

ソーシャルレンディングにおけるグループの影響を考慮した ベイズ推定による貸出利率決定方法

岩上 将史^{†a)} 伊藤 孝行^{††b)}

An Interest Rate Adjusting Method with Bayesian Estimation in Consideration of
Influence of Groups in Social Lending

Masashi IWAKAMI^{†a)} and Takayuki ITO^{††b)}

Abstract. SNS を利用して個人間でお金の貸し借りをするソーシャルレンディングでは、返済不履行のリスクが個人の貸し手に委ねられる。ソーシャルレンディングは比較的新しい分野であるため、仕組み自体は経験的に設計されていることが多い。本論文では特に利率の決定方法を提案する。本手法では、借り手が所属する複数のグループの返済遅延の確率分布を考慮した、尤度によるベイズ推定を用いて利率の調整を行う。そして、本手法での利率決定による影響について、エージェントを用いて実験的に解析を行う。本手法により、借り手の返済履歴が多くなるほどバラツキの少ない利率決定が可能となる。その結果、リスク（利率毎の返済遅延率の分散）が少ないことを望む貸し手に対しては取引成立数を増やすことが可能となる。

Keywords. ソーシャルレンディング, ベイズ推定

1. はじめに

近年、SNS を利用して個人間でお金の貸し借りをするソーシャルレンディングが急速に普及しつつある。その理由として、以下が挙げられる。

1. 貸し手にとっては預金会社に預けるよりも高金利であること
2. 借り手にとってはローン会社に申し込むよりも低金利であること
3. 借り手の審査が通りやすいこと
4. 貸し手と借り手双方の顔が見え、情報公開に基づく安心感があること

(1) 及び (2) の理由は、ソーシャルレンディングでは銀行等の金融会社を仲介しないため、余分な手数料がかからないことによる。(3) の理由は、借り手への貸し借りを判断する貸し手側が、銀行が 1 に対してソーシャ

ルレンディングでは多数となるため、市場には様々なタイプの貸し手が存在することにより、ビジネスマッチングの機会が増え、取引が成立しやすいことによる。(4) の理由は、借り手も貸し手も SNS のようなインターネットコミュニティに所属するため、お互いの過去の履歴や嗜好性が見えることによる。

例えば、Lending Club [5], PROSPER [6], Zopa [8] [9] 等がソーシャルレンディング企業として有名である。3 社ともそれぞれ独自性がある。

【PROSPER】は、借り手の利率決定にオークション形式を採用している。借り手は自身の情報として、借りたい金額と希望利率を提示し、オークションを開始する。貸し手は、借り手の情報を吟味した後、借り手にふさわしいと思われる利率を決定し、貸与可能な金額と利率を提示し入札する。入札勝者の決定方法は、オークションの終了時に最も低い利率を提示した者が貸し手として選定される。最も低い利率を提示した入札者の貸与可能額が借り手の希望金額に達しない場合は、2 番目の利率を提示した者も貸し手として選定される。以下同様にして、借り手の希望金額に達するまで貸し手が選定される。入札者全員の貸与可能金額を足し合わせても借り手の希望金額に満たない場合

[†] 名古屋工業大学 工学部情報工学科, 〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

^{††} 名古屋工業大学 工学部産業戦略工学科, 〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

a) E-mail: iwakami@www-itolab.mta.nitech.ac.jp

b) E-mail: ito.takayuki@nitech.ac.jp

は、オークション期限を延長し、満額になるまでオークションを続けるかもしくは、希望額に達しないままオークションを終了させる。また、借り手は必ず何らかのグループに加わらないといけないという仕組みがある。借り手が所属するグループは何らかの共通項を持っており、例えば、同じ大学出身、同じ職種等でのグループ分けをすることが出来る。借り手が万一返済に遅延すると、グループ全体の信用を下げることになるため、返済遅延の回数を少なくすることができるという考えを適用している。借り手を特定のグループに所属させる仕組みはグラミン銀行[4]も採用しており、この仕組みが有効かどうかに関しては改めて5.で考察する。

