

# コール市場の資金取引ネットワーク

いまくほ けい そえじま ゆたか  
今久保 圭 副島 豊

## 要 旨

コール市場の資金・決済の流れは近年大きく変化してきた。本稿では、ソーシャル・ネットワーク分析手法を活用し、日銀ネットの決済データを用いてコール市場の取引構造の検証を試みた。その結果、コール資金の流れは、短資会社がハブとして仲介役を果たすスター型ネットワークから、他のさまざまな経路が存在する分散型ネットワークに変化していることが確認された。分散型ネットワークにおいては、一部の業態から構成される中核的ネットワーク（コア）が形成されていること、コアの構成員はネットワークの周辺に対するハブになっており、これにより資金取引ネットワークのほとんどが平均2～3ステップでつながっていること、周辺には特定の集団でクラスター化した部分が存在するほか、コアに対するリンクが強い先、弱い先など、多様なネットワーク構造が存在することが観察された。こうしたネットワーク構造はシステミック・リスクの観点から重要である。流動性ショックがコール市場全体に伝播していく、あるいは逆に吸収されていく過程は、ネットワークの構造に強く依存すると考えられる。

キーワード：インターバンク市場、RTGS、ネットワーク、スモール・ワールド、コアと周辺、システミック・リスク

本稿は、筆者たちがそれぞれ決済機構局、金融機構局に所属していた際の研究内容（一部は日本銀行[2006b] Box6として公表）を加筆・修正し、論文として書き起こしたものである。データ取得ではシステム情報局や金融市場局の多大な協力を得たほか、三木徹氏にはデータ識別等に際してさまざまな助言をいただいた。また、2007年の日本ファイナンス学会では、討論者の加藤出氏（東短リサーチ）より有益なコメントをいただいた。ただし、本稿に表されている意見は、筆者たち個人に属し、日本銀行の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者たち個人に属する。

今久保 圭 日本銀行金融市場局企画役補佐（E-mail: kei.imakubo@boj.or.jp）  
副島 豊 日本銀行金融研究所企画役（E-mail: yutaka.soejima@boj.or.jp）

## 1. はじめに

コール市場の資金・決済の流れは、2001年1月のRTGS（即時グロス決済）導入、量的緩和政策、資産管理系信託の登場、DD（Direct Deal）取引の増加、短資口座を経由した無担コール決済の取りやめなどに伴って大きく変化した。本稿では、日銀ネットの決済データからコール市場の取引データを抽出し、近年、社会科学への応用が進んでいるネットワーク理論を用いて、コール市場の複雑な資金の流れを資金取引ネットワークとして捉え、その特徴を各種のネットワーク統計量で計測することを試みた。

また、RTGS導入前、ゼロ金利政策導入前の1997年12月と、RTGS導入後の量的緩和政策下にあった2005年12月を比較して、上述のような要因によってコール市場取引にどのような構造変化がもたらされたのか検証を行った。その構造変化は、決済慣行の変化によってもたらされた部分も大きく、その意味では、資金取引・決済のネットワークの変化と表現したほうが適切であるが、本稿ではこれらをまとめて資金取引ネットワークと呼ぶ。

分析の結果、コール資金の流れは、短資会社がハブとして仲介役を果たすスター型ネットワークから、他のさまざまな経路が存在する分散型ネットワークに変化していたことが観察された。1997年12月では短資会社にリンクが集中していたのに対し、2005年12月では数多くの取引先を持つ金融機関が増加しており、これに伴ってネットワークの分散化が進行していた。また、もともとリンク数が少なかった先はリンク先がさらに減少しており、特に資金調達面でその傾向が強いことが観察された。

2005年（以下、12月の時点表記は略す）の分散型ネットワーク構造を仔細に検証すると、資金取引ネットワーク全体の中核を構成するサブ（部分）・ネットワークが存在していることがわかった。コア・ネットワークとも呼べるこの中核部には、短資会社、大手行、資産管理系信託、信託銀行、大手証券会社、系統金融機関、一部大手地域銀行が含まれており、これら構成員の間ではリンクが非常に密になっており、全員が互いにリンクしあっている完全ネットワークに近い状態となっていることが判明した。一方、こうしたコア・ネットワークの構成員は、ネットワークの周辺に位置する金融機関に対するハブになっており、ネットワーク上を資金が流れていくうえで重要な役割を果たしていると考えられる。

資金取引ネットワーク上の金融機関は、コア・ネットワークを通じて緊密に結びついており、取引関係のリンクを2〜3ステップ辿るだけでネットワーク上の広範な金融機関に到達することができる。周辺の構造は一様ではなく、特定の周辺メンバーと互いに一定の範囲でリンクしあってクラスターを形成しつつ、コアの一部と強固にもしくは緩やかに結びついている金融機関や、他の周辺金融機関とは比較的結びつきが弱く、ほとんど独立してコアにリンクしている金融機関、コアへのリンクを多数持つ金融機関、ほとんど持たない金融機関など、多様なネットワーク構造が存在することが観察された。

このようなネットワークの構造は、システミック・リスクの観点から重要である。ネットワーク内のある金融機関に生じた流動性ショック、例えば資金不足に伴う決済の遅延や支払いの不履行がコール市場全体に伝播していく、あるいは逆に吸収されていく過程は、ネットワークの構造に強く依存すると考えられる。本稿では、ネットワークの構造分析が、コール市場取引の安定性やショックに対する頑健性に関してどのようなインプリケーションを持つかを考察した。また、中央銀行が流動性供給手段の制度設計を行う際に、ネットワークの構造に関する知見が有益な情報をもたらしうることを示唆した。

もっとも、静学的な構造情報に基づく定性的な考察から、ショックに対するネットワークの動学的な振る舞いを推し測ることは難しい。ショックの伝播現象（コンテイジョン）の検証にはシミュレーション分析が有益であり、先行研究でも重要な分析手段となっている。上述のような流動性ショックがRTGSシステムのもとでネットワーク上をどう伝播していくかは、リンクの太さに相当する決済金額情報や、支払いの順番・タイミングという時間情報に強く依存する。本稿では、いくつかの強い仮定のもとではあるが、第一次接近として実データに基づくシミュレーション分析を補論で試みている。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、2節ではインターバンクの資金取引構造や決済システム上の資金フロー構造の解析にネットワーク分析を応用した先行研究を紹介する。その過程で、ネットワーク分析に用いられる統計量の解説を行うとともに、システミック・リスクの観点からみた統計量の意味合いについても考察を加える。3節では分析に使用したデータを紹介したうえで、コール市場の取引構造および2時点間の構造変化を概観していく。4節では、ネットワーク・グラフを用いた視覚分析や統計量を用いてコール市場構造の特徴を検証し、コール市場取引の安定性やショックに対する頑健性に関するインプリケーションを示す。5節では、全体の分析結果をまとめる。なお、補論1では、流動性ショックがネットワーク上において決済遅延の連鎖をもたらす様子をシミュレーションによって観察した結果を示す。補論2では、インターバンク市場におけるコンテイジョンの実証分析を試みた研究群を紹介する。補論3では、日銀ネットの決済記録からコール市場取引を抽出した手法と、その妥当性および問題点を示す。補論4では、さまざまなソーシャル・ネットワークにおいて幅広く観察されている「べき乗分布」特性について解説し、コール市場の資金取引ネットワークでもこうした特性が観察されたことを示す。

## 2. 先行研究とネットワーク統計量

インターバンク取引は金融機関の間に複雑な債権債務のつながりを生み出す。中央銀行の金融調節の場でもあるインターバンク市場は、国際化の進展や金融市場の発展に伴って市場参加者や取引商品の多様性が高まり、いっそう複雑さを増している。各国の中央銀行は、インターバンク市場にどのような変化が生じているの

か、それは市場の安定性やショックに対する頑健性に対してどのような影響を及ぼしているか、システムック・リスクの検証という観点からさまざまな分析を行っている。

本節では、インターバンクの資金取引ネットワークの構造分析に焦点をあてた先行研究を紹介する。その過程で、一連の研究で用いられているネットワーク統計量について解説し、システムック・リスクの視点から各種統計量をみた場合の意味合いを考察する<sup>1</sup>。なお、先行研究でネットワーク構造の静学的な分析を行ったものは一部に限定されており、多くの研究は、インターバンク市場におけるコンテイジョン（一部に生じた流動性ショックのシステム全体への連鎖）に焦点をあて、その発生の蓋然性や拡がり・深刻さの程度に関する動学的な分析を行っている。また、その分析手段もシミュレーションによるものがほとんどである。

これは、データ制約が引き起こした捩れ現象といえる。個々のインターバンク取引情報を入手するのは困難であり、そのネットワーク構造を直接分析できるケースは稀である。そこで、個別金融機関の債権債務データから金融機関間の債権債務に関する行列情報を何らかの手法で近似推計し、これを前提にコンテイジョン現象を研究するアプローチに注目が集まった。この近似推計では、金融機関  $N$  社の債権債務情報を  $N \times N$  の行列情報に引き伸ばすため、ネットワーク構造が推計上の仮定に大きく左右される。また、次節以降で紹介するように現実のネットワークは不均質な構造を持っており、これを適切に抽出することは非常に困難である<sup>2</sup>。したがって、上記の推計データにネットワーク分析を適用しても、推計モデルの仮定に関する情報が得られるだけであり、ほとんど意味はない。それゆえ、ショックの伝播に関する大まかな知見が得られれば、それだけでもシステムック・リスクを考察するうえでの貴重な情報となる動学分析に研究が集中した。

その後、こうした分析の有用性が意識されるようになるにつれ、監督当局が保有している金融機関間の債権債務の実データや、中央銀行が提供している決済システムから実際の取引データを用いてコンテイジョンの実証分析を行う研究も登場してきた。補論2では、これらの研究内容を発展順に紹介している。また、資金取引と

1 近年、経済や金融の分野でネットワーク分析が盛んに行われるようになってきた。この背景には、近年のソーシャル・ネットワーク分析の急速な発展がある。従来より、社会学においては人脈や地域共同体といった実社会のネットワークに関する研究が行われてきた。しかし、こうした研究では人間行動や社会・組織の組成などが分析の主眼であり、ネットワークの構造に対する定量的な分析はほとんど行われてこなかった。一方、数学のグラフ理論では、学問の性質上、規則性がある解析的な取扱いが可能なネットワークが分析対象となっていた。ところが、近年、現実存在するような複雑なネットワーク構造を表現するモデルが提唱され、また、こうしたネットワークを統計量で捉える試みが行われるようになり、前二者と融合するかたちでソーシャル・ネットワーク分析が盛んに行われるようになってきた。特に、1990年代にスモールワールド・ネットワーク、スケールフリー・ネットワークという概念が登場して以来、社会科学の多様な分野で注目を集め、研究事例が集積している。経済学でもソーシャル・ネットワークに対する関心は高まっており、5年に一度開催される経済学の世界大会 *Econometric Society World Congress*（第9回）の論文集では、経済学へのさまざまな応用例を取り上げた Jackson [2007] が巻頭論文に収められている。

2 加えて、 $N \times N$  の行列情報が正しく得られたとしても、支払いや受取りの日時が異なるさまざまな満期の債権債務を集約したものに過ぎず、そこからコンテイジョン分析に必要な個別取引情報を推測することは不可能である。

不可分の関係にある決済システムについても、各国の中央銀行を中心に、その安全性や効率性に関する研究が蓄積されており、実際の決済データを用いたシミュレーションやストレス・テスト等が行われている。補論 1 にその一部を示している。

以下では、ネットワーク分析を用いてインターバンクの取引構造を検証した先行研究を紹介する。利用したデータによって 3 つのタイプがあり、銀行間の個別相対エクスポージャー情報を用いたもの、決済システムから個別取引情報を抽出したもの、インターバンク市場運営者から取引情報を得たものに分けられる。

## (1) 相対エクスポージャーを用いた研究

先駆的な研究として、スイス国民銀行の内部データ（銀行間大口エクスポージャー）を活用した Müller [2003, 2006] が挙げられる<sup>3</sup>。まず、Müller [2003] の内容について、分析に用いられたネットワーク統計量を解説しつつ紹介する。

Müller [2003] によると、スイスの国内銀行に対しては、インターバンク市場でのエクスポージャー上位 10 先（大銀行については上位 20 先）についてオフバランス取引分を含むエクスポージャー量とクレジット・ラインをスイス国民銀行に報告する義務が課されている。そこで、まず、約 300 先の銀行（外国銀行<sup>4</sup>や信用組合等を含む）からなる債権債務構造をグラフによって視覚化し、① 2 つの大銀行がインターバンク市場のハブとなっており、かつ、その他の銀行間取引は疎らであるため、ネットワークのリンク密度（存在する銀行間取引のペア数/組合せ可能な全てのペア数）が非常に疎（sparse）である中央集中型の構造となっていること、しかし、② 24 の州立銀行と 80 強の地域銀行をおおのグループで取り出してみると特徴的なサブ・ネットワークが形成されていること、③ 具体的には、前者においては各州立銀行が互いに取引をしあう傾向がみられ、リンクの形成に関して構成員が同質的であり、その結果、ネットワークの密度もさほど疎ではなくなっている一方、④ 後者においては、1 先への集中が強くみられる中央集中型となっていることを示した。

次に、Müller [2003] は、ネットワーク分析で用いられる各種の統計量を用い、ネットワークの構造を定量的に把握する試みを行った。ネットワークは、構成メンバーを表す点とこれをつなぐ線、および点や線の持つ情報量から成り立つ。この点をノード（node）もしくはバーテックス（vertex）、ノードをつなぐ線をリンクと呼ぶ<sup>5</sup>。最も基本的な統計量として、各ノードが持つリンク数があり、これを次数（degree）と

3 Müller [2006] は、コンテジョンの分析を中心に Müller [2003] を発展させたものであり、報告されたクレジット・ラインのデータを用いて「ソルベントだが資金繰りに窮したためデフォルトする」という可能性を含めたシミュレーションを試みている。詳細は補論 2 を参照。なお、Müller [2003] に示されていたネットワーク分析のうち統計量を用いた部分は Müller [2006] では割愛されている。

4 スイス国内銀行が自国のインターバンク市場で外国銀行にエクスポージャーを抱えており、これが上位 10 もしくは 20 先に含まれた場合は報告対象となる。

5 本稿では日常用語を用いてリンクと呼ぶが、学術的には、リンクに方向性がある有向グラフの場合にアーク（arc）、無向グラフの場合にエッジ（edge）という。

呼ぶ。資金放出や与信のようにノードから外部に出ていくリンクを対象としたものを出次数（out-degree）、資金調達のようにノードに向かって入ってくるリンクを対象としたものを入次数（in-degree）という。また、各ノードが持つリンクの重みを表現したものを重み（strength もしくは valued degree）という。Müller [2003] のようにエクスポージャーのネットワークを考えた場合、出次数の重み（out-strength, valued out-degree）が各銀行のグロスの債権額に、入次数の重み（in-strength, valued in-degree）がグロスの債務額に相当する。債権債務データの代わりに取引データを扱う場合には、一定期間内の取引回数と合計金額という 2 つの数量情報が存在する。Müller [2003] は、次数や重みが高い銀行ほどインターバンクの債権債務ネットワークの中心に位置していると考え、こうした銀行ほど金融システムにおいて重要な金融機関であると位置付けている。このように、次数や重みはネットワークにおけるノードの中心性（centrality）を測る最もわかりやすい統計量である。

次数や重みの相関からもさまざまな情報が読み取れる。Müller [2003] は、債権・債務別の次数（出次数と入次数）が強く正相関していることから、多くの債権先を有する銀行は債務先数も多いということを確認したうえで、出次数と出次数の重みの相関をみると、入次数と入次数の重みの場合に比べて低い正の相関係数となっており、債権額が多い銀行は必ずしも多くの銀行に対して債権を抱えているわけではなく、一部の銀行に集中的に債権を抱えている可能性があることを指摘している。さらに、入次数と出次数の重みの相関が高く、多くの銀行に対して債務を抱えている先は債権額も大きい傾向にあることを示している。次数や重みが高い銀行のなかでもこうした銀行がデフォルトした場合、ネットワーク全体への波及効果が大きくなると考えられる。

このような二次的な波及効果は、各ノードの次数や重みに関する情報だけでは計測できない。また、前出のネットワークの密度は、任意の 2 ノード間にリンクが存在する平均的な確率（connectivity）を示しているに過ぎないため、ネットワークの非均質的な構造が波及効果に及ぼす影響を知ることはできない。そこで、Müller [2003] は、距離（distance: ノード  $i$  と  $j$  が最短何ステップでリンクするかを測った指標）や平均距離（ノード  $i$  について他の全ノード  $j$  に対する距離の平均をとったもの）を計測し<sup>6</sup>、平均距離が短いノードをネットワークにおける中心性が高い銀行と捉えた。また、各ノードからリンクを辿って到達できるネットワークの最大領域を influence domain と呼び、到達可能なノード数もしくは同ノード数の全ノード数に対する比率で測られるが、これは波及効果が及びうる最大範囲を知るうえで有益な統計量である。なお、これらの距離や領域に関する統計量も、次数や重みと同様に債権債務の与信の方向性別に計測することができる。

Müller [2003] が計測したネットワーク密度は 3% と非常に疎であるにもかかわらず、その全てのノードが 97% の influence domain を有しており、どの銀行からスタートしてもリンクを辿ってほとんど全ての銀行に到達することができる。さらに、各

---

6 経路長（path length）、平均経路長（average path length）とも呼ばれる。

ノードが持つ平均距離は、最小のノード（二大銀行の1つ）が1.4、最大のノードでも6、ノード全体での平均が2.5と極めて小さく、わずかなステップでほとんど全ての銀行が繋がっていることが示されている<sup>7</sup>。

Müller [2003] は、平均距離のほか、媒介中心性（betweenness centrality）という統計量を用いている。前者が、他のノードにどれほど近いかという近接中心性を表していたのに対し、後者は、2つのノードをつなぐ最短経路に第三のノードが中間点としてどれだけ寄与しているかを表すものである<sup>8</sup>。媒介中心性は、ノード  $i$  と  $j$  を結ぶ最短経路の数を分母に、最短経路のうちノード  $k$  を通るものの数を分子として分数を求め、これを  $i, j$  の組合せ全てについて合計することで各ノード  $k$  ごとに算出される。銀行 A・B の次数が同一であっても、A 行の媒介中心性が高ければ、A 行はネットワーク上の重要な経路上に位置していることになり、流動性ショックの伝播に巻き込まれやすい、もしくは自らが未払いを起したとき B 行以上にネットワーク上に大きな波及をもたらしやすいと考えられる。Müller [2003] では、二大銀行のほか3つの州立銀行と1つの地域銀行、3つの外国銀行の媒介中心性が高く、これらが潜在的なコンテイジョンの経路上に位置していると指摘している。また、債務者として重要な銀行ほど媒介中心性が高く、ネットワーク上の重要な位置を占める傾向があること、逆に債権者として重要な銀行にはこうした傾向が窺われないことを示している。

