



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	分散的発行通貨と集中的発行通貨の特性比較-LETSを使ったランダム・ネットワーク・シミュレーションによる-
Author(s)	吉地, 望; Kichiji, Nozomi; 西部, 忠 他
Citation	経済學研究, 57(2), 1-14
Issue Date	2007-09
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/28611">https://hdl.handle.net/2115/28611</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	57(2)_1-14.pdf



## 分散的発行通貨と集中的発行通貨の特性比較

——LETSを使ったランダム・ネットワーク・シミュレーションによる——

吉 地 望<sup>1)</sup>・西 部 忠

### 0. はじめに

貨幣とは、モノの交換に先立ち第一義的に要請される独立情報媒体である。それは情報、緩衝・たるみ、認知枠という役割を果たすことで、一元的な価値表現、経済主体による自律的判断、商品の相対取引を可能にし、売買取引のネットワークとしての市場を形成する。それゆえ、貨幣の本性的機能は経済価値を一元的に表示し、買い手に評価のイニシアティブを与える価値尺度機能にある。このため、流通手段機能に見られる一般的受領性（汎通性）は貨幣の必要条件ではない。少数であれ受領者がいる、価値尺度を備えた独立情報媒体であれば、それは貨幣と呼ぶことができる。その意味で、電子マネー、ポイント、マイレージ、商品券、地域通貨はいずれも貨幣である。

地域通貨は、(1)相対取引、(2)価格の自由交渉、(3)比較的小規模な流通圏、(4)国家通貨への換金不可ないし換金制約、(5)市民や市民団体による自由発行と運営コストの共有、(6)ゼロないしマイナスの利子という特性を持っている。このうち、(1)と(2)は国民国家のような大規模流通圏を持つ法定通貨と共通する性質であり、(3)~(6)が地域通貨に特有な性質である。LETS (Local Exchanging Trading System) とは、1983年カナダ人マイケル・リントンがヴァンクーバー島コモックスヴァレーで始めた口座型の地域通貨であり、分散的な通貨発行に基づく相互信用

システムである。地域通貨にはこの他、運営団体が通貨を発行する紙幣型も存在する。

現代の法定通貨は現金通貨と預金通貨からなる。このうち、現金通貨は中央銀行や政府が独占的に発行する中央銀行券（不換紙幣、IOU）および補助通貨（硬貨）であり、預金通貨は各種民間銀行が準備率内での貸付の繰り返し（信用創造）を通じて私的に発行することもできる預金（要求払預金）である。

地域通貨では、紙幣型が運営団体による集権的発行方式、LETSが参加者個人による分散的発行方式を特徴とするのに対し、法定通貨では、現金通貨が中央銀行・政府による集権的発行方式、預金通貨が民間銀行による分散的発行方式を特色とする<sup>2)</sup>。地域通貨と法定通貨はその基本特性にかなりの違いが見られるものの、集中的発行か分散的発行かという観点で見ると、紙幣型地域通貨と現金通貨が類似し、LETSと預金通貨が類似していることがわかる。

そこで、本稿では、このような対極的な性質を有する集中的発行通貨と分散的発行通貨を簡単なモデルによって表現し、それらに関してコンピュータ・シミュレーションを実行することによって、LETSのような相互信用・分散的発行方式の長所を明らかにするとともに、その課題を考察する。まず、LETSについて解説した

2) 特に、民間銀行の預金通貨発行と銀行相互間のマルチラテラル・ネットワーキング（相殺決済）からなる金融システムは、個々の民間銀行を参加者個人に相当すると考えると、LETS とほぼ同じ仕組みであると言える。

1) 北海道大学客員准教授

後、現金通貨に関するランダム・ネットワークのシミュレーションを行い、貨幣ストック制約がある現金通貨の場合、初期時点における貨幣保有者率や貨幣保有率が市場における取引実現率に影響することを見る。貨幣保有の分布が平等であり、総貨幣保有量が大きければ取引実現率は増大する。特に、シミュレーション結果によれば、取引実現率を100%にするには各経済主体が平均取引額の17倍の初期貨幣保有量を持たなければならない。しかし、LETSのような相互信用・分散的発行方式では、もし赤字上限がない理想的状態を想定するならば、初期貨幣保有量はゼロでも取引実現率は常に100%となる。最後に、ランダム・ネットワークのシミュレーションを通じて、LETSにおけるマクロ的黒字残高すなわち通貨供給量と流通速度が漸増する理由を示し、そのインプリケーションについて論じる。

### 1. LETS とは<sup>3)</sup>

LETS とは、個人が自由に参加できる口座型の地域通貨であり、預金口座と同じように、取引は各会員の口座に記録される。会員間でモノ・サービスの取引ができるが、それは売手と買手が相対で価格やその他の条件を決定して行なう。例えば、価格が1000の取引ならば、売手の口座に「+1000」、買手の口座に「-1000」と記帳される。この例のように、一回ごとの売手と買手の取引額の合計は相殺されてゼロであるから、全会員の口座を合算すると必ずゼロになる。このように、LETS ではゼロサム原理が常に成立している。また、口座残高（黒字ないし赤字）には利子が付かない。

紙幣型の地域通貨では運営組織が通貨を発行する権利を独占している。このため、現金通貨と同じように、参加者がモノ・サービスを入手

するには、その価格以上の通貨を予め保有していなければならない。これに対して、LETS では、各会員が自由に通貨を発行する権利を持つので<sup>4)</sup>、取引時点で通貨を持っていなくても、すなわち、口座残高が「0」や「マイナス」でも、他の会員からモノ・サービスを受け取ることができる。これが LETS の利点であると言われている。

現代の法定通貨の通貨発行は、現金通貨にせよ預金通貨にせよ、債務証券の発行と同義である。モノ・サービスの買手は、その売手に対して購買の対価として貨幣を支払わなければならない。しかし、買手が売手から信用を与えられれば、貨幣を支払う代わりにその対価分の債務を負うことになる。このように、債務は、対価として貨幣を支払うべき側に発生する。中央銀行が中央銀行券を発行する場合、「私（中央銀行）はあなた（紙券の受取手）に債務を負っている（I owe you）」ことを明記した証書を渡していることになる。したがって、法定通貨は「IOU」とも呼ばれる。