【Lending Club】は、FICO スコア^(注1)等を元に借り手のランクを計算し、ランクと1対1対応している利率を借り手の利率として採用している。借り手はFICO スコア、希望金額などの自身の情報を Lending Club に提供し、Lending Club は独自の計算式を元に借り手のランクを計算する。計算されたランクから利率が求められるので、求めた利率と共に借り手の情報を貸し手に公開する。その際、Lending Club は借り手の情報(出身大学、職種、趣味など)を分析し独自開発した推薦システムを用いて貸し手に借り手を推薦する。貸し手はお金を貸してもよいと思える相手に貸与可能額を提示する。一人もしくは複数の貸し手の貸与可能額の合計が借り手の希望金額に達した場合、取引成立となる。貸与可能額の合計が借り手の希望金額に達しない場合は、借り手は希望金額に達するまでしばらく待つか、融資願いを取り下げる。

【Zopa】は、複数の国で事業を営んでおり国によって運営方式に違いがある。米国の Zopa の場合は、信用組合と提携し金利の決定と融資の審査を任せており、貸し手の資金は連邦政府が保証する利率固定の譲渡性預金^(注2)に入れられる。そのため、返済不履行があっても出資した分は必ず利子つきで戻ってくるのが特徴である。譲渡性預金を購入する際、貸し手は必ず貸与相手を指定しなければならない。そして、譲渡性

預金の利率の内のいくらかの利率を、借り手に譲渡しなければならない。借り手は複数の貸し手から利率を譲渡してもらうことが可能であるため、信頼度が高い借り手の場合は、うまくいけば返済利率が0%、即ち無利子での借入が可能となる。英国の Zopa の場合は、PROSPER と同様にオークション形式を採用している。

ソーシャルレンディングメカニズムは、電子市場における最も新しい分野の一つである。マルチエージェントメカニズム分野や計算論的メカニズムデザイン分野における研究者は効用情報を持つ利己的なエージェントに対して、如何に有効なメカニズムやルールを設計するかに研究の焦点を絞っている。ソーシャルレンディングメカニズムは利己的なエージェント同士によるお金の貸し借りに対するメカニズムである。

しかし、ソーシャルレンディングは比較的新しい分野であるため、仕組み自体は経験的に設計されていることが多い[7]。例えば、Lending Club [5] の借り手の利率決定方法が一例として挙げられる。Lending Club では、借り手を A1 を最高ランク、G5 を最低ランクとして A1,A2,A3,A4,A5,B1,...,G4,G5 のように合計 35 段階に分けて借り手をランク付けしている。ランクと貸出利率は一對一で対応し、例えば、ランクが A1 の借り手は貸出利率が 7.37%、ランクが G5 の借り手は貸出利率が 18.86% となっており、ランクを決めることにより利率が決定される。ランク付けの際には、

- Debt-To-Income (DTI) ratio
- Requested loan amount
- Number of recent credit inquiries
- Credit history length
- Total and currently open credit accounts
- Revolving credit utilization

を用いて借り手の信用情報を評価し、ランクを決定している。上述のランク決定方法は 2008 年 9 月の時点でのものであるが、我々の調査によると、2008 年 5 月の段階ではランク決定の要素は DTI と Requested loan amount のみが用いられていた。4 か月の間に評価項目が 4 つ追加されており、ランクの決定方法が経験的に修正されていることがわかる。以上のように、借り手のランク (=利率) の決定方法は統計情報を利用して静的に決定されているが、本論文では、ソーシャルレンディングメカニズムの最初のステップとして借り手の返済履歴と SNS 情報を考慮した動的な利率評価手法を提案する。そして実験的に解析を行い、借り

(注1)：FICO スコアとは Fair Isaac 社によるクレジットカードの使用履歴を数値化したもので、アメリカではクレジットカード会社等の金融機関が融資をする際に使われている。最低点を 300、最高点を 850 とし、点数が高いほどローンの審査が通りやすい。

(注2)：譲渡性預金 (negotiable certificate of deposit:CD 及び NCD と略す)とは、銀行の定期預金の一つで、預金者が金融市場で自由に譲渡できる特別なタイプの預金のことである。譲渡可能定期預金証書とも呼ばれる。

手が所属するグループの影響を考慮したベイズ推定を用いた利率の更新による影響についての考察をする。ベイズ推定は観測された事象を最大限に利用し、借り手の履歴情報が蓄積されるほど正確な推定を可能にする。本論文が提案する手法の目標は利率ごとのリスク最小化である。本論文では各利率における返済遅延率のバラつき具合(分散)をリスクとみなす。

本論文の構成を以下に示す。2.では、本論文で用いる利率決定モデルについて示す。3.では、エージェントによる取引のシミュレーション方法を示す。その後、4.にて実験的に評価を行い、5.では、借り手がグループに所属する場合の影響についてゲーム理論を用いて考察する。そして最後に、6.でまとめを示す。