## (2) 決済データを用いた研究

稲岡ほか [2003] は、Müller [2003] とほぼ同時期に、日銀ネットの決済データを用いて資金取引ネットワークの分析を行っている。金融機関が行う資金決済の代表的なものとして、日本銀行に保有する当座預金（以下、日銀当座預金）を通じての資金決済があり、インターバンク資金取引など各種の資金取引が日銀当座預金口座で振替決済されている<sup>9</sup>。こうした振替決済のうち、国債資金同時受渡<sup>10</sup>などを除く資金振替決済は、インターバンク資金取引の決済が主体となっている。

Müller [2003] がストックデータを用いていたのに対し、取引データからネットワー

7 各ノードの最大距離を離心性（eccentricity）と呼ぶ。また、各ノードの離心性のうち最大値をネットワークの直径（diameter）と呼ぶ。

8 これらの中心性概念に対し、前出の次数は間接的なつながりを考慮に入れていないため局所中心性（local centrality）と呼ばれる

9 日銀当座預金は、取引先金融機関によって銀行券の預入れ・引出しに利用されているほか、資金の受払いのためにさまざまな用途で用いられている。具体的には、金融機関同士が行う資金取引の決済や国債等証券取引にかかる代金決済、民間時点ネット決済システムの最終尻の決済などに、日銀当座預金の振替が利用されている。また、日本銀行が金融機関との間で行う金融調節上のオペレーションや、貸出、国庫金の受払い、国債の発行・償還に伴う資金の受払いなども、日銀当座預金の入金・引落しによって決済が行われている（日本銀行 [2006a]）。

10 国債に関する DVP（Delivery versus Payment: 証券資金同時受渡）のこと。DVP とは、証券決済における証券引渡しと代金支払いを相互に条件付けて、証券や代金の受取り損ないを回避する仕組みである。件数・金額のいずれでみても日銀当座預金決済の約半分を占める。

ク構造を観察するには一定期間分を累積する必要がある。稲岡ほか [2003] では、1 ヶ月分の決済記録を用いて月中の平均的なネットワーク構造を分析対象としている。これに対し、ネットワークの形状が取引・決済動向によって日々変化する点に注目した研究もある。例えば、後述する Soramäki, Bech, Arnold, Glass, and Beyeler [2006] は、2001 年 9 月 11 日に生じた米国同時多発テロが米国インターバンクの資金フローに及ぼした影響を日次分析によって検証しているほか、今久保・副島 [2008] は、日銀ネットの決済データを用いて日中の資金フローの連鎖（受け入れた資金を次の支払いに用いるという資金の連鎖）を分析しており、ネットワーク構造が午前と午後で大きく異なることを示している。

このように、取引・決済データに基づく分析では、どのようなタイムスパンでネットワークの構造を検証したいのか、目的に応じた期間の選択が必要となる。なお、ストックデータを利用する場合、期間の選択は関係なくなる一方で、個別の債権債務の満期時情報（支払いタイミング）は利用不可能な場合が多いと考えられ、シミュレーションなど動学分析の場合、これを無視したものにならざるをえない。

稲岡ほか [2003] は、ネットワーク構造のうち各ノードが持つ次数の分布に注目した。ランダムに 2 つのノードを選択し、リンクを張ってネットワークを作成したものをランダム・ネットワークと呼ぶ。あるノードが選択される確率は、ネットワーク密度（もしくは connectivity）で与えられるため、ランダム・ネットワークにおける次数の分布はポアソン分布となる。しかし、現実のソーシャル・ネットワークでは、非常に多くのリンクを持つ高次数ノードが存在する 경우가多く、ランダムにリンクが発生したとは考えられない。次数の分布を実際に調査したところ、テイルが極端に長い「べき乗分布」に従っていたというさまざまな事例が報告されている。稲岡ほか [2003] は、上述のデータから作成された資金取引ネットワークにおいて、次数のみならず、取引ペアごとに測った取引回数もべき乗分布に従うことを示している。また、354 のノードと 1,727 本のリンクからなるネットワーク（ネットワーク密度は  $2.8\% = 1,727 / {}_{354}C_2$ ）をグラフとして視覚化し、次数および取引回数で測った重みが突出して高い金融機関が資金取引ネットワークの中心に位置していることを示している<sup>11</sup>。また、2001 年 6 月から 2002 年 12 月まで 3 ヶ月ごとに観測した月中ネットワークについて、次数の分布およびペアごとの取引回数の分布を比較し、べき乗分布に従う傾向に変化がないことを確認している。

これに対し、Soramäki *et al.* [2006] は米国連邦準備制度が運営する決済システム Fedwire のデータを用いて、日次でみた決済資金フローの構造を検証している。同

11 べき乗分布では確率変数を定数倍しても同じべき次数の分布に従う。このためスケールフリー分布と呼ばれることもあり、次数がべき乗分布に従うネットワークをスケールフリー・ネットワークと呼ぶ。ソーシャル・ネットワークがスケールフリー性を持ちやすい理由は、ネットワークの生成メカニズムすなわちノード間にリンクが生じる事由から考察されており、いくつかの理論モデルが提示されている。増田・今野 [2005] や林 [2007] はその詳細を解説している。ネットワークの生成メカニズムは、現在の構造特性を知るだけでなく、外生的なショックに対してネットワークがどのように変性するか、あるいは崩壊したネットワークがどのように回復していくかを考えるうえで有益であり、これらの理論モデルはその手がかりを与えるかもしれないが、本稿の考察範囲を超えているため以下では触れない。

論文は、インターバンクの資金取引に限定せず、民間金融機関間の資金フロー全体が作り出すネットワーク構造を分析対象としている<sup>12</sup>。2004年の第1四半期62営業日を対象に、ネットワーク構造の日々の変動を各種ネットワーク統計の推移を用いて観察し、前出のネットワーク密度や平均距離、次数の分布（べき乗分布のべき指数）、ノード数や決済額・回数でみたネットワークのサイズが日々変動していること、月初や月末のほか債券決済が増加する月央にネットワークのサイズや密度が高まる季節性が存在することを指摘している。

また、ノードの結びつきやすさ（Affinity: 親和性）に関して、assortative、disassortativeという概念を用いた検証を行っている。前者は、同質なノードほど結びつきやすく、後者は異質なノードほど結びつきやすい性質を指す。Soramäki *et al.* [2006] は、各リンクについて両端のノードの次数の相関に注目し、その相関が負であることから、リンク数が少ない（多い）先はリンク数が多い（少ない）先と結びつきやすい傾向にあり、決済資金ネットワークが disassortative であることを示した。また、あるノードの次数とその ANND（average nearest neighbor degree: リンク先ノードの次数の平均値）が負に相関していることから、disassortative 性を確認している。

ノード間の結びつきやすさを複数ノードのグループにおいて計測した統計量としてクラスタリング係数がある。これは、あるノードのリンク先  $k$  個全てを取り上げたサブ・ネットワーク（当該ノードは含まない）を考え、そのサブ・ネットワーク内に存在する全リンク数を存在しうる全てのリンクの組合せ数で除して求められる。考察対象ノードのリンク先同士での局所的なネットワーク密度を測るものともみなせる。ランダム・ネットワークでは同係数は平均密度となるが、Soramäki *et al.* [2006] は、ノードごとに求めた同係数は0から1の間に広く分布しており、ネットワークの平均密度0.3%より遥かに大きいことを計測している。

ソーシャル・ネットワークでは、ノード間のリンクはクラスター化しやすいことが知られている。例えば、人脈のネットワークは居住地域や勤務先などの社会属性ごとにクラスター化している。ノード数（全人口）に比べて持ちうるリンク数も限られており、リンク密度は疎、かつ自分の周辺を中心に分布（クラスター化）している。にもかかわらず、社会属性が遠く離れた人への距離を計測してみると予想外に短く、数ステップで到達する場合があるように、ソーシャル・ネットワークではクラスター化と平均距離の短さが両立しうることが指摘されている。

Soramäki *et al.* [2006] が分析した決済資金フローのネットワークにおいても、高いクラスター性と疎なネットワーク密度、短い平均距離（計測期間中の平均値で2.62）が共存することが観察されている。こうしたネットワークのことを「スモールワールド・ネットワーク」と呼び、人脈交友関係や企業間取引をはじめとする数多くの社会組織ネットワークに観察されている。スモールワールド特性は、少数のハブや、離れたノード群を結ぶショートカット・リンクの存在によってもたらされていると

12 Furfine [2003] は Fedwire の決済データからインターバンクの資金取引を抽出して、コンティジョンの分析を試みている。詳細は補論2を参照。

考えられ、現実のネットワークでもこれを支持する実証事例が蓄積されている。上述の人脈ネットワークでは、非常に知己が多い人や異なる社会属性間をつなぐリンクが、ハブやショートカットに相当している<sup>13</sup>。

Soramäki *et al.* [2006]においても、ネットワーク全体の中核となるサブ・ネットワークが存在していることが確認されている。サンプル期中の初日は6,600超のノードと70,000超のリンクからネットワークが構成されていたが、このうち66のノードと181のリンクからなるサブ・ネットワークを抽出したところ、決済総額の75%がその内部で支払い・受取りされており、なかでも25のノードが非常に密度が高いサブ・ネットワークを形成していた。この中核的ネットワークが果たしている機能については論文の中では言及されていないが、非常に多くのノードからなるネットワーク全体へのハブに相当するコア・ネットワークとなっており、これが上述のスマールワールド特性をもたらしていると考えられる。

### (3) 市場取引データを用いた研究

決済データを用いてインターバンクの資金取引ネットワークを分析する場合、インターバンク取引の抽出に困難が伴う場合が多い。特に、資金の流れに注目するため、資金取引のスタートとエンドを識別し、スタート時の決済データのみを抽出する作業が必要となる。本稿のほか、Federal Funds取引のコンテイジョン分析を行ったFurfine [2003]（補論2を参照）でも、決済データから取引情報を抽出するためにさまざまな工夫が用いられている。これらに対し、Iori, de Masi, Precup, Gabbi, and Caldarelli [2008]は、イタリアのインターバンク取引が電子ブローキングシステム（e-MID: electronic Market for Interbank Deposit）に移行し、同システム内で取引されたオーバーナイト物の個別取引情報が利用可能となったことから、取引データを用いて資金取引ネットワークを分析している。1999年と2002年の比較によりインターバンク市場構造の変化を検証しているほか、準備預金の積立てが日次変化に及ぼす影響を分析している。

次数の分布について両年中の変化をみたところ、銀行の合併によりe-MIDへの参加行が215行から177行に減少したことから、出次数については分布全体に大きく減少しているが、入次数はむしろ増加していることが観察されており、銀行は放出先を全体に減少させる一方、調達先を増加させていることがわかる。また、金額でみた出次数の重みの分布変化から、上位行が放出金額を減少させる一方で、下位行は増加させる傾向にあったこと、入次数の重みの分布変化から上位行中心に調達金額が増加したことを観察している。これらは、1999年には上位行が有力な資金の出

---

13 スモールワールド・ネットワークという概念が登場してきた経緯については、ソーシャル・ネットワーク分析の啓蒙書であるBarabási [2002]、Watts [2003]が参考になる。また、Newman [2003]、増田・今野 [2005]、林 [2007]は、数式を用いてさまざまなネットワーク・モデルを比較紹介しているほか、本稿では登場しなかった各種のネットワーク統計量を解説している。

し手であったが、2002 年では下位行の出し手としての役割が高まり、下位行は 1 先当たりの放出金額が小さい分、上位行の調達先数が増加したこと、その一方で下位行の放出先は上位行に集約されていったことを示している。

Iori *et al.* [2008] は、こうした構造変化の背景として、① 1999 年の好況期における地域経済の資金需要の高まり（下位行にとってのインターバンク資金放出意欲の低下）と、その後の景気後退に伴う逆の動きがあったこと、② 2001 年初のユーロ導入により、上位行は e-MID 以外のボイスブローキング取引を通じて海外銀行に資金を放出するようになり、その分、国内インターバンク市場では資金の調達先に回る傾向が現れたことを挙げている。

また、日次変化の分析では、銀行が準備預金制度のもと所要準備残高を不足なく積み立てるため、積立期間の最終日にかけて準備預金残高を微調整する様子が観察されている。まず、最終日やその直前に取引金額や回数が増加する傾向があり、特に取引回数の増加が銀行規模によらず生じている。また、ネットワークの構造をみても、度数が増加し、クラスタリング係数が上昇する傾向があることを指摘している。最終日に近づくまでのクラスタリング係数はランダム・ネットワークに比べて高いとはいえず、この点が前出の Soramäki *et al.* [2006] と異なっている。ネットワークのクラスター性が窺われないのは、取引関係が上位行から下位行にかけて階層構造化しており、階層内の横のつながりは少ないためと考えられ、論文ではこのような構造をグラフ化することで視覚的に確認している。

また、特定の相手に集中して取引する傾向が下位行と上位行に観察されている<sup>14</sup>。ただし、こうした傾向は準備預金積立の最終日が近づくると薄れている。その原因として、相手方の選択より所要準備残高を積み立てるための資金繰りが優先されるため、平時は取引がない相手との取引が増加しがちになることを指摘している。上述のクラスタリング係数の上昇はこうした動きを反映したものであり、ネットワークの直径が最終日にかけて低下する（新たなリンクができるため最短経路のステップ数が縮小する）ことから、リンクの増加現象を確認している。

こうした個別金融機関のデータを用いたネットワーク分析は、データ入手上の制約から分析事例が少ない。また、インターバンクの資金取引構造を分析対象としたものは、筆者らの知る限り、電子ブローキングシステムの取引データが利用可能であったイタリアのケースしかない。本稿は、Iori *et al.* [2008] に次ぐ実証事例であり、複数のネットワーク統計量を組み合わせて資金取引構造の検証を試みている。使用した統計量や発見されたネットワーク構造を先行研究と比較すると表 1 になる。本稿は、先行研究で指摘されているスモールワールド特性やスケールフリー性、disassortative 性が日本のコール市場の資金取引ネットワークでも観察されたことを示しているほか、同ネットワークはコアと周辺からなる二重構造になっており、かつ、周辺のコアに対するつながり方も一様ではないことを明らかにしている。

14 全体の重みの一部リンクへの集中度を測る participation ratio（全ての重みに対する個別リンクの重みウェイトをシェアで測り、これを二乗和したもの）を用いている。

表 1 先行研究との比較

	Müller	稲岡ほか	Soramäki et al.	Iori et al.	本稿
対象データ	大口 Exposure	決済データ	決済データ	取引データ	決済データ
データソース	銀行監督情報	日銀ネット	Fedwire	e-MID	日銀ネット
サンプル期間	2003 年 12 月末時点	2001 年 6 月～2002 年 12 月の四半期末月	2004 年 1Q 中の日次	1999～2002 年にかけての日次	1997・2005 年 12 月中
金融機関数	約 300	546	5,086 (日次平均)	215 (1999)、177 (2002)	444 (1997)、354 (2005)
ネットワークの視覚化	有	有	有	有	有
検証に利用したネットワーク統計量					
1. Degree	○	○	○	○	○
2. Connectivity	○		○	○	○
3. Reciprocity			○		
4. Strength (value)	○	○	○	○	○
5. Strength (number)		○	○	○	○
6. Distance			○		○
7. Average distance	○		○		○
8. Diameter			○	○	
9. Influence domain	○		○		○
10. Betweenness	○			○	○
11. Clustering			○		○
12. k-Core				○	○
13. Affinity			○	○	○
べき乗分布の存在	—	1、5	1、4、5	—	1、4、5
べき次数	—	2.3 (1)、2.1 (5)	2.11 (1-in)、2.15 (2-out)、1.9 (4-out)、1.2 (5-out)	—	2.0-3.4 (1)、1.6 (4-in)、1.8 (4-out)、1.7 (5-in)
ネットワーク構造	centralized network	scale free	scale free	structural change	scale free
	subnetwork		small world	monthly cycle	small world
			disassortative	disassortative	disassortative
			core subnetwork	core and peripheral	core and peripheral

備考：べき次数のカッコ内は、べき乗分布が観察されたネットワーク統計量を上表最左列の番号で示したものの。

番号のあとの in・out は資金調達・放出ネットワークのいずれの有向ネットワークで測った統計量かを示している（例：1-in は in-degree）。

### 3. コール市場取引の構造変化

#### (1) データ

日本銀行は、日銀当座預金口座を取引先金融機関に対して提供している。日銀当座預金は、準備預金制度において対象金融機関が法定準備預金額を積み立てる場であるとともに、日本銀行を含む金融機関間の資金・証券取引を決済する場としても機能している<sup>15</sup>。日銀当座預金の取引は日銀ネットを通じて決済されているが、そのなかからコール取引に相当する資金決済データを抽出することができる。もっとも、コール取引であることを識別するために取引金額や決済相手方に関する取引慣行情報を用いているため、ある程度の誤差が含まれる。また、決済データには取組み時点の資金フローと返金時点の資金フローがいずれも含まれるため、取引構造の検証目的には取組み時のデータのみを抽出する必要がある。こうしたデータ抽出に関する詳細やその妥当性・問題点については補論3で解説した<sup>16</sup>。

以下では、1997年12月中と2005年12月中の資金取引データを比較しながら、主な特徴点をみていく（表2）。日本銀行の当座預金取引先のうち月中取引実績があった金融機関数は、1997年の444先に比べ2005年は20%少ない354先となっている。これは、コール市場取引の不活発化のみならず、合併等に伴う金融機関数の減少も影響していると考えられる。資金放出・調達実績先数をみても同様な傾向が観察される。また、1997年では調達実績ありの先と放出実績ありの先がほぼ同数であったのに対し、2005年では放出実績ありの先数がより大きく減少している（業態別は図1参照）。

一方、取引を行った金融機関の組合せの数をみると、取引実績先数とは逆に1,383組から1,709組に24%増加しており、取引の組合せが多様化している。1997年に取引実績があった444先について組合せ可能な全ての場合の数を求めると ${}_{444}C_2$ 組（= 98,346組）存在し、このうち1,383組が実際に取引を行っている。可能な組合せ総数に対する実際の組合せの比率（ネットワークの平均的な密度）は1.4%と非常に小さい。2005年は1997年に比べ取引実績があった金融機関が少なくなっており、逆に組合せ数は増加しているが、上記の比率は2.7%とやはり非常に小さい。これらは資金取引ネットワークが疎（sparse）であることを示している。このようにコール取引は限定された金融機関の組合せの間で行われており、この「取引の組合せパターン」と「組合せごとの取引金額・回数」がコール市場の取引構造を表していると考えられる。

15 このほか、現金通貨の支払い準備を持つ場としての役割もある。金融政策に関連した準備預金制度や日銀当座預金の機能については、日本銀行金融市場局〔2008a〕を参照。

