



日本銀行ワーキングペーパーシリーズ

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

今久保 圭*

kei.imakubo@boj.or.jp

副島 豊**

yutaka.soejima@boj.or.jp

No.08-J-14
2008年9月

日本銀行
〒103-8660 日本橋郵便局私書箱 30号

* 金融市場局

**金融研究所

日本銀行ワーキングペーパーシリーズは、日本銀行員および外部研究者の研究成果をとりまとめたもので、内外の研究機関、研究者等の有識者から幅広くコメントを頂戴することを意図しています。ただし、論文の中で示された内容や意見は、日本銀行の公式見解を示すものではありません。

なお、ワーキングペーパーシリーズに対するご意見・ご質問や、掲載ファイルに関するお問い合わせは、執筆者までお寄せ下さい。

商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行情報サービス局までご相談下さい。転載・複製を行う場合は、出所を明記して下さい。

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¹

今久保 圭² 副島 豊³

要 旨

即時グロス決済（RTGS）システムの下では、資金繰りを容易にするために支払を先送りするインセンティブが働き、この結果、システム全体の決済進捗が遅延し易いという問題が生じる。これを回避するため、日中与信制度や市場慣行などが整備されているが、複数の決済システムが並存することもあるため、朝方など日中の特定時点に決済が集中し、これが日中のレート変動の一因となっている。本稿では、コール市場の日中資金フロー——日中に資金決済が進捗していく様子、特に、「受取に応じた支払」という決済の連鎖現象——を理解するため、ネットワーク分析とシミュレーション分析を行った。その結果、(1) 決済ネットワークの形状は時間帯によって変化しており、決済の連鎖性はネットワークが密な時間に高まり易いこと、(2) こうした日中の決済進捗パターンを日米英の RTGS システムで比較したところ、各国制度やその背景にある決済・資金調達に関する考え方の相違を反映して三者三様であること、(3) 決済遅延の連鎖を生じさせるようなストレス環境の下では、決済ネットワークのハブを構成する参加者は決済遅延の広がりを受容する機能を有していること、などが確認された。

キーワード：RTGS、決済の連鎖性、日銀ネット

¹ 本稿は、Payment and Settlement Simulation Seminar（フィンランド銀行主催、2006年）および Economics of Payments Workshop（イングランド銀行主催、2007年）での報告内容を整理し直したものである。本稿の作成に際しては、セミナーおよびワークショップの参加者、日本銀行のスタッフから数多くの有益な示唆を受けた。記して感謝の意を表したい。ただし、あり得べき誤りは筆者らに属する。本稿で述べられている意見・見解は、筆者ら個人のものであり、日本銀行、金融市場局および金融研究所の公式見解を示すものではない。

² 日本銀行 金融市場局（e-mail: kei.imakubo@boj.or.jp）

³ 日本銀行 金融研究所（e-mail: yutaka.soejima@boj.or.jp）

1 はじめに

わが国のコール市場など、金融機関が最終的な資金繰りを行う短期金融市場では、特定の日中のレート変動パターンが観察される。Bartolini *et al.* [2005]は、米国のFF(Federal Funds)市場において、FFレートが取引開始から昼過ぎまで高めに推移した後、取引終了時にかけて緩やかに低下する明確な傾向があることを報告している。わが国のコール市場でも、コールレートは前場に高く、後場に若干低下する傾向がみられている(日本銀行金融市場局 [2007])。こうした日中のレート変動は、資金の取り手と出し手との日中の取引ニーズのミスマッチによるものと解釈できる。一般に、資金余剰先は資金の放出タイミングについて柔軟な一方、資金不足先は当日の所要資金を確保するために取引開始直後から資金を取り急ぐ傾向がある。

こうした資金の調達・放出行動は、その背景にある資金決済制度からも、強い影響を受けている。例えば、コール市場の資金決済を取り扱う日本銀行金融ネットワークシステム(日銀ネット)は、2000年末までは時点ネット決済(DNS; Deferred Net Settlement)をとっていた。個別の決済を日中の特定時点に集約する同方式下では、決済資金の手当てや余剰資金の運用行動に時間的な特性が生じる。DNS下での日中のレート変動を分析対象とした林 [2000]では、決済時点に有意な流動性効果が検出されたこと、交換戻り時点(13:00)以降の午後半日物レートに低下傾向が観察されたことが報告されている。また、四半期末ごとに決済が集中する商慣行により、四半期末を跨ぐ無担保翌日物コールレートには、恒常的な予測誤差が観察されている(齊藤他 [2002])。

2001年初からは、個別の決済を日中あらゆる時点で即時に決済する即時グロス決済(RTGS; Real-Time Gross Settlement)方式が導入された。同方式下においては、次節で解説するような決済資金を節約しようとする戦略的行動やこれを防止する制度が存在し、これらが日中のレート変動に影響を及ぼしている。上記のような要因が決済の集中する時間帯を生じさせることで、その直前には決済資金需要が高まり、レートに上昇圧力がかかり易くなる。

本稿では、日銀ネットの資金決済データを用いたネットワーク分析とシミュレーション分析により、日中および参加者間の資金フロー、すなわち、支払人と受取人との間の日中の関係変化を分析する。資金決済のマイクロストラクチャーを分析することは、ストレス的環境下で決済遅延の連鎖が生じる現象を事前に検証しておくうえで有益であり、また、RTGS化に伴って導入された各種制度や多様な参加者が「受取に応じた支払」という決済の連鎖現象において、どのような機能・役割を果たすべきか検討するうえで有用である。さらに、日中のレート形成(特に翌日物のコールレート)に及ぼす影響について考察の手掛かりを得られよう。

本稿の構成は次のとおりである。まず2節では、代表的な資金決済方式であるDNSとRTGSの機能の違いを整理したうえで、RTGS下での参加者の決済行動に関する先行研究を概観する。3節では、日銀ネットと米・英国のRTGSシステムとの国際比較を通

じて、日銀ネットの制度上の特徴を明らかにする。4節では、ネットワーク分析の観点から、午前と午後に分けて日銀ネットの決済ネットワークを検証し、時間均質的ではない決済行動がネットワーク形状にどのような相違をもたらしているかを確認する。次いで5節では、前節で整理した基礎情報に基づいて、流動性ショックを仮定したシミュレーション分析を行う。これにより、決済行動に変化が生じた場合の日中の資金フローへの影響を実験的に考察することができる。最後に6節では、結論を述べる。

2 決済行動を巡る議論

1) DNS から RTGS への移行

先進諸国における中央銀行の決済システムでは、従来、複数の指図（payment instruction）を決済時点までに差引き計算したうえで、ネットポジション（受払尻）を一括決済する DNS が採用されていた。同方式は、所与の総決済額を最小の資金で決済することができ、決済方式の中で最も資金効率がよい。その反面、決済完了性（finality）が予め定められた決済時点になるまで付与されない。エクスポージャー（＝未決済額×所要決済時間）が完全に解消された状態（取消不能かつ無条件（irrevocable and unconditional）と呼ぶ）⁴になるまで時間を要するため、DNS は、日中にエクスポージャーが累積するというリスク管理上の問題を内包している。1980年代後半以降、決済リスクに対する問題意識が高まるにつれ、中央銀行が運営する決済システムでは、エクスポージャーの日中累積を回避すべく、DNS から RTGS に移行する動きが主流となった。

RTGS では、決済システムに参加者が指図を発出する都度、即座に1件ずつグロスポジションを決済する。そのため、指図の発出タイミングに応じて、日中のあらゆる時点に決済完了性を付与することができる。DNS では、ネットポジションの決済に応じられない参加者が1先でもあれば、差引き計算の対象となった全指図の決済が履行不能となって繰り返されるといった経路を通じて、他の参加者の決済に直接的に影響を及ぼす。一方、RTGS では、取引の相手方を除けば、DNS のような直接的な影響は生じない。ただし、取引相手から受け取った資金を自身の支払原資として利用している場合、ある参加者の決済行動は他の参加者の決済行動に間接的な影響を及ぼす。このような性質を、RTGS における決済の連鎖性と呼ぶ。例えば、取引相手からの支払が直ぐに実行されれば、これを原資として自身の支払を直ぐに実行することができる。しかし、取引相手か

⁴ 指図の決済完了というステータスが取り消されたり、繰り返されたりする可能性が完全に消失した状態を指す。

らの支払が直ぐに実行されない場合、他の資金調達源に切り替えない限り、取引相手が支払を実行するまで自身の支払を先送りすることになる。

2) RTGS の理論研究

RTGS 下の決済行動に関しては、RTGS システムの急速な普及に伴い、1990 年代後半以降、理論・実証研究ともに、中央銀行関係者を中心とした活発な議論が展開されるようになった。

理論研究の分野では、Kobayakawa [1997]、Angelini [1998]、Roberds [1999]、Bech and Garratt [2003]らによる、参加者の戦略的行動に関するゲーム理論を用いた分析が、この間の主流となっている⁵。いずれの研究も、自身の資金調達コストと決済遅延コストとのトレードオフの中で、参加者は、取引相手の決済行動を考慮しながら決済を行う、という想定の下で理論モデルを構築している。モデルごとに表現が多少異なるものの、資金調達コストは、取引相手から支払を受ける機会が多いほど追加的な要調達額が抑制されるため、時間の減少関数とされ、支払が遅れた際の取引相手からの信認の低下を表す決済遅延コストは、時間の増加関数とされている。決済システムの参加者は、これら 2 つのコストを合計した決済コストを時間に関して最小化するように決済タイミングを選択する、と想定されている。

図表 1 RTGS の同時手番ゲーム

		銀行 Y	
		先出し	後出し
銀行 X	先出し	C, C	$2C, D$
	後出し	$D, 2C$	$C+D, C+D$

支払を後出しすることで決済コストを節減する機会があると、自身の支払を先送りしようとするインセンティブが生じる⁶。例えば、銀行 X と Y との間で同額の指図を 1 件ずつ決済するという、最も単純な純粋戦略の同時手番ゲームでは、図表 1 のような利得表となる。それぞれの銀行が、1 期目に支払を実行するか（先出し）、2 期目に支払を実行するか（後出し）という戦略をもつとき、両銀行が先出しすると、資金調達コスト $C(>0)$ のみをそれぞれが負担する。両銀行が後出しすると、資金調達コストのほか、さ

⁵ RTGS 下の決済ゲームに関する概説は、今久保[2005]を参照。

⁶ DNS では決済時点が予め定められているため、事実上、参加者は決められた時点に支払を実行する以外の戦略をもたない。厳密には、意図的に支払を実行しないという戦略（戦略的な支払不履行）をもつが、そのペナルティが過大なため、特に繰返しゲームの中では実現可能な戦略とはなり得ない。

