

# ABMによるシステミックリスクに関する研究

○朱子源 Chang Shuang 出口弘 (東京工業大学)

## Research for analyzing systemic risk by ABM

\* Z.Zhu, S.Chang and H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology)

**概要**— 本研究では、証券化に基づく原債務～原債権～オフバランス証券～CDO～CDSの連鎖をエージェントベースモデリング手法で、世界的クレジットクランチに至るメカニズムの会計取引と会計状態の変化として把握し、リスク伝播の回路を明らかにすること、バブル形成及びCDS契約に関する仕組みがリスクを増幅する効果を分析することより、証券化がシステムにもたらす不安定性の解明をした。

**キーワード:** エージェントベースモデリング, システミックリスク, 証券化

## 1 研究背景と目的

### 1.1 研究背景

システミックリスクとは、「個別の金融機関の支払不能等や、特定の市場または決済システム等の機能不全が、他の金融機関、他の市場、または金融システム全体に波及するリスクのこと」<sup>2)</sup>。システミックリスクは稀に起こるが、一旦発生すると、経済システムに致命的なダメージを与える。例えば、2008年米国における住宅バブルの崩壊をきっかけとして、大手投資銀行であるリーマンブラザーズが倒産した後、深刻な金融危機が発生し、世界GDP成長率は約6パーセント下落した。

米国住宅バブルの崩壊が世界的金融危機に至った要因に関して、経済産業省(2009)<sup>2)</sup>は三点をあげた。一つ目は金融機関バランスシート構造の不安定化である。欧米大手金融機関は預金を中心に調達した資金を貸出しに充てるといふ彼らの伝統的なビジネスモデルから証券化ビジネスへ重心をおき、償還までの期間が長く流動性の低い証券化商品の保有割合の上昇は償還期間の短い資金で購入することにより金融機関バランスシートの期間構造を極めて不安定なものへと変化させた。二つ目は格付会社による証券化商品の格付の大幅な引下げである。米国の住宅バブル崩壊が、世界的な信用収縮をきっかけで、証券化商品の格付が突然、大幅に引下げられた。三つ目は市場の相互不信を高めるCDSである。CDS取引想定元本は2008年6月末で54.6兆ドルと、2007年の世界GDPに相当する規模までに積み上がった。特にCDOに関する契約が多く結んで、CDSの売手が債務不履行を起こすなど、取引先が破たんして損害が発生するリスクはリーマンブラザーズ倒産後一気に高まり、CDS市場が大きなダメージを受けた。

### 1.2 研究目的

以上の金融危機の形成に関する要因をまとめると、いずれも証券化と深くリンクすることがわかる。しかし、こういう分野での研究は定性的分析また損失分布に関わる数理モデルでの解析がほとんどで、証券化によるリスク伝播のメカニズムと会計的解析がまだ明らかにしていないと言われる。本研究では、証券化に基づく原債務～原債権～オフバランス証券～CDO～CDSの連鎖をエージェントベースモデリング手法で、

世界的クレジットクランチに至るメカニズムの会計取引と会計状態の変化として把握し、リスク伝播の回路を明らかにすること、バブル形成及びCDS契約に関する仕組みがリスクを増幅する効果を分析することより、証券化がシステムにもたらす不安定性の解明を目的としている。

## 2 先行研究

朱(2019)<sup>5)</sup>は山田(2018)<sup>3)</sup>の複式簿記を記録する会計情報に着目するモデルベースにして、藤井・竹本<sup>4)</sup>のRMBS優先劣後に関する損失計算仕組みを参照し、エージェントの数を大幅に増加して、取引関係をランダムにして、より現実の複雑な経済システムに近いモデル環境を構築した。その上、自己資本充実度と証券化の特性解明を試みようとした。朱はダブルエントリーの会計方式を使っているが、減損処理手続を踏まず直接内部留保を変更することなど完璧に複式簿記のやり方に従う会計システムを構築していない。また、シミュレーションのシナリオに関して、全てのエージェントが直接に不動産価格の下落による減損会計処理フェーズに入るので、市場におけるエージェント間のリスク商品に関する組成・転売活動を考慮していない。

本研究では、朱のモデルをベースにし、任意の取引に対して、仕訳処理～振替処理～期中フロー計算～バランスシートの更新という複式簿記の流れに厳密に従う会計システムを構築した。また、IMF(2008)<sup>6)</sup>、経済産業省(2009)<sup>2)</sup>などが発表された金融危機に関するレポートを参照し、各ステークホルダーが証券化商品に関する意思決定を抽出し、モデル化し、エージェントに付与することにより、リスク商品に関する組成・転売活動や融資活動のある市場環境を構築し、バブル形成が動的に還元できるようになった。さらに、RMBS以外に、CDO、CDSなどの証券化取引に関するクレジット・デリバティブをモデルに導入することにより、証券化の仕組みを補完した。

## 3 モデル

### 3.1 全体像

サブプライムローン原債権の証券化によるバブルの形成のロジックはFig. 1で示されている。個人債務者、ローン会社、金融機関、機関投資者間の証券化商品に関する取引活動により原債務～原債権～RMBS～CDO～CDSの連鎖が生じる。

