

審査の結果の要旨

氏名 早川仁

早川仁君は、提出された博士論文において、銀行に代表される金融機関間の決済システムを、独自のネットワークモデルによって一般的に定式化し、決済が円滑になされるための中央銀行による政策について、マイクロ理論的考察をおこなった。早川君は、標準的な経済学が仮定する完全市場とは異なり、金融市場には何らかの取引摩擦があることを明示的に扱った。取引摩擦のために、金融市場は実体経済に大きな影響を与えることになり、昨今より深刻化された金融危機を招く可能性を考えることができる。早川君は、このような視点から、独自の基礎理論を構築した。

早川君は、現実的な決済システムでは、中央集権的に銀行間の債務相殺を貫徹することができないという制約があることに着目し、この制約を、金融取引摩擦の原因の根幹に据えた。そして、金融機関が分権的に債務決済する状況を、グラフ理論的なネットワークによって数理モデル化した。早川君は、個別債務を分割決済することには現実的な制限があること、および個別決済の遂行には順番があることが、決済に必要となる流動性の需要を高めて、金融取引摩擦を深刻化させる基礎要因になると考えた。これらの要因の下で、局所的に債務決済が不履行になることが、決済システム全体に、ドミノ倒しのように、危機的状況を波及させて、金融危機を発生させると考えた。

このような金融危機の発生を阻止するため、中央銀行はあらかじめ、流動性を補てんするべく、決済資金を準備しておく必要がある。早川君は、博士論文において、中央銀行による決済資金準備政策の適切な在り方について、グラフ理論的概念を定義することによって、新しい知見を提供した。

金融市場にネットワークの概念を導入することによって、金融危機を説明する点については、Brunnermeier や Shin 等による一連の先行研究がある。これらの研究においては、銀行間の貸借関係と、銀行と民間企業間の貸借関係とでは、Maturity Mismatch があり、これが原因で債務不履行が発生するとしている。早川君の博士論文では、非金融部門と金融部門の間の取引について、明示的にモデル化していないが、これらは今後相互に補完するアプローチになると理解できる。

主査および副査は、早川君の博士論文が、金融システムの安定についての新しいミクロ経済学的アプローチを提供する画期的分析として、優れた学術的貢献に値すると判断した。よって、主査および副査は、早川君の博士論文を満場一致で採択することに合意した。

昨今の金融危機に代表される歴史的経験をふまえると、金融部門が実体経済に影響する可能性についての、ミクロ経済学的な基礎モデルを、一般的な枠組みとして構築することが重要と考えられる。特に、銀行に代表される金融機関が、他の金融機関の貸し手であると同時に、別の金融機関の借り手でもある関係、すなわち、銀行間でバランスシートが相互にリンクしているという意味においてのネットワーク構造が、局所的な金融ショックが実体経済に増幅効果をもたらす主要因になりうる。

しかしながら、金融システムのネットワーク構造を明示的に扱う一般的数理モデルは、今まで十分に提示されていないのが、学術上の現状である。「ネットワーク構造の金融経済学」は、非常に重要でありながら、未成熟な研究領域と考えられる。

早川君の博士論文は、この未成熟な重要研究領域に、新たな分析枠組みを提示した。早川君の定義するネットワークモデルにおいては、金融機関の債務関係が **Directed Graph** によって表現され、負債の金額と決済の順番が明示的に表示される。そして、重要な仮定として、モデルにおいて表示される範囲を超えて、分割決済や中央集権的な債務相殺をおこなうことができないとされる。この仮定のために、一部の金融機関が債務不履行に陥ると、他の金融機関への返済も滞って、バランスシート上の損失が、ドミノ倒しのように、波及することになる。このような負の連鎖がネットワーク上にひろがって、いわゆる「ドミノスパイラル」がおこる。

このような負の連鎖が生じないようにするためには、中央銀行は、あらかじめ決済資金を準備して、決済の円滑な遂行をうながす政策を講じる必要に迫られる。ただし、中央銀行が決済資金を多く準備することは、それだけ社会的費用がかかることになる。早川君は、任意のネットワークについて、円滑な決済の履行に最小限必要な決済資金の額を導くための **Computation Method** を提示して、ネットワークの複雑性と社会的費用の関係性を明らかにした。