16 補論1の流動性ショックの伝播に関するシミュレーション分析では取組み・返金の両資金フローを使用している。例えば、一部の金融機関が決済不能に陥ったときの影響を検証する場合、取組みよりむしろ返金時のフローが重要となる。また、予定されていた返金が履行されなかったため資金放出を中止するという二次的な波及効果を検証するためには取組みの資金フローも必要となる。

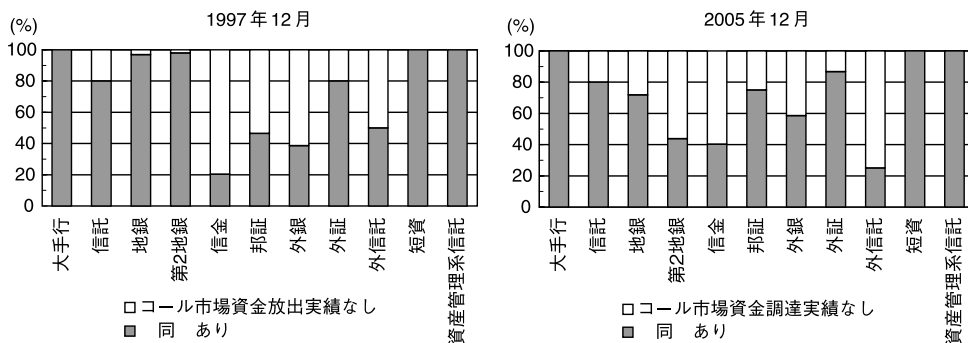
次に、月中の総取引回数・総取引金額を比較すると、いずれも 1997 年に比べて 3 割程度にまで大きく減少している。こうした大幅な減少には、無担コール取引の決済方法に変更があったことが大きく影響しているが（後述）、金融緩和政策下でコール取引が縮小したことも強く反映されていると考えられる。

表 2 コール取引データの概要

	1997 年 12 月	2005 年 12 月	変化率・幅
期間中コール取引があった金融機関数	444 先	354 先	-20%
うち払い取引（資金放出）があった金融機関数	387 先	263 先	-32%
うち受け取引（資金調達）があった金融機関数	393 先	297 先	-24%
（参考）当預取引先金融機関数	97 年度末 710 先	05 年度末 585 先	
取引実績があった金融機関の組合せの数	1,383 組	1,709 組	+24%
同上/可能な全ての組合せ数	1.4% (= 1,383/444C <sub>2</sub> )	2.7% (= 1,709/354C <sub>2</sub> )	+1.3% point
総取引回数	56,858 回	18,940 回	-67%
金融機関別の取引回数（放出・調達）：			
平均値	243・168 回	71・63 回	-71・-63%
メディアン	49・30 回	13・6 回	-73・-80%
金融機関 1 組当たりの取引回数：			
平均値	41.1 回	11.1 回	-73%
メディアン	16 回	2 回	-88%
総取引金額	1,145 兆円	322 兆円	-72%
取引 1 件当たりの平均金額	202 億円	170 億円	-16%
金融機関別の取引金額（放出・調達）：			
平均値	4.90・3.38 兆円	1.22・1.08 兆円	-75・-68%
メディアン	4,410・1,127 億円	1,425・121 億円	-67・-89%
金融機関 1 組当たりの取引金額：			
平均値	8,290 億円	18,861 億円	2.3 倍
メディアン	763 億円	200 億円	-74%

備考：平均値やメディアンは、取引実績がある金融機関を対象としている。

図 1 コール市場取引実績（各業態の企業数構成比）



## (2) 2005 年 12 月の取引構造

まず、2005 年 12 月の取引金額を業態別集計値でみると、コール資金放出では資産管理系信託のシェアが件数・金額いずれでも半分程度を占めており、この業態（含む投資信託）の流動性資金運用がコール市場の主要な資金の出し手になっていることがわかる（表 3）。これに次いで、大手行、地銀がおのおの全体の 1 割強の金額を占めている。大手行はかつてはコール市場における資金調達主体であったが、銀行貸出の減少が続き資金余剰傾向が強まるなか、資金の出し手にもなっている。資金仲介役である短資会社からの放出は、資金受けに比べて非常に少ない金額・件数にとどまっている。無担コール取引（日中コール取引を除く）においては、短資会社は資金の出し手・受け手間の出合いをつけるブローキング業務に特化しており決済の相手方にならないため、決済データに基づく本稿の計数は、有担コール取引および日中コール取引における短資会社のディーリング業務を捉えたものと思われる。同ディーリング業務における短資会社の資金放出額の少なさは、短期資金調達の需要が低迷していたことを示唆している。

コール資金調達側をみると、短資会社の構成比が件数・金額ともに高く、次いで大手行、外銀となっている。業態間のコール資金の流れをみると、銀行間の直接取

表 3 業態別取引金額・件数（2005 年 12 月中の合計、延べ額）

	取引金額（兆円）				取引件数（回）			
	資金放出		資金調達		資金放出		資金調達	
大手行	40.4	13%	62.3	19%	1,186	6%	2,535	13%
信託	20.2	6%	11.7	4%	1,260	7%	582	3%
地銀	44.8	14%	5.8	2%	2,543	13%	492	3%
第 2 地銀	15.0	5%	0.1	0%	1,111	6%	42	0%
信金	2.0	1%	2.1	1%	323	2%	631	3%
邦証	1.9	1%	7.9	2%	181	1%	677	4%
外銀	9.9	3%	23.0	7%	586	3%	931	5%
外証	1.4	0%	8.1	3%	100	1%	377	2%
外信託	8.0	2%	0.0	0%	191	1%	11	0%
短資	13.0	4%	186.6	58%	552	3%	11,680	62%
資産管理系信託	146.8	46%	0.9	0%	9,657	51%	118	1%
証券金融	5.3	2%	6.1	2%	95	1%	356	2%
系統	11.2	3%	5.9	2%	1,009	5%	390	2%
公的金融機関	1.9	1%	1.6	1%	100	1%	89	0%
合計	322.4	100%	322.4	100%	18,940	100%	18,940	100%

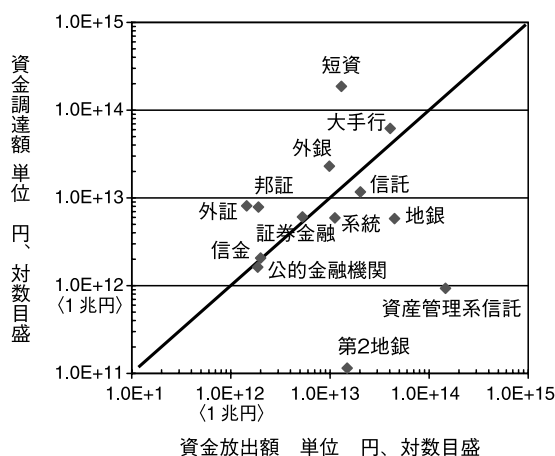
備考：％は構成比。取引フローを合計した延べ件数であるため、ストックでみた運用・調達額とは異なる。コール取引のスタート時のデータを用いているため、主体別にみた放出、調達はバランスしない。決済に焦点を当てた分析では、スタートやエンドに関係なくいずれの資金決済も重要であるため、両データが分析対象となる。業態平均値ゆえ、ある特定の先が平均値に強く影響しているケースや、業態内のばらつきが大きいケースも含まれる。

表 4 業態間のコール資金の流れ（2005 年 12 月）

（単位：兆円）

資金放出	資 金 調 達														
	大手	信託	地銀	第2地	信金	邦証	外銀	外証	外信	短資	資産	証金	系統	公的	合計
大手行	7.0	2.2	2.4	0.0	0.0	2.8	8.5	0.3	0.0	14.7	0.2	0.0	1.5	0.5	40.4
信託	4.2	0.3	0.6	0.0	0.0	0.6	0.9	0.1	0.0	12.7	0.4	0.2	0.1	0.2	20.2
地銀	7.4	1.4	1.0	0.0	0.0	1.8	1.3	0.3	0.0	30.3	0.1	0.8	0.4	0.1	44.8
第2地銀	3.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
信金	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.4	0.0	2.0
邦証	0.5	0.6	0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9
外銀	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	4.5	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9
外証	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
外信託	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.1	8.0
短資	6.0	0.3	0.5	0.1	0.0	1.0	3.4	1.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	13.0
資産管理系信託	30.9	5.8	0.1	0.0	0.0	0.8	3.8	0.9	0.0	97.1	0.1	4.7	2.4	0.0	146.8
証券金融	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3
系統	1.6	0.5	0.6	0.0	2.1	0.3	3.0	0.6	0.0	2.3	0.0	0.1	0.0	0.1	11.2
公的金融機関	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	1.9
合計	62.3	11.7	5.8	0.1	2.1	7.9	23.0	8.1	0.0	186.6	0.9	6.1	5.9	1.6	322.8

図 2 業態別の放出・調達バランス

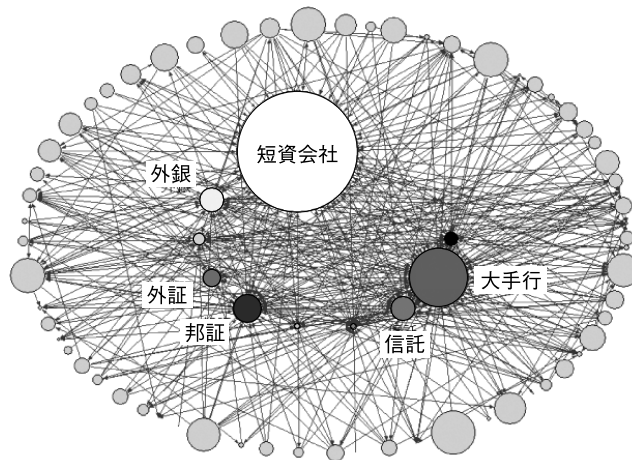


引（DD 取引）・直接決済<sup>17</sup>が相当額存在していること、資産管理系信託から短資会社への放出が最も多く、放出額全体の 1/3 に上っていることがわかる（表 4）。業態別の放出・調達のバランスをみると、外証や邦証、外銀なども調達超過主体となっている（図 2）。

ネットワーク分析ではグラフによる視覚的な認識法がしばしば用いられるが、例えば、地銀 64 行の資金放出先をこうした手法で眺めてみると、図 3 のようになっている（円の大きさは放出金額対数値に比例）。地銀の放出先としては、短資会社が最も多く、次いで大手行となっているが、邦証や外銀に対する放出を示す線も観察される。

17 DD 取引のほかに、短資会社によるブローキングで出合いが付き、決済のみが銀行間で直接行われている取引もかなり含まれていると思われる。DD 取引と区別するため直接決済と表記した。

図3 地銀の資金放出先



### (3) 1997 年 12 月 との比較

次に、RTGS 導入前、ゼロ金利政策前の 1997 年 12 月時点と比較を行った（表 5）。残高統計によると両期間中にコール取引残高が 39 兆円から 21 兆円に半減しているが、表 5 でみた取引フローは  $1/3 \sim 1/4$  程度にまでさらに大きく減少している。ストックとフローのギャップには、短資会社の無担ブローキングの扱い変更という制度要因（同取引はいったん短資会社口座を経由して決済されていたが、資金の出し手・受け手間の口座で直接決済するよう RTGS 導入時に変更）が大きく影響しているほか、返金とスタートのネットティングなど決済資金削減のための取組みもフロー計測値の低下をもたらしている。したがって、1997 年から 2005 年への変化には資金取引の構造変化以外に決済制度の変化の影響が強く反映されており、正確には資金取引・決済の構造変化を捉えたものとみなしたほうがよい。こうした留意点を念頭に 1997 年当時の業態間の資金の流れをみると、全ての業態が短資会社に資金を放出し、短資会社から資金を受け取っていたという全体像が確認される（表 6）。

### (4) 2005 年 12 月中の日次変動

本稿では、平均的な資金取引構造を観察するため、月中の取引を累積して分析を行っている。しかし、コール取引には月中の季節性ともいえる日次変動パターンが存在し、資金取引構造は日々変動している。準備預金の積み最終日や国債の発行日といった制度要因や曜日構成などがこのような変動を作り出していると考えられる。以下ではこの点を簡単に確認しておく。2005 年 12 月中の取引金額・件数の日次変化をみた図 4 からは、2 節で紹介した Iori *et al.* [2008] と同様、積み最終日（毎月 15 日）にかけて取引金額や回数が増加していく傾向にあることが読み取れる。また、

表 5 業態別取引金額の比較

(単位：兆円)

	1997 年 12 月				2005 年 12 月			
	資金放出		資金調達		資金放出		資金調達	
大手行	78	6%	450	35%	40	12%	62	19%
信託	283	22%	82	6%	20	6%	12	4%
地銀	81	6%	65	5%	45	14%	6	2%
第 2 地銀	23	2%	14	1%	15	5%	0	0%
信金	6	0%	3	0%	2	1%	2	1%
邦証	29	2%	15	1%	2	1%	8	2%
外銀	35	3%	62	5%	10	3%	23	7%
外証	4	0%	13	1%	1	0%	8	2%
外信託	5	0%	2	0%	8	2%	0	0%
短資	698	54%	548	43%	13	4%	187	58%
資産管理系信託	—	—	—	—	147	46%	1	0%
証券金融	1	0%	14	1%	5	2%	6	2%
系統	27	2%	12	1%	11	3%	6	2%
公的金融機関	8	1%	2	0%	2	1%	2	1%
合計	1,281	100%	1,281	100%	322	100%	322	100%

備考：% 表示の列は構成比。

表 6 業態間のコール資金の流れ（1997 年 12 月）

(単位：兆円)

(単位：兆円)														
資金放出	資 金 調 達													
	大手	信託	地銀	第2地	信金	邦証	外銀	外証	外信	短資	証金	系統	公的	合計
大手行	0	0	2	0	0	1	0	2	0	72	0	0	0	78
信託	9	0	0	0	0	2	0	0	0	272	0	0	0	283
地銀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	81
第2地銀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	23
信金	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	6
邦証	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26	1	0	0	29
外銀	0	0	0	0	0	0	0	6	0	28	0	0	0	35
外証	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	4
外信託	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
短資	437	79	63	14	2	13	60	4	2	0	12	10	2	698
証券金融	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
系統	2	0	0	0	1	0	0	0	0	23	0	0	0	27
公的金融機関	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	8
合計	450	82	65	14	3	15	62	13	2	548	14	12	2	1,281

連休や週末前には特に件数の増加が顕著であることがわかる。20 日は国債の発行日であり、このタイミングでも金額や件数の増加が観察されている。実データを用いた流動性ショックのシミュレーション分析では、日の選択や結果の解釈において当日の資金フロー特性を配慮する必要がある、補論 1 のシミュレーションでは特異日として積み最終日を取り上げている。

取引の日次変動の大きさは業態によっても異なっている。図 5 は、資金放出・調達額の日次変動について、月中 21 営業日の平均値とボラティリティをみたものである。資産管理系信託や短資会社は、取引金額が大きい分ボラティリティも高いが、短資会社の放出は平均の低さの割に振れが大きい。これは、平均的にみれば資金余剰

図4 取引金額・件数の2005年12月の日次変動

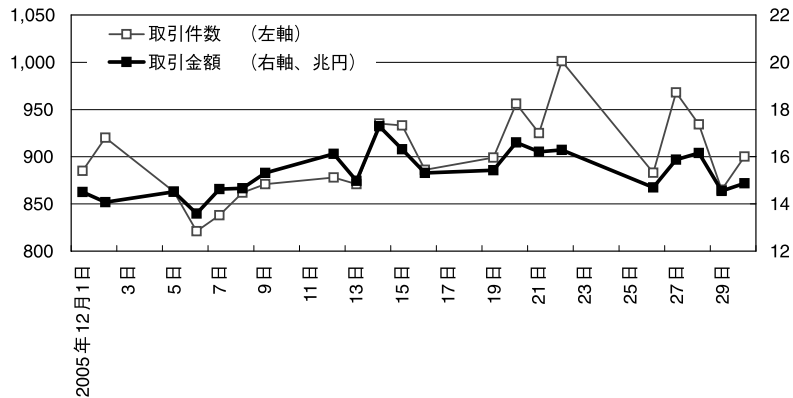
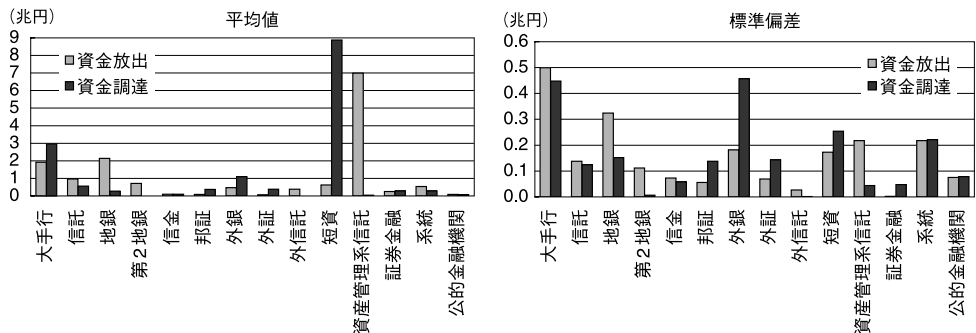


図5 日次取引金額の月中ボラティリティと平均（21営業日）



でも月中の特定日には資金需要が発生し、短資会社からの放出が増加することを示唆している。外銀は平均取引金額に対してボラティリティが大きく、特に資金調達面でボラティリティの高さが目立つ。これに対し、大手行は平均値では資金調達額が多いが、ボラティリティでは放出のほうが高くなっており、外銀や邦証、外証とは逆のパターンとなっている。

#### 4. インターバンク取引のネットワーク構造

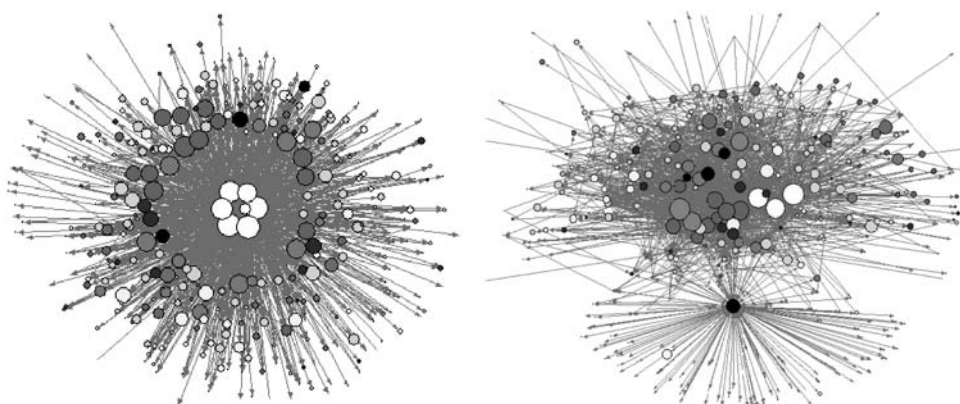
##### (1) 概観

ネットワーク分析では、グラフによる視覚的な形状認識がしばしば用いられる。これにない、インターバンク市場における資金の流れをネットワークとして視覚的に表現したものが図6である。個々の点は金融機関を、線は取引関係の存在を示す。1997年は短資会社をハブとしたネットワークになっていたが、2005年にはリンクが分散化されたネットワークに変化している。これを模式図で示したものが図7で

