

# デジタル・エコノミーの新潮流とその IT 基盤

古関 聰

電子マネー、クーポンやマイレージ、カーボン・クレジット、複雑な証券化商品などの新しい「価値媒体」が新しいサービスの創出を伴いながら世の中に広まりつつある。我々は、このような現象をデジタル・エコノミーの新潮流ととらえ、その価値システムを支えるために必要な IT 基盤について調査を行い、透明性や相互接続性の確立が重要であるとの結論を得ている。本稿では、「価値媒体」の中でも、特に、複雑な証券化商品を探り上げ、透明性や相互接続性を与えるためのシステムとキーとなる技術領域について検討した。

キーワード：デジタル・エコノミー、証券化、金融市場透明化、証券評価モデル、システミック・リスク

## 1. はじめに

IT 技術の発展は経済のありかたを大きく変えていくと考えられる。IBM は、毎年編集が行われる技術戦略白書「Global Technology Outlook」の一つのテーマとして、IT 技術の活用による「新しいお金」、「擬似的な通貨」の出現と、そのような新しい価値の媒体を用いた革新的なサービスおよびソリューション、また、必要となるインフラストラクチャーに関して調査している。

新しい価値媒体の例としては、電子マネー、クーポンやマイレージ、カーボン・クレジット、証券化商品、エアタイム（携帯サービス利用料金）や、ゲーム内や仮想世界で流通する通貨など様々なものがある。この中で Global Technology Outlook では、新しい価値媒体と付随しておこる変革として、①複雑な証券化商品のさらなる浸透とそのための透明性の実現、②携帯端末を通して流通する電子マネーやエアタイムを媒体としたモバイル金融サービスの拡大、③企業や家計の CO<sub>2</sub> 排出プロセスへのトレーサビリティがあり、市場の把握や効果的なコントロールが可能な排出権取引の実現の三つに関してマーケットのトレンドや必要となる技術、新しいソリューションについて分析している。

これらの三つのテーマについて、それぞれの価値媒体の性質に合わせた異なったイノベーションやサービ

スが検討される一方で、我々は一つの共通した結論を導いている。それは、価値の保持、値付け、交換、流通が行われるシステム（価値システム）が成り立つためには、ユーザが価値システムについて、価値の保全性、価値変動の安定性、換言すれば、システムの安全性、安定性に対して信頼を持つことが必要であるということである。このような信頼性を確立するためには、価値システムに透明性を与えるインフラストラクチャーや、価値システムの評価や分析を行うための IT 技術が必要となる。また、価値の交換性や流通性、すなわちユーザにとっての利便性を向上させるためには、新しいサービスの開発やイノベーションを促進することが必要となる。このため、エコシステムを構成する主体間においてデバイス、データ、サービスの各層におけるオープンな相互結合性を確保し、サービスが広く浸透するとともに活発なビジネス開発を促すことが重要である。

このような議論は、ともすれば中身の無い一般論となってしまうと懸念されるが、IBM 基礎研究所では、上記の三つのテーマそれぞれについて、価値システムの信頼性の確保や利便性向上のための相互結合性について具体的な技術研究を進めている。本稿のスペースでは三つのテーマすべてを取り上げることはできないが、この中で複雑な証券化商品にフォーカスし、IT の果たすべき役割について論じる。

## 2. 証券化と金融市場の活性化

証券化および市場型間接金融がもたらす金融市場活性化は、資金の余剰部門から不足部門へのより効率的な移動をもたらすことは事実である。また、自由な経

済活動のもとでさまざまな市場参加者が証券の取引や値付けを行うことは、一般的には、適正な価格の形成を促し、価格の変動を抑えるものとされている。しかし、一方で、本誌10月号およびさまざまな文献で採り上げられているように、いわゆるサブプライム・ローン問題は、100年に一度といわれる世界的な金融危機とその後の経済停滞を引き起こしており、証券化のネガティブな側面が浮き彫りになっている。