Eisenberg and Noe (2001)は、決済システムのネットワークを一般均衡モデルとして定式化して、一部の金融機関の債務不履行が他の金融機関の損失に波及するネットワーク外部効果を分析した。ただし、**Eisenberg and Noe** は、分割決済が無制限に可能であることを仮定することによって、実質的には中央集権的な債務相殺と同等の分権的決済ができるとした。そのため、**Eisenberg and Noe** のモデルでは、債務不履行の可能性がもたらす外部効果はさほど深刻にならず、中央銀行による決済資金準備も必要とされない。

これに対して、Rotemberg(2011)は、早川君の論文と同じように、分割決済ができないことを仮定することによって、債務不履行がもたらす負の連鎖が深刻化することを指摘した。Rotemberg は、早川君の博士論文と密接に関係している。つまり、Rotemberg は、ネットワーク構造が、ある仕方において複雑であると、各金融機関は複数の債務関係をもつことになり、決済資金を資金の再利用の余地のない債務履行に使う可能性が出てくることに着目し、このことが、負の連鎖を深刻化させる主要因になるとした。Rotemberg は、ネットワークが、債務を分割せずとも、均一の金額の債務関係からなる複数のサークルの合成によって構成できる場合には、各サークルで必要になる決済資金の総和が、ネットワーク全体にとって必要な最小限の決済資金に一致することを示した。

これに対して、早川君は、債務を分割しなければ複数のサークルの合成によって構成できないような、一般的なネットワークの場合には、Rotemberg の議論をあてはめることができない点に着目した。Rotemberg はネットワーク上の全ての債務が同額であるとしているが、これは現実的には極めて強い仮定であるため、Rotemberg よりも一般性のある分析が必要である。

以上をふまえ、早川君は、Rotemberg の議論を本質的に改定することによって、一般的なネットワークについて、債務不履行を生じさせない最小限の決済資金の額の特定化命題を示した。

早川君の博士論文は、三つの、関連するが互いに独立した、個別論文から構成されている。

第1章：Complexity of Payment Network

第2章：Does Central Counterparty Reduce Liquidity Requirement?

第3章：Liquidity Saving Mechanism under Interconnected Payment Network

第一章は、博士論文全体の基礎モデルを提示するものであり、審査にあたって特にその内容が精査された論文である。第一章の内容は、問題の本質に深く踏み込んだ高水準にあると考えられる。そのため、実質的にはこの章の評価をもって、早川君の博士論文の合否を判断するに至った。

早川君は、任意のネットワークは、債務を分割することによって、債務額が均一な複数のサークルの合成として構成できることを、まず示した。そして、各サークル内で必要となる決済資金の総和と、ネットワーク全体で必要となる決済資金の間には、密接な関係があることを示した。しかし、Rotemberg による特殊なネットワークの考察とは異なり、サークルごとに必要な決済資金の総和と、ネットワーク全体で最小限必要な決済資金とは、もはや一致しない。そこで、早川君は、最小限必要な決済資金の導出の

仕方について、決済の順番について中央銀行がコントロールできるケース（効率的な決済順番のケース）と、できないケース（最悪の決済順番のケース）に分けて、各々検討した。

決済順番について中央銀行がコントロールできる、効率的な決済順番のケースについて、早川君は、ネットワーク全体は、サークルごとに必要とされる決済資金の総和より多い決済資金を必要とすることを示した。その理由は、個別の債務は、複数のサークルにおける債務に分割されるものの、分割決済自体はみとめられないので、サークル間で決済の同時性（Synchronization）が要求されることにある。この要求のため、サークルごとの決済資金の総和よりも多い決済資金が、ネットワーク全体で必要になってしまう。早川君は、この論点を踏まえて、最小限必要な決済資金のための追加補填を特定化する関係式を導出した。

さらに、早川君は、最悪の決済順番のケースについて検討し、先のケースとは逆に、ネットワークは、サークルごとの決済資金の総和より少ない決済資金で事足りることを示した。その理由は、各金融機関が、ことなるサークルの決済資金を、別のサークルの決済に使いまわすことによって、決済資金を節約できることにある。