図6 資金取引ネットワーク

1997年12月

2005年12月

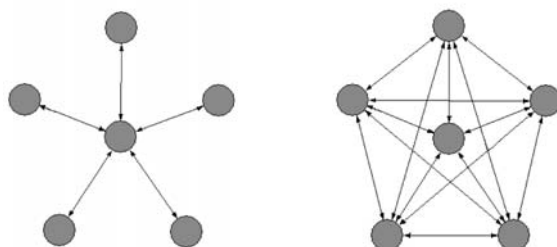


備考：グラフの作成はPajekというネットワーク分析ソフトウェアを用いており、kamada-kawai アルゴリズムに基づいて描画している。同アルゴリズムは、リンクが存在するノード間に引力と斥力（反発力）を働かせることで、多くのリンクで結びついたノード群ほど近くに集まる（各ノード間に斥力が働くが、ノード群内で引き合う力の合成力がこれを上回る）一方、1本のリンクで結びついたノード間では斥力が強く働き、離れて位置するようなノード配置を作り出す。全ての引力と斥力の合計エネルギーが最小化されるよう全体のノード配置が決定されるが、その結果は初期配置状態に依存するため、作図に当たっては安定した結果が得られるまで試行を繰り返している。グラフ中の円の大きさは、重み（取引金額）の対数値に比例し、色の濃淡は業態を示す。なお、kamada-kawai アルゴリズムは、引力や斥力の設定において strength やリンクごとの重み（ペアごとの取引金額・回数）の情報は使わず、リンクの有無情報のみでノード配置が計算される。

図7 ネットワークの模式図

スター型ネットワーク（中央集中型）

完全ネットワーク（分散型）



ある。左図は各ノードがハブにのみリンクしている「スター型（中央集中型）」ネットワークであり、1997年のネットワークはほぼこの形状で表現することができる。先にみた表6からも、ほとんど全ての資金が短資会社を経由していることが確認される。

これに対し、図7の右図は各ノードが他の全てのノードにリンクしている完全ネットワークと呼ばれるものであるが、表2でみたように、実際の資金取引ネットワークのリンクは非常に疎であり、完全ネットワークのように全てのノードが高い次数

を持つわけではない。また、図 6（右）を仔細にみると、完全に分散化しているわけではなく、取引金額が大きい（ノードの面積が広い）金融機関が中心近くに位置し、かつリンクの密度も濃いように窺われる（ノードの位置の解釈については図の備考を参照）。そこで、以下ではネットワーク統計量を用いて、グラフに示されたような複雑なネットワークがどのような特徴を持っているのか順にみていく。

まず、各ノードの次数と重みの分布状況を調達・放出別に確認する。これは、各金融機関が当月中に何先と資金取引を行ったか、グロスの取引金額はいくらであったかをみたものである。1997 年と 2005 年の金融機関別入次数を高い順に並べたものが図 8（左）である。1997 年では短資会社 7 社にリンクが集中しており、10 先以上の調達先を持つ金融機関は短資会社 7 社しかなかったが、2005 年では短資会社以外でも多くのリンク先を持つ先が増加しており、10 先以上の調達先を持つ金融機関は 53 先に増加している。こうした高次数先の増加が図 6 でみた分散化現象をもたらしていると考えられる。また、もともとリンクが少なかった先は、一段と取引先を絞り込んでいることも観察されている。これは、金融緩和局面が続くなか、資金調達ニーズの低下から小規模金融機関で調達先を絞り込む動きがあったものと解釈できる。出次数の分布変化についても、ほぼ同様な現象が観察されているが、小規模金融機関の放出先数の減少は、調達先数の減少に比べると小さなものとどまっている。

次に、調達・放出の金額（入次数と出次数の重み）について同様な分布を図 9 でみると、上位数先が突出して多額となっており、その傾向は 1997 年より 2005 年のほうが顕著になっていることがわかる。短資会社や大手行などの合併に伴い、上位

図 8 放出調達別の取引先数分布（対数目盛表示）

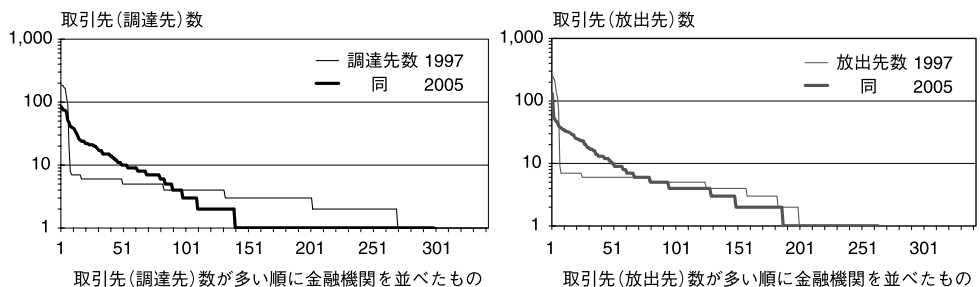


図 9 放出調達別の取引金額分布（対数目盛表示）

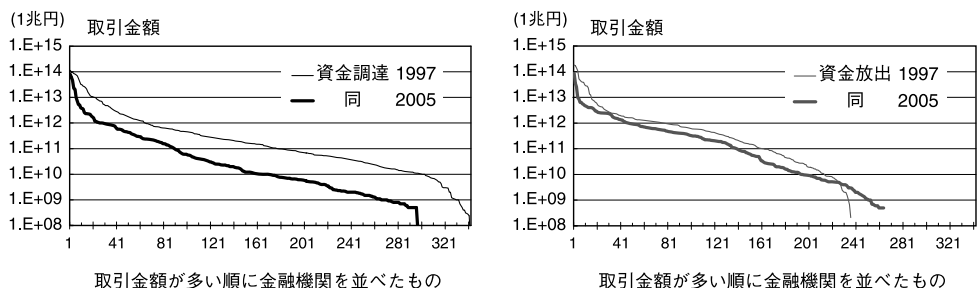
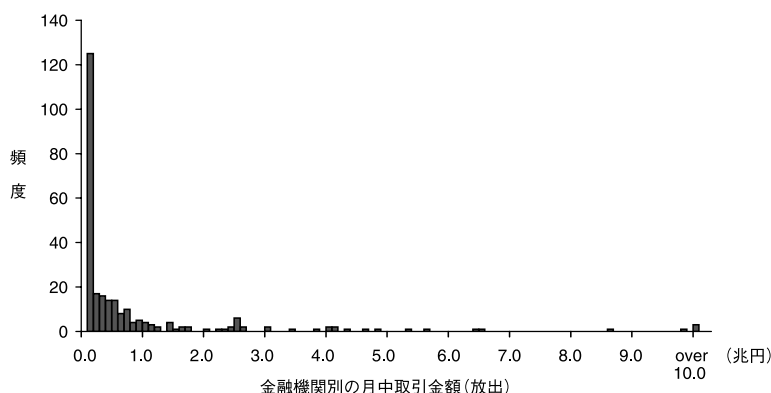


図 10 ロングテイル特性：取引金額の分布



先の集約が進んだことが、その一因になっていると考えられる。分布全体でみると、調達・放出ともに分布全体が下方にシフトしており、3 節でみたコール取引の減少を表している。放出より調達の分布が下方へのシフトが大きくなっているが、放出と調達の総額は各時点で必ずバランスしているため、2005 年の放出と調達を重ねて比較してみたところ、調達上位先は放出上位先よりも相対的に取引金額が増加しており（1997 年からの減少幅が少ない）、一部の調達上位先で全体の放出超を吸収するかたちとなっていることが確認された。

金融機関別の取引金額分布をヒストグラムで示すと、テイルが非常に長い形状となっており（図 10）、こうした特徴は次数の分布のみならず、取引ペア別にみた金額・取引回数の分布においても確認された。このようなテイルの長い分布はべき乗分布  $p(x) \sim x^{-\gamma}$  として表現可能な場合が多く、実際、先行研究が指摘していたようにべき乗分布に従うケースが多く観察された。補論 4 で詳細を示す。

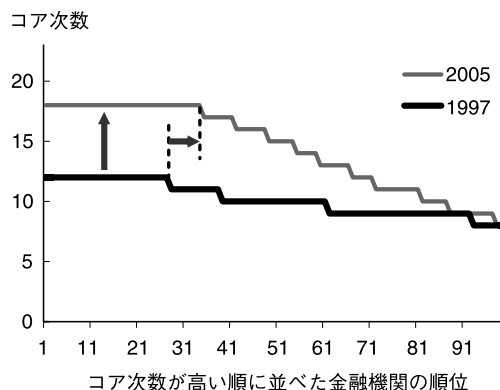
次数がべき乗分布に従っていることは、資金取引ネットワークが完全ネットワークやスター型ネットワーク（純粋なハブ・アンド・スポーク）、ランダム・ネットワーク（補論 4 参照）ではないことを示している。資金取引ネットワークの高次数先はスター型ネットワークのハブに相当するが、その他のノードはハブにのみ接続しているわけではなく、中間的な次数を持つ先が存在している。ネットワーク理論では、ソーシャル・ネットワーク一般に広く観察されている次数のべき乗分布特性をネットワークの生成メカニズムによって説明するモデルが考案されている。特に、ノード間にリンクが発生する誘引やネットワークの成長がべき乗分布特性が現れるうえで重要なことが指摘されている。資金取引ネットワークにおけるリンク発生の誘引については後述する。

## (2) コアと周辺の二重構造

図 6 からは、ネットワークの分散化が進みつつも引き続き中心となる部分が存在していることが窺われている。こうした資金取引ネットワークの中核に存在する金融機関をコア次数という統計量で抽出してみた（図 11）。コアとは、一部メンバーを取り上げたサブ・ネットワーク内で、全員が少なくとも  $k$  本以上のリンクを有しているようなリンクの密度が高い（全員がリンクしあっている完全ネットワークにより近い）サブ・ネットワークであり、 $k$  をコア次数と呼ぶ<sup>18</sup>。図 11 は、2005 年においてコア次数  $k$  が最も高い値 18 をとる金融機関 34 社（横軸）を抽出し、これらの金融機関でサブ・ネットワークを作ると、34 の構成員全員が少なくとも 18 先以上とリンクを有していることを意味している。コア次数を下げれば対象金融機関数は増加するが、どこまでをコアとみなすか特段の基準はないため、ここではコア次数  $k$  が最大値をとる金融機関に注目した。このコア・ネットワークは、短資会社、大手行、資産管理系信託、信託銀行、大手証券会社（邦証・外証）、系統金融機関、一部の大手地域銀行から構成されていた。これらの業態がコール市場の資金取引ネットワークの中核に位置していると考えられる。また、図 11 で 1997 年からの変化をみると、①コア内のリンクがより密になっていること（コア次数の増加）、②コアの構成員が増加していることがわかる。これはネットワークの分散化がコアの拡大を伴って進展したことを意味している。業態別平均値でみた degree やコア次数を表 7 に示した。

ネットワークのコア部分を形成するノードとその他のノードの関係をみるために、クラスタリング係数を計測した。2 節で述べたように同係数は、あるノードがリンクしている先すべてをローカルな集団（サブ・ネットワーク）として取り上げ、その内部でのリンク密度を測ったものである。図 12 に各金融機関のクラスタリング係数

図 11 コア次数



18 ここで示したコアの定義は  $k$ -コアと呼ばれる考え方であり、ネットワーク理論では、このほか  $m$ -コアという概念も用いられている。

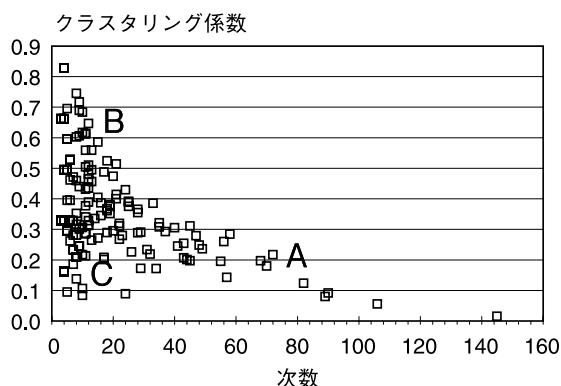
表 7 入出次数とコア次数：業態平均値の変化

(単位：件)

	2005 年 12 月			1997 年 12 月		
	in-degree	out-degree	core degree	in-degree	out-degree	core degree
大手行	31.2	32.0	18.0	6.4	4.5	10.4
信託	10.1	11.8	10.8	2.9	4.2	6.9
地銀	5.6	8.9	9.7	3.0	3.9	7.0
第 2 地銀	1.5	3.1	3.5	2.9	2.9	5.6
信金	1.1	1.7	1.9	1.0	1.0	1.5
邦証	12.0	6.2	7.5	5.4	2.3	3.7
外銀	7.0	2.1	6.2	3.6	2.2	5.4
外証	7.3	2.9	8.2	2.4	0.9	2.2
外信託	1.0	2.3	2.8	2.0	0.4	2.4
短資	76.7	36.7	18.0	133.9	146.9	12.0
資産管理系信託	20.3	41.7	18.0	—	—	—
証券金融	9.3	4.0	8.0	3.0	2.0	5.0
系統	26.8	56.3	17.5	5.3	3.5	7.3
公的金融機関	9.0	6.6	8.8	4.5	3.0	5.0

備考：業態平均値の計算においては、リンクが存在しない金融機関の統計量をゼロとした。コア次数（core degree）は調達・放出のリンクをともに用いた無向ネットワークで計算している。

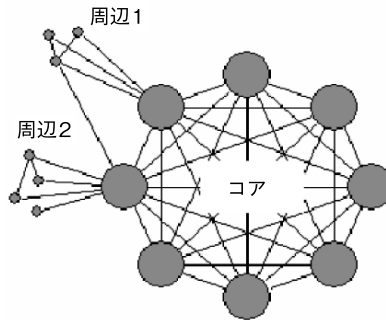
図 12 クラスティング係数と次数



と次数の関係をプロットした。図中のエリア A に位置する金融機関はリンク数が非常に多く、一方、クラスティング係数は低くなっている。これらの金融機関を個別にみても、前出のコアの構成員と概ね重なっていた。リンク先の多さは、コア部分以外のネットワークの周辺ノードにもつながっていることを示しており、ネットワーク全体のハブとして機能しているといえる。クラスティング係数ではこれら周辺ノードを含むサブ・ネットワークを考えるため、コアに属しているにもかかわらず、平均的な密度は低くなっていると考えられる。

一方、エリア B では、自社のリンク数は少ないが、リンク先の領域内では緻密なネットワークが形成されている。これらの先は、比較的少数の決まった先と取引を行っていると考えられる。地域銀行や外銀、外証などの一部がこうした先に該当していた。なお、エリア C は、リンク先が少なく、かつ、それらの間も分断化されて

図 13 コアと周辺の2重構造



いるため、コアに対するぶら下がり的なつながり方をしている、もしくはコアの外部で局地的な小規模ネットワークを形成しているものと考えられる。この点は後段で別統計量により再考する。

上述のネットワーク統計量から、2005年のコール市場の資金取引ネットワークは、①コアと周辺（periphery）という二重構造になっており、②コア内は全員が互いにリンクしあっている完全ネットワークに近く、③コアは周辺に対するハブになっており、④周辺はクラスター化している（ある決まったハブや少数の周辺メンバーと狭い範囲で互いにリンクしあっている）ということがわかった。その概念図を図13に示した。図6右の現実のネットワークは、こうしたコンセプトで捉えられると考えられる。

### (3) スモールワールド・ネットワーク

コール市場の資金取引ネットワークに生じた構造変化はシステミック・リスクの観点から重要である。すなわち、一部の金融機関で生じた決済の遅延や不履行が流動性ショックとしてコール市場全体に伝播していく、あるいは逆に吸収されていく過程は、ネットワークの形状に強く依存すると考えられる。先行研究では、決済や資金取引のネットワーク全域が極めて短いステップ数でつながっていることが確認されていた。そこで、本稿でも、ある金融機関がネットワーク全体の金融機関にリンク何ステップで到達可能か、その平均距離はどれくらいかを計測してみた（図14）。

2005年の平均距離の分布をみると、上位200先は平均3ステップ以内でネットワーク内の到達可能な全ての先にリンクされており、資金取引ネットワークが非常に狭い世界であることがわかる。2節で解説したようにスモールワールド・ネットワークとは、ノード数の割にリンク数が少なく、ネットワーク密度が疎であり、かつ、各ノードは自分に近い関連性があるノードとリンクしがちであり、クラスター化しやすい傾向があるにもかかわらず、平均距離が短く、数ステップで非常に広い領域（domain）に到達できるネットワークを指す。少数のハブやショートカット・リ

図 14 各ノードの平均距離

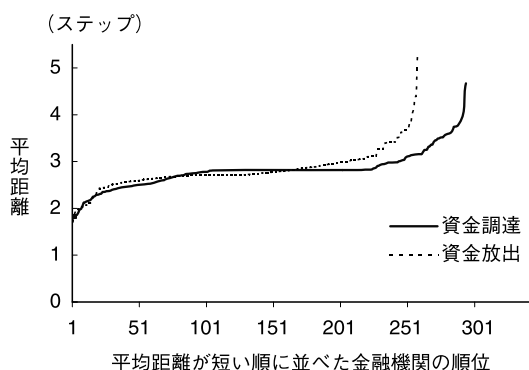
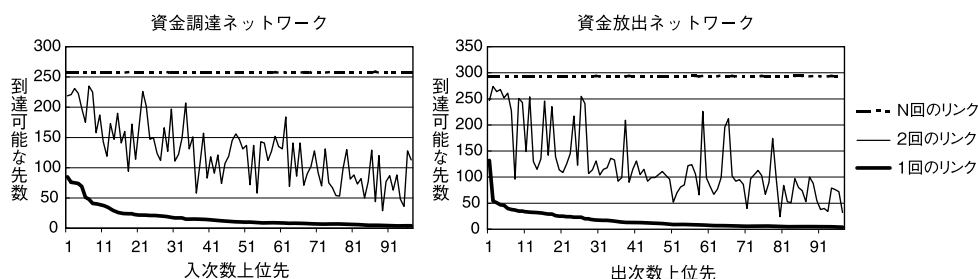