サブプライム問題にかかわらず証券化システム一般の問題として、このような危機の要因は、デュー・デリジェンスの怠りや過度のリスク・テイキングなどの規律的・行動的要因と、証券価値やリスク評価の困難性などの技術的要因に分けられると考えられる。前者については、本稿の詳しく論じる範囲ではないが、社会の市場の成熟ともなつてやがて問題の深刻さは軽減していくものと期待できる。そう考えると、後者の要因を適切なIT技術において軽減することができれば、証券化のネガティブな側面の影響はポジティブな側面のそれを下回り、金融市場の活性化と健全な発展がもたらされると考えられる。

以下では、このような証券化システムの危機の要因を低減するためのIT技術について詳しく論じていく。

### 3. 必要とされるIT基盤

証券化に際する問題点を軽減し証券化市場をより健全にするための要件として、情報へのアクセスを容易にして透明性を高めることが挙げられる。透明性を高めることで、証券価値やリスク評価に際する困難を低減させ、市場の脆弱性についての把握が可能になると考えられる。市場の脆弱性、すなわち、いかにして市場が機能不全に陥り、危機がおこるかを把握するためには、各種取引関係のネットワークである金融システムにおいて、金融機関の破綻やその他のイベントが全体に波及する危険性、いわゆるシステムミック・リスクを捉える必要がある。

システムミック・リスクを捉えるためには、IT技術を活用して、金融情報を手に入れること、それらの情報を意味的にひもづけること、適切な分析を行うことを可能にするような基盤が必要となる。

図1はそのような基盤の概念図である。この基盤には、証券化に関わる金融機関その他の主体が発行する証券について、その性質を把握するための情報が蓄積される。また、基盤内においては、適切な開示コントロールのもと、集まった情報の意味的な関連付けが行

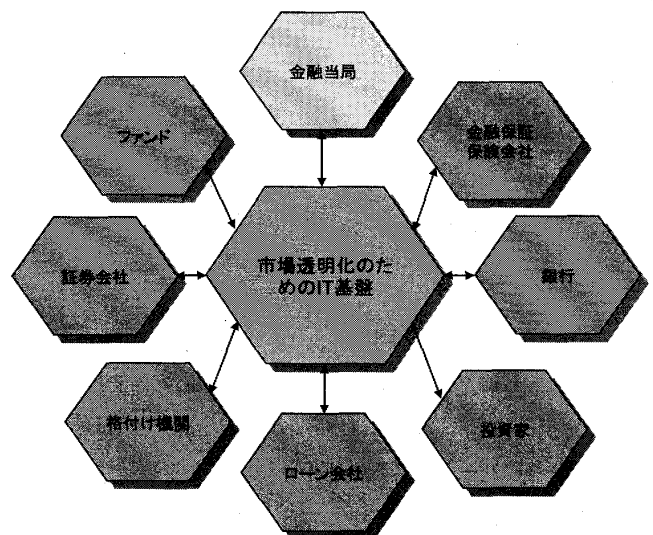


図1 IT基盤の概念図

われ、市場を把握するために必要な分析が行われる。

この基盤は、以下の4層から構成されるシステムであり、典型的には、金融監督当局や権限を付与された第三機関が市場を把握・分析するために運用を行うためのものである。

- ① アプリケーション層—金融システムのシステムミック・リスクを把握する
- ② 分析層—システムミック・リスクを捉えるためのモデルを構築する
- ③ データ層—発行された証券についてのリファレンスデータを集め、意味的な統合を行う
- ④ コンピューティング・インフラストラクチャー層—①~③に必要な計算資源をCloudサービスとして提供する

以下では、それぞれの層についてキーとなる技術領域について述べる。

### 4. キーとなる技術領域

#### 4.1 コンピューティング・インフラストラクチャー層

必要なIT基盤の中で最も下層に位置するものが、高いコンピューティング資源を必要に応じて提供するためのシステムである。

図2は、IT基盤の全体アーキテクチャである。本基盤では、システムミック・リスクを把握するためのモデルを活用し、マーケットを分析・監視するためのアプリケーションが、シミュレーション、ストリーム・コンピューティング等の実行エンジンを呼び出す。実行エンジンには、互いに隔離されたメモリ空間と