らに後出しすることによる決済遅延コスト $D(>0)$ も負担する。一方の銀行が先出しし、もう一方の銀行が後出しする場合は、先出した銀行は、1 期目に資金調達コストを負担し、2 期目に決済資金の機会コスト C も負担する。他方の後出した銀行は、1 期目に先出した銀行から受け取った資金を自身の支払原資として充当できるため、決済遅延コストのみ負担する。 $C>D$ の場合、後出したときに決済コストを節減できることが、後出し戦略へのインセンティブとなる。

このとき、決済コストの最小化問題から導かれる参加者 i の反応関数（グロスの支払額 $P_{i,t}$ を決定する関数）は、McAndrews and Potter [2002] に倣って簡略化すると、

$$P_{i,t} = \alpha_i IB_i + \beta_i R_{i,t-1}, \quad 0 \leq \alpha_i, \beta_i \leq 1$$

と表わすことができる。右辺第 1 項は、取引相手からの受取には依存しない、例えば、自身の当座預金や中央銀行が提供する日中与信によって確保した資金 IB_i に基づく能動的な支払（受取とは独立の支払）である。一方の右辺第 2 項は、当該時点までに取引相手から受け取った資金 $R_{i,t-1}$ に基づく支払（受取に応じた支払）であり、取引相手の支払ペースに左右されるという意味で受動的である。 α_i と β_i は、資金調達コストおよび決済遅延コストに依存しており、資金調達コストが高く決済遅延コストが低いほど、 α_i は小さく β_i は大きくなる。

こうした参加者の戦略的な決済行動は、決済の連鎖性を通じて、他の参加者の決済行動に影響を及ぼす。ある参加者が支払を実行すると、この支払を受け取った別の参加者が「受取に応じた支払」を行い、さらにこの支払を受け取った別の参加者も「受取に応じた支払」を実行するというかたちで、資金の受払が順次行われていく。 β_i が十分に大きければ、「受取に応じた支払」を梃子に決済が連鎖していく。このように参加者間で資金が効率的に循環している限り、各参加者は追加的な資金調達コストを極力抑制しながら、システム全体としても決済を進めることができる。これは決済の連鎖性をもつプラスの側面である。

他方、決済の連鎖性にはマイナスの側面もある。1 件ごとに決済を行う RTGS は、基本的に、支払人が支払のタイミングを決定する支払人起動 (sender driven) であるため⁷、資金調達コストを抑制するインセンティブが強い参加者は、自身の支払を先送りし、取引相手から受け取った資金を支払に活用しようとする。これは受取側からみると、支払を受けるタイミングに関する不確実性が高まることになる。McAndrews [2006] は、こうした不確実性をタイミングに関する摩擦 (friction) と呼んでいる。RTGS 自体には、「受取とは独立の支払」を意図的に抑制したうえで、資金確保に当っては取引相手からの受取に過度に依存する、というモラルハザードを排除する仕組みが組み込まれていない。そのため、資金調達環境が厳しくなる、あるいは資金を事前に確保しておくこと

⁷ 逆引振替のように、支払人ではなく、受取人からの指図によって決済が起動すること (receiver driven) もある。

コストが高まる場合、ある参加者が資金調達コストを削減するために支払ペースを抑制すると、その一次効果として、「受取とは独立の支払」や「受取に応じた支払」が抑制・先送りされる。次いで、この支払を期待していた別の参加者が、「受取に応じた支払」を縮小させるというかたちで、二次効果が現れる。この二次効果が、一過性の影響に止まらずに、連鎖的に参加者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）⁸に発展する。決済の連鎖性に起因した二次効果の波及パターンは、誰と誰がいくらを決済することになっているか、当初の決済予定時刻がどのような順序になっているかに依存する。このうち、前者については、その関係性の網を「決済ネットワーク」という概念で捉えることができる。ネットワークを構成する資金の流れには、方向性と金額というベクトル情報が含まれる。また、決済予定時刻を含めた場合、後者を表現することも可能となる。

決済の連鎖性をもつプラスとマイナスの側面は、表裏の関係にある。同じ決済の連鎖経路を前提としていても、参加者のインセンティブ次第で、プラスの方向にもマイナスの方向にも作用し得る。このように、決済の連鎖性は、参加者間に強い相互依存関係すなわち外部性をもたらし、各参加者の決済行動の戦略的依存性の源泉となる。そのため、決済の連鎖性は、支払を先送りせずに積極的に決済を行うかどうかという参加者のインセンティブに応じて、各参加者の支払のタイミングを左右する要因となる。

3) RTGS の実証研究

実証研究の分野でも、決済の連鎖性の観点から、決済進捗パターンについて分析が行われている。決済額や件数の日中分布状況を統計的に解析するアプローチをとった代表的なものには、McAndrews and Rajan [2000]、McAndrews and Potter [2002]、Lacker [2004] による米国 Fedwire（Fedwire funds transfer system）を対象とした研究や、James [2003] による英国 CHAPS（Clearing House Automated Payment System）を対象とした研究などがある。これらの分析結果は、資金調達コストが決済遅延コストに比べて大きい場合、各参加者が自身の支払を先送りすることで決済進捗ペースが低下するという理論研究の主張を裏付けるものである。また、日銀ネットであれば、内国為替を取り扱う全国銀行内国為替決済制度のような外部決済システム（ancillary system）の決済終了時刻などの決済イベント時に決済を集中させ、資金調達コストを最小化しようとする自発的な協調行動が存在することも指摘されている。

これらとは異なる実証研究のアプローチに、ネットワーク分析とシミュレーション分

⁸ 未決済指図のネットポジションを決済できるだけの資金は確保しているが、グロスポジションを決済するだけの資金は確保できておらず、グロス決済できない状況を指す。

析を組み合わせた分析がある。ネットワーク分析は、参加者をノード (node)、参加者間の受払関係をリンク (link) とみなして、参加者間を網の目のように結ぶ決済の連鎖経路を静的に解析するものである。これと対になるシミュレーション分析は、設定した決済制度の枠組みの中で、ポジション制約や資金制約などの下、参加者がいつ・どれだけの資金を調達したうえで、どのタイミングで支払を実行するか、時間を追って再現するものである。シミュレーション分析により、決済の連鎖経路を動的に評価することができる。

こうしたアプローチは、ソーシャルネットワーク分析手法の登場とソフトウェアの普及や、中央銀行による決済シミュレータの開発により可能となった。前者については、バラバシ[2004]やワッツ[2004]の啓蒙書、増田・今野[2005]や林[2007]のネットワーク統計量の解説、de Nooy *et al.*[2005]や林[2007]によるソフトウェア解説が参考になる。後者のシミュレータでは、フィンランド銀行決済シミュレータ (Bank of Finland Payment System Simulator) が著名であり、その概要については Koponen and Soramäki [2005]が参考となる。

ネットワーク分析による実証研究は、日銀ネットの決済ログを用いて決済ネットワークの特徴をみた稲岡他[2003]、同決済ログからコール取引を抽出し、資金取引ネットワークを分析対象とした今久保・副島[2008]、米国 Fedwire の決済ログから決済ネットワークを解析した Soramäki *et al.*[2006]、イタリアの銀行間電子ブローキングシステムの取引ログから資金取引ネットワークを解析した Iori *et al.*[2007]、スイスの金融機関間の大口エクスポージャーの相互保有状況を対象とした Müller [2006]などが挙げられる⁹。決済シミュレータを用いた実証研究には、オーストリア ARTIS (Austrian Real Time Interbank Settlement System) を対象とした Schmitz *et al.* [2006]、英国 CHAPS (Clearing House Automated Payment System) を対象とした Bedford *et al.* [2004]や、仮想データを用いた Beyeler *et al.* [2006]がある¹⁰。

決済データがその性質によって一般に開示されていないため、これまでのところ、いずれのアプローチをとる実証研究も、決済システム運営組織に所属している分析者によるものが多い。

⁹ これらの先行研究の詳細は、今久保・副島[2008]を参照。

¹⁰ 決済シミュレーション分析の概要については、Leinonen and Soramäki [2004]を参照。

3 RTGS システムの国際比較

RTGS 下では、制度対応が何らとられなければ、支払を先送りするインセンティブを通じて決済全体の進捗が遅延し、社会的な非効率性が生じるおそれがある。極限では、日中に決済が全く行われず、全支払が決済システム終業時刻の直前に集中してしまうことも想定され得る。実際、後述するように、決済が夕方に集中する傾向がみられる国も存在する。一般に、RTGS システムは、こうした潜在的な問題に対する予防策として、直接・間接的に、様々な制度的な手当てを行っている。このような関連制度は、その存在・機能によって RTGS システムをより安定的なものにしている。本節では、日銀ネットを米国 Fedwire、英国 CHAPS と比較することで¹¹、RTGS 化した日銀ネットにどのような制度的手当てがなされ、それらがどう機能しているかを整理する。Fedwire は米国連邦準備制度が運営する RTGS システムであり、米ドル建ての資金決済を扱う。CHAPS はイングランド銀行と民間機関が共同で運営する RTGS システムであり、英ポンド建ての資金決済を扱う。国際比較の観点は、①決済資金を事前に確保しておく準備預金等の積立制度、②日中の一時的な資金不足を補う中央銀行の日中与信制度、③支払のタイミングを明示的に定めた市場慣行、④決済額と手許資金額の間を関係を表わす資金回転率、⑤これらの要因を反映した日中の決済進捗パターン、の 5 項目である。

1) 積立制度と日中与信制度

RTGS システムにおける資金の確保・調達手段には、金融市場調節の枠組みの 1 つである積立制度と、RTGS システム特有の日中与信制度がある（図表 2）。準備預金制度に代表される積立制度によって確保した当座預金は、そのまま決済用の資金として利用することができる。金融機関の決済資金需要は日々変動するが、積立制度には、比較的安定した積立残高を維持するような仕組みが設けられている。

米国や日本には、法令で定められた準備預金制度が存在するほか、米国や英国には、契約に基づく中央銀行への当座預金積立制度（米国 Clearing Balances、英国 Reserve Averaging Scheme）が存在する。また、英国では預金取扱金融機関によるイングランド銀行への預金（Cash Ratio Deposits）も、決済用の資金として日中利用することができる。これらの幾つかには付利制度が存在し、当座預金を維持する際のコストを抑制する効果をもっている。例えば、英国では所要準備額までは付利される制度となっており¹²、米国 Clearing Balances や英国 Reserve Averaging Scheme においても積立金に対し付

¹¹ 両システムの基本的な設計については、BIS [2005]を参照。

¹² なお、英国では、超過準備の発生が見込まれる場合には、これを預金ファシリティ（Deposit Facility）に預け入れることで付利対象とすることもできる。ただし、利用実績は僅少であ

