

CBDC による銀行 Balance Sheet 問題の確率モデル*

浦谷 規†

Abstract

情報化により支払はネットバンキング、カード決済、電子マネーなどが効率的であり、急拡大している。Finality があり、効率化を進展する中央銀行デジタル通貨 (CBDC) の導入の実現性と問題点を検討するレポートを Bank of England や EUBank などが近年公表している。CBDC が導入されれば 銀行券は急速に置き換えられるだろう。しかし銀行による信用創造の源泉である預金の CBDC による代替は大きな影響が予想される。特に銀行の信用創造の減少は事態を金融危機時には事態を悪化させるリスクがある。CBDC という通貨の情報化は、銀行の信用創造という現在の金融制度枠組みの再検討も必要となりうる。本論文では家計、企業、銀行、中央銀行の貸借対照表における CBDC 発行の影響の相互関係を明らかにする。基本的データは Bindseil, Fotia (2021) を基礎として銀行の信用創造に与える影響を確率プロセスを用いてオプションとして定式化し、経済変動（ボラティリティ）の拡大が CBDC 発行後の銀行のリスクにいかに影響があるかを検討する。さらに、累積する日本の赤字国債の影響も考察する。

1 Introduction

2023 年春にもスマートフォンアプリなどを使うデジタルマネーによる給与振り込みを可能とする労働政策審議会のニュースや、大手銀行が主導するキャッシュレス少額決済システム「ことら」開始などの報道が最近続いている。デジタル技術の発展は、スマートフォン利用の急速な拡大によって、金融システムに大きな変化を生み出そうとしている。従来の現金による支払はネットバンキング、カード決済、電子マネーなどに取り変わられ、その効率性から急拡大しているが、Finality がない事が大きな特徴である。中央銀行が発行する電子マネー CBDC (Central Bank Digital Currency) が導入されれば 銀行券は急速に置き換えられると予測される。しかし銀行における信用創造の源泉である預金が CBDC によって代替される事態には大きな影響があると考えられる。特に金融危機時には銀行の信用創造の欠損は事態を悪化させ得ることが懸念される。通貨の情報化により銀行の信用創造という金融制度の再検討が必要とされる。

CBDC に関する基本的研究は金融業の基本的モデル化始めた Bryant, J. 1980[4], 1981 [5] の Basics of Banking についての基本的な定式化から始まっていると考えられる。Jun & Yeo 2021[10] がこの定式化から CBDC の接近を試みている。さらに、2022 年度のノーベル経済学賞受賞で有名になった Diamond & Dybvig 1985 [6] は Bank RUN に対するモデルである。さらに、それを発展した精緻な議論は Gerter & Kiyotaki 2015[8] である。そのモデルを CBDC へ応用したのが Bitter 2020[1] である。また、最近では Williamson 2021[11] が Canadian banking に関連した問題を明らかにしている。最も総合的に CBDC を議論している Bindseil[2] の Balance sheet からのアプローチは本論文の基礎としている。日本における最近の金融資産・負債残高 Balance sheets の経済部門間関係を明らかにし、現金及び預金が CBDC に代替されるプロセスを指数関数モデル化する。預金に関しては景気変動に影響される要因にはブラウン運動を用いる。その上で、CBDC

*This research was supported in part by Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Grant-in Aid for Scientific Research(C), 2022-2024 (22K04589) 及び『京都大学数理解析研究所「共同利用・共同研究拠点事業」』

†Address: Shinjuku, Nakacho, Tokyo, 162-0835 Japan

E-mail address: uratani@hosei.ac.jp

の影響下の銀行の Balance Sheets への影響を評価する。最後に日本銀行に累積する国債の影響下での CBDC の展開を考える。

2 部門別貸借対照表

Bindseil[2] に倣って、経済部門別の貸借対照表を並べてその資金のバランスを考察する。日本の Balance Sheet を日本銀行 [12] を参考に以下のようにまとめた。家計の総資産を 2 0 0 0 兆円とし、現金を 1 2 0 兆円、預金を 9 8 0 兆円とする。負債側には借入を 3 7 0 兆円とし、純資産を 1 6 3 0 兆円とする。一般政府の国債 1 2 1 0 兆円がこの純資産 1 6 3 0 兆円を超える時期を心配する研究者 Kashyap[9] もいる。2 0 2 2 年 1 0 月の英国 LDI に起因する国債金利の上昇と年金の信用に関連しての指摘である。