LETS における債務は、モノ・サービスの買手が売手に対して直接負うものではない。むしろ、それは買手の「LETS コミュニティにたいする債務」であり、LETS コミュニティへの倫理的な責任として返済すべきものであると考えられる。なぜならば、LETS の相互信用方式では、債権債務が二者間で決済されるのではなく、全会員が構成する LETS コミュニティの中で多角的に決済されるからである。換言すれば、LETS はバイラテラル・ネットワーキングではなく、マルチラテラル・ネットワーキングである。したがって、LETS 口座の黒字や赤字はある会員の別の会員に対する債権や債務ではなく、あくまでもコミュニティに対する債権や債務と考えられる。

3) この節の議論について、より詳しくは、西部(2002a, 2002b, 2004)を見られたい。

4) 後で見ると、現実には、個人会員が赤字を累積したまま退会してしまうといったモラルハザードのリスクを軽減するために、赤字に一定の限度を設けたり、上限が拡大するルールを設けたりしている。

このような通貨は、「私はコミュニティに債務を負っている (I owe community)」という意味を持つから、「IOU」ではなく「IOC」と呼ぶことにしたい。

現状では、「IOC」は、個人間の責任やそれを規定する法律によるものではなく、コミュニティに対する倫理的責任を基盤にするものであるから、その使用範囲は限定されている。というのも、倫理的責任を持たない会員が「IOC」を乱発しすぎて大きな赤字を持ったまま退会するなどの「ただ乗り」を行うと、そうしたモラルハザードが伝染しコミュニティに混乱を招く可能性があるからである。したがって、実際の LETS の運営にあたっては赤字上限を設けることが多く、さらに、取引参加者の取引実績に応じて赤字上限を拡大するようなルールを定めるなど、安定的な運用のための対策がとられている。

「IOC」のメリットは、取引時点で通貨保有がなくても取引が実行できるため、通貨制約による未実現取引が解消されることである。また、実物取引が行われる時に、必要な通貨発行（信用創造）が行われつつ、多角的に決済されるため、中央銀行や管理組織による裁量的な通貨管理から解放されており、内生的かつ自己組織的に通貨供給が行われることである。そのため、通貨の過剰発行によるインフレーションが生じる可能性が極めて低い。

また、LETS では会員口座には利子が発生しないため、黒字を保有したり、赤字を回避したりするためのインセンティブが存在しない。利子がなく、自由に通貨を発行できる LETS では、ケインズ (Keynes, 1936) がいう通貨保有のための取引動機、予備的動機、投機的動機が生じない。したがって、流動性選好に基づく貨幣需要が存在せず、消費需要や投資需要などの実需が促進される。このため、実物取引から乖離した利殖目的の金融取引や資本の自己増殖は生じにくい。この点が、正の利子を前提とする法定通貨システムと LETS の大きな相違点

であり、もう一つのメリットである。

## 2. 受領性と流通範囲

いくら受領性が低く、流通圏が小さな価値媒体であろうと、それが一定の人々に受領され、価値尺度として使用されている限り、それは貨幣であると考えられる。受領性が高い通貨は広範囲に流通する。通貨の受領性を確保するための根拠は通貨の種類毎に大きく異なっている。かつて兌換紙幣は金貨や金などの兌換可能性により受領可能性を確保したが、集中発行型の不換紙幣である現代の現金通貨は、①発券機関である中央銀行の財務健全性と通貨価値安定のための金融政策、②政府・法令による強制通用力によって、その一般的受領性を確保し、流通圏を国民国家規模で維持している。これに対して、相互信用を基盤とする LETS の受領性は、コミュニティのメンバーが取引の際に通貨を受領するという相互信頼ないしコミュニティの存続への信頼を基にして成立しており、国家による法律や強制力を伴わない。このため、現状ではその流通圏の規模は比較的小さなものに限定されているが、コミュニティは地理的地域や文化、価値・関心毎に多様であり、その数も大きい。

通貨が受領性を保持するためには、発行主体が過剰発行というモラルハザードに陥らないことが必要不可欠であり、これは法定通貨にも地域通貨にも共通する。

中央銀行が政府と一体化している場合、現金通貨の通貨発行益（シニョレッジ）は中央銀行を経由して政府に帰属する。したがって、この場合、政府は財政赤字を補填するための方策（例えば、赤字国債の中央銀行引受など）を中央銀行に強く求める傾向にあり、中央銀行は過剰発行への政府からの政治的圧力に曝される。しかし、過剰発行はインフレーションを帰結して通貨価値の安定を損なうという副作用を伴うため、中央銀行は過剰発行の誘惑と闘う必要が

ある。そのために、中央銀行の政府からの独立性が必要とされる。また、預金通貨の場合は、民間銀行による規律を欠いた、見通しの甘い貸付の増大が信用創造を加速して、過剰発行を引き起こし、バブルを招くが、株・不動産の資産価値の暴落を伴うバブル崩壊は急激な通貨供給量の収縮と不良債権の増大を引き起こす。

地域通貨の場合、ことに相互信用にもとづく分散的発行方式をとる LETS では、通貨発行権が個人にあるため、特定個人が過剰な通貨発行を行い、コミュニティに対して形成した債務を決済（返済）しないでエスケープするリスクが存在する。このような個人の存在は、コミュニティに対して債権を持つ個人のコミュニティへの信頼を失墜させ、また、一般に不公平感を助長する結果、コミュニティからの会員の脱退を引き起こし、相互信用制度の根幹を脅かす。また、紙幣型の場合、発行母体である運営組織による過剰発行はその通貨価値を下落させることで、参加者の通貨への信用やコミュニティへの信頼を喪失させてしまう。

以上のように、法定通貨、地域通貨ともにモラルハザードに陥る可能性を持つ点では共通しているが、モラルハザードを防ぐ方法は異なる。法定通貨の場合には法律・法令など罰金や懲罰を伴う厳格なルールによって国家が統制するが、地域通貨では倫理・規範などの内的規律か、噂・評判や村八分・追放によってソフトに制御する傾向が強い。こうした管理方法の違いは通貨流通範囲の違いをもたらす。法定通貨の場合には、法律による管理（制裁を含めた）により世界レベルや国レベルでの使用が可能となっているが、地域通貨の場合には相互に信用できる個人の範囲に制限され、地域レベルや特定のコミュニティレベルに流通がとどまる傾向が見られる。また法定通貨は匿名性が高いが、相互信用通貨は匿名性よりも顔の見える関係を重視する点の違いが見られる。以上の関係をまとめたのが（表 1）である。