利される（Clearing Balances は連邦準備制度の各種手数料支払いに充当できるポイント制）¹³。

図表 2 決済資金確保・調達手段

	Fedwire	CHAPS	日銀ネット
準備預金制度	あり	なし	あり
他の積立制度	Clearing Balances	Reserve Averaging Scheme Cash Ratio Deposits Stock Liquidity Regime	なし
日中与信 形態 利用上限 コスト	当座貸越（基本は無担保） あり 有料	日中レポ なし 無料	当座貸越（有担保） なし 無料

Fedwire および CHAPS の参加者は、基本的に積立制度の対象先となっているが、日銀ネットの場合、準備預金制度の対象先以外（預金取扱金融機関ではない民間金融機関）であっても、日銀ネットで直接決済を行うことができる参加者が多い。こうした先は、自身の判断で、当座預金を確保したり、後述する日中当座貸越のための担保を確保しておく必要がある。

また、3つの RTGS システムとも、日中与信制度を備えている。当日の終業時までには返済するという枠組みと、市場の配分機能に代わって、日中一時的に生じる資金偏在を緩和するという機能は、各システムに共通である。しかし詳細な仕組みは、当座貸越形式を採用している Fedwire および日銀ネット、日中レポ形式を採用している CHAPS と、各中央銀行の与信政策等に応じて区々である¹⁴。例えば、有担保取引を前提としている CHAPS と日銀ネットでは、日中与信の利用に際して担保制約を受ける¹⁵。

積立制度や日中与信制度によって確保した資金は、「受取とは独立の支払」の源泉である。したがって、これらの制度を通じた資金調達コストが低いほど、支払全体に占める「受取とは独立の支払」の寄与が大きくなり、「受取に応じた支払」の連鎖を通じた乗数効果と相俟って、システム全体としても決済進捗が早まる。しかし現実には、日本の準備預金制度のように、全ての決済システム参加者が対象先になっていなかったり、英国や日本の日中与信制度のように、参加者ごとの担保制約により任意のタイミングで必ずしも日中与信を利用できないケースがある。その場合、取引相手からの受取に依存

る。

¹³ 各国の積立制度に関する解説は、日本銀行企画局[2006]を参照。

¹⁴ 日中与信の形態に関する先行研究は、Zhou [2000]によるサーベイが詳しい。

¹⁵ 日銀ネットには、担保資産に関して特段の手当はないが、CHAPS では、流動性規制（Stock liquidity regime）によって差入れた流動性資産を日中レポに転用することが認められている。

するか、市場で新規調達を行うことになり、後者であれば、日中のレート上昇圧力となる。

もともと日本では、日中コール取引が無担保翌日物コールレートの上昇圧力を限界的に緩和している側面がある。短資会社がマネーセンターと、市場における日中の資金偏在を掌握した情報センターとしての役割を果たすことで、日中コール市場を実現させている。具体的には、資金の放出元が日中の余剰資金を短資会社に纏めて供出し、短資会社から資金の調達先に配分するという、短資ディーリング形式がとられている。さらに、資金の放出元と調達先が希望するスタート・エンド時刻が一致しない場合には、短資会社が放出元への返金を一時的に肩代りすることで、こうした mismatches を克服している。日中コール取引は、担保制約が強い一方で、日中の払い超過が大きくなり易い参加者にとっては、重要な資金調達手段となっている。

2) 市場慣行

次に、RTGS システムを取り巻く市場慣行をみてみよう（図表 3）。

図表 3 市場慣行

	Fedwire	CHAPS	日銀ネット
最低残高	なし	なし	なし
早期決済	なし	スループット・ガイドライン	1 時間ルール 返金先行ルール
すくみ対策	なし	サークル処理 ポジション制約	なし
資金滞留対策	なし	SBLS	なし

前述した積立制度が存在していることもあって、決済用資金の最低保有残高を定めたルールはどのシステムにも導入されていないが、日英の RTGS システムには、支払のタイミングを後ずれさせないための各種ルールが導入されている。CHAPS では、スループット・ガイドライン（Throughput Guideline）により、1 日の決済額の 50% を 12:00 までに、75% を 14:30 までに完了させることを求めている¹⁶。さらに、すくみ対策として、日中の受払尻が偏り過ぎないように、参加者同士が相対で設定するポジション制約（position limits）や、すくみ発生時に多者間ネットティング（multilateral netting）を発動するサークル処理（Circle Operations）が導入されている。この他、特定の参加者が資金を抱え込むことで、システム内で利用できる資金が一時的に減少してしまう資金滞留

¹⁶ Buckle and Campbell [2003]は、スループット・ガイドラインが参加者の戦略的な決済行動に及ぼす影響について理論分析を行っている。

(liquidity sink) 対策として、SBLS (Stricken Bank Liquidity Scheme) が整備されている。SBLS とは、何らかの事情で一時的に支払ができなくなった参加者は受取を停止する(他の参加者から当該先への支払を停止する) 制度であり、異例時においても決済進捗ペースを維持するための工夫の 1 つである。

日銀ネットでも、約定後 1 時間以内のスタート決済を求める 1 時間ルール (即日スタート取引の場合)、始業 9:00 以降遅くとも 10:00 までのエンド決済 (返金決済) を求める返金先行ルールによって、大半の支払のタイミングが規定されている。両ルールは、明確な時限制約を課すことで、単に支払を受けるタイミングに関する不確実性を和らげるだけではなく、すくみ対策としても一定の効果を発揮しているものと考えられる。これらの市場慣行により、9:00~10:00 には、エンド決済と当日朝約定分のスタート決済が集中的に行われる。このように資金フローが集中する時間帯には、特にエンド決済は市場での資金調達を伴うことが多いため、レートに上昇圧力がかかり易い。

支払のタイミングを定めた何らかのルールが無ければ、RTGS 下の参加者は、取引相手が決済日のどのタイミングで支払を実行するかという情報を事前に得られない。そのため、「受取に応じた支払」の依存度が高い参加者ほど、タイミングに関する不確実性の影響を受け易くなる。しかし、市場慣行の下、支払のタイミングに関する情報を共有し、自身の日中の資金残高の推移を容易に予測・確定できれば、取引相手から受け取った資金を支払原資として効率的に活用しながら、タイミングに関する不確実性の影響を極小化することができる。

3) 資金の回転率と決済進捗パターン

前述のような制度・ルールの下で実現している資金の回転率 (turnover ratio) を比較したものが、図表 4 である。資金の回転率は、決済額と資金額との比であり、システム全体の資金 (system liquidity) の効率性を測るための簡便な指標として用いられている。ただし、本指標は、システム全体の資金効率を測るものであり、参加者ごとの資金 (funding liquidity) の効率性は考慮していない。

決済額を当座預金と日中与信の和で除した資金の回転率をみると、その大小関係は Fedwire>CHAPS>日銀ネットの順となっている。機会コストを測るうえで重要な金利水準が国によって異なるため、資金回転率の単純な比較は難しいが、関連制度を含めた日銀ネットの決済環境は、他のシステムと比べて同額を決済するためにより多くの資金を使用しているといえる。これは逆に、流動性ショックに対する備えが厚いとも解釈できる。すなわち、流動性ショックによって生じるレート上昇圧力は、日銀ネットでは相対的に低いと考えられる。

なお、CHAPS および日銀ネットでは、仕組み上、決済に必要な額以上に日中与信を

受けることができるため、恒常的に多めに日中与信を受ける参加者が散見される。例えば日銀ネットの場合、日中の決済事務を簡略化するために、国債 DVP (Delivery versus Payment) 同時担保受払機能¹⁷を通じて、当日利用する予定のない国債を担保として、日中当座貸越により、始業時に一括して資金化することができる。そのため、CHAPS および日銀ネットの日中与信の計数は、決済額に対して過大となる傾向がある。他方、基本的に有料である Fedwire の日中当座貸越には上述のような傾向はみられないが、これとは別に、1 分以内に返済された分は実績として計上されず、課金対象としても計上されないという制度上の特徴がある。こうした取扱いにより、1 分以内というごく短期の当座貸越を活用しようというインセンティブが生じるため、後述するように、特定の時間帯にごく短期の当座貸越が高頻度で繰り返し活用されている (McAndrews and Rajan [2000])。

図表 4 資金の回転率

1 営業日平均、10 億ドル

	Fedwire	CHAPS	日銀ネット
当座預金 (A)	17.5 (-)	5.8 (3.4)	213.1 (25.1)
日中与信 (B)	116.5 (-)	24.6 (13.6)	136.3 (16.2)
決済額 (C)	2,074.2 (-)	377.2 (207.6)	785.8 (86.6)
C/(A+B)	15	12	2
C/A	119	61	3
C/B	18	15	5

(注) 1. 2006 年 12 月中の実績。

2. ()内は現地通貨建ての計数。CHAPS は 10 億ポンド、日銀ネットは兆円。

(出所) BIS [2008]

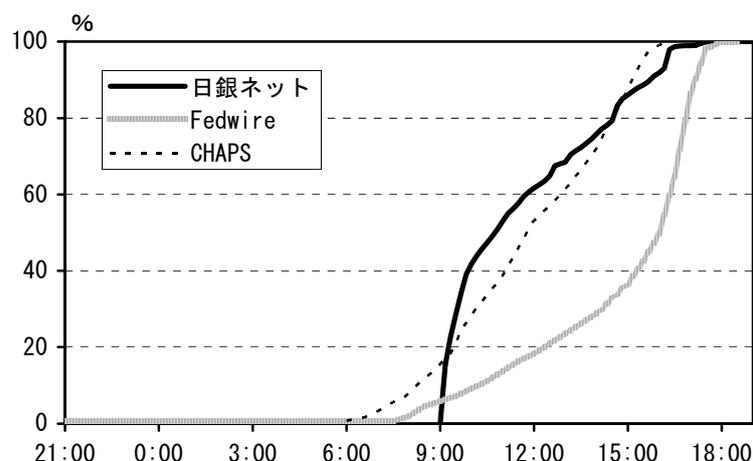
制度やルールの違いを反映して、システムごとの決済進捗ペース (決済額の日中累積分布) は、図表 5 のように三者三様である。Fedwire では、支払のタイミングを定めたルールが一切無いことから、資金調達コストの最小化という意味での効率性が重視され、その結果、支払先送りのインセンティブが強く表れる。そのため、決済額の日中累積分布は、システム運行時間 (前日 21:00~当日 18:00) のうち、終業時直前に急増する形状となっている¹⁸。1990 年代以降は、決済進捗ペースが一段と後ずれし、終業時間際の決

