様な知識を持った利用者が参加するコミュニティ、または特定の専門的な話題を扱い同様の

知識傾向を持った利用者が集まるコミュニティ（UNIX コミュニティ等）、あるいは、知識傾向が異なる異分野間での相補的なナレッジマネジメントとして Q&A を用いる行うコミュニティなどが考えられる。本研究では、これらのコミュニティ環境の違いを、質問者と回答者の同質性として定義し、質問者の疑問 $Prop^Q$ と、回答者の回答知識 $Prop^A$ の値の発生確率を変化させることでこれを表現する。具体的には、 $Prop^Q$ の各ビットが 1 を取る確率を表現した確率変数を X 、 $Prop^A$ の各ビットが 1 を取る確率を表現した確率変数を Y とする。ここで、 X と Y は互いに独立な確率変数とし、 X の期待値を E_X 、 Y の期待値を E_Y とすると、 $Prop^Q$ と $Prop^A$ の一致の期待値 z は、以下の式で計算する。

$$z = (1 - E_X)(1 - E_Y) + E_X E_Y \quad (13)$$

本研究では、質問者と回答者の同質性が標準で中間的なコミュニティを同質性 $z = 0.5$ 、($E_X = 0.5, E_Y = 0.5$)、同質性が高いコミュニティを $z = 0.7$ 、($E_X = 0.2, E_Y = 1/6$)、同質性が低いコミュニティを同質性 $z = 0.3$ 、($E_X = 0.2, E_Y = 5/6$) としてコミュニティ環境の違いを表現する。

3.6 利用者の離脱・参入

実際の Q&A コミュニティにおいては、特定のユーザの限定的な利用だけでなく、参加するモチベーションが低くなったユーザの離脱や、新たな利用者の参入といった現象が起こりうる。本稿では、このような現象を表現するために、参加する動機が低くなったユーザ、つまり Q&A コミュニティにおいて獲得できる効用が低くなったユーザは離脱して、新たなユーザと入れ替わるといった現象としてモデル化する。具体的には、質問者と回答者それぞれにおいて、直近 X 期の効用を累計し、獲得効用の低い下位のいくつかのユーザが新規のユーザと入れ替わることでこれを表現する。

4 シミュレーション実験

本章では、提案したモデルの妥当性検証と、報酬制度の導入効果、コミュニティ環境（質問者と回答者の同質性）による報酬効果の違いについてシミュレーション実験を行う。

4.1 実験概要

本シミュレーション実験の目的は、報酬制度が、Q&A コミュニティの成果である回答の数、回答の質、質問のしやすさにおいてどのような効果があるかといったことを明らかにすること、また、異なるコミュニティ環境による報酬の効果の違いを分析することである。以下にシミュレーションの実験条件を示す。シミュレーションステップについては、每期、以下の Step1 ~ Step3 をシミュレーション期間 t まで繰り返すものとする。

Step1. 行動選択

- 質問者は、質問をコミュニティに投稿する
- 回答者は、コミュニティ上の質問に対して自身から見たマッチ度の計算をもとに、回答閾値を超えた質問に対して回答を行う
- 質問者は、自身の質問のすべての回答に対して返報するかどうかを、自身から見たマッチ度の計算をもとに、返報閾値を超えた回答に対し返報を行う

Step2. 効用計算

表1 シミュレーション実験パラメータ

| パラメータ | | 実験で用いた値 |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| シミュレーション条件 | シミュレーション期間 t | 500 |
| | エージェント数 n | 200 (Q:100, A:100) |
| | 直近効用の累計期間 X 期 | 5 |
| | 各期のエージェントの離脱割合 $Y\%$ | 10% |
| | 知識特性のビット幅 k | 20 |
| 報酬制度 | 知識の金銭取引性 PT | [0.1, 0.1, ..., 1.0] |
| コミュニティ環境 | QとAの知識傾向の同質性 z | [0.3, 0.5, 0.7] |
| エージェント固有特性 | Qの疑問 $Prop^Q$ | [一様乱数] |
| | Qの質問努力 $Effort^Q$ (0~1.0) | [一様乱数] |
| | Qの返報閾値 Th^Q (0~1.0) | [一様乱数] |
| | Aの回答知識 $Prop^A$ (0~1.0) | [一様乱数] |
| | Aの回答努力 $Effort^A$ (0~1.0) | [一様乱数] |
| | Aの回答閾値 Th^A (0~1.0) | [一様乱数] |
| | Aの援助性 S (0~1.0) | [一様乱数] |