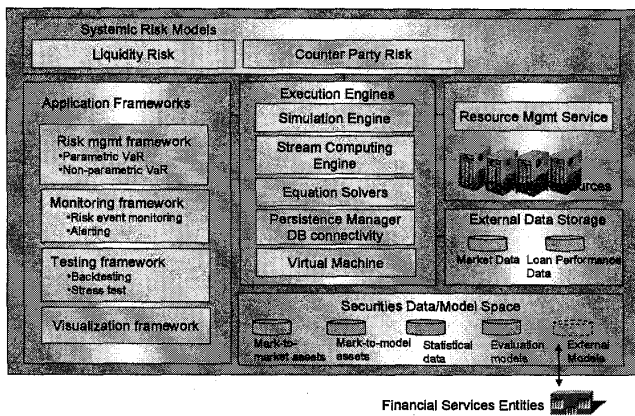


図2 IT 基盤の全体アーキテクチャ

CPU リソースが割り当てられ、証券データ、マーケットデータへのアクセスが行われる。

実行エンジンには、エージェント・シミュレーション・モデルを解くためのシミュレーション・エンジン、微分方程式、代数方程式を解くためのソルバ、状態の変化や入力されたデータにリアルタイムに応じるためのストリーム・コンピューティング・エンジン、各種データベースにアクセスするためのデータベース・コネクティビティ、非定型的な一般処理を行うための仮想マシン等が含まれる。

これらの実行エンジンやアプリケーションは、計算機資源を抽象化するためのフレームワーク上で構成される。特にスケーラビリティが必要となるエンジンでは、オブジェクト間の通信やリソースのアクセスについてアプリケーションビルダーは意識する必要はなく、本質的なロジックの構成のみに注力できることが重要である。

実行エンジンへの計算リソースの割り当ては、Cloud サービスの中核となる仮想計算資源管理サービスによって行われる。仮想計算資源管理サービスは、物理計算資源を仮想化し、自動フェイルオーバー、自動リカバリー、ホット・スワッピング、ワークロード・バランシング等の機能をそなえ、実行エンジンおよびアプリケーションへ信頼性が高くパフォーマンスの良い計算環境を提供する。

また、データアクセスパフォーマンスを向上させるためのデータのキャッシング、パーティショニング、データアクセスコンテンション緩和のための機構が、データベース・コネクティビティの機能として提供される。

## 4.2 データ層

### 4.2.1 証券レポジトリとその要件

証券化市場の状態を把握するためには、証券がどのように組成され、どういったリスクに晒されているかを明らかにする必要がある。ある証券について、そのキャッシュフロー構造やリスク要因がいかなるものであるかが照会できることが透明性の確立の第一歩である。

サブプライム問題に関して情報開示の不足に関する議論が多くあるが、実際には、目論見書や住宅ローンデータベース等の情報を手繰れば、キャッシュフロー構造や回収金の充当順序、裏付け資産、プロテクション等の情報はアクセス可能であり、住宅ローンのプールを構成する個々について、貸し出し額、適用金利、延滞状況について把握することもできたと考えられている[1]。問題はその情報を適切に解釈し利用することができなかつたことであり、ある証券について、キャッシュフロー構造を原資産までつまびらかにし、それがどのようなリスクファクターにどのように影響されるかが把握できるようにすることが必要である。

このような目的で、市場に流通している証券について参照データベースを構成し、証券の組成や性質について照会するためのレポジトリが提案されている[2]。このようなレポジトリにおいて、参照されているすべての証券に関して、キャッシュフロー構造、および、そのキャッシュフロー構造がデフォルト率、金利、為替等金融指標、株価、コモディティー等の価格変動、または、天候その他の確率変数からどういった影響を受けるかを明らかにして、マーケット全体におけるリスク要因の影響が把握できるようにすることが重要となる。

### 4.2.2 証券記述

4.2.1 節で述べたように、レポジトリ内に格納された参照証券について、その組成や性質についての標準的な記述方法が重要となる。証券記述のための言語としては FpML[3] や MLFi[4] 等が提案されているが、いずれもリスク要因の変化に際して証券価値がどのように影響を受けるかを明確に把握することは困難である。我々は、証券のキャッシュフロー構造に基づいて、リスク要因と証券の価値の関係を直接的に記述する方法が有効であると考えている。この記述は、同時に恣意性の低い証券の一般的な評価モデルを与えていると考えられる。