Table 2 の民間非金融法人企業は 資産 1 2 5 1 兆円に対して負債 1 8 0 1 兆円で 5 5 0 兆円の債務超過である。

Table 1: 家計

Asset.	Liability.
現金 $B = 120$	
預金 $D_h = 980$	借入 $C_h = 370$
国債・社債 $S_c + S_g^h = 180$	純資産 $E_h = 1630$
銀行債 $S_b = 80$	
保険年金 $Ins = 540$	
2000	2000

Table 2: 非金融法人企業

Asset.	Liability.
預金 $D_c = 325$	借入 $C_c = 469$
証券 364	証券 422
	上場株式 625
その他 562	その他 286
	負債合計 1801
	資産負債差額 -550
1251	1251

民間金融機関は（１）預金取扱機関（銀行、合同運用信託）（２）保険・年金基金（３）その他の金融機関（証券投資信託、ノンバンク、公的金融機関、ディーラー・ブローカーなど）の 3 つに分類できる。預金取扱機関は信用創造ができる大きな特徴がある。

Table 3 にある預金機関の預金は家計からの D_h 及び企業からの D_c 、さらに海外からの D_f の和であり、合計は 1 6 9 7 兆円になる。預金以外の資金調達は銀行債 $S_b = 8 0$ 兆円を計上している。Table 4 では保険・年金基金とその他の金融機関を纏めて掲載している。保険・年金の債務 5 4 5 兆円が国債等有価証券額 5 6 4 兆円にほぼ等しいことは、予想される金利の上昇により証券価格の下落は保険・年金債務との不均衡になり得る危惧がある。

Table 3: 預金機関

Asset.	Liability.
貸出 906 有価証券 449 準備金 5	預金 $D_h + D_c + D_f = 1697$ 銀行債 $S_b = 80$ 負債合計 1777
1355	資産負債差額 -422 1355

$D_f = 262$: 海外から預金

Table 4: 保険・年金・他金融機関

Asset.	Liability.
貸出 644 国債等 564	保険・年金 545 借入等 369 証券 568 負債合計 1482
1178	資産負債差額 -304 1178

Table 5: 中央銀行 (CB)

Asset.	Liability.
貸出 152 国債等 $S_g^{cb} = 526$	銀行券 120 日銀預け金 552 準備金 5
677	677

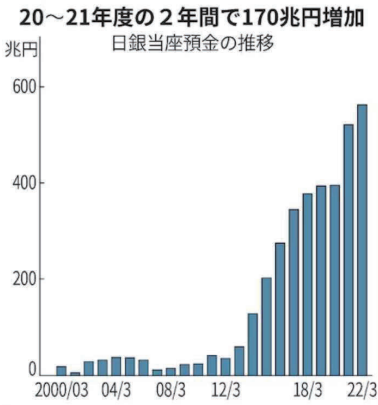
Table 5 では中央銀行の国債等の資産は日銀預け金にほぼ等しいが、日銀当座預金は日銀の国債保有の制約になり得るかもしれないとの危惧もある。その最近の急増は以下のグラフの通りであり、その危惧は日経新聞 [13] によると、当預に 0.5% の利息をつけると逆ざやが発生し、2% まで引き上げると 1 年程度で、自己資本（約 10 兆円）を上回り、日銀が債務超過となる可能性があるとしている。日銀が 2013 年以来急速に銀行から国債を買い入れる買オペによってその代金が当座預金に振り込まれたために増大し、2022 年には 500 兆円に達している。

Table 2 の非金融法人企業の資産負債差額は 550 兆円、Table 3 の預金機関の資産負債差額は 442 兆円、Table 4 の保険・年金機関の資産負債差額は 304 兆円、Table 6 の一般政府の資産負債差額は 660 兆円の合計は 1956 兆円となる。対外債権 1329 兆円から対外債務 885 兆円を控除した 444 兆円を控除すると家計の純資産 1630 兆円に近い値になる。

Table 6: 一般政府

Asset.	Liability.
財政融資資金預託金 21	借入 150
証券 244	国債 $S_g = S_g^h + S_g^b + S_g^{ins} + S_g^{cb} + S_g^f = 1210$
その他 475	その他 40
	負債合計 1400
	資産負債差損 -660
740	740

$S_g^f = 167$ 海外保有
 $S_g^h = 12$ 家計
 $S_g^b = 212$ 銀行
 $S_g^{ins} = 292$ 生保・年金
 $S_g^{cb} = 526$ 日銀



3 CBDC の導入が銀行の Balance Sheets に与える影響

上記の Balance Sheets において CBDC 発行に関連する項目以外は一定と仮定してその影響を検討する。現実には種々の相互作用があり複雑な変化が起こるであろうが、最も単純なケースを考える。