- 質問と回答者は、3.4節であげた式(11),(12)をもとに、それぞれ効用 U^Q, U^A を得る

Step3. 離脱・参入

- 質問者と回答者は、直近 X 期の累計効用を累計し、下位 $Y\%$ の利用者はコミュニティから離脱する
- 離脱で減った利用者だけ、質問者と回答者に新規利用者が参入する

実験で用いたパラメータを表1に示す。なお、シミュレーション実験の結果は、乱数のシードを変化させた100回のシミュレーション試行の平均値を結果とした。また、ステップ数に関しては、500ステップの段階で集団の特性が収束していることから500ステップ後の結果について掲載している。

4.2 モデルの基本的挙動

提案したモデルの基本的挙動として、モデル上での利用者の特性と、現実のQ&Aコミュニティでの利用者の特性が、3.4節で示した効用の要素と対応しているかどうかを比較した(図1)。

図1中のプロットは、一人の回答者の回答努力と返報獲得(平均)の値である。Yahoo!知恵袋のデータに関しては、国立情報学研究所の提供しているデータを用いており、データの最新日である2005年10月において回答数10回以上の回答者1,000人をランダムで抽出したものをプロットしている。人力検索はてなのデータについては、2009年11月において回答数10回以上の回答者1,000人をランダムで抽出したものをプロットしている。なお、質問者の特性の比較については、現実のデータにおいて質問者の主観である回答の質(マッチ度)を数値化することが難しいため、回答者の特性について比較を行った。また、人力検索はてなのデータプロットに関して、y軸の項目については平均獲得ポイント数としている。これは、人力検索はてなでは、ほとんどの回答に対して少なからず質問者のポイント付与があるために、プロット上で返報獲得率が1に偏ってしまうことから、返報獲得率よりもよりの確な返報を反映した平均獲得ポイント数を項目として用いた。

図1に示す比較の結果、モデルと現実の利用者特性の一致が確認された。3.4節の回答者の効用モデルでは、回答努力は効用に対してコスト項であるため、努力をせずに利得を得ようとする戦略が優位であると考えられる。しかし、図1の結果では、回答努力の高い回答者の返報獲得が高くなっている。この結果をもたらすメカ