（表 1）法定通貨と地域通貨の比較

	法定通貨	地域通貨
受領性	高い	低い
通用性	一般的	特殊的
モラルハザード	あり（政府、銀行）	あり（個人）
モラルハザード対策	法律・法令、懲罰	内面的規律、評判、追放
流通範囲	世界、国家	地域、コミュニティ

### 3. 決済手段

通貨の受領性を保証する条件の違いにより通貨の流通範囲が規定されることを前節で論じた。本節では、決済手段という観点から通貨の特性を見ていく。現金通貨と LETS を決済手段としての有用性の観点から比較検討する。

法定通貨は、モノ・サービスを購入するための交換手段、あるいは経済取引ネットワークにおいて決済手段としての役割を果たす。その決済取引は二段階で実施される。個人間の債権債務関係が決済される段階と、銀行間の債権債務関係が決済される段階である。個人の債権債務の決済を担うのは主に民間銀行であり、銀行間の債権債務の決済を担うのは中央銀行である。民間銀行と中央銀行はネットィングを用いた預金決済<sup>5)</sup>を行うことにより取引量よりもはるかに少ない通貨量で決済を可能にする。法定通貨による決済を行うためには、何らかの形で事前に現金通貨（ないし預金準備）を入手する必要がある。経済取引の中で未実現取引が少なからず生じるのはこのためである。これと比較すると、LETS における経済取引は、会員個人が通貨発行権を持つため、赤字に何の制限もないという理想的な状況では、未実現取引が生じえない。そこで、次にシミュレーションにより、法定通貨を用いた場合、企図された取引と実現した取引の比率がどうなるかを考察する。

5) 日本銀行では RTGS（即時グロス決済）を 2001 年 1 月より実施し、資金効率のよい「時点ネット決済」は使われなくなった。

## 4. ランダム・ネットワーク・シミュレーション

単純な設定で法定通貨を媒介とする経済取引ネットワークのシミュレーションを行う。まず、ネットワーク用語を確認しておこう。ネットワークは点と点を結ぶ線から構成される。点は結節点（ノード）と呼ばれ、線は紐帯（リンク）と呼ばれる。経済取引を行う企業や個人を結節点と仮定する。K 個の結節点から一期毎に 2 個をランダムに抽出し、売手と買手として経済取引を行わせる。この取引を T 回行う。一回の取引量と価格は分析の単純化のためにも 1 と仮定する。時間は t で表される。ただし、買手が通貨保有 0 の場合には取引が成立しないので、新たに取引する売手と買手をランダムに抽出する。取引が可能となるまで繰り返し抽出を行う。抽出が行われた回数を「企図された取引回数」と呼び、取引が成立した回数を「実現した取引回数」と呼ぶ。

まず、100 人の参加者が有する通貨の初期保有分布（一様分布）を変化させてシミュレーションを行った。全参加者が 1 の通貨を初期保有する状況から出発すると、この経済全体の総通貨供給量は 100 である。このとき、「初期通貨保有率」≡「初期通貨保有者数/全参加者」と定義とする。初期通貨保有率は初期時点で通貨がどれほど平等に分配されているかを表している。それが 100% ならば完全に平等であり、それが 0% に近づくほど不平等になる。初期通貨保有率を 100% から 50%、25%、10% へと段階的に減らして実験した。この時、総通貨供給量を 100 に維持するならば、一人あたり初期通貨保有量は 1、2、4、10 と増加する。こうしたシミュレーションをそれぞれ 100 回ずつ繰り返したアンサンブル平均から得られたのが（表 2）である。ここで、「実現取引率」≡「実現した取引回数/企図された取引回数」と定義している。（表 2）より、初期通貨保有率の低下に伴い、実現取引率は低下していくが、比例的には減少していないこと、言い換えると、実

（表 2）通貨の初期保有分布と実現取引比率  
（総通貨供給量一定）

初期通貨保有率	100%	50%	25%	10%
総通貨供給量	100	100	100	100
一人あたり初期通貨保有量	1	2	4	10
企図された取引回数	1000	1000	1000	1000
実現した取引回数	550.9	518.6	472.7	335.2
実現取引率	55.1%	51.9%	47.3%	33.5%

現取引率は初期通貨保有率に対して逡減的に増加していることがわかる。したがって、法定通貨の場合、総通貨供給量は一定であるとしても、通貨の初期保有者の分布が企図された経済取引が実現されるための重要な条件になっていることがわかる。

次に、同じく全参加者 100 人が 1 の通貨を初期保有する状況から出発し、1 の通貨を初期保有する参加者数を段階的に減らしていくことで、この経済全体の総通貨供給量を段階的に低下させていくシミュレーション実験を行った。この場合、初期通貨保有率が 100% から、50%、25%、10% へと段階的に低下するにつれ、総通貨供給量も 100、50、25、10 へと段階的に低下する。シミュレーションを 100 回繰り返したアンサンブル平均から（表 3）が得られた。一人あたり初期通貨保有量は 1 に維持されたまま、初期通貨保有率が減少するに伴い、（表 2）の場合よりもより急激に実現取引率が減少していくことがわかる。これは、（表 2）で見た初期保有分布の不平等化の影響と、総通貨供給量の減少の影響が合成された結果を表している。ここでも、実現取引率は通貨保有率に対して逡減的に増加していることがわかる。

（表 3）通貨の初期保有分布と実現取引比率  
（一人あたり初期通貨保有量一定）

初期通貨保有率	100%	50%	25%	10%
総通貨供給量	100	50	25	10
一人あたり初期通貨保有量	1	1	1	1
企図された取引回数	1000	1000	1000	1000
実現した取引回数	550.9	358.1	206.0	92.5
実現取引率	55.1%	35.8%	20.6%	9.3%

