



シリーズ
日本経済を考える

76

仮想通貨に関する既存研究の整理^{*1}

財務総合政策研究所 客員研究員

石田 良

昨年来、TVや新聞を始めとするメディア上で仮想通貨^{*2}が取り上げられることが多かったこともあり、仮想通貨の名前は、既に一部の技術者だけでなく、多くの人に知られるようになってきている。

仮想通貨の市場規模は既に3,000億ドルを超えているとの指摘もあり^{*3}、経済学者の関心も高まりつつある（例：野口，2014）。また、2017年12月に米商品先物取引委員会（CFTC）が、米先物取引所運営大手のCMEグループと、シカゴ・オプション取引所（CBOE）を運営するCBOEグローバルマーケットに、仮想通貨ビットコインの先物上場を認める方針を公表^{*4}し、昨年末からビットコイン先物の取引が行われるようになっており^{*5}、更に、本年4月からはロンドンで現物決済可能なビットコイン先物取引が行われるようになるとの報道^{*6}もあることから、市場関係者の関心も高まりつつある。加えて、2018年3月19-20日に開催された20か国財務大臣・中央銀行総裁会においても仮想通貨が議論の俎上に載り、「暗号資産の基礎となる技術を含む技術革新が、金融システムの効率性と包摂性及びより広く経済を改善する可能性を有していることを認識する」とされつつも、様々な問題が提起されていることなども受けて「暗号資産は、ソ

ブリン通貨の主要な特性を欠いている。暗号資産は、ある時点で金融安定に影響を及ぼす可能性がある」と声明において指摘されており、国際社会の関心も高まりつつある。

このように、各方面で仮想通貨に関する関心が高まりつつあり、仮想通貨に関する基礎的・理論的な理解を深める必要性も生じつつある中、仮想通貨の技術的な側面に関する学術的な成果はよく知られているものの、依然として仮想通貨に関する社会科学的な学術成果、殊に経済学における既存研究をまとめた文献は少ない。そこで、本稿では仮想通貨に関する既存研究を紹介することにより、今後の社会科学、殊に経済学における仮想通貨関連の研究の一助となることを期したいと考えている。なお、情報工学や決済システムの観点から仮想通貨を研究した文献も多数あるが、それらについては別の機会に紹介することとし、本稿では社会科学、殊に経済学における研究に焦点を絞ることとしたい。

1. 仮想通貨の概要

仮想通貨の詳しい説明については、別の文献に譲りたいと考えているが、そもそもの仮想通貨の定義や、

*1) 本稿は専ら研究目的で書かれたものである。本稿の意見に係る部分は著者の個人的見解であり、著者の所属する組織の見解を表すものではない。ありうべき誤りは全て筆者に帰する。また本稿は、本稿で紹介する論文の正確性について何ら保証するものではない。

本稿につき、コメントをくださった多くの方々に感謝申し上げます。

*2) 貨幣論に関する津曲（2003）の論文等を背景に、「そもそも仮想通貨を通貨、若しくは貨幣と呼ぶべきか否かについては、様々な論争がある」と疑問を提起する向きもある（岡田，2015）が、本稿では、当該論点には踏み込まず、資金決済法の表記に基づいて「仮想通貨」の表記で統一することとする。

*3) <https://coinmarketcap.com/>に基づく（2018/3/17）。

*4) ロイター2017/12/2「ビットコイン先物、CMEとCBOEで取引可能に」<https://jp.reuters.com/article/markets-bitcoin-us-approve-idJPKBN1DV580>

*5) ブルームバーグ2017/12/18「ビットコイン先物、CMEでは好発進－ウォール街への浸透拡大へ」<https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2017-12-17/P14HX56JTSE901>

*6) ロイター2018/3/15「英仮想通貨交換所、現物決済方式のビットコイン先物を4月開始」<https://jp.reuters.com/article/uk-bitcoin-exchange-idJPKCN1GR08N>

仮想通貨の辿ってきた歴史について、以下の通りかいつまんで説明する。

ア) 仮想通貨の定義

仮想通貨は米国財務省 金融犯罪執行機関連絡室 (FinCEN) における定義、欧州銀行監督局の定義など、様々な定義が知られているが、我が国では、FATF (金融活動作業部会) ガイダンスにおいて仮想通貨が定義付けられたことなども受けて、資金決済法 (第2条第5項～第6項) において、次の性質を持つ財産的価値を仮想通貨と定義している。