2. ベイズ推定に基づく利率決定モデル

2.1 ベイズの定理

本論文で利用するベイズの定理を以下に示す [12].

$$p(\pi|x) = \frac{p(x|\pi)p(\pi)}{p(x)} \quad (1)$$

x は観測される事象である。 π は未知数である。観測される事象 x を元に π についての推定を行うことが、ベイズ推定の目的である。 $p(x|\pi)$ はデータ発生モデル分布である。 $p(\pi)$ は事前分布、 $p(\pi|x)$ は事後分布の確率密度関数である。事前分布は、データ x を得る前の知識を反映し、事後分布は、事前の知識に加えてデータ x によって学習した知識を反映する。モデル分布 $p(x|\pi)$ は、 x が既知でこれを π の関数とみなすとき、 π の尤度を示す尤度関数となる。

$p(\cdot|\cdot)$ は、縦線の右側の変数が既知で固定されており、左側の変数が未知であることを考えると、 $p(x|\pi)$ を π の尤度とみなすとき、 $l(\pi|x)$ と表すことができる。今、 x を既知とし事後分布 $p(\pi|x)$ において π に関係しない項を除くと、式 (1) は、

$$p(\pi|x) \propto l(\pi|x)p(\pi)$$

となり、すなわち“事後分布 \propto 尤度 \times 事前分布”となる。このことは、事後分布は尤度と事前分布のみから決定されることを意味している。

2.2 グループの影響を考慮したベイズ推定

ベイズ推定では、尤度の設定次第で事後確率分布の形状が異なってくるが、本論文では、借り手が所属するグループの返済遅延の確率分布を一定の割合で尤度に加える手法を提案する。グループの影響を考慮する

理由は、ベイズ推定による予測はデータが多い時は有効であるが、データが少ない時は推定値が極端になりうまく機能しないためである。たとえば、非常に優秀な学校に通っている学生 A 君が 100 点満点の全国統一テストで 0 点を取ったとする。個人のテスト結果のみから A 君の実力を判断するのであれば、A 君の学力は 0 点となるが、一般的に考えると A 君が 0 点を取るとするのは稀 (A 君には優秀な学校に通っているという事実がある) であり、何らかのアクシデントがあったと考えられる。そこで、A 君が所属する学校の平均点数をいづらか考慮に入れて本人の判定をする。そうすれば A 君にはいづらか優秀な学校に通っているという事実を考慮にいれた点数がつくことになる。以上のようにして、本人が所属しているグループの影響を考慮に入れたほうが我々が普段行っているような現実の判断に則していると考えられる。

今、借り手が返済に遅れる確率を遅延確率と呼び、 π と表記することにする。さらに、返済期日に遅れば 1、遅れなければ 0 をとる変数 X

$$X = \begin{cases} 1 & (\text{delay}) \\ 0 & (\text{no delay}) \end{cases}$$

を考える。遅延確率は π であるので、 X の確率分布は

$$Pr\{X = x\} = \begin{cases} \pi & (x = 1) \\ 1 - \pi & (x = 0) \end{cases} \quad (2)$$

となる。 X は確率変数であるが x は実現値である。さらに式 (2) を

$$p(x|\pi) \equiv Pr\{X = x\}$$

と書き直すと、 $p(x|\pi)$ が x の関数となる。 $p(x|\pi)$ はベイズの定理における借り手の尤度に相当するが、本論文では、この $p(x|\pi)$ に借り手が所属するグループの確率分布を任意の割合で混合した分布 Pr_{group} を加えた次の式を尤度とする。

$$l(\pi|x) = p(x|\pi) \cdot Pr_{group} \quad (3)$$

混合分布 Pr_{group} に関しては、

$$Pr_{group} = \sum_{k=1}^N w_k Pr_k \quad \left(\sum_{k=1}^N w_k = 1 \right) \quad (4)$$

となる。N は借り手の所属グループ数である。 w_k は重みである。 Pr_k は借り手が所属するグループの返済遅延の確率分布である。式 (4) では所属グループごとに重要度を決め、混合分布を作成している。

2.3 グループの混合分布の具体例

混合分布の例を示す。今、一人の借り手が A, B, そして C の 3 つのグループに所属しているとす。グループ A, B, C の返済遅延の確率分布をそれぞれ N_A , N_B , N_C として定義し、重要度の比率を $N_A : N_B : N_C$ とすると、グループ全体の混合分布は式 (5) のようになる。

$$Pr_{group} = \frac{N_A}{N} Pr_A + \frac{N_B}{N} Pr_B + \frac{N_C}{N} Pr_C \quad (5)$$