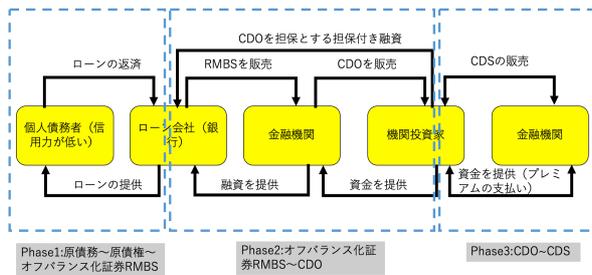


Fig. 1: 市場構成

Phase1は個人債務者とローン会社のインタラクションにより原債務～原債権～オフバランス化証券RMBSというサイクルが生じる。価格上昇の勢いが止まらない不動産市場が有力なサポートだと認識され、信用力の低い人も簡単に住宅ローンを借り入れられ、それに応じてローン会社のリスク資産も増える。リスク資産である住宅ローン債権をパッケージアップし元本の償還順位を付与するトランシェ分けの手法を用い高格付けの商品に変身し投資家に販売されるところにより、オフバランス化ができる。自己資本の効率化を図るローン会社はRMBSの発行を夢中になるのはこういうわけである。

RMBSはトランシェ分けされた商品で、高格付けの部分は投資家に好ましいが、残りのリスク高い部分はなかなか人気がない。こういう部分の販売も促進するため、金融機関が新たな金融商品であるCDOを作り出した。複数のローン会社からRMBSの低格付け部分(メザニン層がメイン)を集計しプールを作り、もう一度トランシェ分けし、投資家が望む高格付けの部分を生み出すことが可能になる。このような再証券化商品が高格付け一方、利回りも同格の社債や国債より高いので、一気に投資家の中でブームになった。購入したCDOを担保に短期金融市場で資金を調達し、その資金で新たに金融機関からCDOを購入する投資家も増えた。オフバランス化をしたいローン会社、マーケットメーカーである金融機関、安全で高収益を求める機関投資家はPhase2でwin-win-winの関係を築いた。

CDOの市場規模が大きくなり、機関投資家の中でリスクヘッジの手段に関する要請が多くなる一方、金融機関も自分がCDOを保有しているので、そのリスクウェートを軽減し、BIS規制による自己資本基準を満たすというインセンティブで、CDSという金融商品が誕生した。CDSを買うことにより、CDOの信用リスクをヘッジしたい機関投資家や自己資本の効率化を狙う金融機関は目的を達成することができるので、機関投資家と金融機関が参入するPhase3が現れた。

バブルはいずれか崩壊する。世界的な信用収縮による破綻連鎖の流れは以下となる。まず、Phase1でサブプライムローンをゆるい基準で大量に発行したので、原債務者の破産イベントが多発する。続いて、RMBS自体が原債務者の破綻や債務不履行の影響で格付け評価が下がり、市場評価も下がりRMBSに評価損がでる。CDOもphase2で同じロジックで評価損が生じる。最後に、CDOに関するクレジットイベントが発生するので、phase3でCDSの買い手が売り手に損失額の償還を

求める。しかし、大量なCDS売手の持つ資産は償還金を埋めるのに足りなく、債務不履行を起こし、取引先が破綻して損害が発生する「カウンターパーティリスク」によりCDS契約を介して数多くの倒産連鎖を起こす。

### 3.2 エージェントの内部情報

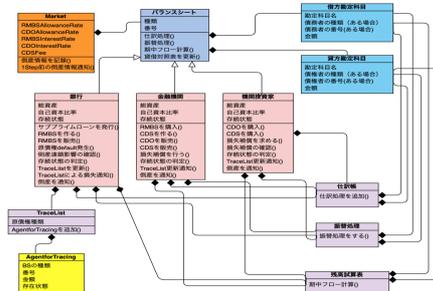


Fig. 2: クラス図

このモデルに取り入れるステークホルダーとしてのエージェントは銀行(ローン会社)、金融機関、機関投資家の三種類とする。個人債務者は会計状態の把握が難しいゆえこのモデルにおいて省略し、サブプライムローンの貸し出しや破産イベントを単純に銀行がサブプライムローン債権の発行と原債権価値の下落として表現する。

本論文では、各取引主体の会計情報に着目し、各エージェントがバブル形成過程におけるリスク商品の組成、転売などの活動とバブル崩壊後システムリスクの伝播による会計状態の変化を把握するため、複式簿記の手法で各取引を記録し、バランスシートでその影響を反映させる。内部情報はバランスシートに格納される勘定科目とそれに対応する数値、また勘定科目を組み合わせたパラメータによって構成される。Fig. 2はエージェント全体の内部情報の構成を表している。

#### 3.2.1 バランスシート

各ステークホルダーは一定時点での財政状態を明らかにする決算書の一種であるバランスシートを持つ。バランスシートには、資産の部(借方勘定科目に属する)、負債の部(貸方勘定科目に属する)、純資産の部(貸方勘定科目に属する)の3つの箱が存在する。バランスシートを成立させるため借方と貸方の金額が同額である。本モデルにおいて、資産の部をリスク資産と安全資産に分けて分析する。

#### 3.2.2 バランスシートのリスク資産の部に属する各種の勘定科目

##### 3.2.2.1 貸付金

貸付金とは、貸し付けた金銭のことを指す。本モデルにおいて利息は0とする。リスク資産の部に属する。

##### 3.2.2.2 サブプライムローン原債権

サブプライムローン原債権とは、信用力の低い個人

債務者が銀行から組んだローンに関する債権で、証券化商品の源泉となる。リスク資産の部に属する。

### 3.2.2.3 RMBS

住宅ローン担保証券 RMBS (Residential Mortgage Backed Securities) とは、資産担保証券の一種で、住宅ローン債権から構成されるポートフォリオを裏付資産として発行される有価証券のことである<sup>7)</sup>。元本償還の優先順位を作り、シニア (高)、メザニン (中)、エクイティ (低) という三つのトランシェに分けて構成される。リスク資産の部に属する。