¹⁷ 国債 DVP とは、国債の引渡し (delivery) と代金の支払 (payment) を同時に行うことを指す。また、国債 DVP 同時担保受払機能により、国債 DVP 決済により譲り受ける国債を日本銀行に担保として差入れ、日本銀行から日中当座貸越の供与を受けて、国債の譲受代金の支払に充当すること (逆のフローを含む) ができる。

¹⁸ 証券決済機関 (Clearing Securities Depository) である DTC (Depository Trust Company) や

済の集中度がさらに高まっていると指摘されている。こうした極限的な状況下では、システム障害などの異例時に全ての決済が当日中に完了しないおそれがあり、当局も問題視している（FRB [2006]）。もっとも、1分以内に返済された日中当座貸越は利用額として計上しない扱いにより、Fedwire はオフセット機能付き RTGS¹⁹と同じ経済効果を有すると評価することができる。このため、他の RTGS システムとは異なり、決済の集中がレート上昇圧力に必ずしも直結していない。

図表 5 日中の決済進捗パターン



(注) 横軸は現地時間、縦軸は累積決済率（金額ベース）を表す。
 (出所) 連邦準備制度、イングランド銀行、日本銀行

これに対し、日銀ネット（振替決済のみが対象）の場合、返金先行ルールにより始業（9:00）直後に大半の決済が完了するほか、1時間ルールにより順次決済が進捗するため、終業時（17:00）にかけて決済進捗ペースが逡減する。この結果、決済額の累積分布は Fedwire と逆の形状となっており、日中エクスポージャーの最小化という意味で安全性重視の決済進捗パターンといえる。CHAPS は、始業時（6:00）から終業時（16:20）までの間、ほぼ等速で決済が進捗することから、決済額の日中累積分布の形状はほぼ線形となっている。スループット・ガイドラインが参加者ごとに求めている支払のタイミングが、そのままシステム全体の決済進捗ペースを規定する格好となっている。

民間資金決済システムである CHIPS（Clearing House Interbank Payment System）の決済のために、一定の資金が専用口座内に日中滞留する。これらの決済が終了するまで、Fedwire 上で利用可能な資金が一時的に減少する点も、終業時直前に決済が集中する一因として指摘されている。詳細は McAndrews and Rajan [2000]を参照。

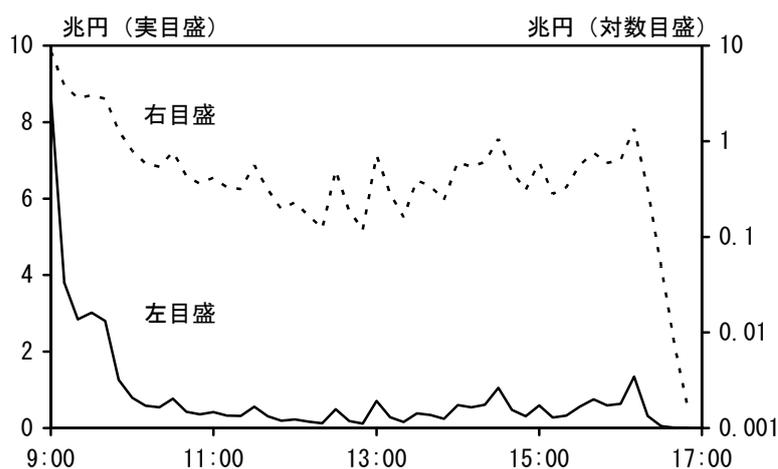
¹⁹ オフセット機能とは、残高不足であっても、取引相手からの入金と同時に支払を実行することで決済が可能となる指図の組合せを探索し、組合せを発見する都度、それらの決済を同時に実行する機能である。詳細は今久保[2005]を参照。

4 決済ネットワーク

本節では、日銀ネットにおける日中の決済パターンが一様ではないこと、これを決済ネットワークの形状変化として捉えられることを示す。以下、特に断らない限り、日銀ネットが取り扱う日銀当座預金決済のうち、振替決済（主にコール取引の資金決済）を分析対象とする。振替決済と日銀当座預金決済全体との関係については、補論を参照されたい。

振替決済の内容は、決済対象となる取引の性質や、取引相手との関係に合わせて、日中を通して様変わりする。例えば、前日までに借り入れたコールローンの返金、投資信託の手許資金の変動に応じた短期資金運用、日中余剰資金の日中コール放出、内国為替決済等において集中決済尻が確定した後の銀行の余剰資金放出など、時間帯に応じて、資金の放出元・調達先の組合せが全く異なるほか、決済額・件数も大きく変化する。

図表 6 日中の決済進捗パターン



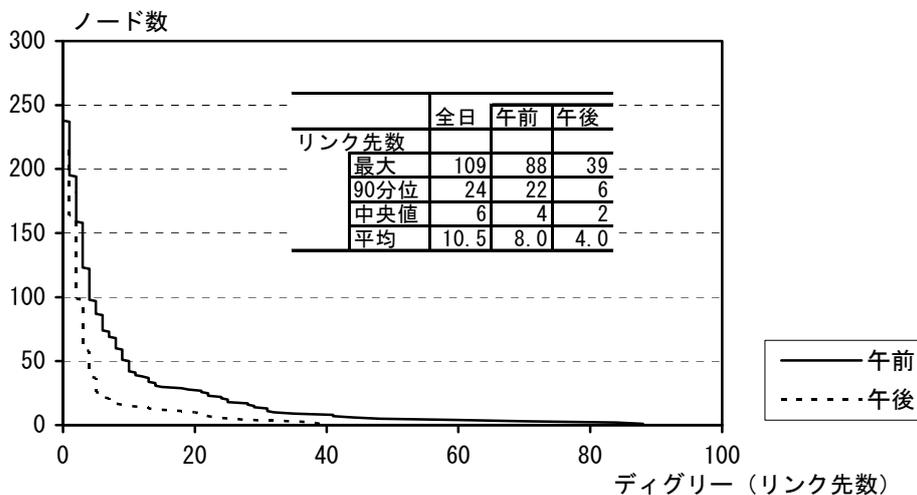
(注) 2006年12月中の振替決済額を対象としたもの(図は1営業日平均)。
(出所) 日本銀行

振替決済について、時間帯別の決済額の分布をみると、図表6のような形状となっている。午前の動きは、返金先行ルールのほか、コール市場では当日の資金繰りのための取引が早朝に集中すること、1時間ルールによって同取引の決済が早い時間帯で進捗することから、1日の決済額の約半分が9:00台に完了している。これに対して、10:00以降の決済は、資金繰りの微調整に伴う決済が中心となる。具体的には、12:30に手形交換、14:30に外国為替円決済、16:15に内国為替決済などの集中決済が完了し、終業時の資金過不足が段階的に確定していくにつれて、約定・決済も段階的に増加する。そのため、時間帯別の分布からは、集中決済が行われる時刻の直後に、局所的なピークを付ける傾向を観察することができる。こうした日中の変化は、決済ネットワークの形状変化

として捉えることができる。決済ネットワークは日中刻々と姿を変えていくものではあるが、議論を簡略化するため、本稿では、午前と午後の2つの時間帯に分けて、ネットワークの形状を比較する。

ネットワーク分析では、ネットワークの構成要素であるノードとこれらに関連付けるリンクに注目する。あるノードのリンクの本数をディグリー（degree）、リンクの持つ数量情報を強度（strength）と呼ぶ。決済ネットワークの場合は、参加者がノード、決済関係（支払・受取の組合せ）がリンク、ある参加者の取引相手の数がディグリー、決済の金額や件数が強度に相当する²⁰。

図表7 ディグリー（リンク先数）の分布



(注) 2006年12月中の1件1千万円以上の振替決済を対象としたもの（図は1営業日平均）。
 (出所) 日本銀行

ある参加者が何先に対して振替決済を行ったかを表すディグリー（リンク先数）の分布をみたものが図表7である。午前・午後とも、低ディグリーのノードであっても、リンク先が全くゼロとはなりにくく、リンク先が1のノード数が最も多い。一方、多数のリンク先を持つ高ディグリーのノードはごく僅かである。こうした裾の長い分布形状は様々なネットワークで観察されており、しばしば、べき乗分布に従っていることが確認されている²¹。コール取引のネットワーク構造を検証した今久保・副島[2008]は、高デ

²⁰ 本稿で取り上げる統計量の他にも、あるノードからの距離や影響が及ぶ範囲を測る指標として *influence domain* や *distance* が、ネットワークの密度を測る指標として *core* や *cluster* 係数などがある。ネットワーク分析における統計量の解説は、林[2007]を参照。

²¹ べき乗分布に従う場合、ノード i がディグリー x_i をもつ確率 $p(x_i)$ は

$$p(x_i) = \alpha x_i^{-\gamma}$$

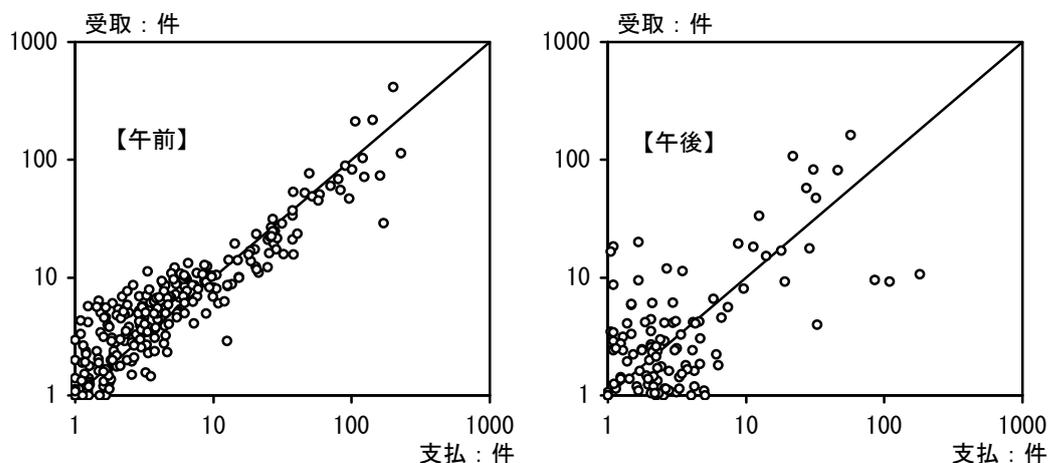
として表現できる。ネットワークとべき乗分布の関係を平易に解説したものとして、バラバシ[2004]やワッツ[2004]、増田・今野[2005]がある。