- ア. 不特定の者に対して、代金の支払い等に使用でき、かつ、法定通貨 (日本円や米国ドル等) と相互に交換できる
- イ. 電子的に記録され、移転できる
- ウ. 法定通貨又は法定通貨建ての資産 (プリペイドカード等) ではない*7

なお、有名な仮想通貨として、例えば、ビットコインがあ*8。なお、SuicaやEdyに代表される*9前払式の「電子マネー」も仮想通貨と並列に議論されることはある*10が、当該電子マネーはア. ～ウ. の要件に照らし合わせ、一般的に仮想通貨には該当しないと指摘されている*11。また、技術的には、多くの電子マネーは利用記録を発行主体等が管理するサーバで集中的に記録する (吉田, 2016) ことにより二重使用を防止している一方で、ビットコインはP2Pネットワークによるブロックチェーンの維持とProof-of-Workシステム (後述) によって二重使用を防止しており、取引記録の集中管理が行われていないことなどが異なる。

イ) 仮想通貨の歴史

仮想通貨自体は1999年にその原型が見られたとの指摘もある (Kristine, 2011) が、サトシ・ナカモト

がビットコインに関する論文を発表し (Nakamoto, 2008)、それを受けてビットコインの運用が開始されたとされる2009年を仮想通貨の黎明とする意見もある。いずれにせよ、黎明から10年足らずではあるが、足下では1,500種類以上の仮想通貨が存在するとの報告*12もあり、色々な場面で注目を浴びる機会が増えているのは事実である。

2. 仮想通貨の既存研究紹介

仮想通貨への関心が高まるのと軌を一にして、経済学における仮想通貨の研究も2015年前後から見られるようになってきているが、それらの研究について、幾つかのカテゴリーに分けて紹介する。

ア) 概説について

Bohme et al. (2015) は、仮想通貨の概説を経済学者向けに纏めている。これ自体は研究論文ではないものの、2010年代前半までの仮想通貨に関する経済学関係の既存研究の包括的な概説となっている。

イ) 理論研究について

代表的な仮想通貨であるビットコインは、二重支払い防止などのセキュリティ機能を、マイナーと呼ばれる者が提供するコンピュータの計算能力 (通称、マイニング行為) に依存しており、その代わり、マイニング行為を行った者 (コンピュータの計算能力を提供した者) に対する報酬として一定の法則に従って新規に生み出されたビットコインを付与*13することにより、マイナーに対してマイニング行為を行うインセンティブを与えている (Proof-of-Workシステム)。このようなメカニズムをゲーム理論等を用いて分析している経済学者としてNicolas Houyが挙げられる (Houy,

*7) ア. ～ウ. は2017年4月金融庁パンフレットから引用。また、堀 (2017) も参照。

*8) 「有名な仮想通貨として、例えば、ビットコインがあ (る)」の部分は、2017年4月金融庁パンフレットから引用。

*9) http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/report/report_01/04/4_1_1.pdfにおいて「電子マネーの利用経験者が利用した電子マネー (複数回答) のうち上位2つを引用した。山本 (2016) でもICカード型電子マネーとしてSuica及びEdyが例示されている。

*10) 例: 金子 (2018)

*11) 池田政府参考人は2016年4月27日に衆議院財務金融委員会にて「仮想通貨の定義に特定の取引が該当するかどうかは、個別の商品、サービスごとに具体的に判断されるべきものでありますが、一般論で申し上げれば、ただいまお尋ねのありましたポイントですとか電子マネーですとかゲーム内で利用可能な通貨につきまして、例えば、それらを使用可能な店舗が発行者との契約や利用者への表示等で示されている、そして、そうしたものの交換を行う不特定の者が存在しないという通常の形態のものであるということでもあります、基本的には、仮想通貨には該当しないものと考えられるかと考えております。」と、一般的に電子マネーは仮想通貨に該当しない旨、答弁している。また、日経電子版2016/11/1「身近になる仮想通貨 利用者保護のルール整備 普及前夜の仮想通貨 (上)」<https://style.nikkei.com/article/DGXMZO08766350V21C16A0PPE001> でも国内の既存の電子マネーは一般的に仮想通貨に該当しないと見られるとの指摘。