早川君は、必要決済資金を最小化する決済順番のケースにおいては決済資金の追加補填が必要になることと、最悪の決済順番のケースにおいては決済資金が節約できることを、各々「Arrow-twisted」と「Vertex-twisted」というグラフ理論的な概念を新たに定義することによって説明した。このようなグラフ理論的な説明によって、早川君は、ネットワーク構造の特性と、決済資金準備による社会的費用の間の定性的関係を、一般的に明らかにしたことになる。

よって、第一章の学術的貢献は、要約すると、

- 1) 決済システムのネットワーク構造を、一般的なグラフ理論的モデルによって定式化したこと
 - 2) 中央銀行の決済資金準備について、最適政策を示したこと
 - 3) 最適決済資金とネットワーク構造の関係性を明らかにしたこと
 - 4) 最適決済資金の導出のための **Computation Method** を提示したこと
 - 5) 決済順番についてコントロールできるケースとできないケースの各々について、決済資金の追加補填の必要性と節約の可能性を指摘したこと
 - 6) 追加補填と節約の各々の可能性は、「Arrow-twisted」と「Vertex-twisted」というグラフ理論的な新概念によって特定化できること
- である。

このようなネットワークモデルの基礎的考察をもとにして、早川君は、続く第 2 章において、決済システムのネットワークを、より経済学的に限定した上で比較分析して、さらに踏み込んだ政策立案を検討している。

早川君は、第2章において、決済ネットワークを、中央決済機関によって部分的に債務相殺（ネットィング）ができるシステムと解釈して、比較分析を試みた。早川君のネットワークモデルにおいては、中央決済機関によるネットィング効果のみならず、中央決済機関が新たな決済経路を提供する効果も明示的に分析できる。後者の効果は、ネットィング効果を打ち消してしまう恐れがあるが、このことは、首尾一貫したネットワークモデルがない限りは、十分に分析することができない。その点において、早川君のモデルはこれを可能にするので、第2章は応用研究として評価に値すると判断される。早川君は、最適決済資金の観点から、ネットィング効果と決済経路提供効果が各々プラスに働くかマイナスに働くか、そして、それらの効果の強弱はどうか、について、具体的な特定化定理を示した。

第一章および第2章の分析では、ネットワークの構造自体は、中央銀行や中央決済機関が部分的にコントロールできる以外、外生的に与えられていた。これに対して、第3章は、個別金融機関が自発的に債務相殺を実施する可能性について、戦略的考察をおこない、どの程度債務相殺をするインセンティブがあるかを分析することによって、ネットワーク構造が内生的に決定される仕組みを考察した。

早川君の博士論文では、現実的な金融取引における経済学的論点と、経済学者にはあまりなじみのないグラフ理論的概念が共存している。そのため、数理概念が経済学の理解に如何に有用かが、論文において説得的に説明されなければならない。この点において、早川君の研究は、当初はかなり難航していたと記憶している。現時点での提出論文においても、数理概念の新しい定義がとても多いので、今後より整理された改定版が書かれることを、まだ期待できる。

しかし、より本質的な問題は、第一章のモデルを使って、はたしてすぐれた応用研究をすることができるかどうか、にある。その点に関して、早川君は、応用研究として、第2章と第3章をまとめることによって、第一章の基本モデルの有用性を十分に示すことができた。特に、債務相殺が、ネットワークの経路が同時に変更されることを通じて、むしろ社会的費用を高めるかもしれないという、ネットワークモデルの定式化がなければ分析できないような論点を、第2, 3章で扱うことができた点は、意義がある。

早川君の博士論文は、重要な査読付き専門誌に掲載される価値のある内容を備えている。この枠組みを使って、今後さらに理論と応用を発展させることができる。そのためには、提出された論文を、さらにより読みやすく、簡潔にまとめる作業が、今後必要である。

以上より、早川仁君の博士論文は、博士号を授与するに十分な水準に達していると、審査委員会の全会一致で判断した。

早川君が、研究のリスクを恐れず、新しい、大きな問題にチャレンジして、立派な成果にこぎつけたことの意義は、非常に大きい。早川君に続く若い研究者には、このことが励みになると期待したい。

審査委員：

主査： 松島 齊

副査： 神取道宏
柳川 範之
尾山 大輔
平野 智裕