この評価モデルを実際に解くためには、確率的変動

要因のある時刻における分布あるいは確率過程モデル、また、確率の変動要因間の関係性（相関，因果関係等）を所与として与えることが必要になる。さらに、こういった所与がいかなる前提でどのような条件で成立するかが決まれば、あるシナリオにおけるポートフォリオ価値の分布等を計算することが可能となる。ここで扱うモデルについては恣意性が入ることは避けられないが、重要なことは、前提となっている条件がいかなるものであるかを把握できることである。著者らは、このようなアプローチを実現するための形式的記述について研究を進めている。

#### 4.2.3 データ・セキュリティーおよび匿名化

確率の変動要因の特性やそれらの間の関係性を捉えることを考えた場合、マーケットに実データがある場合や統計的なデータ蓄積がある場合は、そういった値を利用することができる。一方で、ある特定の固体の状態に依存した要因等、直接的な観測が難しいものもある。中でも、証券化システムに関わる要因として、証券のプロテクションを売っている企業の倒産確率や倒産強度は証券の評価を行ううえで重要である。

信用リスクを計測する基本的モデルとして、誘導型モデル[5]～[7]、構造型モデル[8][9]が挙げられる。前者は倒産のメカニズムを外生的に与えるモデルであり、倒産強度が無リスク金利や株価指数等の経済の状態に依存するモデル[5][6]や、信用格付けに依存するモデル[7]がある。誘導型モデルは数学的解析が後者に比べて容易で、多種多様な依存変数からモデルに合ったパラメータ推計を行うことができる。しかしながら、本基盤の要件は、証券がどのようなリスクファクターにどのように影響されるかが把握できるようにすることであるということを考えると、誘導型モデルは潜在的な情報を落としてしまう危険性がある。一方、構造型モデルでは、資産価値が負債価値を下回ったときに倒産が起こるとみなしてモデルが構築される。資産価値は直接観測できないため、その企業の株式は株主に対して企業が発行した資産価値に対するコール・オプションであるとみなせることから、資産価値の変動は企業の株式価値、株式のボラティリティ、企業の負債価値から推定される。このような仮定は我々の要件にとって好ましいものではないが、信用リスクを企業の財務状態から判断するという考え方はモデルをより説明的にするという意味で魅力的である。そこで、資産価値が閾値を下回るという意味での倒産リスクのホワイトボックスモデルが企業内に存在するとして、

基盤からのそういったモデルへのアクセスを可能にするというアプローチが有効であると考察される。しかしながら、企業内の資産内容やポジションの内容を公開するということは困難であると考えられ、そのような状況は企業のリスク・テイキングの仕方に深刻な影響を与えるとの指摘もある[10]。そこで、本基盤と企業内モデルが秘匿すべき情報を保ったままインタラク션을行い必要な計算を遂行するという方式が、一つのソリューションを与えるのではないかと考察される。

基盤と企業内モデルのインタラクシヨンの方法としては、データが保持されるスペースと機密のコントロールの観点から、いくつかのアプローチが考えられる。

一つは、基盤内に安全性が確保された領域を構成して、そこに企業が基盤の（適切な権限を持つ）ユーザにしかアクセスできないようにモデルやデータを置くというものである。このアプローチでは、機密の漏洩に関して、企業は基盤のオペレーションを信頼することが必要である。また、モデルやデータ自体を秘匿したまま、特殊なプロトコルやアルゴリズムにより必要な計算を遂行する方式が考えられる。このような計算は秘匿計算と呼ばれ、企業の機密自体は事実上だれも知りえないという特徴がある。このアプローチでは、モデルやデータの内容について吟味できないため、基盤が企業のオペレーションを信頼するか、不正を防止するための取り組みが必要となる。