ただし、 $N = N_A + N_B + N_C$ である。例えば、 $N_A : N_B : N_C = 5 : 3 : 2$ の場合、

$$Pr_{group} = \frac{5}{10} Pr_A + \frac{3}{10} Pr_B + \frac{2}{10} Pr_C \quad (6)$$

となる。この Pr_{group} が尤度の一部として用いられる。

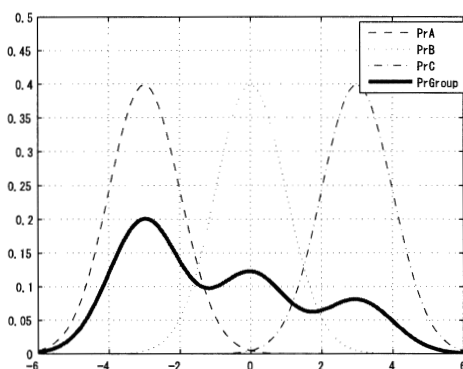


図1 確率分布の混合

図1は $Pr_A \sim N(-3, 1)$, $Pr_B \sim N(0, 1)$, $Pr_C \sim N(3, 1)$ の確率分布と、それらの混合分布である Pr_{group} を示している。 $Pr_n \sim N(\mu, \sigma)$ は、関数 Pr_n が平均 μ 、標準偏差 σ の正規分布に従う確率分布であることを意味する。太い線で示された関数は、式 (6) の Pr_{group} である。関数 Pr_{group} が Pr_A , Pr_B , そして Pr_C の混合分布となる。式 (6) が示すように、 Pr_{group} は Pr_A の影響を最も受けており、2 番目に Pr_B の影響を受け、 Pr_C の影響が最も少なくなっている。

2.4 ベイズ推定を用いた借り手の利率修正

式 (3) で定義した尤度を用いて、借り手の利率を調整するステップを示す。このステップは、以下の 4 つのステップからなる。

【Step1: 事後分布の計算】式 (3) の尤度を用いて、借

り手の返済履歴から事後分布を計算する。計算式は式 (7) のようになる。

$$p(\pi|x) = K \cdot l(\pi|x)p(\pi) \quad (7)$$

ここで、 x は観測された事象である。 $p(\pi)$ は事前分布である。 K は基準化定数である。確率の公理より、すべての起こりうる確率の総和は 1 となるので、式 (7) の K には、次の式 (8) を満たす値が設定される。

$$\int_0^1 K \cdot l(\pi|x)p(\pi)d\pi = 1 \quad (8)$$

【Step2: 予測遅延確率の計算】Step1 で計算した事後分布を用いて予測遅延確率を導出する。予測遅延確率は事後分布の期待値であるので、求める遅延確率 $Prob$ は、式 (9) のようになる。

$$Prob = \int_0^1 \pi p(\pi|x)d\pi \quad (9)$$

【Step3: 妥当な利率を計算】Step2 で求めた予測遅延確率を元に、借り手の利率を計算する。それぞれの利率ごとに平均遅延確率があるため、Step2 で求めた予測遅延確率が最も近い遅延確率を持つ利率を、借り手の妥当な利率とする。

【Step4: 利率の調整】Step3 で求めた利率と、現在の借り手の利率を比較する。Step3 で求めた利率が現在の利率よりも 1 利率単位分以上大きい場合は、利率を 1 利率単位分上げる。Step3 で求めた利率が現在の利率よりも 1 利率単位分以上小さい場合は、利率を 1 利率単位分下げる。1 利率単位とは、2.5 で述べる利率幅のことである。既に利率が最大(最小)でこれ以上利率を上げられない(下げられない)場合に関しては何もしない。

図2は、利率調整までの主な計算の流れである。[事前の知識] は事前分布を決定するために用いられる情報である。事前の知識は一回目のベイズ更新のためだけに用いられる。今回の実験では、事前の知識は無情報としている。そのため、一様分布が事前分布として用いられる。一様分布は、しばしば無情報を表現するために用いられる。事前分布は、ベイズの定理により更新される前の確率分布である。事前分布に関しては、2 回目以降は、前回のベイズ更新で取得された事後分布が事前分布として用いられる。一回目は先に述べたように、一様分布が設定される。[借り手の返済履歴]