*12) <https://coinmarketcap.com/>に基づく (2018/3/17)。

*13) 「報酬を付与」という表現は小野 (2017) に倣った。

2016; Houy, 2014, a)*¹⁴。同氏はビットコイン以外の仮想通貨のメカニズムについても理論的に分析している (Houy, 2014, b)*¹⁵。

また、貨幣論からの既存研究として、Iwamura et al. (2014) は現行仮想通貨の問題点を指摘した上で、理想的な仮想通貨が満たすべき条件を挙げている。更に、Hendrickson et al. (2016) はマッチングモデル*¹⁶を用いて、どのような条件下で現行通貨と仮想通貨が併存するのかを理論的に示した上で、政府の関わりによってその条件がどのように変わるのかを分析している。

ウ) 実証研究について

仮想通貨は交換レートや履歴などの膨大なデータをオンラインに公開しているため、それらのデータを使った実証研究も少なくない。例えば、Cheah & Fry (2015)、Cheung et al. (2015) や Fry & Cheah (2016) は、仮想通貨の価格変動がいわゆるバブルなどに該当するかどうかを実証的に分析している。その際の分析手法として、例えば、金融商品の価格変動をモデル化するのによく使われる幾何ブラウン運動と呼ばれる確率過程に、確率的に価格が大きく変動するというジャンプ過程を入れ込んだ上で、実際の仮想通貨の価格データにその確率過程を当てはめるなどの金融工学的な手法が用いられている。

また、Gandal et al. (2018) は2013年のビットコイン価格の高騰が2つのアカウントによる価格操作に起因する可能性があるとして、実証研究に基づいて主張している。更に、ビットコイン市場が効率性を満たすかどうかについて検討した実証研究も存在する (Urquhart, 2016; Nadarajah & Chu, 2017)。ビットコインと他仮想通貨の価格を比較することにより、ネットワーク外部性による勝者一人勝ちが発生しているかどうかを検証した実証研究も存在する (Gandal & Halaburda, 2016)。

経済物理学の観点からビットコインの取引データを分析し、ビットコインの取引ネットワークの性質がビットコイン黎明期とその後で定性的に異なると主張する実証研究も存在する (Kondor et al., 2014)。同様に、価格の時系列がランダム・ウォークからどのくらい乖離しているのかをハースト指数と呼ばれる指標を用いて分析することにより、ビットコインの価格の時系列の性質がビットコイン黎明期とその後で定性的に異なると主張する実証研究も存在する (Bariviera et al., 2017)。また、ビットコインの取引等をモデル化し、シミュレーションを行ったところ、現実のビットコインの動きの特徴*¹⁷をある程度再現できたと主張する研究も存在する (Cocco & Marchesi, 2016)。

更に、経済学というよりは統計学的な研究であるが、Saito (2016) は複数の仮想通貨や現実通貨の時系列の間にどのような相関関係があるのかを分析している。Bouoiyour et al. (2016) は、ビットコインのチャートの動きを非循環成分と9つの循環成分に分解することにより、ビットコインの価格の動きの大宗は非循環成分に帰着されると主張している。Bouoiyour & Selmi (2017) は、どのような要因がビットコインの価格に影響を与えるのかをBayesian quantile regressionを用いて分析し、市場が好調の時、通常の時、不調の時の3パターンに分けて、どのような要因がビットコイン価格に影響を与えているのかを特定している。Ciaian et al. (2016) は、ビットコイン経済の大きさやビットコインの流通速度などが、ビットコイン価格形成の主要因であると主張している。Katsiampa (2017) はビットコインの時系列にGARCHモデルを当て嵌め、AR-CGARCHモデルが最も当てはまりが良いと報告している。最後に、Urquhart (2017) はビットコインの価格を〇〇ドル〇〇セントの形で米ドル表示したとき、キリの良い価格 (セント部分が0であるような価格) が有意に頻繁に現れると報告している。