1. Central Bank が t 年後に家計が保有する銀行券を CBDC によって M_t^1 代替し、家計の預金に対しては M_t^2 を代替するものとする。
2. CBDC の流通額は

$$CBDC_t = M_t^1 + M_t^2$$
 とする。
3. 預金機関の家計預金が減少し $D_h^t = D_h - M_t^2$ になる。
4. その減少額を補填するために銀行は新規銀行債 S_S 発行する。
5. 中央銀行がその新規銀行社債を保有する。

CBDC 発行後の時点 t のその間接的影響を考慮しない場合の Balance Sheet は以下の表 7～表 11 となる。

3.1 CBDC モデル

CBDC は銀行券 B と家計の預金 D_h を Table 7 のとおりに代替する場合を考察する。

- (i) 銀行券 B を代替する CBDC の額を M_t^1 とし、CBDC 開始後の銀行券流通額の減少率を μ とし

$$B - M_t^1 = B \exp(-\mu t) \quad (3.1)$$

とすると、銀行券代替する CBDC の額を M_t^1 は

$$M_t^1 = B(1 - \exp(-\mu t))$$

となる。

- (ii) 家計の預金 D_h を代替する CBDC の時点 t における総額を M_t^2 とする。その増加率を α とし、その変動率は σ を係数とするブラウン運動に従うと仮定する。 σ は経済の景気変動に依存するパラメータとする。

$$dM_t^2/M_t^2 = \alpha dt + \sigma dW_t \quad (3.2)$$

ただし W_t : Wiener process とし、 α を CBDC のうちの銀行預金の代替である M_t^2 の平均増加率とする。Table 7 にある家計の預金は

$$D_h = 980 - M_t^2$$

になるとする。

Table 7: 家計

Asset.	Liability.
現金 $B = 120 - M_t^1$ 預金 $D_h = 980 - M_t^2$ CBDC $M_t^1 + M_t^2$ 国債・社債 $S_g^h + S_c^h = 12 + 168 = 180$ 銀行債 $S_b^h = 80$ 保険年金 $Ins = 540$	借入 $C_h = 370$ 純資産 $E_h = 1630$
2000	2000

Table 8: 預金機関

Asset.	Liability.
貸出 906 国債等 $S_g^b = 449$ 準備金 5	預金 $D_h - M_t^2 + D_c + D_f = 1697 - M_t^2$ 銀行債 $S_b^l = 80 + S_S$ 負債合計 1777
1355	資産負債差額 -422 1355

D_f :海外から預金

Table 9: 中央銀行 (CB)

Asset.	Liability.
貸出 152 国債等 $S_g^{cb} = 526$ 銀行債 S_S	銀行券 $120 - M_t^1$ 日銀預け金 552 準備金 5 CBDC $M_t^1 + M_t^2$
$677 + S_S$	$677 + M_t^2$

Table 10: 一般政府

Asset.	Liability.
財政融資資金預託金 21 証券 244 その他 475	借入 150 国債 $S_g = S_g^h + S_g^b + S_g^{cb} + S_g^f = 1210$ その他 40 負債合計 1400
	資産負債差損 -660
740	740

$S_g^f = 167$ 海外保有

3.2 銀行の家計預金の CBDC による代替

預金代替 CBDC の時点 t の総額は式 (3.2) の解から

$$M_t^2 = M_0^2 \exp\{\alpha - 1/2\sigma^2)t + \sigma W_t\}.$$

CBDC 発行後における家計預金の価値を V_t とする。 V を預金額 D_h から CBDC 発行額 M_t^2 を控除した後の正の額 $(D_h - M_t^2)^+$ の時点 0 における価値を V とすると、

$$V = E^*[e^{-rt}(D_h - M_t^2)^+]$$

は行使価格 D_h のヨーロッパ型プットオプション式から以下の通りとなる。

$$V = D_h \exp(-rt)N(-d_2) - M_0^2 N(-d_1). \quad (3.3)$$

$$d_1 = \frac{\log(M_0^2/D_h + (\alpha + 1/2\sigma^2)t)}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

ただし $N(\cdot)$: Standard Normal distribution function とする。ただし、このオプションによる預金額のモデルでは CBDC の増加率 α を式 (3.3) に用いる[‡]。