ィグリーのノードは、ネットワーク全体のハブに相当する金融機関であること、このハブは、短資会社や都市銀行、資産管理系信託、系統金融機関、大手証券、信託銀行、大手地域銀行であり、完全ネットワークのようにリンクの密度が高い部分ネットワークを形成していることを指摘している。

もっとも、今久保・副島[2008]は、ある1か月間の平均的なネットワークについて時間帯を区分せずに検証したものである。先にみたように、日中の決済進捗は一様ではないため、ディグリーの集中度や分布形状は時間帯によって大きく異なる。図表7をみると、午前の分布がいずれのディグリーにおいても上方に位置している。これは、午前の方がネットワークのリンクの密度が高いことを意味しており、午前に資金繰りの大半が集中し、午後はその微調整が中心となることを端的に反映したものである。ただし、低ディグリーの参加者については、午前・午後の相違は殆ど無い。リンク先が数先しかない、すなわち午前・午後とも数先としか決済を行わない参加者が過半を占めており、こうした参加者は、午前・午後とも、例えば短資会社などのごく少数の同一の取引相手とのみ決済を行っている。一方、午前中にみられたリンク先が40を超えるような高ディグリーの参加者は午後には観察されなくなる。ディグリーが10以上ある参加者数でも、午前が50先あるのに対し、午後は15先に減少している。このように、ネットワークの密度が午後に疎になると、ハブを構成する参加者が減少し、またハブのリンク先も少なくなっていることがわかる。午前中の主な高ディグリー先は、短資会社、都市銀行、信託銀行、資産管理系信託、大手証券会社、系統金融機関、大手地域銀行であり、午後は全体にディグリーが減少しているが、特に大手証券会社の相対的な低下が目立つ。外為円決済や内国為替決済を取り扱う銀行は、微調整のため、午後にも相対的に多くのリンク先をもつ一方、証券会社は、証券決済を含めて、決済は午前中にほぼ決着してしまうことが影響していると考えられる。

図表8は、ノードごとの支払件数と受取件数を午前・午後の別に散布図にしたものである。決済件数の多さ（強度情報の一種）は、他のノードとの繋がり（強度）を表している。午前中は、大半のノードが45度線の近傍で分布しており、支払と受取の頻度は概ね一致している。これは、返金先行ルールにより、ロールオーバーに伴う決済が集中した結果と推測される。また、図の右上方に位置する点が多いことから、特に、上位先では資金の往来が激しいことがわかる。決済件数が多いノードの業態をみると、前述のハブの構成者と概ね一致しており、これらは多数の取引先と高頻度で決済を行っている。RTGS下では、ハブは資金フローを円滑に中継するノードとして機能する反面、これらの決済が滞ると、瞬時に広範囲の決済に悪影響を及ぼしかねないという性質も有している。

図表 8 参加者ごとの決済頻度



(注) 2006年12月中の1件1千万円以上の振替決済を対象としたもの(図は1営業日平均)。両軸とも対数目盛。

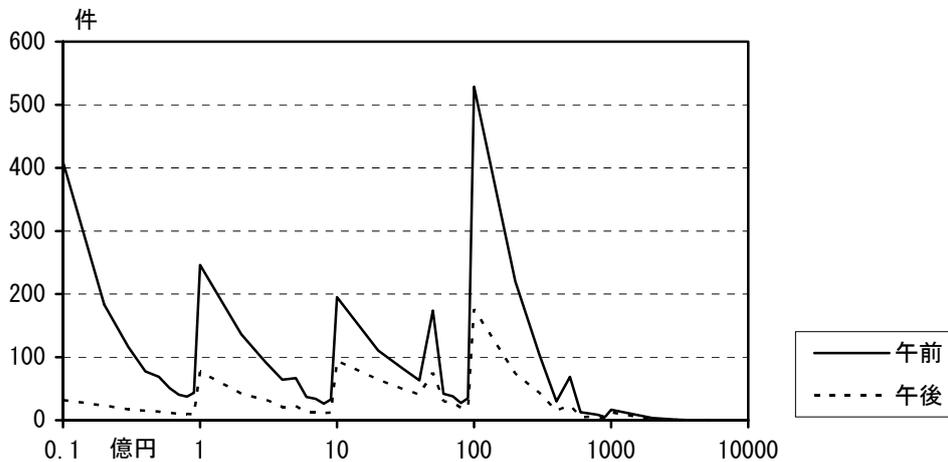
(出所) 日本銀行

一方、午後は、図の左下方に分布が偏っており、大半のノードは、支払または受取の実績は10件足らずとなっている。午後はネットワークのリンクの存在密度が低下するのみならず、決済件数も全体に減少している。また、午前に比べると、限られたノード間でのみ決済が行われているほか、45度線からの乖離が大きく、支払か受取に偏った決済を行うノードが多くなっている。始業直後にロールオーバーを含む当日の資金繰りのための取引が集中する午前に対し、資金繰りの微調整が中心となる午後は、追加的な資金調達または資金放出が過半を占めるため、決済件数の減少と受払いの偏りが生じていると考えられる。

最後に、振替決済の金額帯別の分布を確認しておく。決済ネットワークの場合、1件のリンクであっても、それが1千万円か100億円かによって、そのリンクの意味合いが変わってくる。決済額も件数と同様、重要な強度情報である。2節でみた参加者の反応関数が示すように、支払は受取に比例するため、リンクの金額が大きいほど他のノードとの繋がりが強くなる。図表9をみると、午前・午後ともに区切りのよい金額帯(1千万円、1億円など)の頻度が圧倒的に多い。Brown *et al.* [1991]が指摘しているように、取引当事者間の調整コストを最小化し、取引の執行速度を高めるため、取引慣習を通じて取引規模が特定のサイズに収斂しているものと考えられる。午前は、特に1千万円台と100億円台の頻度が突出している。1千万円は有担保コール取引、100億円は無担保コール取引において最も多用される取引単位であることから、金額分布ピーク各々の取引内容が推測される。これに対して午後は、無担保コール取引相当の100億円が引き続き相対的に多い一方で、有担保コール取引相当額の決済は低水準に止まっている。これは、午後の資金繰りの微調整は、有担保コールよりも無担保コールを中心に行われるこ

とによる。

図表 9 振替決済の金額帯別の分布



(注) 2006年12月中の1件1千万円以上の振替決済を対象としたもの(図は1営業日平均)。
(出所) 日本銀行

以上みてきたように、ディグリー、決済件数、決済額のいずれも、午前の方がノード間の繋がりが強い、すなわち、決済ネットワークにおけるリンク密度が高く、リンク1本当たりの太さ(件数や金額)も平均的に高くなっている。これは、RTGS化に伴って導入された日中与信制度や市場慣行などによって、午前中の決済の連鎖性が高まった結果と推測される。こうした連鎖性の高まりは、資金効率性を高める一方で、一部に決済遅延や資金滞留が生じた場合に負の連鎖が生じる可能性を高めているかもしれない。また、ハブにおいて即時対応が困難な決済のすくみが生じた場合、ネットワークの広い範囲に負のショックが伝播することも考えられる。そこで、次節では、外生的なショックを与え、その影響を計測するシミュレーションを行うことで決済の連鎖性を定量的に検証する。

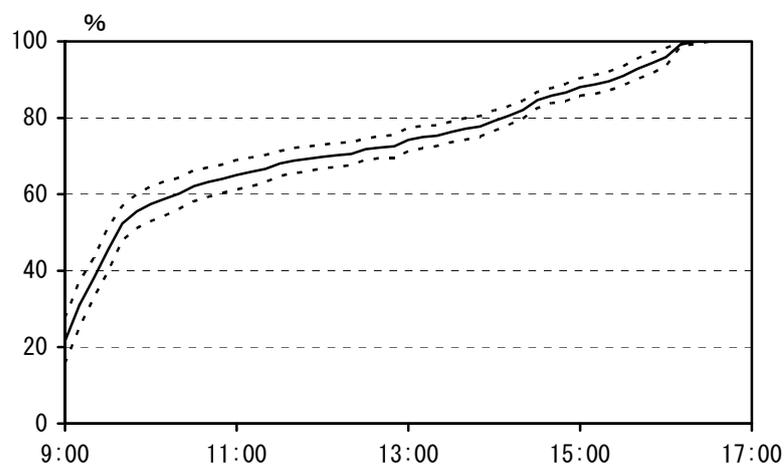
5 決済の連鎖性

前節で確認したように、決済の連鎖性の強弱は時間帯によって異なると考えられる。このため、異なる参加者について同一の反応関数を想定しても、システム全体の決済進捗ペースは、時間帯によって加速したり減速したりする。

図表 6 に示した日中の決済進捗パターン（金額計測）を累積分布で表すと、図表 10 のようになる。9:00~9:10 の始業直後 10 分間に当日の決済額の 20%以上が集中していることがわかる。その後も 9:50 にかけて急速に決済が進捗するが、以降、進捗ペースは逡減する。午後は、DNS を採る他の決済システムの集中決済に応じて進捗する特性を見出せる。また、標準偏差が示すとおり、サンプル期間中における決済進捗ペースのばらつきは非常に小さく、極めて安定的で固定された決済進捗パターンとなっている。

こうした 1 日の決済進捗パターンの中で、1 件ごとの決済が相互に有する連鎖性がシステム全体の決済進捗に及ぼす影響を測る方法の 1 つに、参加者の決済行動を仮定した行動シミュレーション（behavioral simulation）がある。本稿では、各支払に対し、その時点ごとの資金残高が不足する場合は、受取により資金残高が増加し、支払が可能になるまで支払の実行を先送りするという自然な仮定のほか、日中のエクスポージャーである払い超過（multilateral net debit）が一定の閾値を上回った場合、取引相手からの受取が遅延して資金残高が一時的に不足する可能性を考慮し、支払を先送りすることで一定の資金残高を常に確保しておくという慎重な決済行動も仮定した。さらに、支払先送り行動に制約が課されなかった場合、決済遅延の連鎖がどの程度拡大するかをみるために、市場慣行が定めている返金先行ルールおよび 1 時間ルールを除外している。

図表 10 日中の決済進捗パターン（累積分布）



(注) 2006 年 12 月中の振替決済額を対象としたもの。実線は 1 営業日平均、点線は平均±2 標準偏差を表す。

(出所) 日本銀行

このように、所与の行動ルールに基づく対応（rule-based reaction）を仮定したうえで、振替決済のストレステストを行う²²。当然のことながら、参加者の行動パターンにどの

²² 本稿で行ったシミュレーションには、フィンランド銀行決済シミュレータを用いた。

ような想定を置くかによって結果が大きく変わりうる。本稿でのシミュレーションは、ストレス時に生じる現象の予測ではなく、複雑な相互依存関係を持つ決済ネットワークの性質を理解することを目的とする。