*14) なお、マイナーへの報酬 (ビットコイン) は確率的に付与されるが、この確率過程をモデル化した理論論文としてMa et al. (2018) が挙げられる。
 *15) 当該研究では、ビットコインでは用いられていないが一部の仮想通貨で用いられているProof-of-Stakeというメカニズムについて理論的に分析している。ビットコインなどで利用されているProof-of-Workのメカニズム下では、マイナーは投入した計算量に比例して (期待値の意味で) 報酬が付与される (Bonneau et al., 2015) が、当該メカニズムに付随する電力消費などに懸念を呈する論者もあり (Krugman, 2013)、代替的なメカニズムの1つとして、例えばProof-of-Stakeというメカニズムが提案されており、一部アルトコイン (ビットコイン以外の分散型仮想通貨の総称 (岡田, 2015)) では実際に当該メカニズムが利用されている。Proof-of-Stakeのメカニズム下では、当該仮想通貨との経済的利害関係の大きさ、例えば当該仮想通貨の保有量に比例して (期待値の意味で) 報酬が付与される (Houy, 2014, b, Chu & Ho, 2018)。その意味で、当該報酬は当該仮想通貨保有に対する利払いになぞらえられることもある (Houy, 2014, b)。
 *16) 本論文ではKiyotaki & Wright (1993) やCorbae et al. (2003) による理論モデルを前提に、現行通貨と仮想通貨の2つが存在する経済をモデル化している。
 *17) 当該論文は、ビットコイン価格の動きが単位根過程であることや、volatility clustering (価格のボラティリティがある程度持続的であるという現象。) やfat tail (リターン分布を見ると、正規分布から予測されるよりも多くの外れ値が現れるという現象。) といった特徴を再現できたと主張している。

3. 結語

巷間、仮想通貨に対する注目度が高まっていることもあり、仮想通貨に関する学術研究も少なからず知られるようになってきている。

もっとも、仮想通貨が巷間注目されているのにもかかわらず、その先行研究の多くが情報工学の研究であるため、経済学者からは“*This has earned plenty of coverage in the media but surprisingly not in the academic literature.*”^{*18} (Cheung et al., 2015, p.2348) との声も囁かれているのも事実である。

今後、経済学においても当該分野に対してより一層の研究の蓄積が行われることを期待したい。

(参考文献)

Bariviera, Aurelio F., Maria Jose Basgall, Waldo Hasperue & Marcelo Naiouf, 2017, “Some stylized facts of the Bitcoin market.” *Physica A* 484, 82-90.

Bohme, Rainer, Nicolas Christin, Benjamin Edelman & Tyler Moore, 2015, “Bitcoin : Economics, Technology, and Governance.” *Journal of Economic Perspectives* 29 (2) , 213-238.

Bonneau, Joseph, Andrew Miller, Jeremy Clark, Arvind Narayanan, Joshua A. Kroll & Edward W. Felten, 2015, “SoK : Research Perspectives and Challenges for Bitcoin and Cryptocurrencies” *IEEE Security and Privacy*

Bouoiyour, Jamal & Refk Selmi, 2017, “The Bitcoin price formation : Beyond the fundamental sources” arXiv : 1707.01284

Bouoiyour, Jamal, Refk Selmi, Aviral Kumar Tiwari & Olaolu Richard Olayeni, 2016, “What drives Bitcoin price?” *Economics Bulletin* 36 (2) , 843-850

Cheah, Eng-Tuck & John Fry, 2015, “Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin.” *Economics Letters* 130, 32-36

Cheung, Adrian (Wai-Kong) , Eduardo Roca & Jen-Je Su, 2015, “Crypto-currency bubbles : an application of the Phillips-Shi-Yu (2013) methodology on Mt. Gox bitcoin prices.” *Applied Economics* 47 (23) , 2348-2358

Chu, Gillian & Brian Ho, 2018, “Cryptoeconomics and Proof-of-Stake” Blockchain at Berkeley, <https://blockchain.berkeley.edu/decal/sp18/fund/>

Ciaian, Pavel, Miroslava Rajcaniova & d’Artis Kancs, 2016, “The Economics of BitCoin Price Formation.” *Applied Economics* 48 (19) , 1799-1815

Cocco, Luisanna & Michele Marchesi, 2016, “Modeling and Simulation of the Economics of Mining in the Bitcoin Market.” *PLoS One* 11 (10) , 1-31

Corbae, Dean, Ted Temzelides & Randall Wright, 2003, “Directed Matching and Monetary Exchange.” *Econometrica* 71 (3) , 731-756.