さらに、初期通貨保有率が100%であって、全参加者が通貨保有している場合、企図された取引が全て実現するような、すなわち、実現取引率が100%になるような、通貨の一人あたり初期保有量をシミュレーション結果から推測した。参加者総数を100人、250人、500人、1000人と増加させた時、参加者一人あたりの取引回数が均等になるように、企図された取引回数を参加者総数に比例させるべく100回、250回、500回、1000回としてシミュレーションを行った結果が（表4）である。実現取引率が100%になるのは、100人の時は一人あたり15の初期保有通貨である。参加者総数が増加し、ネットワーク規模が拡大するにつれて、実現取引率100%の一人あたり初期保有通貨量は増大するが、その増大率は逡減し、17近辺で飽和する。取引価額は1であるから、ネットワークがいくら大規模になろうとも企図された取引をすべて実現するためには、初期時点で各主体が取引価額の17倍の貨幣ストックを保有していなければならないのである。これは、現金通貨を用いた取引では、大量の貯蓄ストックが通貨バッファとして必要であることを示している<sup>6)</sup>。

（表4）実現取引率100%の一人あたり初期保有通貨量と参加人数の関係

参加者総数	100人	250人	500人	1000人
企図された取引回数	100	250	500	1000
実現した取引回数	100	250	500	1000
一人あたり初期通貨保有量	15	16	17	17

赤字上限がない LETS の場合、取引に際し

6) もちろん、銀行信用と預金通貨を導入すれば、銀行における預金決済により一人あたり初期通貨保有量を減らすことは可能である。銀行における預金決済は、本シミュレーションにおいて企図された取引回数を増やすことと同じ意味を持っている。預金決済において通貨を節約するには、債権債務関係をネットティングによりうまく相殺する必要があるが、企図された取引回数を増やすことはそれだけネットティングの機会を増やすことを意味するからである。

て事前に通貨を保有する必要がないため、企図された取引回数は実現された取引回数と常に一致する、すなわち、実現取引率は常に100%である。（表5）は参加者100人、取引回数1000回でシミュレーションを実行した場合、LETSの実現取引率すなわち販売実現の効率性は現金通貨のそれより1.81倍高いことを示している。

（表5）現金通貨と LETS における実現取引率の比較

通貨	現金通貨	LETS
実現取引率	55.1%	100%

（表2）から（表5）より、LETSでは経済取引が効率的に実現されるため通貨残高が最小限ですみ、消費需要と投資需要の和である有効需要も拡大される一方、法定通貨では、経済取引に必要な通貨バッファは大きく、一人あたり初期通貨保有量がそれに満たなければ実現取引率は100%より小さくなると考えられる。通貨バッファの増大は貯蓄の増大をもたらすので、有効需要が抑制される傾向が強くと推測される。

このように LETS 取引は実現効率性が高く、大きな初期保有通貨額が必要ないという利点があるが、その一方で、個人が通貨発行権を持つため、発行主体のモラルハザードが大きな問題となり、その使用範囲は制約される。上述のように、LETSの取引をランダム・ネットワークに基づいて考察することは、特定の参加者がモラルハザードを引き起こし、赤字を累積する心配がない場合を考えているに等しい。なぜならば、売手と買手がランダムに抽出されるため、長期的には参加者が売手として選ばれる確率も買手として選ばれる確率も等しいからである。売手として選ばれる確率も買手として選ばれる確率も等しいということは、長期的には、ある個人の口座残高の平均が0になるということである。したがって、多数の個人が参加する社会全体を考えた場合、全口座の黒字を合計して計算されるマクロ的黒字残高（ゼロサム原理より、

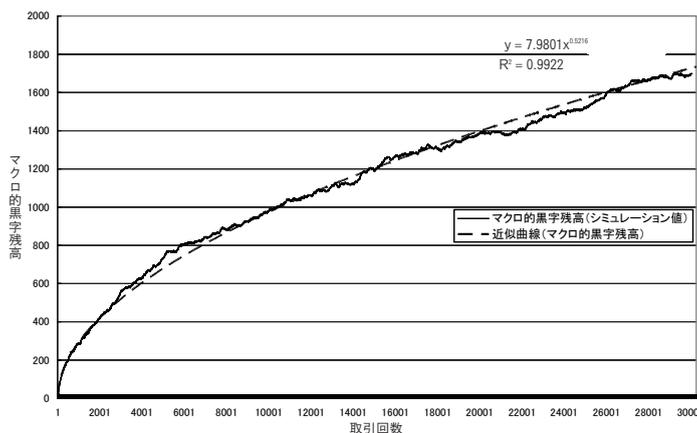
マクロ的赤字残高の絶対値に等しい)は0に収束すると予想されるかもしれない。しかしながら、シミュレーション結果によると、それは実際には通増する。このようなパラドキシカルな状況はなぜ生じるのだろうか。次節以降、LETSにおいてマクロ的黒字/赤字が通増する興味深いメカニズムを分析し、そのインプリケーションを考察する。

### 5. ランダム・ネットワークにおける LETS の通貨発行残高

4. と同様の設定の下、 $K$  人の参加者から一期毎に2人を抽出し、売手と買手として取引を行わせる。この取引を  $T$  回行う。一回の取引量と価格はともに1と仮定する。時間を  $t$  で表す。 $t=1$  の取引では、売手は1の黒字(+1)を、買手は1の赤字(-1)を形成する。経済全体では、集計された黒字残高が1(集計された赤字残高が-1)となる。 $t=2$  の取引で、 $t=1$  で売手ないし買手として選ばれた2人ではない参加者から、売手と買手が選ばれば、集計されたマクロ的黒字残高は2となる。 $t=3$  の取引で、売手が  $t=1$  の買手と同じ参加者であり、買手が一度も取引をしていない参加者だとすれば、売手の残高は、以前の取引の

結果、1の赤字(-1)になっているので、 $t=3$  の取引の1の黒字と相殺して、残高は0になる。経済全体で考えると集計されたマクロ的黒字残高が1となる。売手や買手という個別主体のレベル(以後「マイクロレベル」と呼ぶ)では、各主体の口座残高は黒字・赤字・0のいずれかの状態になる。しかし、経済全体のレベル(以後「マクロレベル」と呼ぶ)では、マクロ的黒字残高とマクロ的赤字残高を合計すると常に0になる、ゼロサム原理が成立する。

一見したところ、売手と買手がランダムに抽出されることから、長期間にわたり取引を継続すれば、個人の口座残高のみならず社会全体の口座残高も0に近づいていくのではないかと考えられる。しかしこの直感に反して、社会全体のマクロ的黒字残高(同じことではあるがマクロ的赤字残高)は時間すなわち取引量とともに増大していく。このマクロ的黒字残高は、法定通貨におけるマネーサプライに相当すると見てよい。(図1)は、300人の参加者でランダムに3万回の取引を行わせた時のマクロ的黒字残高の推移と推計による近似曲線である。それはほぼ時間すなわち取引量の平方根に比例して成長していることが見られる。このパラドックスを解き明かすのが次節の目的である<sup>7)</sup>。