まず、参加者の行動様式を想定する際に用いる「上限流動性 (upper bound liquidity)」という概念を、「参加者が実績の時刻に遅れずに支払を行うために最低限必要となる当初残高」と定義する。参加者 i について、時点 t の支払額を $P_{i,t}$ 、受取額を $R_{i,t}$ とすると、 t 時点の払い超過 $DL_{i,t}$ は、

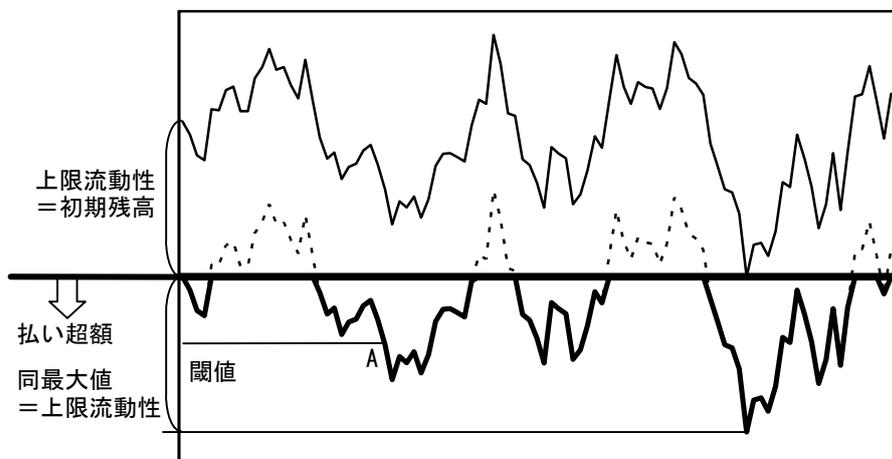
$$DL_{i,t} = \max \left\{ \sum_{s=0}^t (P_{i,s} - R_{i,s}), 0 \right\}, \quad 0 \leq t \leq T$$

と表現できる (T は終業時刻)。このとき、当該参加者の上限流動性 UL_i は、

$$UL_i = \max_t DL_{i,t}$$

となる。すなわち、上限流動性は、遅延なく決済した場合の日中の払い超過の最大値に一致する。これが各参加者の初期残高となる。図表 11 は、払い超過と上限流動性の事例を示している。

図表 11 払い超過と上限流動性の関係



(注) 払い超過 $DL_{i,t}$ (正值) を下方に向かってプロットした。点線は max 関数が掛かる前の変動を表す。

参加者は、初期残高から出発し、実際に記録された支払時刻が訪れる度に、資金残高が非負を維持する限り支払を行う。受取の場合、自動的に残高に加算する。この条件だけであると、全ての決済が滞りなく記録どおりに進捗するが、2 番目の条件である「払い超過が一定の閾値以上になった場合、取引相手からの受取が遅延して資金残高が一時的に不足する可能性を考慮し、支払を先送りする」を課すと、例えば図表 11 の場合、A 点での支払が先送りされる。ある参加者 a の支払先送り行動は、これを受取る予定であった相手方 b の次の支払に影響を及ぼすかもしれない。「受取に応じた支払」の連鎖

は更に他の参加者 c にも及ぶ可能性があり、これが当初の参加者 a にフィードバックしてきた場合、図表 11 の A 点以降の経路はもはや実現しなくなる。

その結果、支払先送り行動は、今後の決済資金不足を懸念したゆえの 2 番目の条件からだけでなく、支払のための資金残高が不足するという条件からも発生するようになる。こうした複雑な相互依存関係を 1 本ずつ紐解くのは困難であるため、現実の決済進捗ペースに対し、決済システム全体で決済遅延がどの程度生じたのかを金額比で評価する。

その前に、シミュレーションに用いた決済データの概要を示しておく（図表 12）。シミュレーションでは、2006 年 12 月 15 日（準備預金の積み最終日）を取り上げ、当日の振替決済の実績をベースラインに決済遅延の発生を検証する。1 件の決済データは、支払人、受取人、支払額、指図の発出・決済時刻、の 4 項目からなる。このように構成された振替決済の決済データは、45 兆円、4.4 万件に上る。参加者ごとの金額の分布をみると、平均値、中央値、上位 10% 分位から、分布が極端に左に歪んでいることがわかる。半分以上の先が 159 億円以下（支払）、182 億円以下（受取）という比較的少額の決済を行っている一方、少数の先への集中が著しく、支払の場合、最大先のみで総額の 7.3% を占めている。また、参加者ごとにみた上限流動性の分布についても同様の傾向が観察できる。

図表 12 シミュレーション・データ

	支払	受取	上限流動性
総額	452,001 (4,469)	452,001 (4,469)	158,617
最大	33,228 (370)	33,910 (366)	12,525
上位 10% 分位	2,298 (20)	3,620 (28)	930
中央値	159 (3)	182 (5)	59
平均	1,189 (12)	1,574 (16)	405

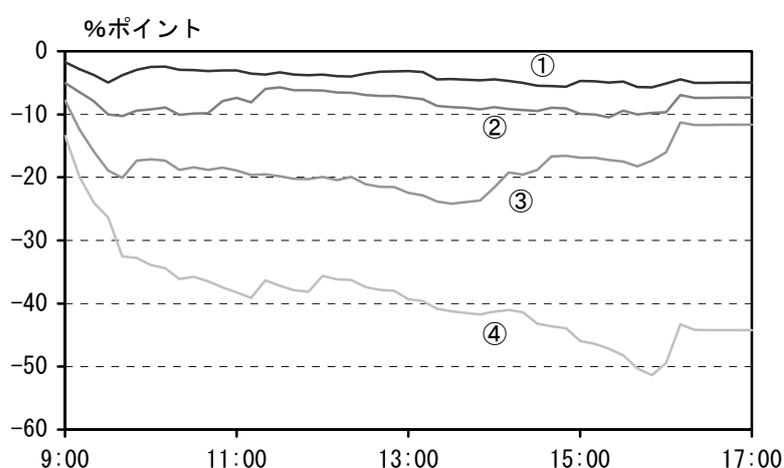
(注) 単位は億円。()内は件数。

図表 13 は、振替決済を対象としたシミュレーション結果であり、実績に基づく決済額累積率（基準値）と、各ストレスシナリオに基づくシミュレーション結果との乖離率を表している。仮に、決済遅延が全く生じず、基準値と同じタイミングで決済が行われれば、原点を通る水平線と一致する。ストレスシナリオの閾値は、シナリオ①から④の順に小さくなるように、①が上限流動性の 4/5、②が 3/5、③が 2/5、④が 1/5 に相当する水準を参加者ごとに設定した。

シミュレーション結果をみると、まず、①から④にかけて閾値を厳しく設定するほど、

遅延の程度が大規模となることが確認される。次に、時間経過に伴う決済遅延の拡大に注目すると、各ケースで異なる特徴を有していることがわかる。9:00 台とりわけ始業直後に基準値からの乖離幅が大きく拡大するが、その後は、①や②では横這いもしくは時間帯によって縮小する傾向が窺われる一方、③では 13:00 過ぎまで緩やかに遅延の拡大が続いた後、かなりの回復をみせている。④では拡大がもっとも急ピッチに進むだけでなく、14:30（外国為替円決済）や 16:15（内国為替決済）前後の回復も限界的なものに止まっている。これには、以下のような背景があると考えられる。

図表 13 ストレステスト①～④



(注) 各時点における、決済額累積率の基準値（実績）とシミュレーション結果との乖離率を表したものの。17:00 時点の乖離率は当日の未決済率を表す。図表 14 も同じ。
 閾値は、全ての参加者に、①が上限流動性の 4/5、②が同 3/5、③が同 2/5、④が同 1/5、の水準をそれぞれ設定した。

高密度・高頻度である午前の決済ネットワークでは、決済遅延が瞬時に広範囲に連鎖する。参加者が返金先行ルールを前提にした初期残高しか確保していないならば、小幅な支払抑制を想定するだけでも、始業直後に集中している大量の高額な決済を実行することが難しくなる。9:00 台に限ってみても、支払抑制が小幅なシナリオ①および②でも決済遅延は 5%ポイントを上回り、支払抑制が大きい③や④では、それぞれ 20%ポイント、30%ポイントにまで達する。

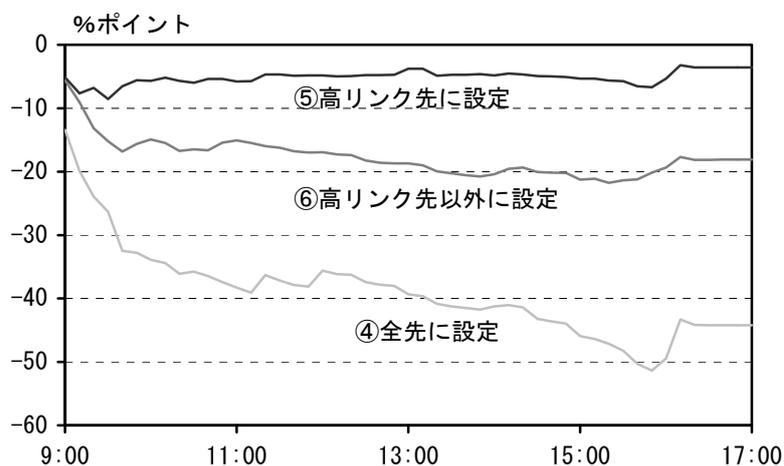
一方、相対的に低密度・低頻度である午後の疎な決済ネットワークでは、決済遅延は他の決済に直接的に影響しにくい。シナリオ④を除くと、午後に入ってから追加的な遅延は小幅である。前述のとおり、集中決済を契機とした取引・決済が多いこともあり、互いの決済が比較的独立した関係にあることが影響しているとみられる。さらに、集中決済が終了すると、余剰資金が遅延していた決済を進捗させる効果も、シナリオ③や④から確認できる。ただし、それでもシナリオ④の場合には、半分近くの決済が未了のまま終業時刻を迎える（図の 17:00 時点の乖離率は当日の未決済率を表す）。シナリオ③

のように、終業時にかけて遅延幅がある程度収束する場合と、シナリオ④のように、発散したまま終わる場合が観察されることは、決済遅延の連鎖を自律的に解消することが難しくなるような閾値が、両シナリオの間に存在する可能性を示唆している。