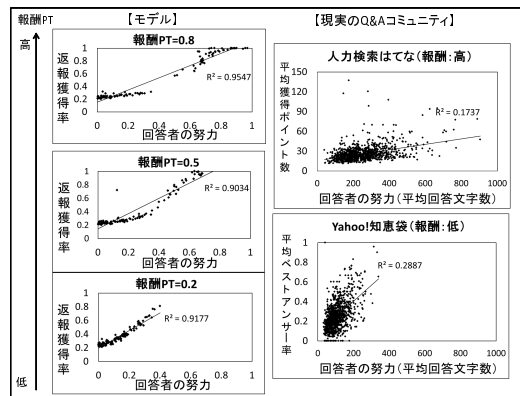


図1 モデル上の回答者と、現実の Q&A コミュニティの回答者の特性の比較

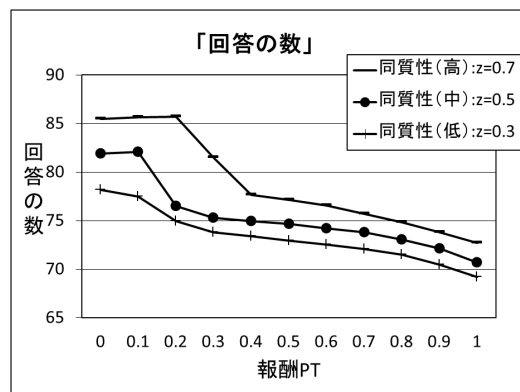


図2 報酬 PT を変化させたときの、回答の数の変化

ニズムは、回答者にとっての回答努力は回答作成の労力コストとなるが、一方で回答努力の高い回答は質問者からの返報率を高める効果があることにより、結果としてより高い利得を得ることが可能になっているためである。現実の Q&A コミュニティにおいても、回答努力を文章量、利得をベストアンサー率として観察してみると、シミュレーション結果と同様の結果を得ている。

この結果より、本研究での知識取引と利用者の効用のモデルが、現実の Q&A コミュニティの利用者の利用行動を表現したモデル化となっているといえる。

4.3 報酬制度の導入効果

4.3.1 回答の数

図2に、報酬 PT を変化させたときの、回答の数（1 質問への平均回答数）の質問者平均を示す。この結果より、報酬 PT を高めると、どのコミュニティ環境においても回答の数は低下することが分かった。

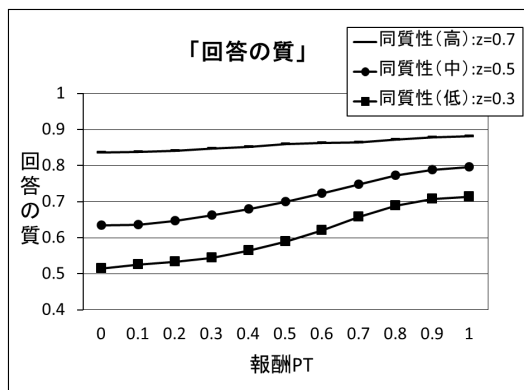


図3 報酬 PT を変化させたときの、回答の質の変化

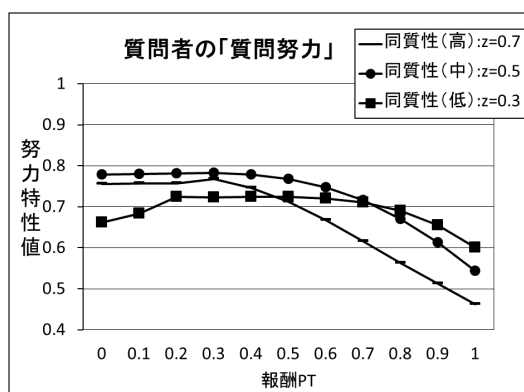


図4 報酬 PT を変化させたときの、質問努力の変化

4.3.2 回答の質

図3に、報酬 PT を変化させたときの、回答の質（質問者の知識特性と回答との平均マッチ度）の質問者平均を示す。この結果より、報酬 PT を高めると、どのコミュニティ環境においても回答の質は向上することが分かった。

4.3.3 質問努力（質問のしやすさ）

図4に、報酬 PT を変化させたときの、質問者の質問努力の変化を示す。この結果より、同質性 $z = 0.5$ （質問者と回答者の同質性が中間のコミュニティ環境）、同質性 $z = 0.7$ （質問者と回答者の同質性が高いコミュニティ環境）では、報酬 PT を高めるにつれて質問努力が低下していることが分かった。ただし、同質性 $z = 0.3$ （質問者と回答者の同質性が低いコミュニティ環境）においては、報酬 PT が低い制度の場合において（PT が 0.0~0.2 までの間において）、報酬 PT が中間的なときよりも質問努力が低いことが分かった。

図5に、同質性 $z = 0.5$ （質問者と回答者の同質性が中間のコミュニティ環境）における、報酬 PT を変化させたときの質問者の返報閾値と質問努力、回答者の回答努力の関係を示す。この結果より、報酬 PT の高さに応じて、返報閾値と回答努力が増加していることが分かる。また、質問者の質問努力が、回答者の回答努力