(図1) ランダム・ネットワークに基づくマクロ的黒字残高曲線

7) この問題は西部(2002b, 2004)で提起された。そこで9通りの場合を分類して直観的な考察を行った。本稿ではこれを数学的に解いた。

6. マクロ的黑字残高曲線の導出

マクロ的黑字残高曲線を導出するために、特定の時刻からつぎの時刻にマクロ的黑字残高がどのように変動するかを見ていく。マクロ的黑字残高の変動は、売手と買手の口座残高状況(赤字, 黒字, 0)の組み合わせに応じて、増加, 不変, 減少の3種類に分類される。従前通り一時点ごとに1だけ取引が生ずると仮定すると、増加の場合、マクロ的黑字残高は1増え、不変の場合、変わらず、減少の場合、1減る。売手と買手の口座残高状況は $3 \times 3 = 9$ より、9通りの場合が考えられる。

(表6) マクロ的黑字残高変化 (赤字をR, 黒字をB, 残高0をNで表記)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
売手 ( t 時 )	R	R	R	B	B	B	N	N	N
買手 ( t 時 )	R	B	N	R	B	N	B	R	N
黒字残高変化 ( t+1 時 )	0	-1	0	1	0	1	0	1	1

(表6)より黒字残高が増大する組合せが4通り、不変が4通り、減少が1通りである。売手と買手は取引毎にランダムにK主体の中から抽出されるが、抽出された売手と買手の口座残高の組み合わせに応じてマクロ的黑字残高は変化する。言い換えれば、任意の時刻におけるマクロ的黑字残高の変動は、K主体の各々の残高が赤字, 黒字, 0のいずれであるかという残高分布によって左右される。ここで、ある時点tにおける赤字主体の全体に占める割合を $P_R(t)$ 、黒字主体の全体に占める割合を $P_B(t)$ 、0残高主体の全体に占める割合を $P_N(t)$ とおく。

時点tにおいて実現可能なマクロ的黑字残高(シミュレーションでは取引量は1としているので、マクロ的黑字残高は整数値)の中から一点aを選んで、時点tから時点t+1へのマクロ的黑字残高の変化量の点aにおける期待値を $E(S_a(t+1))$ として、それを計算すると

$$\begin{aligned}
 E(S_a(t+1)) &= 0 \cdot P_R(t)P_R(t) + (-1)P_R(t)P_B(t) \\
 &+ 0 \cdot P_R(t)P_N(t) + 1 \cdot P_B(t)P_R(t) \\
 &+ 0 \cdot P_B(t)P_B(t) + 1 \cdot P_B(t)P_N(t) + 0 \cdot P_N(t)P_B(t) \\
 &+ 1 \cdot P_N(t)P_R(t) + 1 \cdot P_N(t)P_N(t) \quad \dots \textcircled{1}
 \end{aligned}$$

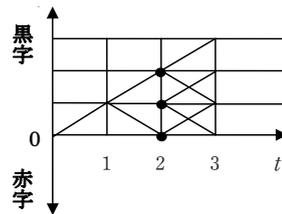
となる。①を整理して $P_N(t) + P_R(t) + P_B(t) = 1$ を考慮すると

$$\begin{aligned}
 E(S_a(t+1)) &= P_N(t)(P_N(t) + P_R(t) + P_B(t)) \\
 &= P_N(t) \quad \dots \textcircled{2}
 \end{aligned}$$

を得る。

①はa点におけるマクロ的黑字残高の変化量の期待値を表す。例えば、①の右辺第一項は、売手が赤字主体、買手も赤字主体の場合に、マクロ的黑字残高の変化量は0であることを意味している((表6)を参照)。また、右辺第二項は、売手が赤字で、買手が黒字の場合に、マクロ的黑字残高の変化量は-1であることを意味している。第九項までを足し合わせるとa点におけるマクロ的黑字残高の変化量の期待値が得られる。①を整理した②より、a点におけるマクロ的黑字残高変化量の期待値 $E(S_a(t+1))$ は、時点tにおける0残高主体の全主体に占める割合 $P_N(t)$ に等しいことがわかる。

いままでは特定の一点aにおける期待黒字残高変化量を見てきたが、時点tにおけるマクロ的黑字残高の実現可能点は全部でt+1個存在する((図2)を参照)。t+1個の点のうち、t個の点は平等に扱うことができる。



(図2) t=3までの全パスを示したマクロ的黑字残高曲線

しかし、マクロ的黑字残高0の点だけは別扱いする必要がある。マクロ的黑字残高が0の時には、全参加者の口座残高もすべて0になっているので、 $P_N(t) = 1$ が成立する。この場合、 $K$ 主体から抽出される2人は必ず0残高主体であるので、(表6)の9番目に該当するが、他の点(マクロ残高0以外の点)と平等に扱うことはできない。時点 $t$ における個別主体の口座残高の分布は、 $x$ 軸に時間、 $y$ 軸に残高、 $z$ 軸に主体数をとれば、残高0を中心とし、0より上を黒字、0より下を赤字とする $y$ 軸と一定の残高を持つ主体数を表す $z$ 軸で切られた $yz$ 平面に正規分布として描かれる(それは時間の経過とともに残高0におけるピークが低くなるとともに大きな黒字や赤字を表すテールが長くなっていく)。この正規分布においては、残高0の確率をもっとも高くなり、また同額の赤字と黒字の発生確率は等しくなっている。このように個別主体の口座残高に関して正規分布を想定した場合、マクロ的黑字残高0の場合におけるように、個別主体の口座残高がすべて0に等しくなることは $t = 0$ 以外の時点ではほとんどあり得ない。ゆえに、マクロ残高0点だけは別個に扱う必要がある。どの時点をとってもマクロ的黑字残高0におけるマクロ的黑字残高変化量の期待値が $P_N(t) \cdot 1 = 1$ になることを考慮しなければならない。マクロ的黑字残高の期待値はマクロ的黑字残高変化量の期待値②に残高0以外の実現可能点の数 $t$ と実現確率をかけたものに、残高0における変化量1に実現確率をかけたものを加算したものになる。ただし、時点 $t$ におけるマクロ残高0の実現確率は $\frac{1}{t+1}$ であり、それ以外の点の実現確率は $\frac{t}{t+1}$ である。よって、

$$E(S(t+1)) = \sum_{a=1}^{t+1} E(S_a(t+1)) = \frac{t}{t+1} P_N(t) \cdot t + \frac{1}{t+1} \cdot 1$$