### 3.2.2.4 CDO(CDSでリスクヘッジしていないもしくはCDSの信用力を失う)

CDO (Collateralized Debt Obligation) 日本語では債務担保証券とは、社債や貸出債権 (ローン) などの資産を担保として発行される資産担保証券の一種で、証券化商品である<sup>8)</sup>。元本償還の優先順位を作り、シニア (高)、メザニン (中)、エクイティ (低) という三つのトランシェに分けて構成される。本モデルにおいて、CDSでリスクヘッジしていないもしくはCDSの信用力を失う場合、CDOはリスク資産の部に属する。

### 3.2.2.5 CDS Protection

CDSとは、クレジット・デリバティブの一種で、企業の債務不履行にともなうリスクを対象にした金融派生商品である<sup>9)</sup>。契約の有効期間において、プロテクションの買い手が売手にプレミアムを支払う。もし参照企業にクレジットイベントが発生したら、プロテクションの売手が買い手に損失額を支払う。本モデルにおいて、CDSの買い手が保有するCDS Protectionはリスク資産の部に属する。

## 3.2.3 バランスシートの安全資産の部に属する各種の勘定科目

### 3.2.3.1 現金

現金通貨のことを指す。安全資産の部に属する。

### 3.2.3.2 CDO(CDSでリスクヘッジしているかつCDSの信用力がある)

CDOに関する定義は3.2.2.4節と同じだが、本モデルにおいて、CDSでリスクヘッジしているかつCDSの信用力がある場合、CDOは安全資産の部に属する。

## 3.2.4 バランスシートの負債の部に属する各種の勘定科目

### 3.2.4.1 借入金

借入金とは、借り入れたお金を指す。本モデルにおいて利息は0とする。負債の部に属する。

### 3.2.4.2 CDS Protection

CDSに関する定義は3.2.2.5節と同じで、しかし、本

モデルにおいて、CDSの売手が保有するCDS Protectionは負債の部に属する。

### 3.2.4.2 貸倒引当金

貸倒引当金とは取引先が倒産に陥り、支払い不能となった状態などに備えて、事前に損失額を予測して計上しておく引当金を指す。本モデルにおいて、RMBS, CDO (CDSでリスクヘッジしていないもしくはCDSの信用力を失う)を保有する時、市場の決められた比率で貸倒引当金を積む必要がある。負債の部に属する。

## 3.2.5 バランスシートの純資産の部に属する各種の勘定科目

### 3.2.5.1 内部留保

内部留保とは企業が生み出した利益から税金や配当などの社外流出分を差し引いたお金で、社内に蓄積されたものを指す。純資産の部に属する。

## 3.2.6 勘定科目を組み合わせたパラメータ

### 3.2.6.1 総資産

総資産は、企業の全ての資産を合算したものを指す。本モデルにおいて、総資産 = バランスシートの資産の部に属する全ての勘定科目の金額の和。

### 3.2.6.2 自己資本比率

1.銀行の自己資本比率(バーゼル基準)を以下のように定義する: 銀行の自己資本比率 = (普通株式等 Tier1 + その他 Tier2 + Tier2) / {リスクアセット \* (1-リスクウェイト)}。普通株式等 Tier1 は内部留保のみを要素に持つ。その他 Tier1, Tier2 については本モデルでは考えない。また、リスクアセットを価格変動リスクのある資産(リスク資産の総額)と定義する。リスクウェイトは全て 0 とする。本モデルにおいては、銀行の自己資本比率 = 内部留保 / リスク資産の部に属する全ての勘定科目の金額の和。

2.金融機関と機関投資家の自己資本比率の計算方法は以下である。自己資本比率 = 自己資本 / (全ての借入金(他人資本)の和 + 内部留保 + 自己資本)。本モデルにおいては、金融機関(機関投資家)自己資本比率 = 内部留保 / 総資産。

## 3.2.7 エージェントの内部情報

どのエージェントにもバランスシート、総資産、自己資本比率という三つの会計情報を持つ。各種の取引によりエージェントの内部情報を変更させる。変更の仕組みに関する詳細は3.3節で紹介する。

## 3.3 モデルの内部環境

モデルでの時間 Step={0, 1, ...}とする。各エージェントは、1 ステップごとに時系列に内部情報を更新する。各エージェントの存続状態={存続, デフォルト}

とする。自己資本比率が一回目に一定の数値以下になった場合の状態(銀行が 0.2 で、金融機関と機関投資家は 0 とする)をデフォルトと定義し、以降そのエージェントの取引は行わない。その際、デフォルトとなったエージェントへの債権(貸付金)の他のエージェントのバランスシートの回収率(本モデルは 0 とする)に応じて減少し、特に債権に関する担保がある時、担保を差し押さえる取引が発生する。また、任意の CDS の売手がデフォルトになり、CDS に関する損失補償の不履行が発生した以降、CDS の信用力を失うとし、CDS 契約で守られている CDO もリスク資産と扱うようにする。