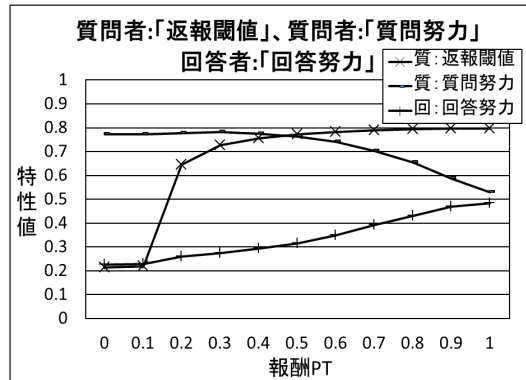


図5 同質性 $z = 0.5$ (質問者と回答者の同質性が中間のコミュニティ環境)における, 報酬 PT を変化させたときの返報閾値, 質問努力, 回答努力の関係

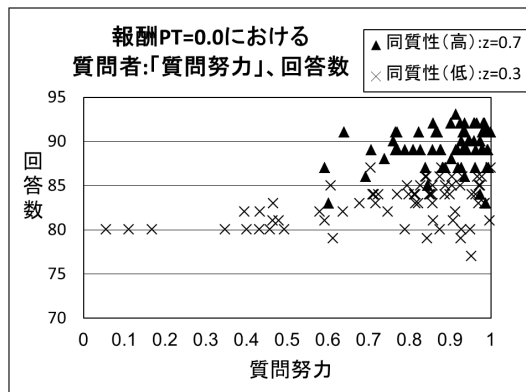


図6 同質性 $z = 0.3$ と同質性 $z = 0.7$ のコミュニティ環境での, 報酬 $PT = 0.0$ における質問努力と回答数の関係の違い

の増加に反比例して低下していることが分かる。

図6に, 図4で同質性 $z = 0.3$ のコミュニティが他のコミュニティ(同質性 $z = 0.5, 0.7$)と異なり, 報酬 PT が低い場合において PT が中間的な場合よりも質問努力が低くなっている要因を表した結果を示す。図6は, 報酬 PT が低い ($PT = 0.0$) 制度の場合における, 同質性 $z = 0.3$ のコミュニティにおいてどのような質問と回答のマッチングが行われているかを検証するために, 質問者の質問努力に対応する回答数をプロットした図である。なお, 比較のために, 同質性 $z = 0.7$ の場合のプロットも同時に示している。図6の結果より, 同質性 $z = 0.3$ のコミュニティにおいては, 質問努力が高い質問者に対してのみ回答が集まるのではなく, 質問努力が低い質問者でも回答が集まっているという違いがあること, また, 質問努力の値が同質性 $z = 0.7$ のコミュニティに比べて低いことが分かった。

5 考察

5.1 回答の数と質

図2と図3の結果より、報酬 PT を高めると、回答の数は減少するが、回答の質は向上することが分かった。コミュニティ環境による効果の違いとしては、全体傾向としては同じであるが、質問者と回答者の同質性 z が大きいコミュニティほど、回答数の絶対値と、回答の質の絶対値が高くなっているといった違いがみられた。この結果については、 z が大きいコミュニティほど元々質問と回答がマッチしやすい環境であるため、正当な結果であるといえる。

図5は、報酬 PT を高めることによって回答の数と質に変化が生じるメカニズムを説明した図である。本モデルにおいて、報酬 PT は質問者にとってコストであるために、報酬 PT が大きい場合においては、返報閾値の低い質問者よりも高い質問者（低いマッチ度の回答に対して返報する質問者よりも、高いマッチ度のみ回答する質問者）が大きな利得を得ることとなり、このような質問者がコミュニティに存続することとなる。また、これにより、回答者においても、質問に対してよりマッチした回答を行う回答者（回答努力の高い回答者）の方が質問者の返報を獲得することができ、このような回答者がコミュニティに存続することとなる。これらのメカニズムは、図5における質問者の返報閾値、回答者の回答努力より確認することができる。