期待マクロ的黑字残高は $t$ が十分に大きければ $\frac{t}{t+1}$ は1に、 $\frac{1}{t+1}$ は0に収束することを考慮すれば

$$E(S(t+1)) \approx P_N(t) \cdot t \quad \dots \textcircled{3}$$

となる。

次に、 $P_N(t)$ を求める。 $P_N(t)$ は時点 $t$ における口座残高0の参加者が全取引参加者に占める割合である。まず2人の取引参加者の場合を考察し、後で $K$ 人に拡張する。

#### (a) 2人の場合

この場合、参加者は各時点で取引に参加する。売手になるか買手になるかはランダムなので、黒字残高は(表6)で分類されたように2人の口座残高の組合せによって、増大、不変、減少のいずれかになる。2人の参加者の場合、ゼロサム原理により、口座残高0の参加者が存在すれば必ず2人共に口座残高0となるし、1人の参加者の口座残高が黒字(赤字)になれば、もう1人のそれは同じ絶対値の赤字(黒字)になる。各参加者の口座残高が黒字になるか赤字になるかはランダムに決定されるので、2人の口座残高の時系列はランダム・ウォークになり、2人の口座残高曲線は残高0の軸に関して線対称になる。口座残高が0になることは、ランダム・ウォークにおいて原点に回帰することと同じであるから、ある時点 $T$ までの全パスを調べて、そのうちいくつが原点に回帰しているかを調べれば $P_N(T)$ が得られる。全パスは $2^T$ で表される。このパスの中で原点に回帰するのは、どちらかの参加者が $T/2$ 回売手で、 $T/2$ 回買手の場合である。 $T/2$ は自然数でなければいけないので、原点に回帰するのは偶数時点である必要がある。そこで、原点回帰時点を $2T$ と置き直せば、買手と売手になる回数は $T$ 回となる。したがって、全パスのうち原点に回帰し、マクロ的黑字残高が0になる確率

$P_N(2T)$  は以下のような二項分布として表現できる。

$$P_N(2T) = \frac{(2T)!}{T!T!} 2^{-2T} = \binom{2T}{T} 2^{-2T} \dots \textcircled{4}$$

④において  $2T$  が十分に大きい場合には、スターリングの公式を使って近似値を得ることができる。

スターリングの公式  $x! \sim \sqrt{2\pi x} e^{-x} x^x$  を利用して④を書き換えると

$$P_N(2T) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi T}} \dots \textcircled{5}$$

を得る。

したがって、時点  $2T+1$  におけるマクロ的黑字残高  $S(2T+1)$  は

$$S(2T+1) = P_N(2T) \cdot 2T \approx \frac{1}{\sqrt{\pi T}} \cdot 2T = \sqrt{\frac{4}{\pi}} T^{\frac{1}{2}} \dots \textcircled{6}$$

と表せる。

(b)  $K$  人の場合

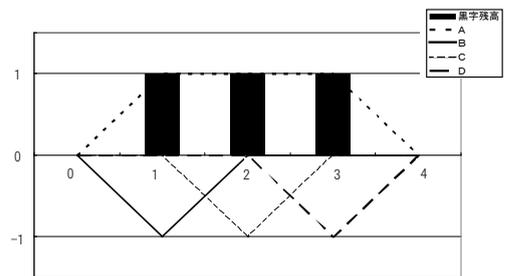
$K$  人の場合、単位時間  $\tau$  (これまででは  $\tau = 1$  を仮定) ごとにすべての参加者が取引するわけではなくなる。 $K$  人からランダムに売手と買手が選ばれるが、この2人以外は取引に参加できない。2人の場合には口座残高曲線を単位時間  $\tau$  ごとのランダム・ウォークと見なすことができたが、 $K$  人の場合には個別の口座残高曲線が時間軸方向に単位時間ずれる動きが含まれるので、上下運動だけのランダム・ウォークと見なすことができない。この場合  $P_N(t)$  をさきほどと同じ手法で計算することができない。

4人の参加者の場合を考察する。各時点で4人の参加者のうち2人が売手と買手としてランダムに抽出される。(表7)のような  $t = 4$  までの取引例を見てみよう。

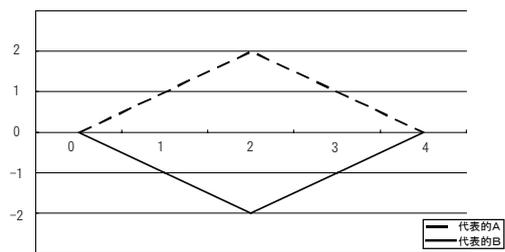
(表7) 4人の場合の売りと買いの取引例

主体\時刻	1	2	3	4
A	売り	取引なし	取引なし	買い
B	買い	売り	取引なし	取引なし
C	取引なし	買い	売り	取引なし
D	取引なし	取引なし	買い	売り

4人とも口座残高0から出発するので、マクロ的黑字残高は(図3)のようになる。個別主体A~Dの口座残高の変動は単なるランダム・ウォークではなく、時間軸に沿ってスライドする部分を含んでいる。そこで4人の主体を2人の主体と見なすランダム抽出の性質を利用し単純化を行う。4人のうち、必ず2人は単位時間  $\tau$  ごとに売り買いを行う。したがって、4人全員が1回取引するために最低限必要な単位時間は  $2\tau$  である。 $2\tau$  の間に2回以上取引する主体が現



(図3) マクロ的黑字残高と個別口座残高



(図4) 代表的主体AとBの個別残高

れる確率はランダム抽出の場合、長期的にみればほとんど無視できるので、マクロ的黑字残高は2になる。そこで、 $2\tau$  ごとに2を取引する代表的Aと代表的Bの2主体を仮定する。仮定により、2人の場合で考えたときと同様に個別の残高曲線をランダム・ウォークと見なすこと