本モデルにおいて、ダブルエントリーの簿記方式を採用する。1Step は一つの決済期間とし、Step の開始段階は期首として、Step の終末段階は期末とする。エージェントのステップごとのバランスシートの更新方式は、まず各取引を仕訳し、仕訳帳に記録する。決算整理仕訳が終わった後、各 Step の仕訳帳に基づき、振替処理表を参照し、収益と費用を損益勘定に振り替える。次に、各 Step の仕訳帳と振替処理に基づき、期中フローに関する情報を記録する。最後は、各 Step の期首貸借対照表と残高試算表を整合し、終末段階でのバランスシートの情報を期末貸借対照表で反映させる。

### 3.3.1 証券化商品の追跡に関して

各銀行が自己保有のサブプライムローン原債権を証券化した際に、証券化商品に関する組成・転売活動によるリスク資産のあり方の変化と移転経路を TraceList により記録する。証券化商品を組成する度に存在形式、元本の償還順位などの情報に関して TraceList で更新し、証券化商品を転売する度に持ち主情報に関して TraceList で更新する。原債権に関するクレジットイベントが発生する時、原債権に関する TraceList の情報に従い各保有者に損失額を通知する。

### 3.3.2 証券化商品の組成に関する取引

#### 3.3.2.1 サブプライムローンの発行

銀行が信用力の低い個人債務者にローンを提供し、こういう取引から生じる原債権は証券化商品の元となる。ただし、本モデルにおいて個人債務者エージェントを取り入れないので、サブプライムローンの発行は銀行エージェント内部で原債権と現金の振替で表す。

#### 3.3.2.2 RMBS の組成

銀行は保有するサブプライムローン原債権を一定の比率でシニア層、メザニン層、エクイティ層にトランシェ分けをし、RMBS を作る。本モデルにおいて、それぞれのトランシェが占める比率を 0.1, 0.8, 0.1 とする。市場基準に基づき、RMBS 貸倒引当金を積む。

#### 3.3.2.2 CDO の組成

金融機関は集計したメザニン RMBS をプールとして一定の比率でシニア層、メザニン層、エクイティ層にトランシェ分けをし、CDO を作る。本モデルにおいて、それぞれのトランシェが占める比率を 0.7, 0.2, 0.1

とする。市場基準に基づき、CDO 貸倒引当金を積む。

### 3.3.3 証券化商品の転売に関する取引

#### 3.3.3.1 RMBS の転売

金融機関が銀行から投資適格 RMBS(シニア層とメザニン層)を購入する。金融機関が RMBS 利子収入を受け取る。ただし、本モデルにおいて RMBS 利率を 0 とする。また、買主・売主の双方が RMBS 貸倒引当金の繰入や戻入をする。

#### 3.3.3.2 CDO の転売

機関投資家が金融機関から投資適格 CDO(シニア層とメザニン層)を購入する。金融機関が CDO 利子収入を受け取る。ただし、本モデルにおいて CDO 利率を 0 とする。また、買主・売主の双方が CDO 貸倒引当金の繰入や戻入をする。

#### 3.3.4 CDS 契約の結びに関する取引

機関投資家は保有する投資適格 CDO のリスクをヘッジしたいため、金融機関と CDS 契約を結ぶ。CDS の買手が売手にプレミアムを支払う。CDS の信用を失わない場合、CDS 契約で守られる CDO は安全資産として扱い、貸倒引当金を積む必要がなくなる。

#### 3.3.5 CDO 担保付き融資に関する取引

機関投資家は新たに CDO を買う資金を調達するため、保有する CDO を担保として銀行から融資をする。ただし、本モデルにおいて融資利率を 0 とする。

#### 3.3.6 クレジットイベント発生以降の各種会計処理

##### 3.3.6.1 クレジットイベントの発生

証券化商品の元となるサブプライムローン原債権にクレジットイベントが発生する時、TraceList により損失の金額を算出し、各相関エージェントに損失情報を通知する。また、クレジットイベントの影響で各証券化商品の格付けが下がり、貸倒引当金比率が上昇する。損失を被る CDS の買手が CDS の売手に損失補償を求める。

##### 3.3.6.2 CDS 契約に関する損失補償及び担保の差し押さえ

クレジットイベントの発生は Step  $t$  とすると、Step  $t+1$  において CDS 契約に関する損失補償及び担保の差し押さえは次ぐ。CDS 買手の保有する CDO が損失を被る時、CDS 売手が倒産しない限り、CDS 売手から損失補償を受け取る。担保付き取引における融資先が倒産した場合、出資先が融資先から担保となる資産を差し押さえる。また、Step  $t$  で任意の CDS の売手がデフォルトになり、CDS に関する損失補償の不履行が発生した場合、CDS の信用力を失うとし、Step  $t+1$  以降 CDS 契約で守られている CDO もリスク資産と扱うようにし、貸倒引当金を積む必要が生じる。

### 3.3.6.3 倒産連鎖の繰り返し

クレジットイベントの発生は Step  $t$  とすると, Step  $t+1$  において CDS 契約に関する損失補償及び担保の差し押さえは発生し, Step  $t+2$  以降は銀行間の倒産連鎖影響の確認フェーズに入り, 前 Step の倒産したエージェントから貸付金の回収不能は悪影響の源泉となる.