なお、本稿のシミュレーションでは、厳格な先入れ・先出し（FIFO; First-In First-Out）制約を前提としている。これは、各参加者が約定を確認した順に支払を行うというルールである。約定順を逆転して支払を実行するというケースを排除しているため、保留している指図の中に、参加者行動の判別条件を満たすものがあったとしても、当該指図よりも先に保留されているものがあれば、当該指図の決済は行われぬ。したがって、判別条件を満たしている指図から優先的に決済するという、厳格な FIFO 制約よりも制約が弱いバイパス FIFO 制約の下であれば、決済遅延が連鎖する程度は図表 13 の結果よりも緩和される。

次に、決済ネットワーク上の位置付けによって、参加者ごとに閾値を変更するというシミュレーションを行う。具体的には、シナリオ⑤として、リンクが 30 本以上の高リンク先にのみ閾値を設定し、それ以外の先には閾値を設定しないケースと、反対に⑥として、高リンク先には閾値を設定せず、それ以外の先に閾値を設定するケースを想定した。閾値の設定水準は、シナリオ④と同じく、上限流動性の 1/5 である。高ディグリー先は、先数ベースでは全体の 10%と僅かであるが、決済額ベースでは 45%に上り、これらはネットワークのハブとして機能している。

図表 14 ストレストテスト④～⑥



(注) 閾値は、上限流動性の 1/5 の水準を、④全参加者に、⑤高リンク先のみ、⑥低リンク先（高リンク先以外）に、それぞれ設定した。

シナリオ⑤と⑥の結果を図表 14 に示した。始業直後の決済遅延の拡がり方に差異がみられる点には、次のような可能性が考えられる。ハブに相当する高ディグリー先は、支払の件数・金額とも多いため、日中の払い超額の絶対水準が大きくなり易い。このた

め、日中の最大払い超過である上限流動性は、1件当たりの平均的な決済額以上に大きくなり、実際、これを初期時点で満たすような日中与信の引出しが行われることが多い²³。これにより、始業直後には、資金残高や払い超過の制約がハブに相当する参加者の決済行動は縛られにくくなる。ハブによる支払が進捗すると、決済の連鎖性によりシステム全体の決済も進捗する。逆に、低ディグリー先は、上限流動性の絶対水準が低いため、比較的大きい額の支払があると、始業直後から資金残高およびポジションの制約が参加者の決済行動を縛りやすくなる。実際、1件当り決済額に対する閾値（上限流動性の1/5）の比率は、高リンク先は6.9と十分に大きい、低リンク先は0.6と1を下回っている²⁴。

シミュレーション①から⑥のうち、高ディグリー先の「受取に応じた支払」を試算した結果が、図表15である。次式のとおり、支払予定時刻 t が到来したときに、取引相手からの受取残高 $B_{i,t-1}$ が十分であれば、その支払 $P_{i,t}$ は取引相手からの受取残高を支払原資とする、「受取に応じた支払 $P_{i,t}^{IP}$ 」とみなした（受取 $R_{i,t}$ によって起動した支払という意味ではない）。

$$P_{i,t}^{IP} = \begin{cases} 0 & \text{if } P_{i,t} > B_{i,t-1} \\ P_{i,t} & \text{if } P_{i,t} \leq B_{i,t-1} \end{cases} \quad \text{ただし、} \quad B_{i,t-1} = \sum_{s=0}^{t-1} (R_{i,s} - P_{i,s}^{IP})$$

①から③へと閾値の水準を低くすることで、「受取に応じた支払」の割合が高まっていくが、③から④へと閾値の水準を変更した場合には、「受取に応じた支払」の割合が大きく低下する。図表13でみたように、シナリオ④の下で、決済遅延の連鎖を自律的に解消するメカニズムが十分に働かない背景には、高ディグリー先において「受取に応じた支払」が進まなくなることが挙げられる。逆に、シナリオ③のように、「受取に応じた支払」の寄与が高ければ、決済遅延を大幅に解消することができる。厳密なFIFOを前提とした順序に関する制約が厳しい世界で、決済遅延を最小限に止めるには、大口支払を極力保留せずに決済することが1つのポイントとなる。定義上、閾値の水準を低くすると、「受取に応じた支払」の寄与が高まるが、閾値がある水準を下回ると、その閾値の下で大口支払を円滑に実行することが困難になり、決済が遅延していくことになる。この結果、「受取に応じた支払」の寄与も低下する。

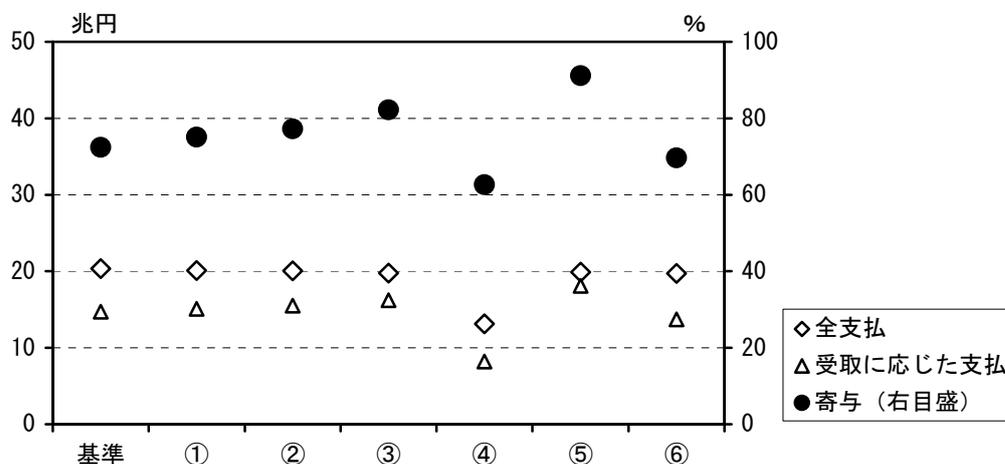
こうした分析結果より、決済ネットワーク上において、閾値の水準が過度に低くならなければ、高ディグリー先が余剰資金によってシステム全体の決済遅延を緩和するとい

²³ 初期時点で引き出されない場合は、9:00以降の資金調達により、払い超過の減少が生じる。

²⁴ ただし、低ディグリー先は、多額の決済資金を手当てしておく必要が無いために、上限流動性が低くなっている可能性もあり、必要な場合には、新たに日中与信や何らかの資金調達を行う余地は大きいとも考えられる。本稿では、ストレス時においても外部からの新たな資金調達は無いものと想定しているが、実際には外部調達による対応が行われるであろう。

う役割を果たしていることが確認される。

図表 15 高ディグリー先の「受取に応じた支払」



6 おわりに

本稿では、資金決済データを用いて日銀ネット上での日中および参加者間の資金フローを分析した。

RTGS 化した日銀ネットでの資金決済は、準備預金制度、日中当座貸越制度、市場慣行といった様々な制度に密接に関連している。これらの制度は、支払先送り行動や「受取に応じた支払」という、決済の連鎖性を通じた決済遅延の拡散を防止する機能を含んでいる。その1つである返金先行ルールは、始業直後の決済集中をもたらしており、主要国 RTGS システムと比べても独特である。

こうした時間不均一な日中の決済進捗を反映して、決済ネットワークの形状は時間帯によって大きく異なっており、決済の連鎖性の強度も日中の局面ごとに変動している。複雑な相互依存関係を持ち、かつ時間変動する決済ネットワークの性質を理解するためにストレス・シミュレーションを行ったところ、決済の連鎖性が強い時間帯、特に始業直後には、決済遅延が広範囲に拡がり易く、資金フローが滞り易いことが観察された。また、決済ネットワークのハブを構成する参加者は、相対的に十分な流動性を確保していることもあり、こうした決済遅延の連鎖を一定の範囲内で吸収・抑制する機能を有していることが確認された。

決済遅延を許容することは、朝方に資金調達圧力が強まり、コールレートが上昇する

程度を緩和する効果を持つとも考えられる。もっとも、その場合は対価として、日中エクスポージャーの拡大というマイナスの効果も伴う。このような、日中のレート変動の安定化と日中エクスポージャーの最小化というトレードオフ問題に対しては、幾つかのアプローチが考えられる。

1つは、参加者選定や階層化により、決済ネットワークを外生的に変形させることである。望ましいネットワーク構造を先験的に特定することは難しく、仮に特定できたとしても、その形状が決済の効率性・安全性や利便性の観点から社会厚生上望ましいかどうかの評価も難しいものの、決済の連鎖性をもつプラスとマイナスの側面のバランスを考慮して、望ましい決済ネットワークを構築することができれば、抜本的な対応となり得る。例えば、現在ハブを構成している参加者に決済を更に集中させることを通じて、システム全体として、効率的かつ円滑な日中資金フローを実現することが考えられる。この場合、日中エクスポージャーを抑制しつつ、決済資金需要に起因する日中のレート変動を安定化させることを展望できる。

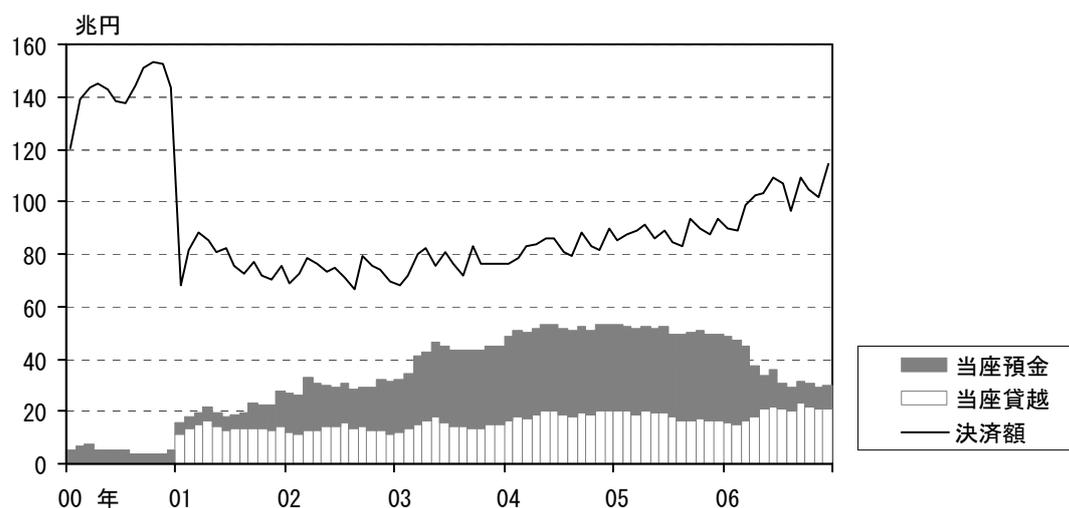
また、より現実的な対応として、補完的な制度の導入により、トレードオフの関係を改善することが考えられる。例えば、2008年度に日銀ネットへの導入を予定している流動性節約機能（オフセット機能）は、システム内の決済資金の効率的な利用と、高い決済進捗を同時に目指す試みである²⁵。流動性節約機能により、すくみの状態にあっても、一定の条件を満たせば決済を継続することができるため、参加者の上限流動性を抑制することができる。したがって、返金先行ルールや1時間ルールの下での決済進捗ペースを維持したまま、資金決済需要に起因する早朝のレート上昇圧力を緩和することが可能となる。