上記のような基盤と企業のセキュアな金融情報交換は基礎的な情報技術として重要であると考えられ、筆者らは、いくつかのアプローチを検討して研究に着手している。機密の秘匿方法としては、モデルやデータを情報的にかく乱して機密を特定不能にする方法や、VaR等のリスク計測における重要な計算に特化した情報交換プロトコルを設計する方法などが挙げられる。

#### 4.3 分析層

本節では、システミック・リスクを捉えて市場を把握するための分析技術について考察する。サブプライム問題では、証券化システムに脆弱性があるにもかかわらず問題の進展を放置し、いくつかの企業の破綻が起こり始めても、その規模や影響について十分に把握することができなかった。例えば、2007年7月の時点では、バーナンキFRB議長はサブプライム関連の損失を500億～1,000億ドルと見積もっており、同2月には「住宅か価格の下落は、金融不安の誘引にも、経済状態を評価する際の大きな要因にもならない」と

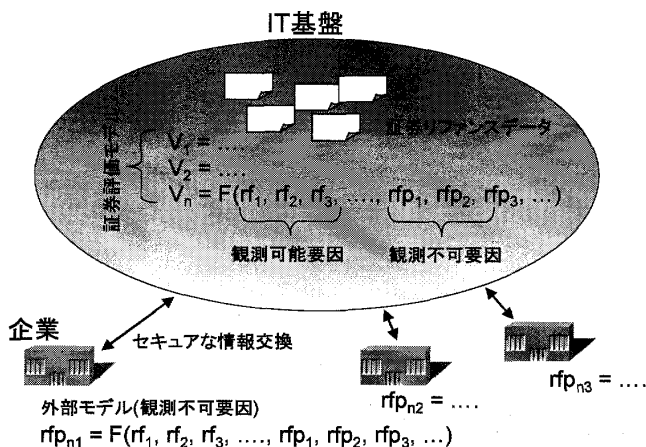


図3 IT基盤上で構成される証券評価モデル

語っており、深刻な金融危機に発展する問題だとはみなしていなかった。また、ベア・スターンズやAIGが売ったCDSの規模、ならびに破綻がもたらす影響の範囲についても早くから把握しておくことが有益だったと考えられる。以下では、著者らが研究に着手しようと考えている、本基板上で遂行されるべきいくつかの分析について述べる。これらの分析は、前節で説明したデータレポジトリとそのデータ空間上で構成された証券評価モデル（図3）を利用して行われる。

#### 4.3.1 リスク集中の分析

金融システムを構成している証券全体が、ある特定のリスク要因に対して偏ったセンシティブリティを持っていないかどうか、もしそうならば価値の棄損の程度はどの程度なのかを調べることは、システムック・リスクを把握するために重要であると考えられる。本基盤では、観測不可要因は最終的には観測可能な要因に帰着されることを考慮すると、適切な企業と基盤の（前節で論じたセキュアな）インタラクションにより、観測可能な要因のさまざまな組み合わせを危機シナリオとして用意し、想定シナリオにおける証券価値をシミュレーションにより計測できる。要因の組み合わせ数の多さや、シミュレーションそのものにかかるコンピューティング・コストの大きさを考慮すると、さまざまなシナリオを効率的に処理するため、シミュレーションの効率化や証券構造の解析的な評価による最適化が重要になると考えられる。

#### 4.3.2 カウンターパーティー・リスクの分析

本基盤では、レポジトリ上に構成された証券構造を基盤と企業がインタラクションしながら全体的に走査することで、カウンターパーティー・リスクの依存ネットワークを構成することが可能である。このネット

ワークは、企業の倒産や他の観測可能な要因がノードであり、ノード間の影響が方向付きエッジで表される。ノード間の影響は抽象的に表されており、企業の資産内容については依然として秘匿したままで、ネットワーク構造を構築することができる。

また、上記のようなシミュレーションを合わせて行うことで、企業の倒産を表すノードには倒産イベントを引き起こすようなシナリオ（要因の組み合わせ）が属性として与えられる。