5.2 質問努力（質問のしやすさ）

図4の結果より、全体傾向として、どのコミュニティ環境においても、報酬 PT を高めると PT が低い制度のときよりも質問努力が低いコミュニティが形成されることが分かった。ここで、質問努力とは質問者がどれだけコストをかけて質問作成を行うかといったことを表す。現実的には、質問者の質問努力の値が低いほど質問時に手をぬいても回答が得られるコミュニティ（「何でも質問してOK」）、逆に値が高いほど手をぬいた質問では回答が得られないコミュニティ（「きちんと調べてから質問してくれ」）であることを意味する。

図5は、このような質問努力の低下が生じている様子を示す結果である。図5の結果より、質問者の質問努力が、回答者の回答努力の増加に反比例して低下していることが分かる。これは、5.1節で述べたメカニズムによって回答者の努力が高くなれば、質問者にとっては、あまりコストをかけて正確な質問をしなくてもマッチした回答が集まるため、質問努力をかけない回答者が得をするといったメカニズムが働いた結果と理解できる。この結果については、実際の Q&A コミュニティの「人力検索はてな」において運営者が期待する効果（「過去の Q&A をみれば分かるのに」と言われない効果を支持する結果である）。

図6の結果より、同質性 $z = 0.3$ のコミュニティにおいては、質問努力が高い質問者に対してのみ回答が集まるのではなく、質問努力が低い質問者でも回答が集まっているという違いがあること、また、質問努力の値が同質性 $z = 0.7$ のコミュニティに比べて低いことが分かった。その原因を推測すると、同質性 $z = 0.7$ のコミュニティでは、知識傾向が類似する回答者との接触の確率が高いため、高い質問努力でコストを払うことになっても、回答者が回答しやすい質問が投稿される状況になる。このため、回答数がより集まることの利得獲得の効果が大きくなり、質問努力の高い質問者がコミュニティに存続したと考えられる。一方、同質性 $z = 0.3$ のコミュニティでは、知識傾向が類似する回答者とのコミュニティ内での接触確率が低いため、高い質問努力でコストを払って回答者が回答しやすい質問を投稿するよりも、質問努力が低くコストを払わないままで、たまたま知識傾向の類似した回答者とのマッチを得ることによる利得獲得の影響が大きい。このため、質問努力が低い質問者でもコミュニティに存続できる環境であったと考えられる。特に、報酬 PT が低い場合

には、マッチングによる利得効果が大きいためにこの影響が強く出ていると考えられる。以上のことから、同質性 $z = 0.3$ のコミュニティでは、同質性 $z = 0.7$ のコミュニティよりも、質問者の質問努力が低くなっていると考える。

5.3 報酬制度の導入方針への知見

5.1 節と 5.2 節の結果より、Q&A コミュニティにおける報酬制度の導入方針を検討する。図 2, 3, 4 の結果より、同質性 $z = 0.5$ (質問者と回答者の同質性が中間的なコミュニティ環境) では、回答の数を重視するのであれば、報酬 PT は低く、回答の質と質問のしやすさを重視するのであれば報酬 PT は高く設定するといった導入方針が有効であるといえる。

一方、同質性 $z = 0.7$ (質問者と回答者の同質性が高いコミュニティ環境) では、同質性 $z = 0.5$ と同様な導入方針であるが、回答の質については、報酬 PT を高めることによる向上はそれほど見込めないため、質問のしやすさとしての効果を目的とした導入方針が有効であるといえる。

また、同質性 $z = 0.3$ (質問者と回答者の同質性が低いコミュニティ環境) では、報酬 PT を高めることによって、回答の質の向上と、質問のしやすさにおいては効果が現れるが、質問のしやすさを重視するのであれば、報酬 PT が低い制度の場合でも質問がしやすい環境であるため、無理に報酬 PT を高めて回答の数を低下させるよりも、報酬 PT が低い方が効率的な報酬設定であるといったことがいえるだろう。