## 4 シミュレーションと考察

本研究では, バブルの膨らみかつ CDS の存在しない基準シナリオ, CDO 担保付き融資によるバブル形成アルゴリズムの入るシナリオ 1 と CDS 契約の保護が入るシナリオ 2 に分けて, 小規模エージェント間でシミュレーションをし, 各エージェントの自己資本比率の遷移とその原因に着目し, モデルに対してそれらがどのような影響を及ぼすかを考察する.

### 4.1 シミュレーション環境設定

#### 4.1.1 市場環境に取り入れるエージェント

エージェントの数は銀行 3, 金融機関 2, 機関投資家 3 とする. それぞれの銀行のエージェントを銀行 0, 銀行 1, 銀行 2, 金融機関のエージェントを金融機関 0, 金融機関 1, 機関投資家のエージェントを機関投資家 0, 機関投資家 1, 機関投資家 2 と表す.

#### 4.1.2 エージェント同士の関係

エージェント同士には金銭の貸出もしくは担保付融資に関する貸し出し関係と証券化商品に関する売買関係という二つの取引関係が存在する. 全ての取引は取引関係のあるエージェント間だけで発生する.

#### 4.1.3 クレジットイベントに関して

ある Step においてサブプライムローン原債権にデフォルトが生じて, サブプライムローン原債権に関連する証券化商品に評価損が出る. 本モデルでは, 全ての銀行エージェントの保有する全てのサブプライムローン原債権が同一時点で同じデフォルト比率 DefaultRate で価値減損を被るとする.

#### 4.1.4 エージェントの意思決定モデル

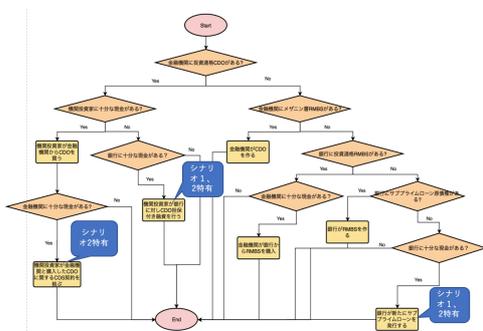


Fig. 3: 意思決定モデル

各エージェントはクレジットイベントが発生する Step までシナリオごとの意思決定モデル(Fig. 3)に従い証券化商品の組成・転売などの行動をとり, 市場で

様々な取引を発生させる. クレジットイベントが発生する Step 以降, 全てのエージェントが証券化商品の組成・転売に関する行動を止めるとする.

### 4.1.5 市場環境に関する各種パラメータ

Table 1: 市場環境に関する各種パラメータ

パラメータ	意味	数値
ResposeRate	倒産したエージェントに対する債権の回収率	0
RMBSAllowanceRate	クレジットイベント発生する前の RMBS 資産に対する貸倒引当金比率	0.1
	小さいクレジットイベント発生した後の RMBS 資産に対する貸倒引当金比率	0.2
	やや大きいクレジットイベント発生した後の RMBS 資産に対する貸倒引当金比率	0.4
	大きいクレジットイベント発生した後の RMBS 資産に対する貸倒引当金比率	0.5
RMBSInterestRate	RMBS 資産の転売に関する利率	0
CDOAllowanceRate	クレジットイベント発生する前の CDO 資産に対する貸倒引当金比率	0.1
	小さいクレジットイベント発生した後の CDO 資産に対する貸倒引当金比率	0.2
	やや大きいクレジットイベント発生した後の CDO 資産に対する貸倒引当金比率	0.4
	大きいクレジットイベント発生した後の CDO 資産に対する貸倒引当金比率	0.5
CDOInterestRate	CDO 資産の転売に関する利率	0
CDSFee	CDS のプレミアム (元本に対する比率)	0.05
LoanInterestRate	お金の貸出に関する利率	0

### 4.1.5 シミュレーションシナリオとケース

Table 2: シミュレーションシナリオとケース

シナリオの特徴	DefaultRate
バブルの膨らみかつ CDS の仕組みが存在しない基準シナリオ	0.1
	0.25
	0.4
CDO 担保付き融資によるバブル形成アルゴリズムの入るシナリオ 1	0.1
	0.25
	0.4
CDS 契約の仕組みが入るシナリオ 2	0.1
	0.25
	0.4

本研究では, 三つのシナリオに分け, 異なる規模のクレジットイベントにおけるリスクがもたらす影響をそれぞれ分析し, そしてケースごとの結果を比較しながらリスクに関する増幅効果の考察をする.

### 4.2 基準シナリオ

Step={0, ..., 9}で, Step5 でクレジットイベントが発生するとする.

#### 4.2.1 小さいクレジットイベントが発生するケース (DefaultRate=0.1)

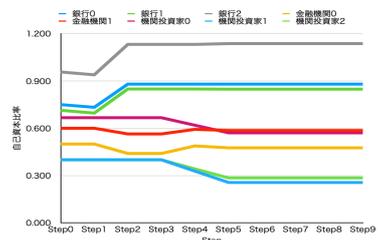


Fig. 4: 自己資本比率

Fig. 4 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す. クレジットイベントが発生する前, 銀行の自己資本比率が上昇し, 金融機関の自己資本比率が一回下落した後また回復し, 機関投資家の自己資本比率がある程度下落することを確認した. 銀行が証券化手法を通じてリスク資産のオフバランス化, 金融機関がリスク資産を購入, 転売という仲介機能の果たし, 機関投資家が CDO への投資で, これらの活動は各エージェントの保有するリスク資産の割合を変化させる. 自己資