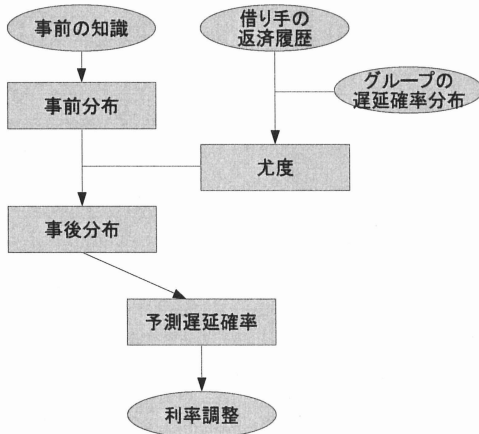


図2 利率調整処理までの流れ

には、借り手の10回分の返済履歴が設定される。たとえば、[1,0,1,1,0,0,0,0,0,1]となる。[グループの遅延確率分布]は、借り手が所属するグループの返済遅延の確率分布である。尤度は、式(3)にあるように、借り手自身の返済遅延の確率分布とグループの返済遅延の確率分布をかけた値である。事後分布は、上述の事前分布と尤度を用いて計算される。具体的な式は式(7)である。[予測遅延確率]は、式(9)のProbの部分に該当する。そしてProbが決定された後、利率調整が行われる。以上が図2の流れである。

2.5 利率修正アルゴリズム

今回の実験に適用する利率の範囲は、簡単化のため10段階とする。利率幅は1%単位とする。最低利率を1%とし、次に2%、3%、…、10%とする。最大利率は10%である。一般的には借り手の返済遅延確率が高いほど、借り手の利率は高くなる。例えば、遅延確率が10%の借り手の利率は1%、遅延確率が20%の借り手の利率は2%となる。

2.4で示した利率調整手法の詳細なアルゴリズムを示す。

1. procedure rate_adjustment(BorrowerAgent)
2. post = PostDistribution(BorrowerAgent)
3. predictedProb = PredictProb(post)
4. properRate
5. = GetProperInterest(predictedProb)
6. step = 0.1
7. if properRate > currentInterest+step

8. IncreaseInterest(BorrowerAgent)
9. else
10. if currentInterest-step > properRate
11. DecreaseInterest(BorrowerAgent)
12. end
13. return

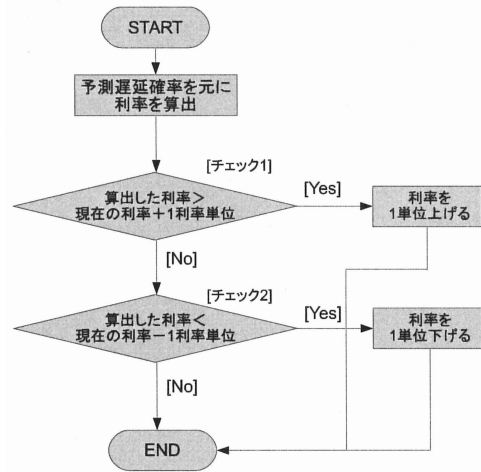


図3 利率調整の流れ

図3は、利率調整機構の流れを示している。Startから始まり、[予測遅延確率を元に利率を算出]のところで借り手の利率をベイズの定理を用いて計算する。そして1つ目の条件分岐節にてもし算出した利率が、現在の借り手の利率に1利率単位を足した数値より大きければ利率を1単位上げ、処理を終了する(チェック1)。もし算出した利率が、現在の借り手の利率に1利率単位を引いた数値より小さければ利率を1単位下げ、処理を終了する(チェック2)。上記二つのチェックに該当しなければ、現在の借り手の利率は妥当な利率として、何もせずに処理を終了する。予測した利率を借り手の利率として設定しない理由は、本稿では、調整前の利率は統計情報を利用して決定されると仮定しており、調整前に決定された利率は統計的に有効であると考えられ、大幅な利率の更新を避けるためである。

3. エージェントシミュレーション

本節では、エージェントシミュレーションを用いて

利率調整機構の特徴を示す [3]. 借り手エージェントと貸し手エージェントを複数生成し、マッチング処理を行うことにより、融資が成立するかどうかを調べる。借り手エージェントはランダムな遅延確率を持ち、その確率に従って返済遅延を発生する。貸し手エージェントはマッチングの際に借り手エージェントの返済履歴を確認し、各々の効用関数 (取引成立判定関数) に従って融資の可否を決定する。取引成立数が多くなればなるほど利率調整機構が機能していると考えられる。