²⁵ 次世代 RTGS 構想は、①日銀ネット RTGS に流動性節約機能を導入すること、②現在、民間資金決済システム（外国為替円決済システム、全国銀行データ通信システム）を通じて時点ネット決済している大口資金取引も、流動性節約機能付き RTGS で処理できるようにすること、を2本の柱としている（日本銀行決済機構局[2006]）。

補論 日銀ネットの決済額の推移

日銀ネットの決済額（1営業日平均）は、2001年のRTGS化直後の大幅な減少を除くと、国債レポ取引など対象取引の増加につれて、緩やかに増加している（図表 A-1）。2001年中の77兆円から2006年中の102兆円まで、平均すると年率6%で増加したことになる。この間、決済に利用可能な資金額は大きな増減を記録した。まず、RTGS化と同時に導入された日中当座貸越制度により、日々10～20兆円程度の日中当座貸越がRTGSに利用されるようになった。また、当座預金は、量的緩和政策により段階的にその水準が引き上げられ、一時は30兆円を上回る水準を記録した。後者が量的緩和政策の解除後に急減した結果、2006年末時点では、決済額115兆円に対して、日中当座貸越21兆円、当座預金9兆円という構成になっている。

図表 A-1 日銀当座預金決済・当座預金・日中当座貸越の推移



（注）「決済額」は日銀当座預金決済額の月中平均、「当座預金」は積み期間中の平均残高、「当座貸越」は日中利用額ピークの月中平均を表す。

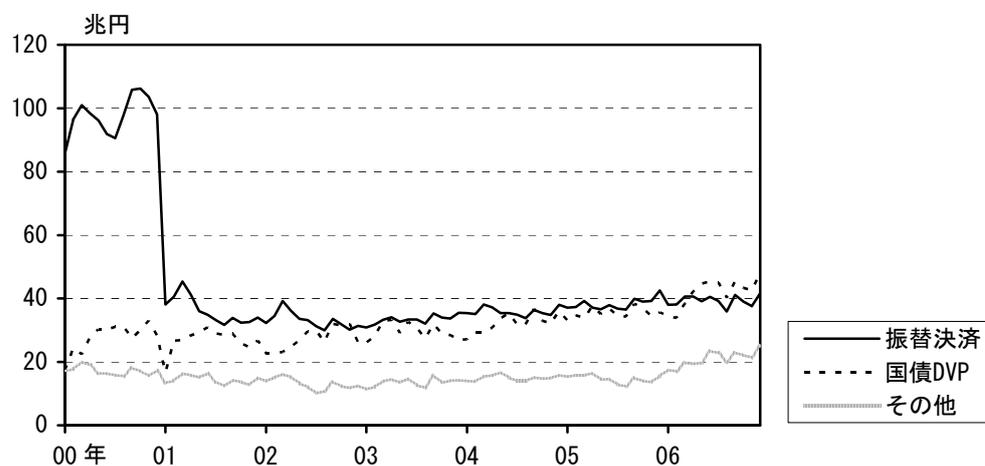
（出所）日本銀行

日銀ネットが取り扱う日銀当座預金決済は、大別すると、コール取引の資金決済を中心とした振替決済、国債 DVP などの証券決済に伴う代金決済、内国為替決済などの集中決済尻の資金決済、日本銀行との取引の資金決済からなる（日本銀行決済機構局 [2007]）。このうち振替決済は、2006 年末の時点では、日銀当座預金決済全体の約 1/3 の規模となっている。振替決済は、資金繰りの最終調整を行うコール取引の資金決済という取引の性質に加え、日銀当座預金決済に占める規模の面でも、重要な役割を担っている。

この振替決済は、日銀当座預金決済の内訳別推移が示すように、RTGS 化を契機にして大幅に減少した（図表 A-2）。1988 年の日銀ネット導入以前においては、取引先金融

機関は、取引の都度、日本銀行に小切手を持ち込む事務の煩雑さを避けるため、短資会社との間で複数の支払および受取をそれぞれ一本化した小切手を切り、これを日本銀行に持ち込む慣行があった。当時の名残もあって、RTGS化以前の日銀ネットでは、短資ブローキング取引を「資金の放出元→短資会社→資金の調達先」という経路で、短資会社の日銀当座勘定を経由して2段階に分けて決済していた。こうした取扱いのため、取引額の2倍の決済額が日銀ネット上で処理されていた。これが2001年のRTGS化を機に、「資金の放出元→資金の調達先」と短資会社を経由せずに直接決済するかたちに変更され、短資会社の事務代行面での役割が低下したため、振替決済の決済額は単純計算で半減している。

図表 A-2 日銀当座預金決済の内訳別推移



(注) 「振替決済」は主にコール取引の資金決済、「国債DVP」は国債DVPに伴う代金決済、「その他」は国債以外の証券DVPに伴う代金決済、集中決済尻の資金決済、日本銀行との取引の資金決済を表す。

(出所) 日本銀行

参考文献

- 今久保圭 [2005]「決済方式が参加者行動に及ぼす影響」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ No. 2005-J-14.
- 齊藤誠・白塚重典・柳川範之・渡辺努 [2002]「流動性需要と資産価格形成：わが国の定期的決済慣行における検証」齊藤誠・柳川範之編『流動性の経済学：金融市場への新たな視点』東洋経済新報社.
- 今久保圭・副島豊 [2008]「コール市場の資金取引ネットワーク」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ.
- 日本銀行企画局 [2006]「主要国の中央銀行における金融調節の枠組み」日本銀行調査論文.
- 日本銀行金融市場局 [2007]「金融市場レポート（追録）2006年7月の政策金利引上げ後の短期金融市場の動向」
- 日本銀行決済機構局 [2007]「決済システムレポート 2006」
- [2006]「日本銀行当座預金決済の新展開 — 次世代 RTGS 構想の実現に向けて —」
- 林文夫 [2000]「日本のコール市場における流動性効果について」日本銀行金融研究所『金融研究』第19巻第3号.
- 林幸雄編 [2007]『ネットワーク科学の道具箱 – つなかりに隠れた現象をひもとく』近代科学社.
- 増田直紀・今野紀雄 [2005]『複雑ネットワークの科学』産業図書.
- Angelini, P. [1998] "An Analysis of Competitive Externalities in Gross Settlement Systems" *Journal of Banking and Finance* Vol. 22, No. 1.
- Bank for International Settlements [2008] "Statistics on Payment and Settlement Systems in Selected Countries – Figures for 2006" Committee on Payment and Settlement Systems Publications.
- [2005] "New Developments in Large-Value Payment Systems" Committee on Payment and Settlement Systems Publication No. 67.
- Barabási, A. L. [2002] *Linked: The New science of Networks*: Persus Publishing (青木薫訳 [2004]『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)
- Bartolini, Leonardo, Svenja Gudell, Spence Hilton, and Krista Schwarz [2005] "Intraday Trading in the Overnight Federal Funds Market" *Federal Reserve Bank of New York Current Issues* Vol. 11, No. 11.
- Bech, M., and R. Garratt [2003] "The Intraday Liquidity Management Game" *Journal of Economic Theory* Vol. 109, No. 2.
- Bedford, P., S. Millard, and J. Yang [2004] "Assessing Operational Risk in CHAPS Sterling: A

- Simulation Approach" Bank of England Financial Stability Review.
- Beyeler, W. E., R. J. Glass, M. L. Bech, and K. Soramaki [2006] "Congestion and Cascades in Payment Systems" Federal Reserve Bank of New York Staff Reports No. 259.
- Board of Governors of the Federal Reserve System [2006] "Consultation Paper on Intraday Liquidity Management and Payment System Risk Policy" Federal Register Vol. 71, No. 119.
- Brown, S., P. Laux and B. Schachter [1991] "On the Existence of an Optimal Tick Size" Review of Futures Markets 10.
- Iori, G, G. de Masi, O. V. Precup, G. Gabbi, and G. Caldarelli [2007] "A Network Analysis of the Italian Overnight Money Market" Journal of Economic Dynamics and Control Vol. 32, Issue 1.
- James, K. [2003] "A Statistical Overview of CHAPS Sterling" Bank of England Financial Stability Review.
- de Nooy, Wouter, Andrej Mrvar, and Vladimir Batagelj [2005] Exploratory Social Network Analysis with Pajek. Cambridge University Press.
- Kobayakawa, S. [1997] "The Comparative Analysis of Settlement Systems" Centre for Economic Policy Research Discussion Paper Series No. 1667.
- Koponen, R. and K. Soramäki [2005] "Intraday Liquidity Needs in a Modern Interbank Payment System – A Simulation Approach" Liquidity Risks and Speed in Payment and Settlement Systems – A Simulation Approach edited by Harry Leinonen, Bank of Finland Studies No. 131.
- Lacker, J. M. [2004] "Payment System Disruptions and the Federal Reserve Following September 11, 2001" Journal of Monetary Economics Vol. 51.
- Leinonen, H. and K. Soramäki [2004] "Simulation: Powerful Tool in Payment and Settlement Systems" Payment Systems Worldwide.
- McAndrews, J. J. [2006] "Alternative Arrangements for the Distribution of Intraday Liquidity" Federal Reserve Bank of New York Current Issues in Economics and Finance Vol. 12, No. 3.
- , and S. M. Potter [2002] "Liquidity Effects of the Events of September 11, 2001" Federal Reserve Bank of New York Economic Review 2002.
- , and S. Rajan [2000] "The Timing and Funding of Fedwire Funds Transfers" Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review Vol. 6, No. 2.
- Müller, J. [2006] "Interbank Credit Lines as a Channel of Contagion" Journal of Financial Services Research Vol. 29, No. 1.
- Roberds, W. [1999] "The Incentive Effects of Settlement Systems: A Comparison of Gross Settlement, Net Settlement, and Gross Settlement with Queuing" Bank of Japan IMES Discussion Paper Series No. 1999-E-25.

Schmitz, Stefan W., Claus Puhr, Hannes Moshhammer, and Ulrike Elsenhuber [2006]
"Operational Risk and Contagion in the Austrian Large-Value Payment System ARTIS"
Oesterreichische Nationalbank Financial Stability Report 11.

Watts, D. J. [2003] Six Degrees: The Science of a Connected Age: W. W. Norton & Company
(辻竜平・友和正樹訳 [2004] 『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)