なお、今回の実験では質問者の割合が 0.5 (全エージェント数 200 の内、質問者のエージェント数 100) の場合の結果のみを掲載したが、これ以外の割合の場合 (0.7, 0.3) においても回答数の絶対値に変化はあるものの、報酬 PT による全体の結果 (回答の質, 回答の数, 質問努力) の傾向に変化はないことを確認している。また、離脱者の割合に関して、本実験では 0.1 の場合の結果を示したが、離脱者の割合が大きい場合では、高い利得を得ているエージェントでも離脱しやすくなるために、報酬 PT 変更による効果 (回答の質, 回答の数) が弱まることを確認している。具体的には、離脱割合が 0.5 以上の場合には、 PT を上げて回答の質の向上はほぼ見込めない結果となる。このことから、離脱・参入の激しいコミュニティよりも、Q&A の利用において利益を得ている参加者が継続的に利用しているコミュニティほど、報酬の導入による効果は大きくなると推測できる。

6 むすび

本稿では、Q&A コミュニティにおける報酬制度の違いが、コミュニティにどのような効果をもたらすのか、また、コミュニティ環境によって効果にどのような違いがあるのかといった報酬制度の導入方針の知見を得ることを目的に、Q&A コミュニティのエージェントベースモデルを提案し、シミュレーション実験を行った。その結果、そのコミュニティが何を重視するのか (回答の数か、回答の質か、質問のしやすさか) によって、有効な報酬制度は異なっているという知見を明らかにした。具体的には、回答の数を重視するのであれば報酬 PT は低く、回答の質と質問のしやすさを重視するのであれば報酬 PT は高くすることが有効であることを明らかにした。

今後の課題としては、報酬制度のモデル化において、非金銭的報酬による回答者のモチベーション向上についても検討する必要があるだろう。提案したモデルでは、報酬はコミュニティが設定できる金銭的報酬についてのみ扱ったが、現実の Q&A コミュニティにおいて、長期間参加する回答者にとっては、金銭報酬よりも名声などの他者評価も重要な回答モチベーションの要素として考えられる。このような観点でのモデル化も、今

後の Q&A コミュニティの有用な制度設計を検討していくうえでの重要な課題であると考えられるだろう。

謝辞

本研究を行うにあたり、ヤフー株式会社が国立情報学研究所に提供した Yahoo!知恵袋データを利用しました。あらためて感謝とお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 三浦麻子, 川浦康至, “人はなぜ知識共有コミュニティに参加するのか: 質問行動と回答行動の分析,” 社会心理学研究, vol.23, no.3, pp.233-245, 2008.
- [2] S. Koch, ”Profiling an open source project ecology and its programmers,” Electronic Market, vol.14, no.2, pp.77-88, 2004.
- [3] J. Wu, C.R. Holt and A.E. Hassan, ”Empirical Evidence for SOC Dynamics in Software Evolution,” The 23rd IEEE International Conference on Software Maintenance, 2007.
- [4] 鳥海不二夫, 石田健, 石井健一郎, “小規模 SNS のモデル化と活性化シミュレーション,” 信学論 (B), vol.J91-B, no.4, pp.397-406, 2008.
- [5] 山田和明, 中小路久美代, 山本恭裕, “オンラインコミュニティにおけるインセンティブメカニズムのモデル化,” 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2008, 2008.
- [6] H. Lin, W. Fan, L. Wallace and Z. Zhang, ”An empirical study of web-based knowledge community success,” in proceedings of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS ' 07), pp.178c, 2007.
- [7] N. Gilbert and K.G. Troitzsch, ”Simulation for the Social Scientist,” Open University Press, 1999.
- [8] R. Axelrod, ”The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization,” Journal of Conflict Resolution vo.41, pp.203-226, 1997.
- [9] 鳥山正博, 菊池剛正, 山田隆志, 寺野隆雄, “エージェントシミュレーションを用いた組織構造最適化の研究 - スキーマ認識モデル - ,” 信学論 (D), vol.J92-D, no.11, pp.1919-1926, 2009.
- [10] E. Fehr and K.M. Schmidt, ”A Theory of Fairness, Competition and Cooperation,” The Quarterly Journal of Economics, August, pp.817-868, 1999.