ができ、原点に回帰する確率を計算することができる。代表的2主体を考える場合に単位時間は $2\tau$ となるので、これを新しい単位時間 $z$ と呼ぶことにする。 $\tau$ と $z$ は $\tau = \frac{z}{2}$ という関係になる。次に4人から $K$ 人に議論を拡張する。 $K$ 人全員が1回取引に参加するために最低限必要な単位時間は $\frac{K}{2}\tau$ である。この単位時間で取引される量は $\frac{K}{2}$ になる。したがって、 $K$ 人の場合、単位時間は $z = \frac{K\tau}{2}$ となる。

$z$ 単位時間ごとに上下に変動するランダム・ウォークが原点に回帰する確率も、 $\tau$ 単位時間で議論したときと同様に二項分布の形で書くことができる。いま時点 $Z$ まで $z$ 単位時間で推移すると考えると、

$$P_N(2Z) = \frac{(2Z)!}{Z!Z!} 2^{-2Z} = \binom{2Z}{Z} 2^{-2Z} \approx \frac{1}{\sqrt{\pi Z}} \quad \dots \textcircled{7}$$

⑥で示したようにマクロ的黒字残高曲線は

$$S(2Z+1) = P_N(2Z) \cdot 2Z \quad \dots \textcircled{8}$$

⑧を $z = \frac{K\tau}{2}$ を使って、 $\tau$ 単位時間に変換すると、 $K$ 人が参加する $\tau$ ごとに変動するマクロ的黒字残高曲線が得られる。時点 $T$ まで $\tau$ 単位時間で推移すると考えると、 $z = \frac{K\tau}{2}$ だから、

$$\begin{aligned} S(2Z+1) &= P_N(2Z) \cdot 2Z \approx \frac{1}{\sqrt{\pi Z}} 2 \cdot Z \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} 2 \cdot Z^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{KT}{2} \right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{2K}{\pi}} T^{\frac{1}{2}} \quad \dots \textcircled{9} \end{aligned}$$

が LETS におけるマクロ的黒字残高の成長方程式であり、それは時間の平方根に比例して増加する<sup>8)</sup>。また取引参加者が増えると参加者数の平方根に比例して増加する。

LETS におけるマクロ的黒字残高はマネーサプライ（ないし現金残高）と同等のものであると考えることができる。この時の貨幣流通速度を求めよう。通常の貨幣数量方程式  $MV = PT$  を想定する（ $M$ ：マネーサプライ（現金残高）、 $V$ ：貨幣流通速度、 $P$ ：価格、 $T$ ：取引量）。ここで価格  $P$  は 1、取引量  $T$  は時間すなわち取引回数  $T$  に等しく、 $M$  は⑨から  $M = \sqrt{\frac{2K}{\pi}} T^{\frac{1}{2}}$  であることを考慮すれば、貨幣流通速度  $V$  は

$$V = \frac{PT}{M} = \sqrt{\frac{\pi}{2K}} \cdot T^{\frac{1}{2}} \quad \dots \textcircled{10}$$

となる。したがって、LETS における貨幣流通速度は、マクロ的黒字残高と同じく、時間＝取引量の平方根に比例して増加するが、それは参加者数の平方根に逆比例して減少する。

4の(表4)ですで見たとように、集中発行方式の現金通貨の場合、企図された取引を100%実現するには初期時点で取引価額の15~17倍の貨幣残高が必要であった。この時、現金通貨の貨幣流通速度  $V$  は  $V = \frac{1}{17}$  に収束すると考えられる。(表4)ではいずれの場合も  $\frac{T}{K} = 1$  と固定されているので、この条件を⑩に代入すれば、同じ条件下の LETS の貨幣流通速度は  $V = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \approx 1.253$  となり、現金通貨に比べて LETS (赤字上限がない) の流通速度が21倍であることがわかる。このように、分散発行型の LETS は集中発行型の現金通貨に

8) 西部 (2002b) の注4は、⑨とほぼ同じ式を導出している。

比べると極めて高い流通効率性を達成しているといえよう。

LETS シミュレーションにおいて取引参加者 300人で 3 万回取引を行ったときのマクロ的黑字残高および貨幣流通速度と⑨および⑩で得たそれらの理論値をプロットしたものが (図 5) である。それらの理論値はシミュレーション値にほぼ一致している。

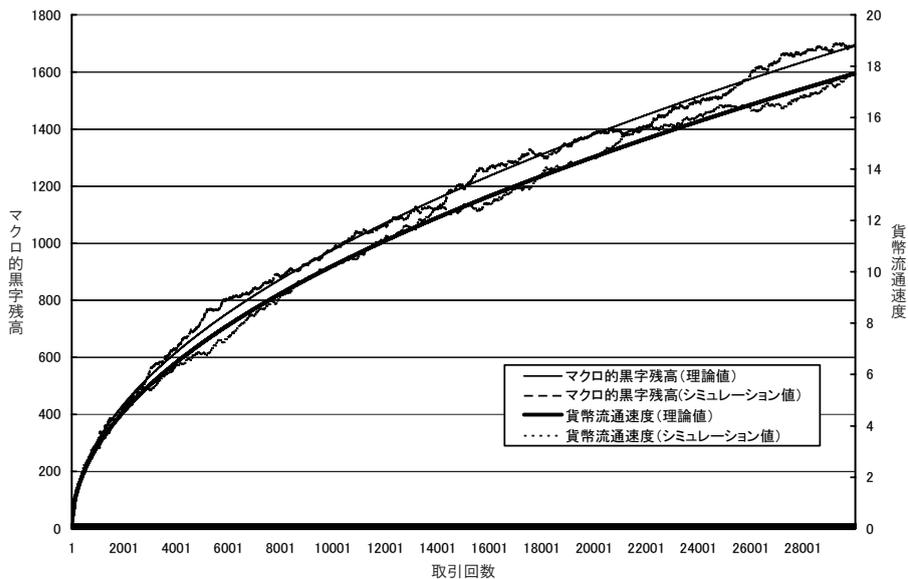
## 7. おわりに

LETS と現金通貨は様々な側面において対極的である。LETS の相互信用・分散発行方式の利点は、経済取引に必要とされる通貨バッファがマクロレベルでもミクロレベルでも必要ない点にある。通貨バッファの必要がないことは、貨幣保蔵により有効需要が抑制される可能性が低いことを意味する。

その一方で、LETS は受領性が個人の相互信頼に基づくため、その流通範囲は、地域、市町村のような地理的空間のリアル・コミュニティのみならず、ネット上の価値・関心空間のバー