図 15 各ノードの到達可能領域



備考：資金調達のリンクでみたネットワーク（左）と放出でみたネットワーク（右）では最大到達可能領域が異なる。これは、調達・放出のどちらか一方しか行っていないノードが存在するためである。また、1、2 回のリンクで到達できる範囲も 2 つの有向ネットワークでは異なっている。

リンクの存在が、こうした特性をもたらすことが近年のネットワーク理論の研究で判明しており、本稿のケースでは上述のコアがその役割を果たしていると考えられる。特に、コアの内部が完全ネットワークに近い形状になっているため、周辺のノードが同一のハブに接続していなくとも、コア内部でのワンステップでつながることが可能となっている。

到達可能領域をノード数で示した **influence domain** は、直接リンクしている領域（ステップ 1 回で到達できる領域）のみならず、任意のステップ数について定義できる。1、2、 $N$  回のステップ数で到達可能な領域を次数の上位順に示した図 15 は、ステップ 2 回でネットワークの相当割合に到達可能なことを示している。こうしたスモールワールドでは、システムの一部で生じたショックが容易に全体に伝播していく可能性があり、金融システムにおけるスモールワールド特性はシステミック・リスクの存在を示唆していると考えられる。

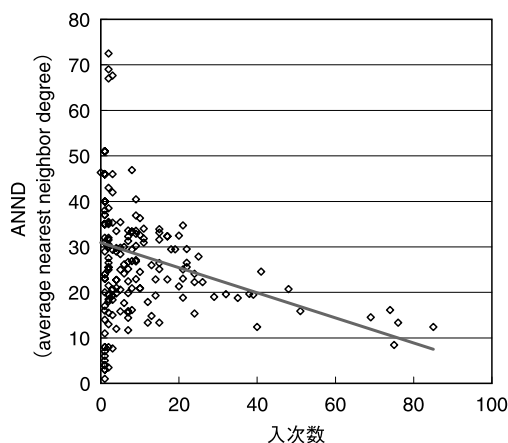
#### (4) 周辺のコアに対する結びつき

これまでみてきた資金取引ネットワークの構造は、個別金融機関がどのような誘引に基づいて取引相手を選択してきたかを反映している。3節で紹介したように決済やインターバンク市場の制度要因がその構造の決定に重要であることは自明であるが、その制度設計の背後にある経済合理性（安全かつコスト安で、自由度が高く容易に取引が成立する使い勝手のよい効率的な市場に対するニーズ）と、市場参加者が直面するさまざまな現実的な制約のもとでおのおのの取引関係が発生し、これがネットワークの構造を決定してきたと考えられよう。

こうしたネットワークの生成メカニズムは、どのようなネットワーク生成モデルがスモールワールド性やスケールフリーといった現実に観察される特性をもたらすのかという観点から検証が進められている。代表的なモデルとして、リンクが多いものほど他ノードをさらに引き付けやすくなるという優先的選択モデル<sup>19</sup>や、既存のリンク数以外に何らかの基準を定義し、その高低に比例してノード数を持つというモデル、ノードの類似性に注目し、類似性が高いもしくは低いほどリンクが発生しやすくなるというノード間の親和性（Affinity）を考えたモデルなどがある。

図16は、資金取引ネットワークのノード間の親和性をみたものである。横軸に各ノードのリンク数を、縦軸に「当該ノードと直接リンクしているノードのおおののリンク数を単純平均したもの：ANND（average nearest neighbor degree）」をとっている<sup>20</sup>。図からは、取引先数が多い金融機関ほど、その相手方の取引先数は平均的

図16 各ノードの親和性（Affinity）：Disassortative



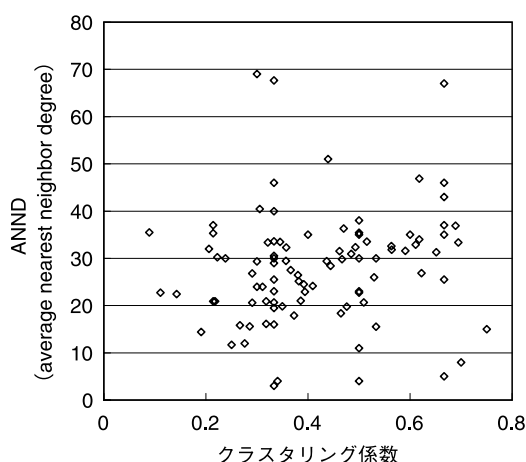
19 インターネット上のホームページのリンクにおいてもべき乗分布が観察されている。ホームページがある程度有名になるとリンクが多く張られるようになり、訪問者の更なる増加から加速度的にリンク数が増加するという仮説が考えられる。これを優先的選択モデルとネットワーク成長モデルの組合せで表すとべき乗分布の発生が説明できることが指摘されている。

20 図16では、横軸のリンク数は入次数を、縦軸は出次数のANNDを示しているが、入・出次数の2×2のどの組合せをとっても同様な形状を示した。

にみて少ないことが確認される。また、取引先が少ない金融機関では、その相手方の取引先は平均的にみて多くなるという傾向が観察される（自分の取引先数、相手方の取引先数平均がともに少ないというケースも多く存在しており、この点は後述する）。これらは、取引先数が少ない先と取引先数が多い先がリンクしあう傾向があることを意味している。類似性が高いほど結びつきやすいものを assortative、類似性がないほど結びつきやすいものを disassortative な関係にあると呼ぶ。コール市場の資金取引ネットワークは、全体としてみれば次数に関して disassortative であるといえる。このような傾向は米国 Fedwire の決済ネットワークやイタリアのインターバンク取引ネットワークでも Soramäki *et al.* [2006] や Iori *et al.* [2008] によって確認されている。ただし、高リンク先は、コア・メンバー間で完全ネットワークに近い密なネットワークを形成していたため、「高リンク先同士の結びつきやすさの効果を単純平均計算で打ち消すほど数多くの低リンク先ともつながっている」と考えるほうがより正確である。

また、図 16 の左下にも多くのサンプルが観察されることから、低リンク先が低リンク先と結びつきやすいという関係も存在している。これは、コアに対する周辺には、①コアとのつながりが強い周辺ネットワークと、②コアとの結びつきが比較的弱いネットワークの 2 タイプが存在することを示唆しているものと考えられる。したがって、他の先行研究のように単純な disassortative ネットワークとして捉えるべきではないことがわかる。図 17 は、縦軸に図 16 と同じ ANND を、横軸にクラスタリング係数をとって、次数が 20 以下の周辺に相当するノードをプロットしたものである。右上に位置するノード群は、上記の①のなかでも周辺ノード内で高密度にクラスター化した集団の構成員である先を、左上に位置するノード群は、上記①のなかでもコアにのみリンクする傾向が強いものに相当すると推測される。一方、左下

図 17 2つの周辺 (Periphery)



に位置するノードはコアとの結びつきが比較的弱い②のなかでも周辺内部でのリンクが少ないものに相当すると推測される<sup>21</sup>。

## (5) ネットワークとシステミック・リスク

以上みてきた資金取引ネットワークの特徴は、コール市場取引の安定性やショックに対する頑健性についてどのようなインプリケーションを持っているのか、3つの視点から定性的な考察を行った。

最初の視点は、市場参加者のうち誰が重要な役割を担っているかというものである。これは、一義的には当該金融機関の情報で特定化できる。すなわち、多くの金融機関と取引しており（次数が高い）、取引金額や回数が多い（重みが大きい）金融機関は、コール市場への資金の出し手や受け手として重要なだけではなく、未払いを起こしたときに影響が及ぶ範囲が広い、または未払いを起こされたときの影響も大きいという、決済リスク上の重要性も有している。

また、間接的な影響力を考えると、ネットワーク上のどのような位置に存在しているかも重要となる。資金取引上のつながりが緻密なネットワークのコア領域の構成員であると、他の重要な市場参加者への影響力が大きいほか、コア領域につながっている周辺への影響も大きい。前者は、取引相手の重要性が自分の重要性も決めるというネットワーク上の相互依存性を示している。後者は、相手先が周辺に位置する調達者であり、かつ、他のコア構成員に平時からリンクを有していない（必要な際に取引を即時開始できるようなクレジット・ラインの枠が設定されていない）ような場合には、次数や重みが高くなくとも資金供給者としての重要性が局所的に増すということを意味している。

2番目の視点は、ネットワークの構造に関するものである。まず、コア・ネットワークが機能不全になり資金取引が不活発化する、あるいはコア内部で決済不履行の連鎖が生じてしまうと、平均距離の短さから、こうしたショックは即時にネットワーク全体に拡大してしまう可能性が考えられる。また、周辺で生じたショックは、リンクを有するコアの構成員を通じてコア領域に伝播するが、こうしたショックの吸収ポイントとしてコア領域が機能しないと、やはりネットワーク全体に拡大伝播していく可能性がある。コアの構成員は周辺に比べて規模が大きいいため、コア内部でショックを吸収できたとしても、その過程の余波が規模は小さいながら周辺に向かうことも考えられる。周辺領域の金融機関は平均的にみて規模が小さいため、わずかな余波が強い悪影響を及ぼす可能性も想定されうる。

3番目の視点は、資金市場にストレスが生じた際の中央銀行の流動性供給に関するものである。サブプライム問題に始まる証券化市場を中心とした金融市場の混乱

21 右下に位置するノードは、クラスティング係数は大きいですが、もともと次数が小さいノードが多く、小規模なサブ・ネットワーク内にリンクが存在しているため同係数が大きくなっているものと思われる。例えば、3つのノードと3本のリンクからなるネットワーク（triad）の同係数は1である。

は、米国や欧州の短期金融市場にも波及し、著しい資金需給の逼迫や信用収縮が発生した。これに対し、米欧の中央銀行は機動的かつ柔軟な金融調節を行うとともに新たな金融調節手段の導入により資金供給力の強化を図り、市場の安定化に努めている（詳細は日本銀行金融市場局〔2008b〕を参照）。こうした金融調節手段の制度設計においては、流動性供給をより効率的かつ効果的に行うための対象金融機関を知ることが必要条件の1つとなろう<sup>22</sup>。

本稿で観察されたコアと周辺というネットワーク構造においては、コアの構成員に流動性を集中的に供給するとネットワーク全域に資金が循環するため、効率的かつ効果的な手法のように思われる。しかし、これは平時において想定されることであり、資金市場にストレスが生じている、特にコアの構成員がストレス下にある場合、平時の資金仲介が機能しない可能性がある。コア内部での資金の偏在や、周辺での資金不足に対するコアからの供給不能といった事態に対応していくためには、中央銀行の流動性供給手段へのアクセスをコアのみならず周辺の構成員も保有する必要性が出てくるかもしれない。また、周辺でクラスター化しているローカルなネットワークでは、必ずしも全員がコアにリンクできなくとも、構成員の1先がコアにつながるもしくは中央銀行の流動性供給手段にアクセス可能となることで、内部で資金が再配分される可能性も考えられる。2007年8月以降、FRBがとった対応のなかに、預金取扱金融機関に対する新しい資金供給手段（入札型ターム物貸出：Term Auction Facility）がある。これは、周辺の構成員に対する直接の資金供給手段の追加導入と捉えることができる<sup>23</sup>。

なお、ここでの考察はネットワーク構造から推測される定性的なものにとどまっている。実際の資金取引ネットワークは、視覚的にも確認したように、概念図13より遥かに複雑な形状を示しており、ショックの伝播等に関する上述の考察がどの程度正確なものかを知るためには、別の定量的な検証が必要となる。補論1では、動学的・定量的分析への第一次接近として、強い仮定のもとではあるが、実データに基づくシミュレーションにより流動性ショックがネットワーク内を伝播していく様子を検証した結果を紹介している。

22 もちろん、実際の制度設計には、資金供給手段の選択、タームの選択、担保要件の選択、中央銀行の資金供給情報に関するディスクロージャー内容など、多様な条件を勘案せねばならず、これらを適切に選択するための情報が必要となる

23 FRB はコアの構成員に相当すると思われるプライマリー・ディーラーに対しても、各種の資金供給手段を導入している。Fedwire の決済ネットワークを分析した Soramäki *et al.* [2006] は、2 節で紹介したように、7,000 の利用先中、66 先が決済額の 75% を占め、なかでも 25 先がリンク密度が非常に濃い中核的ネットワークを形成していることを指摘している。論文では詳細は示されていないが、プライマリー・ディーラーはこうした中核的ネットワークに多く含まれていると推測される。

## 5. おわりに

コール市場の資金・決済の流れは、近年大きく変化してきた。本稿では、日銀ネットの決済データからコール市場の取引データを抽出し、近年、社会科学への応用が進んでいるネットワーク理論を用いて、コール市場の複雑な資金の流れを資金取引ネットワークとして捉え、その特徴を各種のネットワーク統計量で計測することを試みた。また、2001年初のRTGSの導入をはさんで、ゼロ金利政策導入前の1997年12月と量的緩和政策下にあった2005年12月を比較し、上述のような要因によってコール市場取引にどのような構造変化がもたらされたのか検証を行った。

その結果、コール資金の流れは、短資会社がハブとして仲介役を果たすスター型ネットワークから、他のさまざまな経路が存在する分散型ネットワークに変化していたことが観察された。1997年では短資会社にリンクが集中していたのに対し、2005年ではリンクを数多く持つ先が増加し、ネットワークの分散化が進行していた。また、もともとリンク数が少なかった先はリンク先がさらに減少しており、特に資金調達面でその傾向が強いことが観察された。

2005年の分散型ネットワークでは、短資会社、大手行、資産管理系信託、信託銀行、大手証券会社、系統金融機関、一部大手地域銀行などから構成される中核的ネットワークが存在し、その内部は完全ネットワークに近い緻密なネットワークとなっていることが判明した。コアの構成員は、ネットワークの周辺に位置する金融機関に対するハブになっており、これにより資金取引ネットワークのほとんどが平均2〜3ステップでつながっている。また、周辺のコアに対するつながり方も一様ではなく、周辺ではクラスター化現象なども観測されている。

このようなネットワークの構造は、システムック・リスクの観点から重要である。ネットワーク内のある金融機関に生じた流動性ショック、例えば資金不足に伴う決済の遅延や支払い不履行がコール市場全体に伝播していく、あるいは逆に吸収されていく過程は、ネットワークの構造に強く依存すると考えられる。そこで、本稿では、ネットワーク構造の観察結果に基づく定性的な考察を示したほか、一定の仮定のもとで流動性ショック・シミュレーションを行い、ショックの伝播に関する定量分析を行った。

もっとも、こうした考察や分析では、流動性ショックに対して金融機関がどのような反応をとり、これがショックの連鎖にどのような影響を及ぼすのかという視点は含まれていない。コール市場の安定性やショックに対する頑健性を考えるうえで、平時のネットワーク構造を前提に、こうした反応行動によってネットワークがどのように変性していくのか、それに伴ってインターバンクの資金仲介機能がどう低下していくのかを検証することが重要になる。

その手がかりとなりうるのは、ストレス時のケーススタディであろう。例えば、2007年夏以降、米国や欧州におけるインターバンク市場は強いストレス下にあり、平時の市場取引構造とは異なった形状を示しているかもしれない。平時からの変貌

の過程を日次で観察し、どのような役割を果たしていた金融機関がその機能を失い、インターバンク市場全体が機能低下していったかをネットワークの視点から検証していくことは有益であろう。また、その過程で金融機関の行動に変化がみられた場合、資金繰りの困難化など自社の都合によるものなのか、デフォルト・リスクが高まったと考えられる金融機関に対する与信の縮小なのか、流動性が低下した市場で余剰資金の放出に慎重になったものなのか、さまざまな理由が想定されうる。

こうした金融機関の反応行動やその理由を検証することは、市場が機能不全に陥った場合の回復メカニズムを考える際の手がかりにもなろう。とりわけ、中央銀行にとっては、流動性危機への対応と平常状態への回復に向けての対応、具体的な流動性供給手段の在り方などに関する示唆が得られると考えられる。

また、平時においては市場の安定性と効率性の関係も重要となる。安定性や頑健性のみ重視した市場は、資金仲介機能の効率性に劣るかもしれないし、両者はトレードオフではなく補完的な関係を持っているかもしれない。本稿では資金仲介機能の効率性には触れなかったが、ネットワーク分析はこうした検証にも有益であると思われる。

## 補論 1. 流動性ショックの伝播：シミュレーション分析

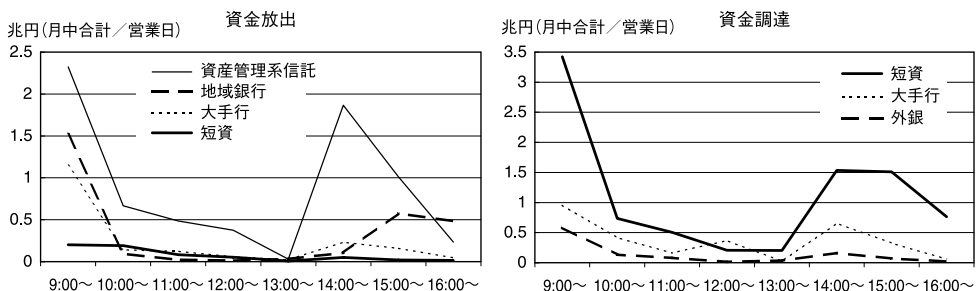
本稿では、平均的な資金取引構造を観察するため、月中の取引を累積して分析を行った。また、その構造の特徴からシステムック・リスクに関するインプリケーションを考察した。もっとも、静学的な構造情報に基づく定性的な考察から、ショックに対するネットワークの動学的な振る舞いを推し測ることは難しい。また、3 節 (4) でみたように、取引金額や回数は日によって変動し、どの金融機関が出し手・取り手に回るかも一定ではなく、したがって、資金取引構造は日々変化していると考えられる。さらには、資金不足や債務不履行などの流動性ショックが RTGS システムのもとでネットワーク上をどう伝播していくかは、リンクの太さに相当する決済金額情報や、支払いの順番・タイミングという時間情報に強く依存する。

そこで、本補論では、いくつかの強い仮定のもとではあるが、第一次接近として実データに基づくシミュレーション分析を試みている。なお、本稿は資金取引ネットワークを分析対象としているものの、ネットワーク上での時系列的な資金の流れをショックの伝播という観点から検証する場合、事実上、決済ネットワーク分析を行うことになる。シミュレーションでは、取引スタート時のデータだけでなくエンド時の返金データも使用する。資金不足や債務不履行のショックは返金フローが滞ることを意味しており、加えて、予定されていた返金が入ってこなかったがために資金放出を停止するという二次的な波及効果も存在する。それゆえ、スタート時取引もそのタイミングや金額が重要となる。

### (1) 日中の変動

シミュレーションに際しては、資金が決済される時間が重要となるため、まず、日中の決済進行状況をみておく。図 A-1 は、9 時にオープンする日銀ネットでの決済進行を 1 時間ごとの決済金額の推移としてみたものである。2005 年 12 月時点で最大の出し手である資産管理系信託の放出は、9 時台および 14～15 時台が中心となっ