貸し手のタイプはいろいろ考えられる。リスク回避型エージェント、リスク中立型エージェント、およびリスク愛好型エージェント等が貸し手のタイプとして挙げられる。それぞれのタイプは、後述する式 (10) におけるリスク拒否係数 λ が異なる。たとえば、リスク回避型は $\lambda = 1$ 、リスク中立型は $\lambda = 0$ 、リスク愛好型は $\lambda = -1$ となる。 λ が正の値ならば、リスクを拒否する傾向があり、 λ が負の値ならば、リスクを愛好する傾向がある。リスク拒否係数は、利率ごとの複数のエージェントの遅延確率の分散に係る係数である。議論の簡単化のため本稿でのシミュレーションでは、貸し手のタイプはリスク回避型のみを用いて実験をしている。

金融工学等では収益などのバラつき (分散) が大きい銘柄は一般にはリスクが大きいと考えられている [2]. 各利率における借り手エージェントの遅延率を収益として考えると投資対象の銘柄と同様の議論ができ、利率ごとの遅延率のバラつきをリスクとして考えることができる。貸し手エージェントの融資可否判定関数は

$$U = R - \lambda \sigma^2 \quad (10)$$

とする。 R は借り手の利率、 λ はリスク拒否係数、 σ^2 は遅延率の分散である。 U が正となれば、貸し手は融資を許可する。

4. 評価実験

4.1 実験設定

エージェントシミュレーションによって利率調整機構の効果を検証するために実験を行った。本実験では、ランダムに生成した遅延確率を内部に保持した借り手エージェントを生成し、それぞれ 10 回の返済をさせ、返済履歴を生成する。そして上述の返済処理を 15 回繰り返す。借り手エージェントの 10 回の返済が終了するごとに、貸し手エージェントは各々のリスク拒否係数をもとに、資金を借り手エージェントに貸与可能

かどうかを判定する。本実験では、以上の操作を貸し手エージェントのリスク拒否係数ごとに 100 回試行した結果の平均値をとる。本実験におけるパラメータは以下の通りである。

- 借り手のエージェント数 : 100
- 貸し手のエージェント数 : 100
- 利率の幅 0.01~0.10 (10 段階)
- 1 利率単位 : 0.01
- 借り手エージェントの遅延確率: {0.1, 0.2, ..., 0.9}
- 貸し手のリスク拒否係数 : 1

また、返済終了後に借り手の観測された返済履歴を元に利率を調整する。そして、利率調整後に利率ごとの遅延率の分散を計測する。本実験のためのプログラムは MATLAB R2008a で記述し、シミュレーションを Mac OS X Leopard 上で行った。

4.2 実験結果

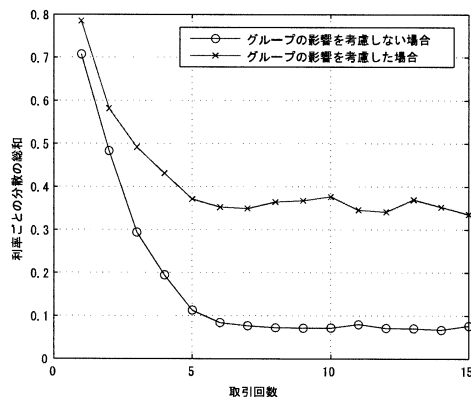


図 4 分散の比較

図 4 にグループの影響を考慮して利率の調整を行った場合とグループの影響を考慮せずに利率の調整を行った場合のグラフを示す。グラフの縦軸に、利率ごとのエージェントの返済遅延率の分散の総和を示す。グラフの横軸に、取引回数を示す。グループの影響を考慮する手法、しない手法ともに取引回数が増えるに従って利率ごとの分散の総和が小さくなった。分散の総和が小さくなる理由は、調整した利率が借り手の持つ返済遅延率に見合った利率に近づいていることを示している。グループの影響を考慮した場合はしない場