本比率もそれに応じて連動するわけだ。

また、クレジットイベントが発生した後、市場における証券化関連資産のRMBSに評価損が生じる。全てのエージェントの自己資本比率が下がるが、破綻には至らない。DefaultRateが低いので、RMBSの劣後部分だけ損失が発生し、その持ち主である銀行のバランスシートに悪影響を与える。一方、クレジットイベントによる証券化商品の格付けの下りが証券化商品の買手である金融機関と機関投資家に対する貸倒引当金の追加もそれらの自己資本比率に影響するわけだ。

#### 4.2.2 やや大きいクレジットイベントが発生するケース(DefaultRate=0.25)

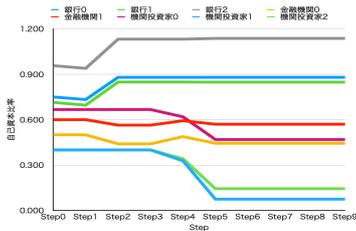


Fig. 5: 自己資本比率

Fig. 5 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前のロジックは4.2.1節と同じである。クレジットイベントが発生した後、市場における証券化関連資産のRMBSとCDOに評価損が生じる。自己資本比率の流れに関して、銀行は小さいクレジットイベントが発生するケースと同じく動いているが、金融機関と機関投資家はより低い状態に下落する。倒産現象は生じていない。DefaultRateの上昇によりRMBSエクイティ層だけでなく、CDOメザニン層まで損失の波及または貸倒引当金比率の上昇は金融機関と機関投資家のバランスシートに悪影響をもたらす理由である。

#### 4.2.3 大きいクレジットイベントが発生するケース(DefaultRate=0.4)

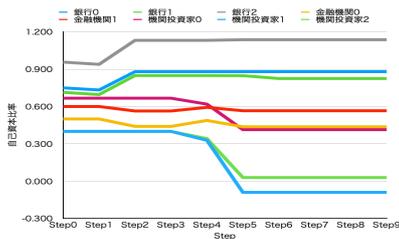


Fig. 6: 自己資本比率

Fig. 6 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前のロジックは4.2.1節と同じである。クレジットイベントが発生した後、市場における証券化関連資産のRMBSとCDOに評価損が生じる。自己資本比率の流れに関して、銀行0、銀行2は前のケースと変わらなく、銀行1と全ての金融機関、機関投資家の自己資本比率の悪化が明らかになる。機関投資家1が倒産することになった。DefaultRateの上昇により証券化商品損失の増加と貸倒引当金比率の上昇は金融機関と機関投資家にもたらす衝撃がエスカレーターする一方、Step6で銀行1が機関投

資家1の倒産のせいで貸付金の回収不能が自己資本比率を悪化させることも読み取れる。

### 4.3 シナリオ 1

ある程度バブルを膨らせるとする。Step={0, ..., 24}で、Step20でクレジットイベントが発生するとする。

#### 4.3.1 小さいクレジットイベントが発生するケース(DefaultRate=0.1)

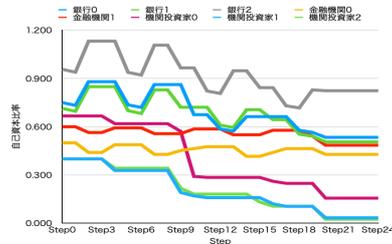


Fig. 7: 自己資本比率

Fig. 7 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前、各銀行エージェントの自己資本比率は下がったり上がったり、トレンドとして、だんだん右下に減少していく傾向が見える。各金融機関エージェントの自己資本比率はある程度の幅で振動し、緩やかに下がりつつあるが、ほとんど横ばいのように見える。各機関投資家エージェントの自己資本比率はずっと下落していくことしか見えない。すべてのエージェントの自己資本比率は基準シナリオと比べ低くなるどころが読み取れる。原因について分析する。基準シナリオにおける証券化関連資産総規模が6000に対し、シナリオ1でCDO担保付き融資と新たなサブプライムローンの発行によるバブルの形成は総規模を24000、基準シナリオの4倍まで膨らませる。その結果、より多くのリスク資産の分配から生じる貸倒引当金の増加は全てのエージェントの自己資本比率を圧縮している。銀行はリスク資産をオフバランス化する度に自己資本比率が上昇し、新たなローンの発行と機関投資家にお金を貸す度に自己資本比率が下落し、そして機関投資家に対する債権をオフバランス化しないゆえ、図示のようなトレンドになるわけだ。金融機関はマーケットメイキング行動と投資行動ともにやっているが、主業は仲介業務で投資額の割合が少ないので、自己資本比率が少し下落したが、ほとんど横ばいのように見えるわけだ。機関投資家は証券化商品の購入でリスク資産が増加することと担保付き融資をする時総資産が増加するが内部留保が変化していないことにより、自己資本比率の一方的減少しか生じないわけだ。

また、クレジットイベントが発生した後、市場におけるRMBSに評価損が生じる。倒産現象は生じていないが、基準シナリオと比べ、各エージェントはより低い自己資本比率まで下がった。バブルの形成により、市場における証券化関連資産総規模が大きいため損失も当然に大きくなるのが一つの原因である。これ以外、上記で説明した担保付き融資活動により各相関エージェントのリスク資産対総資産比率の上昇というバランスシート構造の不安定化にも関連すると考える。