図 A-1 日中時間帯別にみた資金放出・調達



ている。午後に2番目のピークがあるのは、当日の投信の設定・解約動向が判明したのち、手元流動性のコール市場放出を行うためと考えられる。これらの資金には、投信名義で有担コール市場に向けて放出されるもののほか、信託銀行名義で無担コール市場に向けて放出されるものがある。一方、大手行の放出は無担コールが中心であり、ほとんど9時台に放出が終了している。地域銀行の放出は、無担コール中心の9時台と有担コール中心の15~16時台の2つのピークがあり、後者は、全銀システムにおける内為決済尻の着地がみえてから放出される資金であると推測される(ちなみに全銀システムの入力には15時30分まで、勝ち負け尻の日銀ネットによる決済は16時15分である<sup>24</sup>)。これらの動きを反映し、短資会社の資金受けは9時台と14~15時台の2ピークとなっている。

1件ごとに決済を行うRTGSシステムでは、一括して決済を行う時点ネット決済システムに比べ、資金の効率性が低下する。このため、各金融機関は自分が支払う前に取引相手から支払いを受けることで、資金負担を抑制しようとするインセンティブを持つ。これは受取側からみると、支払いを受けるタイミングが後ずれし、かつタイミングに関する不確実性が高まることを意味する。このように、RTGSシステム自体には、「支払資金の確保を取引相手からの受取に依存する」というモラルハザードを排除する仕組みが組込まれていないため、ある金融機関が資金負担を回避するために支払ペースを抑制すると、この支払いを期待していた別の金融機関が支払いを遅らせることがある。この決済遅延の連鎖は、一過性の影響にとどまらずに、連鎖的に金融機関間に広がっていくことで、システム全体としてのすくみ(gridlock: 資金決済の渋滞)に発展する<sup>25</sup>。日銀ネットでは、RTGS導入時に返金先行ルール(9時台に集中的に返金)や1時間ルール(約定後1時間以内に決済)によって決済の進行を促進し、すくみの発生を回避する方策がとられた。また、当座貸越制度(担保の枠内で決済用資金の日中貸出を日本銀行が提供)も同時に導入され、日中の資金調達に関する摩擦が和らげられている<sup>26</sup>。

## (2) シミュレーションの条件設定

こうした制度・取引慣行下で取引・決済されているデータに対し、以下のような流動性ショックを想定する。本文でみてきたように、コール市場の資金取引ネット

24 全銀システム(全国銀行内国為替制度)は、東京銀行協会が運営する民間の決済システムであり、振込、送金など国内の小口為替取引に関する為替通知の授受および為替決済額の算出などを行っている。全銀システム内で時点決済により全ての債権債務を同協会と各金融機関の2当事者間の債権債務に置き換えたうえで、最終的な勝ち尻・負け尻が日銀当座預金を用いて決済される。詳細は日本銀行[2006a]を参照。

25 RTGSシステムにおける決済遅延の連鎖に関する先行研究は数多く行われている。例えば、ニューヨークで同時多発テロが起きたときの決済遅延を取り上げた興味深い研究として McAndrews and Potter [2002] や Lacker [2004] がある。

26 McAndrews [2006] は、日中流動性の取引に関する摩擦を、取引相手を見つけるために生じるもの(search friction)、決済時限を守るためにオペレーション上生じるもの(timing friction)、取引当事者の誘引により生じるもの(incentive friction)の3通りに分類している。

ワークは短資会社を中心としたハブ型から分散型に変化してきたが、コール以外の資金取引を含め、短資会社は引き続き短期金融市場における主要な仲介者である。そこで、1つの極端なストレス・シナリオとして、日中決済資金手当てのための担保余力が銀行ほどは高くないとみられる外銀・外証・邦証に対し、短資会社からの資金決済が断絶するという流動性ショックを想定する。

開始時点の保有資金は、当日の全取引を遅延なく決済するのに必要最低限の資金（上限流動性）を各金融機関に与えた<sup>27</sup>。また、資金の受取が遅延した金融機関が、支払いを実行するため別途資金調達を行うことはできないという制約を課した。このため、上述の流動性ショックが及んだ際には、他金融機関からの入金（過去の資金取引の満期に伴う返金など）があるのを受け身で待たねばならず、この間の支払いは一時的に先送りされることになる<sup>28</sup>。

実際には資金不足に陥った金融機関は何らかの調達行動を行うはずであり、また、中央銀行はマクロ的に資金需給がバランスするよう資金供給を行うため、こうした想定は現実的ではない。しかし、資金不足に対する調達行動をモデル化してシミュレーションに含めてしまうと、その仮定がシミュレーション結果に強く影響を及ぼしてしまう可能性がある。まずは、流動性ショックの伝播の過程を「調達行動なしに支払いの先送りによって対応した」という想定のもとで観察するために、上述のような制約下でのシミュレーションを行った<sup>29</sup>。

シミュレーションの対象日は、2005年12月中のうち取引金額が多かった準備預金積み最終日（毎月15日）とした。この日、日銀ネットで決済された全取引（国債

27 金融機関  $i$  について、時点  $t$  に入力された支払指図の金額を  $v_{i,t}^{\text{out}}$ 、受取指図の金額を  $v_{i,t}^{\text{in}}$  とすると、時点  $t$  における金融機関  $i$  の日中払い超過  $DL_{i,t}$  は、 $\max[\sum_{s=0}^t (v_{i,s}^{\text{out}} - v_{i,s}^{\text{in}}), 0]$ 、 $0 \leq t \leq T$  と定義できる（ $T$  は決済システムの終業時刻を表す）。このとき、決済システム全体としては、始業時刻の時点で上限流動性（upper bound liquidity） $UB = \sum_i \max_t DL_{i,t}$  を確保していれば、おのおのの指図の入力時刻におのおのの決済が行われる（決済遅延は生じない）。

28 現実には、取引の約定順に沿って決済が行われていることが多く、これは FIFO（First-In First-Out）ルールが適用されていることを示唆している。同ルールのもとでは、資金不足により未払いとなっている10億円、5億円の支払指図があった場合、7億円が他行から入金されたとしても、先に約定された10億円の指図が決済されるまでは、5億円の指図が追いついて決済されることはない。しかし本稿のシミュレーションでは、同ルールを弱めて、バイパス FIFO ルールを適用している。この場合、7億円が確保されていれば、約定の順にかかわらず、10億円の決済が未了であっても、5億円の決済が先行して行われる。一般には、FIFO ルールのほうが、払出し待ちの資金（これを資金滞留（liquidity sink）と呼ぶ）が生じやすいため、バイパス FIFO ルールよりも決済遅延が連鎖しやすいことを踏まえると、本稿の結果は、決済遅延の連鎖を過小評価している可能性がある。なお、今久保・副島 [2008] は、FIFO ルールのもとで日銀ネットの決済データを用いたシミュレーションを行っている。

29 所与の行動ルールに基づく対応（rule-based reaction）を仮定したシミュレーションを行動シミュレーション（behavioral simulation）という。行動シミュレーションには、何らかの知見に基づき先見的に仮定された rule-based reaction のほか、現実の対応行動を neural network で学習させてモデル化したものや、単純な線形モデルで対応行動を表現したもの（linear judgemental model）のほか、行動原理には注目せず対応の振幅を単に確率分布として捉えたもの（variable parametric fitting 法）などがある。決済分野では、今久保・副島 [2008] のように rule-based reaction を仮定した研究が多く、Koponen and Soramäki [1998]、Leinonen and Soramäki [1999]、Bech and Soramäki [2001] らによって決済シミュレーションの概念整理が行われている。本シミュレーションの想定は、支払いが不能であっても調達を行わず、受取により支払いが可能になるのを待つという rule-based reaction である。

決済を扱う同時担保受払時決済口の取引を除く)を用いる。個々の取引データは、振替依頼人、振替金受取人、振替指図の入力時刻からなる。

### (3) シミュレーション結果

振替指図の入力時間順に決済を進めると、本来存在したはずの短資会社からの資金受渡し分が支払われなかったことにより決済遅延が始まりうる。遅延が発生しても、その後の返金受取りで遅延が直ぐに解消する場合もあれば、遅延の連鎖に発展する場合もある。遅延の発生状況を示したものが図 A-2 である。横軸に発生した遅延取引(左図)、終了時間になっても結局決済に至らなかった取引(右図)を振替指図入力(右図)の時間順に並べた。左縦軸は、指図があつて実際に決済が行われた時間とシミュレーションにおいて遅延後に決済に至った時間を示している。右縦軸は遅延が生じた取引の金額である。

短資会社から外銀、邦証・外証向けの 0.6 兆円分の受渡しを除去したことにより、当日の全取引 10,149 件(59 兆円)のうち、30 件(1 兆円)に決済遅延が発生したほか、10 件(0.2 兆円)は最終的に決済が終了しなかった。9 時台に生じた遅延は、短い時間の遅延にとどまっております、額も非常に少額なものが多い(左図中の 1、2、8~21 件目、グラフではほとんどゼロ表示)。その後は、金額が相対的に大きい取引の遅延が生じ、遅延時間も拡大している<sup>30</sup>。決済の遅延が発生した金融機関は、流動性ショックが直接及ぶよう設定された業態だけにとどまらず、遅延の連鎖に巻き込まれた他業態が含まれていた。

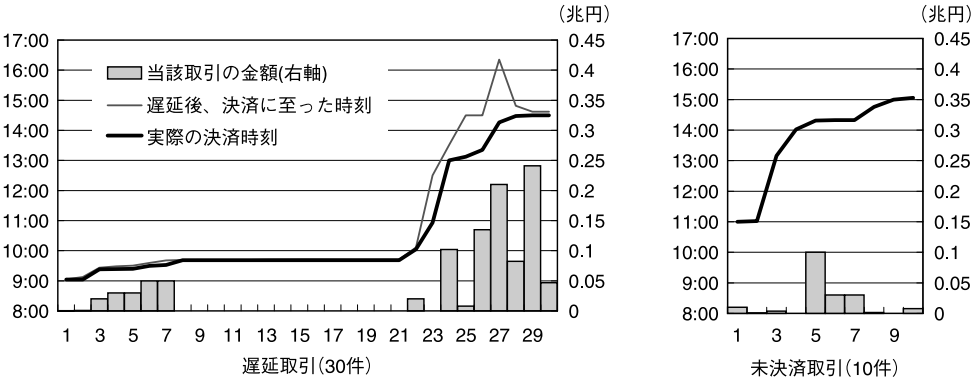
また、決済が遅延した取引の 1 件は、時点ネット決済方式をとる民間決済システムでの負け尻の決済であった。このように、流動性ショックは、RTGS システム上の取引に影響するだけでなく、他の決済システムの時点ネット決済にも影響を及ぼしうる可能性を示唆している<sup>31</sup>。

現実には、金融機関間で資金仲介が機能不全となっても、遅延の連鎖の過程に含まれた金融機関には日中当座貸越や補完貸付用の共通担保に余裕がある先が少なくなく、また、これら貸出に頼らずとも提示レートを引き上げれば資金調達が可能といった各種の調整機能が働いたため、ショックの波及は遮断されると考えられる。しかし、一部の資金取引で金利の上昇が発生したり、決済時間が若干後ずれしたりすることは起こりうるであろう。また、資金不足への事前対応行動として準備預金制度によって求められる所要準備額以上の超過準備を保有することも想定されうる。

30 この特徴がシミュレーションに選択した日に独自のものか、他の日でも生じやすい一般性を持ったものなのかは不明であり、この結果のみから何らかのインプリケーションを読み取ることはできない。

31 時点ネット決済が定刻に完了しない場合、状況に応じて流動性供給策が発動されるリスク管理制度が民間決済システムにおいて整えられている。流動性供給策とは、参加者の不払いが発生した際に、予め選定された流動性供給銀行が資金供給を行い、当日中に決済を完了させる仕組みを指す。具体的な制度については日本銀行[2006a]を参照。

図 A-2 シミュレーションによる決済遅延の伝播



備考：シミュレーションには、東京工業大学矢島研究室が開発した日銀ネット・シミュレーターを用いた。

## 補論 2. インターバンク・コンテイジョンに関する先行研究

本論第2節では、インターバンク取引のネットワーク構造を分析した先行研究を紹介したが、ここでは、コンテイジョン現象を分析対象とした研究をサーベイする<sup>32</sup>。金融システムの一部に生じたショックがシステムの構成要素全体に伝播し金融システム危機へとつながっていくリスクは、中央銀行を含む金融監督当局の重要な関心事である。その典型例として、一部の債務不履行が債権債務の連鎖を通じて全体に拡大していくという伝播現象がある。こうしたコンテイジョンのリスクをインターバンク市場について検証した実証研究が近年多く現れてきている。実証分析では、銀行間の債権債務構成に関する情報、具体的には  $i$  銀行の  $j$  銀行に対する債務（もしくは  $j$  銀行の  $i$  銀行に対する債権）の行行情報が必要となる。

### (1) エクスポージャー行列に基づく分析

先駆的な実証研究となった Sheldon and Maurer [1998] は、個別銀行のインターバンク取引残高という集計情報（上述の債権債務行列の縦横方向の集計値）から 1 対 1 の相対取引量を行列情報として推定するため、Maximum Entropy（以下、ME 法）という手法を用いている。彼らは推計されたエクスポージャー行列に基づいて、ある 1 銀行の債務未払いが他行のデフォルトにつながる可能性をスイスのインターバンク市場について検証している<sup>33</sup>。Sheldon and Maurer [1998] を嚆矢に、欧州各国で ME 法によるインターバンク・コンテイジョンの検証が集中的に行われた。例えば、Upper and Worms [2004] は、マチュリティ別のエクスポージャー情報が利用できるよう ME 法を改善し、これをドイツのインターバンク市場に適用した。このほか、Degryse and Nguyen [2007] はベルギーの、Wells [2004] は英国の、Elsinger, Lehar, and Summer [2006] はオーストリアの、Van Lelyveld and Liedorp [2006] はオランダのインターバンク市場について、ME 法で推計したエクスポージャー行列に基づき、同様なシミュレーション分析を試みている<sup>34</sup>。

上述のような研究は、分析の動機のみならず使用データが非公開情報であるという特殊性から、中央銀行のアナリストによって行われているものが多い。また、特

32 ワーキングペーパーとして公表されてから学術雑誌に掲載されるまで長い時間を要したものが少なくない。したがって、紹介した研究の掲載年の前後関係は、ワーキングペーパーとして初出公表された時期の前後関係とは大きく異なっている。本補論での登場順が、初出時期の時系列を大まかに表している。

33 ただし、実際には、計算負荷を軽くするため業態等のカテゴリー別に集約したセミ・アグリゲイト情報を用いており、この点は後続の研究事例も同様である。一方、コンテイジョン・シミュレーションにおいては、あるカテゴリー全体がデフォルトするという想定はイデオシンクラティックな初期ショックとして過剰であるため、いずれかのカテゴリーの 1 銀行（あるいは複数の銀行の組合せ）がデフォルトした場合の影響を計測している。

34 これらの一部では、個別銀行のインターバンク取引残高のみならず、個別に報告された一部の大口エクスポージャー情報（エクスポージャー行列の個別セルに相当）など銀行監督行政上得られたデータをエクスポージャー行列の推計に活用している。

に欧州の中央銀行の実証分析では、自国のインターバンク市場に参入している外国銀行がデフォルトした際のリスクが検証対象に含まれている場合が多く、インターバンク市場が多国籍化していることが各国中央銀行で強く意識されていることが窺われる。

## (2) コンテイジョンのモデル化

コンテイジョンの発生メカニズムには Furfine [2003] が提示した以下のようなアルゴリズムが用いられている<sup>35</sup>。①ある銀行がデフォルトし、その銀行に対する各行のエクスポージャーのうち一定のロス率（Loss Given Default: 以下、LGD）分が毀損する、②各行の毀損額が自己資本を上回るようだと、その銀行もデフォルトする、③連鎖デフォルトした銀行に対する各行のエクスポージャーを再計算し、①の毀損額との合計によってセカンドラウンドの連鎖デフォルトが発生するかを調べる、④以上を繰り返して連鎖デフォルトが出なくなったところで終了する。

LGD は計測が困難なため上述の研究では外生変数として与えられており、さまざまに設定された LDG 水準によってコンテイジョンの程度がどれほど異なってくるかを、インターバンク・ローンの毀損率や自己資本比率の低下、デフォルト連鎖に巻き込まれた銀行数などで計測している。実際の LGD の水準には種々の要因が関連してくる。例えば、担保の有無や担保価格情報、インターバンク・ローンの他負債に対する優先・劣後性、債務・債権のネットティング、セントラル・カウンターパーティ制度の有無や制度のデテイル、デフォルトした銀行の資産の時価あるいは清算価値、回収にかかる時間、同時間と回収率のトレードオフ関係などが考えられる。こうした要因の影響を考察した分析も存在する。

例えば、Upper and Worms [2004] は、セーフティネット<sup>36</sup>の存在がコンテイジョンの程度を大きく緩和することをシミュレーションによって示しており、Elsinger *et al.* [2006] は倒産コストが大きく、債権回収率の低下につながるような場合、コンテイジョンの範囲が拡大すること、コンテイジョンを防ぐために必要な中央銀行の流動性供給は、全体のエクスポージャーに比べるとわずかな額であることを明らかにしている。また、Eisenberg and Noe [2001] や Elsinger *et al.* [2006] では、コンテイジョンのシミュレーション・アルゴリズムにおいて LGD を内生変数化する方法が考案されている。Cifuentes, Ferrucci, and Shin [2005] は、コンテイジョンの進行過程では資産の投げ売り（Fire Sale）が発生するため、LGD を内生化する際には流動性リスクが重要であると指摘している。彼らは、資産の時価会計下でのソルベンシー規制（最もシンプルなケースは、ソルベントでない銀行は資産負債を清算して

35 初出論文は 1999 年の BIS ワーキングペーパー No. 70 であり、他の研究の論文の中で引用内容にかながみると、ワーキングペーパー段階で同アルゴリズムが広く認知・普及するようになったと推測される。

36 ドイツの貯蓄銀行や協同信用組合の協会では、構成員が支払不能になるようなイベントが生じた場合に資本増強措置をとるためのファンドを運用しているほか、地方自治体による明示的な支援制度が存在している。

クローズするというもの)が流動性リスクの拡大伝播にどのような影響を及ぼすかという問題意識のもと、「誰かの資産は誰かの負債である」というバランスシートのリンクに基づくコンテイジョン・モデルに、資産価格下落を通じたコンテイジョン・チャンネルを加えて、モデルの挙動に関する理論的考察を行っている。