合に比べて分散の減り具合が小さいが、これはグループの返済履歴の影響を受けて利率が調整されるためと考えられる。

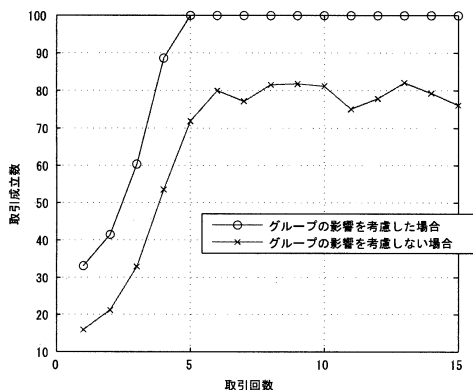


図5 取引成立数の比較

図5に取引成立数の比較を行ったグラフを示す。グラフはそれぞれ、グループの影響を考慮して利率の調整を行った場合とグループの影響を考慮せずに利率の調整を行なった場合のグラフである。グラフの縦軸に、利率調整を行った場合の取引成立数を示す。グラフの横軸に、取引回数を示す。グループの影響を考慮する手法、しない手法ともに取引回数が増えるに従って取引成立数が増加した。取引成立数が増加した理由は、調整した利率の分散が取引回数が増えるにつれて小さくなっていることを示している。グループの影響を考慮した場合はしない場合に比べて取引成立数が少ないが、これはグループの返済履歴の影響を受けて利率が調整され、分散が減らないためと考えられる。図(4)と図(5)の実験結果から、ベイズ推定を用いて借り手の利率修正を行うことで、リスク回避型のエージェントに対しては取引成立数を増やすことが可能であることが分かった。実験結果から、グループの影響を考慮した場合は考慮しない場合と比べて調整機構が機能していないが、グループの影響を考慮して利率更新することにより、借り手に連帯責任を負わせ、返済遅延率の改善につながるメカニズムに応用することが可能となる。たとえば、グループの影響を考慮して利率更新をさせると同時にグループ内で返済成績の悪い借り手に何らかのペナルティを与えるメカニズムが挙げられる。

5. 関連研究

5.1 借り手がグループに所属することの影響

ソーシャルレンディングの前身として、飢饉に苦しむ農民を救済するために1983年にバングラディッシュで設立されたグラミン銀行[4]がある。従来の常識では、比較的貧しい国で金融を行うことは不可能だと考えられていた。しかし、グラミン銀行は無担保で年利20%近くという高金利であるにもかかわらず、返済率は98.9%と、通常の銀行と比べても遜色のないレベルを保っている。グラミン銀行の仕組みは既存の銀行とは違い、借り手の返済能力を土地などの担保ではなく、仲間からの信頼で測る。顧客5人による互助グループをつくり、それぞれが他の4人の返済を助ける仕組みである。グループのうち誰かの返済が滞ると、他のメンバーが代わって返済する責任を負い、債務不履行が起こると、そのグループに所属する者は二度と融資を受けられない。期限通りに返済すれば、より多額の融資を受けられるようになる。借り手に共同の責任を意識させるという点では、PROSPERの借り手をグループに所属させるシステムも同じメカニズムとなっている。本節では、借り手が特定のグループに所属した場合、借り手の返済行為にどのような影響が及ぶかについて考察する。

5.2 ゲーム理論による定式化

簡単のため、グループには2人(借り手Aと借り手B)しか所属しておらず、グループを脱退することもないと仮定すると、無限繰り返しゲーム[11]による定式化が可能となる。Aが返済に遅延した場合、貸し手はグループ全体を低く評価するため、BはAの返済遅延による迷惑を被る。同様に、Bが返済に遅延した場合もAが迷惑を被ることになる。A、B共に返済に遅延した場合、双方が相手の遅延による迷惑を被るため、両者痛み分けとなる。A、B共に返済に遅延しなかった場合、特に影響はない。この利得状況の一例を表にすると、図6のようになる。図6は、囚人のジレンマ・ゲーム[10]と呼ばれる。囚人のジレンマ・ゲームを一回限り行う場合は、戦略の組(遅延する、遅延する)がナッシュ均衡となり最適な反応の戦略となる。しかし、囚人のジレンマ・ゲームを繰り返す場合には、次の自分の行動が過去の相手の行動に影響を受けるため、最適な反応の戦略が異なってくることもある。

将来獲得できる利得を現時点での価値に直したものを利得の現在価値という[2]。一般的に、将来の利得

| | | | |
|------|---|--------|--------|
| | B | 返済する | 遅延する |
| A | | | |
| 返済する | | (3, 3) | (0, 5) |
| 遅延する | | (5, 0) | (1, 1) |