このようなネットワーク構造は、証券化システムの信用リスクを表すモデルとして利用することができる。

#### 4.3.3 破綻伝播の分析

上記のようなネットワークに、さらに各企業のアクション・モデルを加えてエージェント・ベース・シミュレーションを行うことで企業間の破綻の伝播を分析することが可能になる。資金繰り行動として、コマース・ペーパーの発行や短期金融市場からの調達、資産の売却、緊急融資の要請などのアクション・モデルが用意される。アクション・モデルと同時に、アクションへの応答のモデルも与えられる。この上で、シナリオ（要因の組み合わせ）を多数用意し、アクション・モデル、応答モデルに基づいたシミュレーションを行うことで、破綻プロセスの特定や、金融システムの安定度を測ることが可能となる。

#### 4.4 アプリケーション層

本基盤のデータやコンピューティング能力を活用して実行されるアプリケーションのフレームワークとして、VaRに基づいたリスク管理、ストリーム・コンピューティング機構を利用したモニタリング、モデルの検証、データや分析結果の可視化等が挙げられる。基盤のユーザはこのようなフレームワークを組み合わせ、システムック・リスク把握のためのオペレーションを行うことができる。以下に、そのいくつかの例を示す。

例えば、証券化商品の信用格付けに対し、説明的な情報を加えることが可能である。証券化商品の格付けは、デフォルト率あるいは予想損失率の体系をなすと解釈される。例えば、S&P、ムーディーズ、フィッチのCDO格付け手法では、裏づけとなる証券の業種間の相関を想定した上で、シミュレーションで損失の確率分布を算出している。本基盤では、上記の分析を利用して危機シナリオを特定し、それぞれのシナリオにおける（ストレス下での）確率分布を提示できる。

また、本基盤のストリーム・コンピューティング機

構を利用しシステミック・リスク把握のためのアラート・アプリケーションを構成することができる。本機構は、ストリーミング・アルゴリズムをオペレータの組み合わせで構成し、マーケットデータ、その他のリアルタイムな入力に対して処理を行う。この機構上で、観測できるデータを入力として危機シナリオを特定するアルゴリズムや、現在の証券評価で想定されている（モデル構築時の）仮定のやぶれを検出するアルゴリズムを構成し、リアルタイムに警告を挙げるアプリケーションを実現することができる。

## 5. おわりに

本稿では、証券化市場に透明性を与えるためのIT基盤について考察を行い、必要となる技術領域について筆者らが進めている研究内容を交えながら俯瞰した。IBMは、本稿で説明した基盤を実際のオフラインとして検討しており、コンピューティング・インフラストラクチャーの実証実験や、データベースの設計、分析技術やそのツールの開発に着手している。今後は、本稿において特定した課題について研究を推進するとともに、その結果について問うていく予定である。

**謝辞** 本論文の執筆に際して、アイデアの検討に加わっていただき貴重なコメントをいただいた佐藤直人、渡邊裕治、加藤整同研究所研究員、また本プロジェクトの管理・運営に尽力いただいている板倉真由美、小野寺民也担当に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 江川由紀雄：「サブプライム問題の教訓」，商事法務，2007.
- [2] F. Gross：Securities Reference Data Utility, <http://www.ecb.int/paym/groups/pdf/SecuritiesReferenceDataUtility.pdf>, European Central Bank, May 2009.
- [3] <http://www.fpml.org>
- [4] S. P. Jones, J.-M. Eber and J. Seward：Composing contracts: an adventure in financial engineering, International Conference on Functional Programming, Montreal, Sept. 2000.
- [5] D. Duffie and K. Singleton：Modeling term structures of defaultable bonds, Review of Financial Studies, 1999.
- [6] R. A. Jarrow and S. M. Turnbull：Pricing derivatives on financial securities subject to credit risks, Journal of Finance, 1995.
- [7] R. A. Jarrow, D. Lando and S. M. Turnbull：A Markov model for the term structure of credit risk spread, Review of Financial Studies, 1997.
- [8] R. C. Merton：On the pricing of corporate debt：The risk structures of interest rates, Journal of Finance, 1974.
- [9] F. Black and J. Cox：Valuing corporate securities：Some effects of bond indenture provisions, Journal of Finance, 1976.
- [10] リチャード・ブックスターバー：「市場リスク 暴落は必然か」，日経 BP 社，2008.