### 4.3.2 やや大きいクレジットイベントが発生するケース (DefaultRate=0.25)

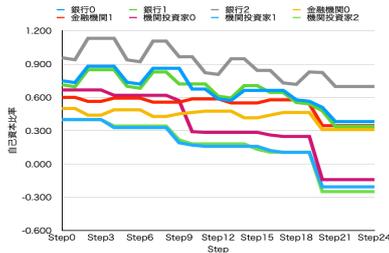


Fig. 8: 自己資本比率

Fig. 8 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前のロジックは4.3.1節と同じである。クレジットイベントが発生した後、市場におけるRMBSとCDOに評価損が生じる。基準シナリオと比べ、各エージェントはより低い自己資本比率まで下がり、全ての機関投資家が倒産した。銀行エージェントに関して、機関投資家に対する債権の回収不能かつ差し押さえた担保の価値減損による自己資本比率の著しい悪化が読み取れる。

### 4.3.3 大きいクレジットイベントが発生するケース (DefaultRate=0.4)

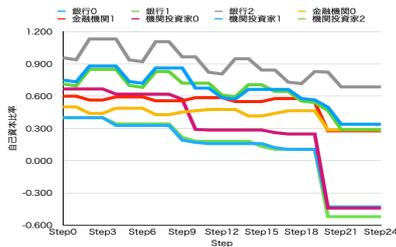


Fig. 9: 自己資本比率

Fig. 9 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前のロジックは4.3.1節と同じである。クレジットイベントが発生した後、市場におけるRMBSとCDOに評価損が生じる。基準シナリオと比べ、各エージェントはさらに低い自己資本比率まで下がり、全ての機関投資家が倒産した。バブルの膨らみと各エージェントバランスシート構造の脆弱性により、リスクの増幅効果を確認した。

## 4.4 シナリオ 2

Step={0, ..., 28}で、Step23 でクレジットイベントが発生するとする。

### 4.4.1 小さいクレジットイベントが発生するケース (DefaultRate=0.1)

Fig. 10 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前の各銀行、金融機関エージェントの自己資本比率の変化がシナリオ1と同じパターンで動いていることが図から見える。リスク資産規模はシナリオ1と同じ規模まで膨らむ。しかし、シナリオ1と異なり、バブルの膨らみとともな

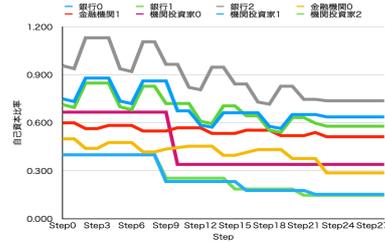


Fig. 10: 自己資本比率

い、市場におけるCDS想定元本の規模もどんどん増えて、機関投資家は元々リスク資産であるCDOをCDSの保護により全部安全資産に転換し、自己資本比率を維持しながら証券化商品を買うことができる。例えば、機関投資家0はStep4, Step9, Step11, Step16, Step17でCDOを購入し、証券化商品の割合が増加するが、リスク資産は全く増加しないゆえ、自己資本比率も変化しないわけだ。CDS契約の結びに関する取引にかかるプレミアムは元本に対する割合が少ないので、実際はレバレッジをかける非常にリスクの高い取引だが、自己資本比率の変化に反映されにくく、その危険性が隠されているということが考察できる。

また、クレジットイベントが発生した後、市場におけるRMBSに評価損が生じる。倒産現象は生じていないが、基準シナリオと比べ、各エージェントはより低い自己資本比率まで下がった。クレジットイベントが発生した後CDS想定元本は変化していない。これがDefaultRateが小さいので、RMBSの劣後部分(RMBSエクイティ)だけに損失が発生し、CDS元本まで影響を波及していないことを意味し、クレジットイベントが発生した後各エージェントの自己資本比率の変動もほぼシナリオ1と同じく見えるわけだ。

### 4.4.2 やや大きいクレジットイベントが発生するケース (DefaultRate=0.25)

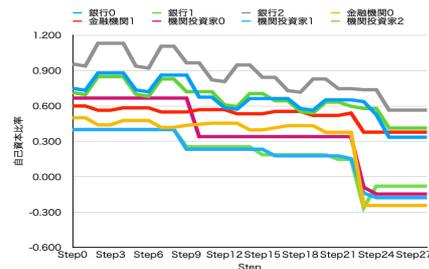


Fig. 11: 自己資本比率

Fig. 11 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前のロジックは4.4.1節と同じである。クレジットイベントが発生した後、市場におけるRMBSとCDOに評価損が生じる。基準シナリオと比べ、各エージェントはより低い自己資本比率まで下がり、金融機関0と全ての機関投資家が倒産した。原因について分析する。まずクレジットイベントが発生した後市場におけるCDS想定元本の減少を観察した。DefaultRateがやや大きくなり、損失がリスクヘッジしているCDOのメザニン層まで波及し、一部のCDS契約が発動するからだ。金融機関0が機関

投資家 0、機関投資家 1 に、金融機関 1 が機関投資家 2 に損失補償をしなければならない。金融機関 0 は巨額な補償金の支払う義務が自身の能力を超え、Step23 で倒産することになった。こういうカウンターパーティーリスクの発生により、Step23 以降 CDS の信用力がなくなり、CDS で保護している CDO もリスク資産になり、機関投資家が追加的に貸倒引当金を積まなければならない。各機関投資家のリスク資産の比率が Step23 で一気に増えた。これに加え、金融機関 0 のデフォルトにより機関投資家 0、機関投資家 1 は損失補償を受けなくなり、Step24 で倒産した。しかし、機関投資家 2 が金融機関 1 から損失補償を受けても、リスク資産の飛躍的な増加で健全な状態に戻れなくなり、Step24 でも倒産することになった。各銀行エージェントは貸出関係のある倒産したエージェントから貸付金の回収不能が自己資本比率を悪化させるのも確認した。