図6 返済ゲーム

は今から見ると価値が低くなる。そのため、将来の利得を現在の利得に直して考える場合、一定の割引を行わなければならない。割引率は γ で表される。ここで、相手がトリガー戦略 [11] を取った場合を考える。 t 期に A が「遅延する」に変えたとする、A の t 期利得は 5 に増える。しかし、B は $t-1$ 期に「遅延する」に変えるため、A の利得は最大でも 1 に減ってしまう。利得が増えるのは t 期のみであり、その後は元の利得より低い水準が続く。

現在を 0 期としてプレイヤー A が t 期に獲得できる利得を c_{At} とするとき、プレイヤー A の利得は

$$\sum_{t=0}^{\infty} \gamma_A^t c_{At} = c_{A0} + \gamma_A c_{A1} + \gamma_A^2 c_{A2} + \dots$$

となる。 k 期に裏切ったときのプレイヤー A の利得の現在価値の総計 V_{A1} は、

$$V_{A1} = 3 \sum_{t=0}^{k-1} \gamma_A^t + 5\gamma_A^k + \sum_{t=k+1}^{\infty} \gamma_A^t$$

一方、協力し続けたなら、利得の現在価値の総計 V_{A2} は、 V_{A1} と同様にして、

$$V_{A2} = 3 \sum_{t=0}^{k-1} \gamma_A^t + 3\gamma_A^k + 3 \sum_{t=k+1}^{\infty} \gamma_A^t$$

となる。プレイヤー A が裏切らないためには、 $V_{A2} > V_{A1}$ でなければならない。従って、

$$\begin{aligned} V_{A2} &> V_{A1} \\ \Leftrightarrow \gamma_A &> \frac{1}{2} \end{aligned}$$

となる。割引率 γ_A が $\gamma_A > 1/2$ を満たす場合は、途中で返済をやめるよりも返済し続けたほうが、より高い利得がもたらされる。 $1/2$ という水準には一般性が

ないが、一般的に、割引因子^(注3)の大きさが 1 にある程度近いときには、必ずトリガー戦略がナッシュ均衡になることが知られている。つまり、両者ともに返済し続ける方が、将来のことを考えると、お互いにとってメリットがある。

6. まとめと今後の課題

本論文では、ソーシャルレンディング分野における、グループに所属することの影響を考慮したベイズ推定による利率更新アルゴリズムの提案を行った。本手法により、借り手の返済履歴が多くなるほど利率ごとの返済遅延率のパラつきを少なくする利率決定が可能となる。その結果、利率ごとの返済遅延率の分散が少ないことを望むリスク回避型の貸し手に対しては、取引成立数を増やすことが可能であることがわかった。一般的に、貸し手はリスクを避ける傾向があるため、リスク回避型の貸し手の取引成立数を増やせる本手法は有効であると考えられる。また、本手法はグループの影響を考慮して利率更新をすることにより連帯責任を意識させ、サイト内全体の返済成績を向上させるようなメカニズムへの応用も可能であると考えられる。

文 献

- [1] Avner Greif. The Birth of Impersonal Exchange: The Community Responsibility System and Impartial Justice. <http://www.ifs.org.uk/conferences/greif3.pdf>.
- [2] David G. Luenberger. *Investment Science*. Oxford University Press, July 1997.
- [3] Gerhard Weiss. *Multiagent Systems*. The MIT Press, July 2000.
- [4] GRAMEEN BANK. <http://www.grameen-info.org/>, 1998.
- [5] LendingClub. <http://www.lendingclub.com/>, 2008.
- [6] Prosper. <http://www.prosper.com/>, 2008.
- [7] Rajdeep K. Dash, Nicholas R. Jennings, and David C. Parks. *Computational-Mechanism Design: A Call to Arms*, Vol. 18. IEEE Intelligent Systems, 2003.
- [8] Zopa UK. <http://uk.zopa.com/ZopaWeb/>, 2007.
- [9] Zopa US. <https://us.zopa.com/> 2007.
- [10] 岡田 章. ゲーム理論. 有斐閣.
- [11] 佐々木宏夫. 入門 ゲーム理論. 日本評論社.
- [12] 繁榎算男. ベイズ統計入門. 東京大学出版会.

(注3)：割引因子が 1 に近い者は、現在だけでなく将来も重視していると考えられる。お金を借りる者にとって最も避けたいことは、次の機会にお金が借りられないことである。従って、割引因子が $1/2$ 以上という仮定は妥当であると考えられる。