Upper [2007] は、エクスポージャー行列情報とコンテイジョン・アルゴリズムを用いた上述の実証研究群をサーベイし、いずれの研究においても、広範なセクターに同時デフォルトが発生するといった蓋然性が低い大規模なショックを与えない限り、コンテイジョンを通じた被害の拡大は比較的軽微なものにとどまっていることを示した。その理由は、おのおの実証分析が論文中で言及しているように ME 法の発想に起因している。ME 法では、集計値として与えられたエクスポージャーを 1 対 1 の行列情報に振り分けていく際、できるだけ均質な取引構造になるように分解を行う<sup>37</sup>。したがって、全ての先が全ての先と取引を行っている完全ネットワークになりやすい。ところが実際のインターバンク取引構造は、資金放出や調達が一部の先へ集中していたり、ある特定の組合せが突出して多額の取引を行っていたり、コアと周辺、上位と下位という階層構造が存在するなど不均一なものとなっている。Allen and Gale [2000] は、シンプルなネットワーク・モデルを理論的に考察し、完全ネットワークではコンテイジョンが生じにくいことを示している。したがって、上述の研究例ではエクスポージャー行列の推計結果が現実とかけ離れた姿になっていたことがコンテイジョンの可能性を過小評価する一因になっていた可能性がある。

### (3) 個票データの活用

こうした問題点は早くから意識されており、端的には各銀行間の 1 対 1 のエクスポージャー情報を用いることで対応できるが、このような情報は稀にしか存在しない。例外的なケースが、Blåvarg and Nimander [2002] や Mistrulli [2005]、Müller [2006] であり、おのおの、スウェーデン、イタリア、スイスのインターバンク取引について、1 対 1 のエクスポージャー情報を利用してシミュレーション分析を行っている。スウェーデンにおいては上位 4 行の資産シェアが全銀行の 8 割を超えるほど大規模銀行への集中が進んでおり、規制当局はこれら 4 行に対しておのおの上位 15 先の個別エクスポージャーを報告するよう求めている。スウェーデンの中央銀行である Riksbank では、Blåvarg and Nimander [2002] が内部データを用いて国内大規模銀行や海外の銀行がデフォルトした際の国内銀行の損失を集計し、自己資本比率の悪化具合を検証している<sup>38</sup>。

イタリアでは、全ての国内銀行に対して月末日のエクスポージャーを相手行別に規制当局に報告する義務が 1989 年より課されていた。このため、正確なエクスポー

37 取引構造に関する情報がない場合には、こうしたアプローチをとらざるをえない

38 計測方法はエクスポージャーの単純集計であり、シミュレーション法は用いていない。したがって、コンテイジョン特有のセカンドラウンド効果は反映されていない。

ジャー行列に基づくシミュレーションが可能となったほか、インターバンク取引構造の長期的な変化が検証可能となった。イタリアの中央銀行では Mistrulli [2005] が同データを活用し、クロスボーダー化の進展にもかかわらず国内銀行に生じたデフォルトのほうが海外銀行のそれよりも伝播の規模・被害が大きいことを示した<sup>39</sup>。しかし、これらの研究では、ME 法の推計結果に比べればより正確であるはずのエクスポージャー情報を使ったシミュレーションにおいても、なお、コンテイジョンの程度は先行研究と同様に限定的なものにとどまっていた。

そこで、Müller [2006] は、支払能力がなくなって初めてデフォルトが生じるのではなく、予め設定されていたクレジット・ラインが資金供給の上限となり、これが資金不足の伝播を強める効果に注目した。スイスでは、インターバンク市場でのエクスポージャー上位 10 先、特に大銀行については上位 20 先まで、オフバランス取引分を含むエクスポージャー量とクレジット・ラインを報告する義務が国内銀行に課されている。スイス国民銀行の Müller [2006] は、同データを用いてシミュレーションを行い、クレジット・ラインの存在がコンテイジョンの規模を拡大させる現象を確認した。クレジット・ラインの効果は、単純な資金放出制約として効いてくるだけではなく、自行の資金繰りが苦しくなったときに当てにしていたクレジット・ラインが先方のデフォルトにより使用不可能になり、このため、自行が別の相手方に提供していたクレジット・ラインに応えられなくなるという連鎖効果も含まれている。

#### (4) 決済データの活用と問題点

上述の分析は規制当局への報告情報に基づくものであるが、別のアプローチとして決済システムのデータを用いた実証分析もある。シカゴ連銀の Furfine [2003] は、Fedwire の決済データからインターバンク取引（オーバーナイトの Federal Funds 取引）を抽出することによりコンテイジョンの分析を試みている。この手法は、1 対 1 のエクスポージャーが個別取引ごとに計測できるという利点のほか、日次分析ができるため時系列変化を検証したりショックに対する脆弱性が高いと予想される特定日の検証などが可能という利点も有している。ただし、決済データからは Federal Funds 取引とそれ以外の取引を識別することができないため、金額や時間帯の取引慣行や政策誘導目標金利水準との乖離幅、スタート時とエンド時の相手方が逆になるといった情報に基づき Federal Funds 取引を識別している。なお、デンマーク国立銀行では、Amundsen and Arnt [2005] が同国の RTGS システム Kronos のデータを用いて同様な分析を行っている。

本稿の分析も決済データを用いたアプローチに属するが、コール市場取引であることを識別するインデックスが不完全にしか得られないため、Furfine [2003] と類

39 Degryse and Nguyen [2007] は、ベルギーのインターバンク市場について逆の結果を報告している。Mistrulli [2005] は、その原因としてベルギーの国内銀行の海外銀行に対するエクスポージャーがイタリアより遥かに大きいこと、あるいは ME 法の過少推計バイアスが現れた可能性を指摘している。

似の手法により識別インデックスの不完全性を補っている。こうした識別には誤差が伴うため、本稿が用いた手法とその妥当性や問題点について補論 3 に詳細を示した。

## (5) マクロショックの検証

これまでに紹介した実証分析では、個別行に発生したイデオシンクラティック・ショックの伝播に注目していたが、Elsinger *et al.* [2006] は初期ショックとして銀行部門に共通したマクロショックの発生を考えた。具体的には、信用リスクモデルとして CreditRisk+<sup>40</sup>を用い、景気変動のような共通要因が企業のデフォルト率を平均的に上昇させ、貸出に評価損が発生する様子をシミュレーションした。市場リスクとしては、金利や為替レート、株価の変動がもたらす銀行資産の評価損額を求めている。これらの合計値を初期ショックとして各銀行ごとに求め、この段階で個別銀行にデフォルトが発生した場合、銀行間のエクスポージャー行列によりインターバンク・コンテイジョンが始まるというアルゴリズムを考えた。シミュレーション結果は、デフォルトの連鎖よりもポートフォリオのリスク特性の類似性がシステムック・リスクの源泉としてより重要であることを示している。また、コンテイジョンの回避に必要な中央銀行の流動性供給額（最後の貸し手機能の発動額）は、これが供給されなかった場合の損失発生額に比べてごく少額にとどまることも示している。同様なアプローチは、Boss, Breuer, Elsinger, Jandacka, Krenn, Lehar, Puh, and Summer [2006] でもオーストリアの銀行について試みられている。

こうしたマクロショックの検証は金融機関のストレス・テストとみなすことができる。上記の分析は、各金融機関の個別ストレス・テストを銀行システム全体として集計した場合に銀行システム内でコンテイジョンが発生するかという、一種のマクロ・ストレス・テストになっている。

---

40 Credit Suisse Financial Products 社の信用リスク計測商品であり、共通要因と個社別の独立した要因の和で企業価値の変動を記述し、これが一定値以下になるとデフォルト状態になると想定したモデルである。

### 補論 3. コール市場取引データの抽出

補論 3 では、日銀ネットの決済記録からコール市場取引データを抽出した手法について解説する。日銀ネットの当座預金取引データには当座勘定備考コードが備わっており、金融機関がコードを入力する。同備考コードは、無担コール取引や有担コール取引のコードを含んでおり、これを用いてコール取引を識別することができる。ただし、この備考コードは金融機関が取引内容の確認等に必要の場合に入力するものであり、その使用は任意となっている。このため、決済記録には多くの備考コード空欄のデータが含まれているが、その取引金額、時間帯、金融機関の組合せといった取引内容から、これらのうちの相当量がコール取引であると推測される。そこで、以下で紹介する識別法を用いてコール取引の抽出を行った。また、ネットワーク構造の分析においてはスタート取引のデータを用いており、エンド取引（返金取引）を除外するために用いた識別法についても紹介する。

なお、DVP 取引については、日銀ネット決済ログからの最初の抽出段階で除外している。この結果、資金取引のうちレボ取引・電子 CP の DVP 取引はコール取引データから正しく識別・除外されているが、DVP で決済される有担コール取引も除外されてしまっている。また、生損保等の非当座預金取引先によるコール取引（当座預金取引先である銀行等が日銀ネットの付記電文付振替機能を利用して資金決済を行うもの）は分析対象外とした。ただし、投信からのコール放出は、信託銀行や資産管理系信託からのコール放出の主要な構成要素の 1 つとなるため、信託銀行の取引データに含めている。以下では、備考コードが、空欄、無担コール、有担コール、投信コールのケースについて順に識別法を説明する。

#### (1) 備考コードが空欄のケース

コール取引については、表 A-1 のような市場取引慣行が存在する。これを参考に、備考コードが空欄のデータのなかから以下の条件を満たすものを抽出した。タイプ A: ①振替依頼人および振替金受取人の両方が短資会社でない（短資会社のブローキングか DD 取引である）、かつ②取引所、清算機関、銀行協会等コール取引を行わない先でない、かつ③金額が 5 億円以上、かつ④金額に 1 億円未満の端数がない。タイプ B: ①振替依頼人および振替金受取人のいずれかが短資会社である（短資会社のディーリング取引である）、かつ②取引所、清算機関、銀行協会等コール取引を行わない先でない、かつ③金額が 1,000 万円以上、かつ④金額に 100 万円未満の端数がない。ここで振替依頼人とは、自己の当座預金勘定から他金融機関の当座預金勘定に向けて資金の振替指図を行った金融機関であり、スタート時の取引においてはコール資金放出者、エンド時の取引においてはコール資金調達者にあたる。決済相手に関する取引慣行に基づいて設定した条件①から、タイプ B は有担コールに相当

表 A-1 コール市場の取引慣行

	最低取引金額	取引単位	短資決済
無担コール			
短資ブローキング	原則 5 億円	1 億円刻み	×
DD 取引	明文化された取引慣行はない		×
日中コール	明文化された取引慣行はない		○・×
有担コール			
短資ディーリング			
オファー・ビッド制	原則 5 億円	1 億円刻み	○
気配値制	原則 1,000 万円	100 万円刻み	○
短資ブローキング	原則 5 億円	1 億円刻み	×
DD 取引	明文化された取引慣行はない		×

備考：1) 「短資決済」の列は、日銀ネットにおける決済の当事者に短資会社になるケースを○、ならないケースを×で表示。

- 2) 短資会社がブローカーとなる無担コール取引では、短資会社が資金の出し手・取り手の双方から取引のオーダー提示を受けて、双方の取引条件の合致により約定を成立させる。オーダーの内容は、オファー（資金出し）かビッド（資金取り）か、取引期間（スタート・エンド日）、レート、金額、資金決済時刻など。ブローキングゆえ、短資会社の勘定は介在せず、出し手・取り手間の当座預金口座で決済される。ただし、本文中で述べたように、RTGS 化以前は、短資会社の口座を経由して決済されていたため、実際の取引量の 2 倍分の決済が生じていた。日中コール取引は、RTGS 化に伴い日中の資金繰りの円滑化を図るために創設された取引。当日借入・当日返済で、利息計算は  $\text{レート} \times 1/365$  日で行う。有担コール取引では、従来からのディーリング方式（出し手から短資会社が自己勘定で資金を取り入れ、自己勘定で貸し出す方式）に加え、RTGS 化に伴い当事者が直接決済できるブローキング方式が導入された。ディーリング方式は、オファー・ビッド制と気配値制に分かれ、前者では資金の出し手・取り手双方から取引条件の提示を受けて出会いをつける。後者では短資会社が提示する気配レートに対し、出し手・取り手が応じる方法。

資料：東短リサーチ株式会社 [2002]、短資協会 [1994]。

すると判断される（表 A-1 を参照、タイプ A は有担コール、無担コールのいずれも含む）。

なお、決済記録からはスタート取引とエンド取引の識別はできないため別途工夫が必要となる。エンド取引には、返済元本と利息を一本化して決済したものと、別々に決済したものが混在しており、利息金の端数を含む前者については、上記タイプ A・B の識別条件③④により排除することができる（以下ではこの過程を Step1 と呼ぶ）。後者については、上記の識別条件を満たしたデータを対象に、i) 振替依頼人と振替受取人が逆で、ii) 同額の取引が、iii) 同日中もしくは翌日中に生じている場合、これをエンド取引とみなすという識別法を適用することで排除した（以下、Step2 と呼ぶ）。2つの識別過程の考え方を表 A-2 に示した。Step1 により、表中の「決済金額端数なし」の列に限定され、Step2 で「端数なし、エンド取引時の元本・利息を別建て決済」のセル（表中の右下のセル）のうちエンド取引の元本が排除され、その結果、スタート取引のみが抽出される。

表 A-2 スタート取引、エンド取引の識別

エンド取引時の元本・利息	決済金額の端数	
	端数あり	端数なし
一本化して決済	エンド取引に相当	スタート取引に相当
別建て決済	エンド取引の利息に相当	スタート取引かエンド取引の元本に相当

2005 年 12 月中の決済データについて抽出結果を示すと、まず、備考コードが空欄のデータは 85,817 件存在した。このうちタイプ A のデータは、最初の 4 条件で 2,058 件、エンド取引を排除することで 2,007 件に絞り込まれた。タイプ B の有担コール取引相当のデータは、最初の 4 条件で 1,140 件に絞られ、このうちエンド取引の条件で排除されたものはなかった。

## (2) 備考コードが無担コールのケース

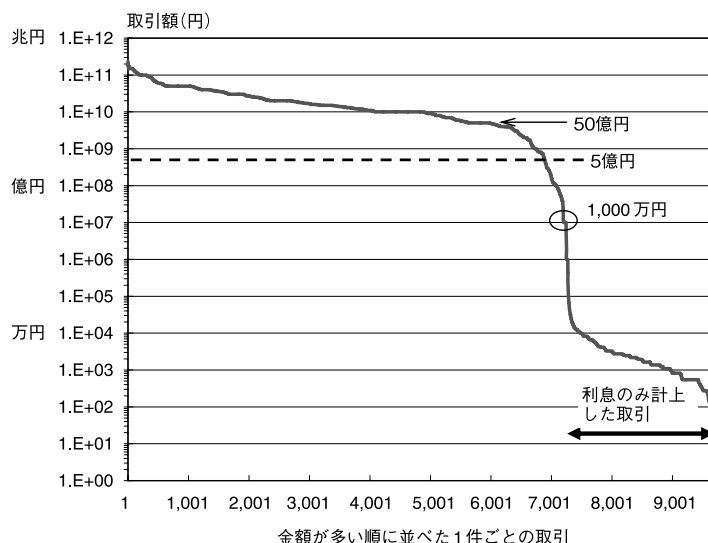
備考コードが無担コールの決済データについては、①金額が 5 億円以上、かつ②金額に 1 億円未満の端数がないものをスタート取引とし（Step1）、さらにこのうち、i) 振替依頼人と振替受取人が逆で、ii) 同額の取引が、iii) 同日中もしくは翌日に生じている場合、これをエンド取引として排除した（Step2）。

2005 年 12 月中の決済データには、備考コードが無担コールの取引が 6,893 件存在した。このうち 5 億円未満の取引は 485 件で、そのほとんどに相当する 468 件は 100 万円以下の取引であり、エンド取引の際に利息を別建てで決済したものと推測される。利息別建て取引を除くと 5 億円未満の取引がほとんどないという結果は、表 A-1 の市場取引慣行と整合的である。Step1 で 6,893 件が 3,531 件に、さらに Step2 で 3,499 件に絞り込まれている。Step2 において排除された取引が少ないことから、元本返済を別建てにしているエンド取引は少ないこと、したがって、少額の利息の決済の多くは、O/N コールの同額ロールオーバーを繰り返すオープンエンド取引などにおいて利払い相当額だけを決済する（元本の決済は発生しない）ネットティング取引であると推測される。

## (3) 備考コードが有担コールのケース

無担コールと同様な処理を行った。ただし、短資ディーリングの気配値制では、表 A-1 に示したように最低取引金額や取引単位が小さいため、Step1 の金額を①については 1,000 万円以上に、②については 100 万円未満に変更した。一方、短資ブローキングについては、無担コールと同一の条件とした。短資ディーリングと短資ブローキングの判別は、振替依頼人・受取人によって行い、振替依頼人および振替

図 A-3 備考コードが有担コールのデータ



金受取人のいずれかが短資会社であるケースが前者、いずれも短資会社でないケースが後者としている。

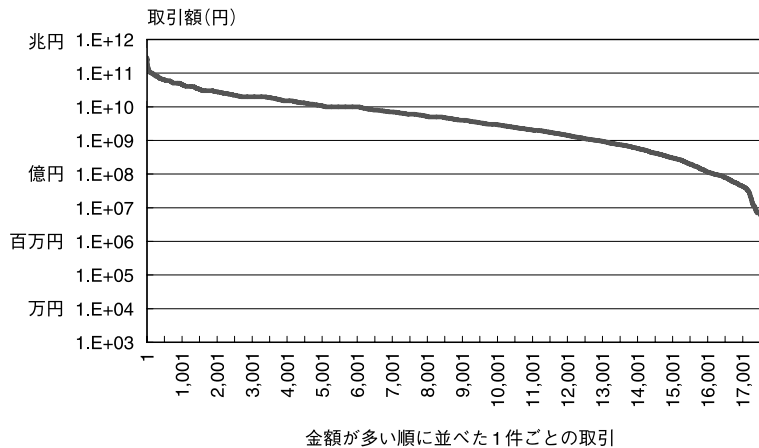
2005年12月中の決済データには、備考コードが有担コールの取引が9,651件存在した。このうち、a) 短資ブローキングもしくはb) 短資ディーリングのオファー・ビッド取引における最低取引金額（5億円）未満の取引は3,000件近くあった。その多くは1万円以下の取引であるため、利息を別建てにしたものと推測される（図A-3）。なお、短資ディーリング気配値取引の最低取引金額である1,000万円以上で、5億円未満の件数は少なく、同取引においても大半の取引は大口取引と推測される。全体をみても5億円以上の取引ではそのほとんどが40億円以上の取引となっており、1,000万円以上40億円以下の取引は少数派である。