チャル・コミュニティもありうるとはいえ、人が相互信頼でつながれる範囲に制約される。この課題を解決するには、コミュニティへの信頼、相互信頼の範囲を拡張する必要性があり、いかなるシステムやルールを導入が有効であるかが今後の検討課題として残されている。

ランダム・ネットワークに基づく LETS におけるマクロ的黑字残高=マネーサプライは売買による債権債務の相殺により長期的には残高 0 に収束するとの直感に反し、遞減的に増大する。本稿ではそのメカニズムを解明した。この結果は、地域通貨のみならず、法定通貨に対しても、インプリケーションを持つと思われる。特に、それが現代通貨システムにおける現金通貨の独占的発行主体である中央銀行に関して重要な意義を持ちうることを見ておく。LETS において赤字残高を累積する債務者の役割を一手に引き受ける主体がいる状況を考えてみよう。すると、それが中央銀行であることが理解されよう。そして、黒字残高を持つ債権者は現金通貨を使用するすべての経済主体 (個人ないし組織) である。現代通貨システムでは、中央銀行



(図 5) シミュレーション値と理論値

の発行する現金通貨と民間銀行が発行する預金通貨が階層的に構造化されているだけでなく、法定通貨を使用する経済主体の間にさらに債権債務関係が生じるような、複雑な入れ子型の構造になっている。経済主体間で経済取引が生じる結果として債権債務関係が生じ、その決済手段として法定通貨（現金通貨と預金通貨）が必要になる。シミュレーションで示したように、現金通貨の場合、各主体が平均的取引額と同程度の通貨バッファしか持っていない場合、その実現取引率は55%にすぎない。したがって、それを引き上げるには、中央銀行はより大量の通貨を供給する必要がある。また、債権債務関係が通貨を節約するネットィングにより順調に解消されても、最終的には法定通貨を必要とする決済は残る上に、ランダム・ネットワーク・シミュレーションのように経済活動水準が一定の場合でも、経済取引を100%実現するのに必要な一人あたりの初期通貨保有量は平均取引額の17倍程度であることを考えると、中央銀行による通貨発行は政府の通貨発行益を求めた政治的圧力とは別の理由で、通貨の過剰発行とインフレーションに陥る危険性を常に伴っていると考えなければならない。中央銀行による通貨発行独占と発行益目当ての特権乱用にインフレーションという慢性的な病気の源を見いだしたハイエク (Hayek, 1976) は、フリーバンキングに基づく貨幣発行自由化を説き、異なる通貨間の競争こそ中央銀行の独占と特権を消滅させ、インフレーションを抑制することができることを説いた。本稿は、このハイエクの見解に半ば賛成するが、半ばはそうではない。なぜなら、通貨発行独占の問題としては、ハイエクの言うようにインフレーションだけが問題であるのではなく、各主体による現金通貨の貯蓄や退蔵から生じるデフレーションも同様に問題であることが本稿の分析から理解できるからであり、また、処方箋としても、インフレ対策のための通貨発行の自由化や通貨の競争だけでなく、デフレ対策のための通貨発行の分散化や通貨の協同化も

考慮に入れなければならないからである。

ゲゼル (Gesell, 1920) は、あらゆる有形の商品が腐朽し減価していくのに、金貨幣だけは減価しないという特権を享受しているがために貨幣に利子が付くという現行の貨幣制度を批判し、貨幣の持越費用を印紙代として支払わなくてはならない減価通貨すなわち「スタンプ紙幣」の利用を提唱した。彼の自由貨幣論は貨幣発行の国家独占にもとづく貨幣の希少性や貨幣退蔵がデフレーションを帰結することを鋭く分析するものでもあった。こうしたゲゼルの見方は重要であり、部分的にせよハイエクやケインズの貨幣像に影響を与えたと言えよう。しかしながら、ゲゼルのスタンプ紙幣は集中的発行通貨として構想されている。それは、ゲゼルがここで主題とした分散的発行通貨の集中的発行通貨に対する比較優位性、特にその流通効率性を考慮していなかったからであろう。そして、中央銀行制度を前提としたケインズはもちろん、自由発行通貨を説いたハイエクもこの点は明らかにしてこなかったのである。

こうした従前の貨幣論に対する本稿の議論の意義は、市場を貨幣取引のランダム・ネットワークとみなし、シミュレーションに依拠して分散的発行通貨と集中的発行通貨の特性を比較することでこの問題に対する答えを与え、また、分散的発行方式である LETS の貨幣残高や貨幣流通速度を導出して、その流通効率性を明らかにした点にある。

このように、LETS と現金通貨という、まったく対極的な二つの通貨システムを比較することにより互いの利点と課題を検討することができる。しかし、本稿はいつくかの課題を残している。実際の経済取引においてはランダム・ネットワーク・シミュレーションが生み出す参加者売買差額の正規分布よりも、偏った分布になることが予想されるからである。この点はランダム・ネットワーク・シミュレーションの明らかにする範囲を超えているため今後の課題としたい。

## [参考文献]

- Hayek, F.A. (1976), *Denationalization of Money*, The Institute of Economic Affairs, (F.A.ハイエク『貨幣発行自由化論』東洋経済新報社, 1988年)
- Gesell, S. (1920), *Die Natürliche Wirtschaftsordnung, durch Freiland und Freigeld*, 4. Aufl. Freiland-Freigeldverlag, (S.ゲゼル『自由地と自由貨幣による自然的経済秩序』相田慎一訳, ぼる出版, 2007年)
- Keynes, J. M. (1936), *The General Theory of Employment, Interest and Money*, The Macmillan Press, (J.M.ケインズ『雇用・利子および貨幣の

一般理論』塩野谷祐一訳, 東洋経済新報社, 1995年)

- 服部哲也 (2004)『ランダムウォークと繰り込み群』共立出版
- 日本銀行銀行論研究会編 (2001)『金融システムの再生に向けて』有斐閣
- 西部忠 (2002a)「貨幣の進化とデザイン」『進化経済学論集』No.6, 進化経済学会
- 西部忠 (2002b)「貨幣とは何だろうか」『経済セミナー』No.572, 日本評論社
- 西部忠 (2004)「進化主義的の制度設計」西部忠編『進化経済学のフロンティア』日本評論社