Fry, John & Eng-Tuck Cheah, 2016, “Negative bubbles and shocks in cryptocurrency markets.” *International Review of Financial Analysis* 47, 343-352.

Gandal, Neil, JT Hamrick, Tyler Moore & Tali Oberman, 2018, “Price Manipulation in the Bitcoin Ecosystem” *Journal of Monetary Economics*, In press

Gandal, Neil & Hanna Halaburda, 2016, “Can We Predict the Winner in a Market with Network Effects? Competition in Cryptocurrency Market.” *Games* 7 (3) , 1-21.

Hendrickson, Joshua R., Thomas L. Hogan & William J. Luther, 2016, “The Political Economy of Bitcoin.” *Economic Inquiry* 54 (2) , 925-939

Houy, Nicolas, 2016, “The Bitcoin Mining Game.” *Ledger* 1, 53-68.

Houy, Nicolas, 2014, a, “The economics of Bitcoin transaction fees.” mimeo.

Houy, Nicolas, 2014, b, “It will cost you nothing to “kill” a proof-of-stake crypto-currency.” *Economic Bulletin* 34 (2) , 1038-1044

Iwamura, Mitsuru, Yukinobu Kitamura & Tsutomu Matsumoto, 2014 “Is Bitcoin the Only Cryptocurrency in the Town? Economics of Cryptocurrency and Friedrich A. Hayek.” mimeo

Katsiampa, 2017, “Volatility estimation for Bitcoin : A comparison of GARCH models.” *Economics Letters* 158, 3-6

Kiyotaki, Nobuhiro & Randall Wright, 1993, “A Search-Theoretic Approach to Monetary Economics.” *American Economic Review* 83 (1) , 63-77.

Kondor, Daniel, Marton Posfai, Istvan Csabai & Gabor Vattay, 2014, “Do the Rich Get Richer? An Empirical Analysis of the Bitcoin Transaction Network.” *PLoS One* 9 (2) , 1-10.

Kristine, Samuelson, 2011, “The ins and outs of Bitcoin. Does the latest digital currency have staying power?” *Chicago Tribune*, November 13.

Krugman, Paul, 2013, <https://krugman.blogs.nytimes.com/2013/04/12/adam-smith-hates-bitcoin/>

Ma, June, Joshua S. Gans & Rabee Tourky, 2018, “Market Structure in Bitcoin Mining.” NBER Working Paper 24242.

Nadarajah, Saralees & Jeffrey Chu, 2017, “On the inefficiency of Bitcoin.” *Economics Letters* 150, 6-9

Nakamoto, Satoshi , 2008, “Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System.”

Saito, Tetsuya, 2016 “Altcoins as Alternatives for What?” MCIS 2016 Proceedings. 64.

Urquhart, Andrew, 2017, “Price clustering in Bitcoin.” *Economics Letters* 159, 145-148

Urquhart, Andrew, 2016, “The inefficiency of Bitcoin.” *Economics Letters* 148, 80-82

岡田仁志, 2015, 「仮想通貨の登場が国家・社会・経済に与える影響」電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, 8 (3) , pp.183-192

小野伸一, 2017, 「通貨の将来と仮想通貨の意義～デジタル化とブロックチェーンがもたらすもの～」経済のプリズム No161, 1-41

金子邦彦, 2018, 「現代貨幣論—電子マネーや仮想通貨は貨幣とよべるか」晃洋書房

津曲俊英, 2003, 「幣制について」財務省財務総合政策研究所 PRI Discussion Paper Series, no.03A-21

野口悠紀雄, 2014, 「仮想通貨革命」ダイヤモンド社

堀天子, 2017, 「改正資金決済法施行—仮想通貨の法的規制—」国民生活 (6月) , p.11-13

山本正行, 2016, 「キャッシュレス決済入門 第7回 多様化する“キャッシュレス決済”(4) 携帯端末で決済ができる!？」国民生活 (2月) , p.29-31

吉田康志, 2016, 「支払手段としての「仮想通貨」」商大論集、兵庫県立大学、67 (3) , 211-223

* 18) 拙訳：「(仮想通貨は) メディアでは大々的に報道されているが、これについての学術研究は驚くほど少ない。」