抽出作業の結果、当初の9,651件が最終的には3,482件となった。利息のみ計上した取引が約2,000件あるため、これを除く7,000件の約半分となっている。

#### （4）備考コードが投信のケース

無担コールと同様の処理を行った。ただし、Step1の金額を①100万円以上、②1万円未満の端数に変更している。2005年12月中の決済データのうち備考コードが投信であるものが17,700件存在したが、このうち利息別建ての払いとみられる100万円未満の取引はごくわずかであり、エンド取引では元本と利息を一本化した決済がほとんどであると推測される（図A-4）。100万円以上1億円未満の取引は1,398件とある程度存在していたため、取引最低額を100万円とみなした。また、端数が存在するものをエンド取引として排除した。

図 A-4 備考コードが投信のデータ



その結果、当初件数の約半分である 8,838 件まで絞り込まれた。なお、念のため Step2 の作業を行ったところ 20 件減少し、最終的には 8,818 件となった。

## (5) 問題点

上述のような識別法に基づいて決済データからコール取引を抽出した場合、実際の取引より過少に識別してしまう原因、過大に識別してしまう原因がそれぞれ存在する。

まず、過少識別の原因としては、①市場慣行と異なる小口や端数額のコール取引が抽出不能なこと、②同額ロールオーバー時にネッティング取引を行っている（元本の戻り・再放出を取引せず、利息分のみ決済している）場合、一番最初のスタート取引以外は捕捉不能なことが挙げられる。一方、過大識別の原因としては、①備考コードが空欄のデータのなかには、コール取引以外のもの（CD 取引、銀行借入、資金決済銀行との資金振替等）が含まれてしまうこと、②エンド取引を排除するための条件 Step2 は、日中コールや O/N のみに対応可能であり、タムもので元本利子払い決済を分離したエンド取引をスタート取引と誤認してしまうこと（逆の場合もある）、③月初日については、元本利子払い決済を分離した O/N エンド取引をスタート取引と誤認することが挙げられる。

備考コード別にみると、「無担コール」「有担コール」は過少に識別されている可能性が高く、その原因として②で指摘した点が大きいと推測される。一方、「空欄」では、①の原因から過大にコール取引を抽出していると推測される。ただし、こうした取引を個別データごとに判断して排除していくことは困難であるため、補論で解説した識別ルールを一律に適用した。したがって、本稿の分析結果の解釈においては、コール取引データの作成段階で上記のようなノイズが含まれている点に留意が必要である。

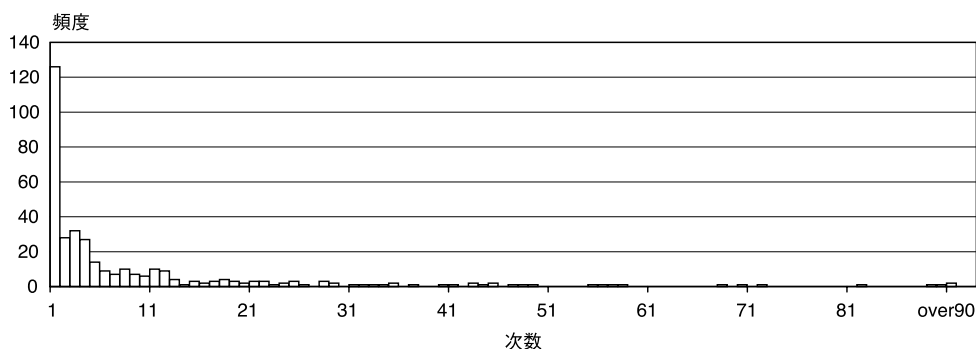
## 補論 4. べき乗分布とスケールフリー

ネットワークの構造を統計的に認識するには、次数の分布が重要な情報となる。もし、あるノードが他の  $n-1$  個のノードと平均的な connectivity (総リンク数  $m/nC_2$ ) の確率  $p$  でリンクを持ち、かつ、どのノードに対してもリンク発生の確率が独立である場合、同ノードが  $x$  個の次数を持つ確率  $p(x)$  は、二項分布  ${}_{n-1}C_x p^x (1-p)^{n-1-x}$  で表現される。ネットワークのサイズ  $n$  が大きくなると二項分布はポアソン分布で近似できるため、ランダム・ネットワーク ( $n$  個のノード間に一定確率でリンクがランダムに発生するネットワーク) では、次数の分布がポアソン分布に従うことになる。実際には、各ノードのリンク発生確率は均一ではなく、またランダムでもないため、 $p(x)$  はポアソン分布と異なってくる。

図 A-5 は 2005 年 12 月中の次数の分布を示したものであり、縦軸の頻度をリンク総数  $m$  で除したものが  $p(x)$  の分布となる (同一の  $m$  で除すため頻度でみても分布形状は不変)。同図からは、ごく少数の次数しか持たないノードが最も多く、次数が増加すると急激にノード数が減少するが全くゼロにはならず、大きな次数を持つノードが時折存在しているという分布形状が確認される。こうした分布は、べき乗分布  $p(x_i) \sim x_i^{-\gamma}$  として表現可能な場合が多い。

べき乗分布は、ネットワークの次数や重みのみならず、人工物や自然界のさまざまな場所で観察される。例えば、企業の売上高や就業者数、都市や町村の人口、割れた窓ガラスの破片のサイズ、資産価格変化率、本の販売部数などが挙げられる。べき乗分布は、確率変数  $x$  を定数倍しても同じべき次数の分布に従う、すなわち  $p(bx_i) = ap(x_i)$  となるため、変数のスケールに依存しない。それゆえスケールフリー分布とも呼ばれる。例えば、借入金でみた企業規模がべき乗分布に従っており、大規模銀行が上位から中位にかけて融資を行い、小規模銀行が中位から下位にかけて融資を行うとすると、銀行の融資額の平均的な差にかかわらず、両行の企業別融資サイズの分布は、同一のべき乗分布に従うことになる<sup>41</sup>。これは、大規模銀行に

図 A-5 次数の分布



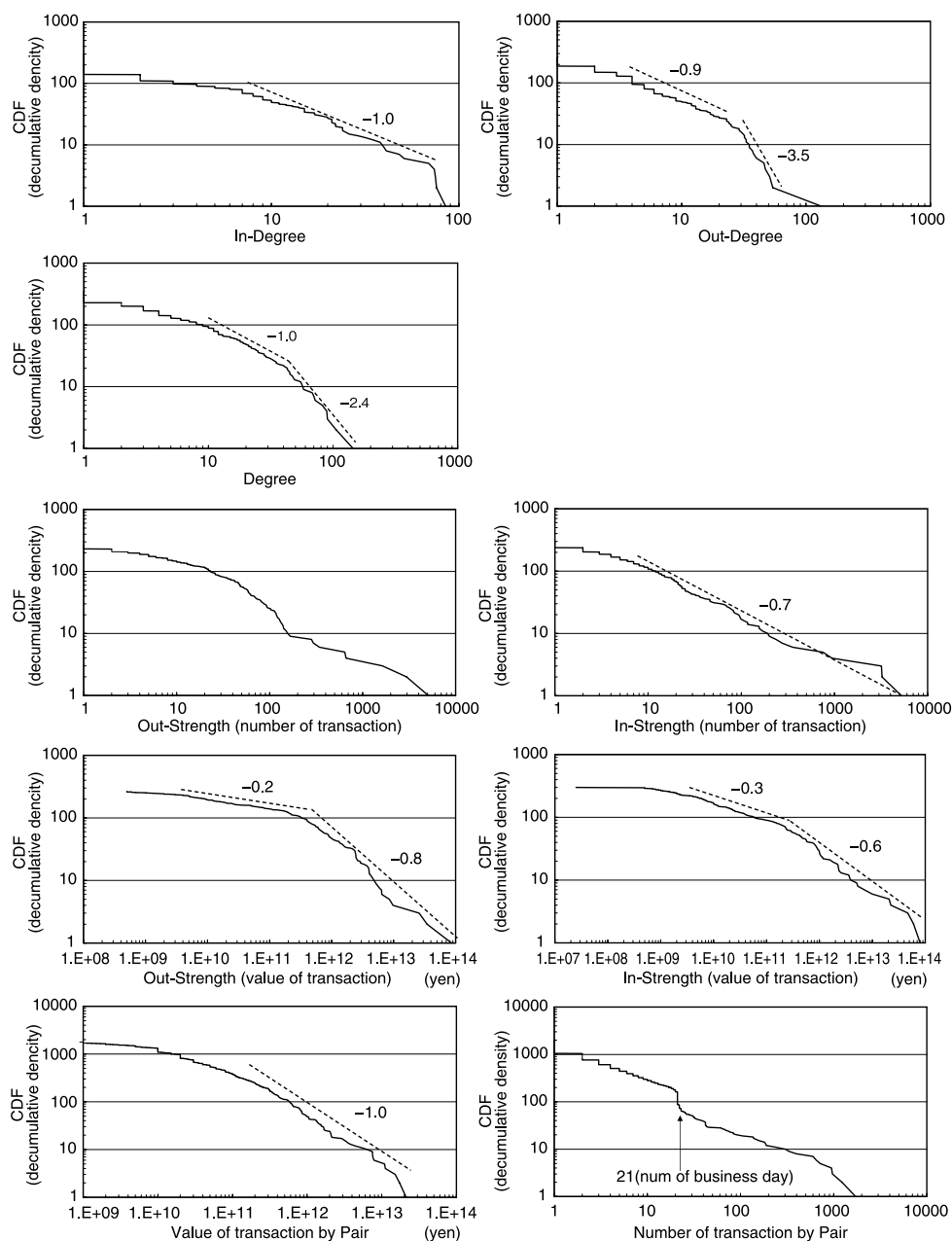
41 日本銀行 [2006b] Box7 の最後のグラフは、企業の借入金残高がべき乗分布に従うことを示している。

とっての大口先が存在するように小規模銀行にとっての大口先が存在する（そして、こうした先が破綻した際の相対的なダメージは両行にとって同じくらい大きい）ことを示唆している。

このようにスケールに依存しない性質を自己相似性（フラクタル性）と呼ぶ。べき乗分布はフラクタル性を有しており、例えば為替レートや株価の変動率を、月次、日次、10分値、分次とさまざまな時間スケールで描画すると、どの時間スケールで作成したものか判別が難しいほど類似した特徴を示すことが知られている。

べき乗分布の簡便な確認法としては、頻度（もしくは、頻度/全サンプルとして求めた発生確率）と確率変数  $x$  についておのおの対数値をとったグラフが線形であることを確認する手法がある。これは、 $p(x_i) = \alpha x_i^{-\gamma}$  が、両辺とも対数をとることで  $\ln(p(x_i)) = \ln \alpha - \gamma \ln(x_i)$  と傾き  $-\gamma$  の直線になることを用いたものである。なお、各  $x$  に対して滑らかにサンプル数が減少していくとは限らず、また  $x$  が大きくなるとサンプルが存在しないケースも増えてくるため、累積分布として log-log プロット図をみることも多い。べき乗分布の密度関数を積分すると  $-\gamma$  の次数が1つ増加するため、累積分布の傾きを  $-(\gamma - 1)$  としてべき次数を求めればよい。これをコール市場の取引ネットワークについてみたものが、図 A-6 である。左上の資金調達ネットワークの入次数の累積分布は、上位2先と入次数が6以下の先を除くと概ね  $\gamma = 2.0$  のべき乗分布に従っていることが確認される。一方、左上から2番目の undirected ネットワーク（調達・放出の方向性を考えない無向ネットワーク）では、次数が30を境にべき次数が2.0から3.4に上昇している。このケースのみならず、ある  $x$  を超えると資源の限界制約などから極端に次数が高いノードは存在しなくなることが、べき乗分布一般についてしばしば観察される。これを表現するために、カットオフ水準  $x_{\text{cut}}$  より大きい  $x$  では  $p(x)$  が指数的に減少していく分布： $p(x_i) \sim x_i^{-\gamma} e^{-x_i/x_{\text{cut}}}$  が考案されている。

図 A-6 ベキ乗分布と次数：Degree、Strength



備考：Strength（number of transaction）は各ノードの取引回数の分布、Strength（value of transaction）は各ノードの取引金額の分布、最下段の2つのグラフは、金融機関のペアごとにみた取引回数や金額の分布である。取引回数で21（2005年12月中の営業日数）の値をとるペアが突出して多い（累積分布が垂直に上昇している）のは、毎日1回取引を行うペアが多く存在していることを示している。

## 参考文献

- 稲岡 創・二宮拓人・谷口 健・清水季子・高安秀樹、「金融機関の資金取引ネットワーク」、金融市場局ワーキングペーパー 2003-J-2、日本銀行金融市場局、2003 年
- 今久保 圭・副島 豊、「コール市場のマイクロストラクチャー：日銀ネットの決済データにみる日中資金フローの連鎖パターン」、『金融研究』、第 27 巻別冊第 2 号、日本銀行金融研究所、2008 年、101～132 頁（本号所収）
- 短資協会、『インターバンク市場取引要綱』、短資協会、1994 年
- 東短リサーチ株式会社編、『新・東京マネー・マーケット』、有斐閣、2002 年
- 日本銀行、「決済システムレポート 2005 年度」、日本銀行、2006 年 a
- 、「金融システムレポート 2006 年度」、日本銀行、2006 年 b
- 日本銀行金融市場局、「日本銀行の金融市場調節」、日本銀行レポート・調査論文、日本銀行、2008 年 a
- 、「サブプライム問題に端を発した短期金融市場の同様と中央銀行の対応」、日本銀行レポート・調査論文、日本銀行、2008 年 b
- 林 幸雄編著、『ネットワーク科学の道具箱』、近代科学社、2007 年
- 増田直紀・今野紀雄、『複雑ネットワークの科学』、産業図書、2005 年
- Allen, F., and D. M. Gale, “Financial Contagion,” *Journal of Political Economy*, 108 (1), 2000, pp. 1–33.
- Amundsen, E., and H. Arnt, “Contagion Risk in the Danish Interbank Market,” Danmarks Nationalbank Working Paper, Danmarks Nationalbank, 2005.
- Barabási, A. L., *Linked: The New Science of Networks*, Persus Publishing, 2002.（青木 薫訳『新ネットワーク思考：世界のしくみを読み解く』、アルバート・ラズロ・バラバシ、日本放送出版協会、2004 年）
- Bech, M. L., and K. Soramäki, “Gridlock Resolution in Interbank Payment Systems,” Bank of Finland, Discussion Paper 9/2001, Bank of Finland, 2001.
- Blåvarg, M., and P. Nimander, “Inter-bank Exposures and Systemic Risk,” *Economic Review* 2, Sveriges Riksbank, 2002.
- Boss, M., T. Breuer, H. Elsinger, M. Jandacka, G. Krenn, A. Lehar, C. Pühr, and M. Summer, “Systemic Risk Monitor: A Model for Systemic Risk Analysis and Stress Testing of Banking Systems,” *Financial Stability Report*, 11, Oesterreichische Nationalbank, 2006, pp. 83–95.
- Cifuentes, R., G. Ferrucci, and H. S. Shin, “Liquidity Risk and Contagion,” *Journal of the European Economic Association*, 3 (2-3), 2005, pp. 555–566.
- Degryse, H., and G. Nguyen, “Interbank Exposures: An Empirical Examination of Systemic Risk in the Belgian Banking System,” *International Journal of Central Banking*, 3 (2), 2007, pp. 123–171.
- Eisenberg, L., and T. H. Noe, “Systemic Risk in Financial Systems,” *Management Science*, 47 (2), 2001, pp. 236–249.

- Elsinger, H., A. Lehar, and M. Summer, "Risk Assessment for Banking Systems," *Management Science*, 52 (9), 2006, pp. 1301–1314.
- Furfine, C., "Interbank Exposures: Quantifying the Risk of Contagion," *Journal of Money, Credit and Banking*, 35 (1), 2003, pp. 111–129.
- Iori, G., G. de Masi, O. Precup, G. Gabbi, and G. Caldarelli, "A Network Analysis of the Italian Overnight Money Market," *Journal of Economics and Dynamics & Control*, 32, 2008, pp. 259–278.
- Jackson, M. O., "The Economics of Social Networks," in R. Blundell, W. K. Newey, and T. Presson eds. *Advances in Economics and Econometrics: Theory and Applications, Ninth World Congress, Vol. 1, Econometric Society Monographs*, Cambridge University Press, Chap. 1, 2007, pp. 1–56.
- Koponen, R., and K. Soramäki, "Intraday Liquidity Needs in a Modern Interbank Payment System: A Simulation Approach," *Studies in Economics and Finance* e14, Bank of Finland, 1998.
- Lacker, J. M., "Payment system disruptions and the federal reserve following September 11, 2001," *Journal of Monetary Economics*, 51 (5), 2004, pp. 935–965.
- Leinonen, H. J., and K. Soramäki, "Optimizing Liquidity Usage and Settlement Speed in Payment Systems," Research Discussion Paper 16/1999, Bank of Finland, 1999.
- McAndrews, J. J., "Alternative Arrangements for the Distribution of Intraday Liquidity," *Current Issues in Economics and Finance*, 3, Federal Reserve Bank of New York, 2006.
- , and S. M. Potter, "Liquidity Effects of the Events of September 11, 2001," *Economic Policy Review*, 2, Federal Reserve Bank of New York, 2002.
- Mistrulli, P. E., "Interbank Lending Patterns and Financial Contagion," mimeo, 2005.
- Müller, J., "Two Approaches to Assess Contagion in the Interbank Market," mimeo, 2003.
- , "Interbank Credit Lines as a Channel of Contagion," *Journal of Financial Services Research*, 29 (1), 2006, pp. 37–60.
- Newman, M. E. J., "The Structure and Function of Complex Networks," *SIAM Review*, 45 (2), Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003, pp. 167–256.
- Sheldon, G., and M. Maurer, "Interbank Lending and Systemic Risk: An Empirical Analysis for Switzerland," *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 134 (4.2), 1998, pp. 685–704.
- Soramäki, K., M. L. Bech, J. Arnold, R. J. Glass, and W. Beyeler, "The Topology of Interbank Payment Flows," *Staff Reports*, 243, Federal Reserve Bank of New York, 2006.
- Upper, C., "Using Counterfactual Simulations to Assess the Danger of Contagion in Interbank Markets," BIS Working Paper 234, Bank for International Settlements, 2007.

- , and A. Worms, “Estimating Bilateral Exposures in the German Interbank Market: Is There A Danger of Contagion?” *European Economic Review*, 48 (4), 2004, pp. 827–849.
- Van Lelyveld, I., and F. Liedorp, “Interbank Contagion in the Dutch Banking Sector: A Sensitivity Analysis,” *International Journal of Central Banking*, 5 (2), 2006, pp. 99–134.
- Watts, D. J., *Six Degrees: The Science of a Connected Age*, W. W. Norton & Company, 2003. (辻 竜平・友知政樹訳『スモールワールド・ネットワーク：世界を知るための新科学的思考法』、ダンカン・ワッツ、阪急コミュニケーションズ、2004 年)
- Wells, S., “Financial Interlinkages in the United Kingdom’s Interbank Market and the Risk of Contagion,” Bank of England Working Paper 230, Bank of England, 2004.