#### 4.4.2 大きいクレジットイベントが発生するケース (DefaultRate=0.4)

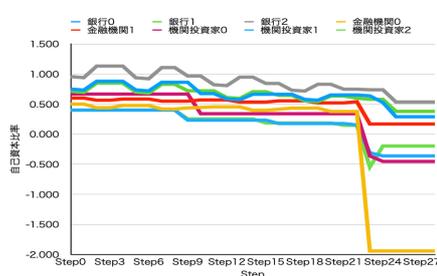


Fig. 12: 自己資本比率

Fig. 12 は各エージェントの自己資本比率の遷移を表す。クレジットイベントが発生する前のロジックは 4.4.1 節と同じである。クレジットイベントが発生した後、市場における RMBS と CDO に評価損が生じる。基準シナリオと比べ、各エージェントはより低い自己資本比率まで下がり、金融機関 0 と全ての機関投資家が倒産した。クレジットイベントが発生した後、CDS 想定元本が 0 になることを観察した。なぜならば、DefaultRate が大きくなり、損失が CDO のシニア層まで波及し、いわゆる CDS でカバーする全てのリスクヘッジしている証券化商品(CDO メザニン、CDO シニア)に評価損が生じて、契約が発動するからだ。ここで CDS の売手である金融機関の自己資本比率の大幅な下落から CDS 契約に内包するレバレッジ効果がはっきり読み取れる。各機関投資家のリスク資産の比率が Step23 で一気に増加する。また、DefaultRate の上昇によるリスク資産評価損と貸倒引当金比率の増加が各エージェントにダメージを与え、前のケースよりさらにひどい状況に辿りついたわけだ。

## 5 結論と今後の課題

本論文では、証券化に基づく原債務～原債権～オフバランス証券～CDO～CDS の連鎖をエージェントベースモデリングでシミュレーションすることにより、リスク伝播の経路、および CDO 担保付き融資から生じるバブルの形成と CDS 契約の結びがリスクを増幅する効果を考察した。

CDO 担保付き融資に関するリスクを増幅する効果は以下の結論が得られる。担保付き融資活動と新たなローンの発行によりリスク資産の市場総規模が拡大し、バブルを加速する。担保付き融資活動により、債務者でも、債権者でもリスク資産対総資産比率が増加するが、自己資本比率が減少し、バランスシート構造を不安定化させることを確認した。クレジットイベントが発生する時、担保付き融資活動のあるシナリオにおいて、リスク資産規模が大きいゆえ、リスク資産の信用力の低下により被る損失が大きいに加え、エージェントのバランスシートの構造の脆弱により、基準市場環境より大きくリスクの悪影響を受ける。クレジットイベントが大きいほどこの現象が明らかになる。

CDS 契約の結びに関するリスクを増幅する効果は以下の結論が得られる。CDS 契約を結ぶことにより、CDS の買手はリスク資産を安全資産に転換でき、リスク資産対総資産比率と自己資本比率共に顕著な変化がなく、バランスシートの不安定性を隠す効果を確認した。しかし、クレジットイベントが発生した後、特に CDS 契約が発動した時、CDS 買手のバランスシートの脆弱性が顕在化になり、安全資産が一気にリスク資産になり、CDS の保護を受けても健全な状態にならないことも確認した。また、CDS は高レバレッジを内蔵するデリバティブで、損失が大きい時 CDS 売手が基準市場環境より大きくリスクの悪影響を受けることを観察した。特に CDS 売手が倒産した時、その余波が市場環境を混乱させることも確認した。

今後の課題に関して、まず、個人債務者をエージェント化し、彼らはローンの組みや債務不履行に関する活動をモデルに取り入れる必要がある。また、より多くのエージェント数とシミュレーションシナリオによる実験が必要で、大規模シミュレーション結果が現実のマクロデータに一致するかどうか、その妥当性を検討すべきだと考える。最後に、CDO を保有していないが CDS を買う行動を取る投機的 CDS 買手に関する意思決定や CDO を再証券化する仕組みなどをモデルに取り入れることにより、さらに複雑で現実の市場環境に近いシミュレーション環境を構築できると考える。

## 参考文献

- 1) 日本銀行, <https://www.boj.or.jp/announcements/education/oshiete/kess/i06.htm/>
- 2) 経済産業省通商政策局, 平成 21 年版通商白書 概要, 2009
- 3) 山田涼介: 金融システミックリスクのエージェントベースモデリングによる研究, 2018
- 4) 藤井真理子・竹本遼太: 証券化と金融危機-ABS CDO のリスク特性とその評価, FSA リサーチ・レビュー第 5 号, 215/245(2009)
- 5) 朱子源: ABS によるシステミックリスクに関する研究, 2019
- 6) IMF, Global Financial Stability Report Containing Systemic Risks and Restoring Financial Soundness, 2008
- 7) 流動化・証券化協議会, <http://www.sfi.gr.jp/about/>
- 8) 野村証券, <https://www.nomura.co.jp/terms/english/c/cdo.html>
- 9) 野村証券, <https://www.nomura.co.jp/terms/english/c/cds.html>