Table 9にあるように CBDC により減少した家計預金 $D_h - M_t^2$ を補うための追加発行する銀行債 S_S の現在価値 $PV(S_S)$ は (3.3) から

$$PV(S_S) = D_h - V$$

従って、CBDC による銀行預金の減少を補う追加銀行債 S_S は

$$PV(S_S) = D_h(1 - \exp(-rt)N(-d_2)) + M_0^2 N(-d_1) \quad (3.4)$$

を満たす。

3.3 数値例

以下は CBDC が来たるべき時期に導入された場合の具体的なイメージを理解するための数値例をあくまでも仮定として描いたグラフである。

現金を代替する CBDC は、現在の家計の現金の額を $B = 120$ 兆円し、式 (3.1) の代替率を $\mu = 2$ とすると 1 年間でその発行額の約 86% なる。最も早い CBDC の市場浸透であろう。

$$M_t^1 = 120(1 - \exp(-2t))$$

CBDC による預金の減少を補うための銀行債 S_S はその式 (3.4) に対して、家計預金 $D_h = 980$ とし、CBDC2 の増加率率である α を 1% とする。経済変動を表すパラメータとして変動が大きいケースを $\sigma = 2$, その中程度の場合を $\sigma = 1$, 変動の低い場合を $\sigma = 0.5$ とし、それぞれ 3 ケースを Figure 3 において比較する。経済変動が大きい $\sigma = 2$ のケースでは約 1 年間で家計預金のほとんどが CBDC に置き換わる。 $\sigma = 1$ のケースではその半分が CBDC に置き換わる。 $\sigma = .5$ のケースで 1 年以内には CDBC い置き換わる額は 200 兆円を超えない。

CBDC に置き換わった預金額が全額を新規銀行債 $S_S = M_t^2$ として発行され、その全額を中央銀行が引き受けるケースが Table 9 に資産 S_S として計上する。初期の 677 兆円から著しい増大となる。

[‡]市場の均衡を用いないため

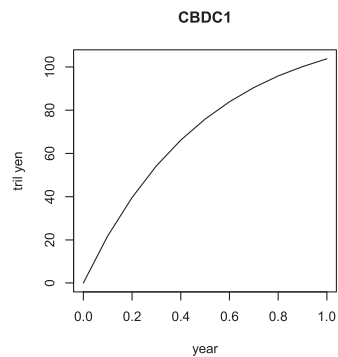


Figure 2: 家計の現金の CBDC による代替

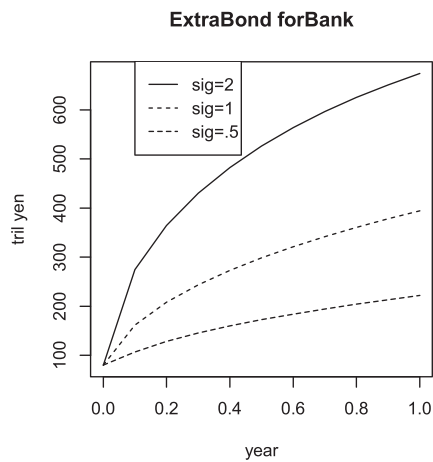


Figure 3: CBDC による預金減少額 (景気変動 σ による 3 シナリオ)

Table 11: 中央銀行の BS の変化

ヴォラティリティ	新規銀行債	CBDC	負債
$\sigma = 2$	673	790	1470
$\sigma = 1$	394	510	1190
$\sigma = 0.5$	221	340	1020

初期負債額：677 兆円

3.4 銀行・他金融機関への影響

CBDC の導入は家計の銀行への預金の減少になり、その減少を補填するために銀行債を発行し、中央銀行が全額引き受けることになりうる。しかしその家計預金の減少は銀行の信用創造 (Credit money) 機能の減少となりうるが現在の国債引き受けによる 550 兆円日銀預け金の存在によって、信用創造機能にへ影響は少ないだろう。

最も Balance Sheets に影響があるのは総額 1210 兆円の国債の価格変動リスク、金利の上昇のリスクである。日経新聞 [16] のニッセイ基礎研究所の推定では、実勢値が国債金利が 0.5% であるの対し、理論値は 1.5% になるとしている。日銀の保有国債額 526 兆円の平均満期残存年を 10 年とするなら、時価評価額はおよそ 14% の減少になる。その評価損はおよそ 74 兆円にもなりうる。

さらに、Table 4 の保険・年金などの国債保有額 292 兆円はその 14% にあたる 41 兆円の時価評価の減少になりうる。その他にも金利上昇による累積した国債に対する時価評価の減額はバランスシートへの影響は甚大であり、そのリスク管理は重大である。

4 終わりに

技術的には実現可能であり、EU バンクや BOE が心配する CBDC が現金と預金を代替する変化とそのリスクををバランスシートを用いてモデル化した。さらに、家計の預金を CBDC によって代替するモデルでは景気変動を考慮した確率プロセスとした。そのプロセスを簡単なオプション式によって評価し、銀行預金の減少に対して必要となる銀行債の発行額が景気変動を表す確率ヴォラティリティに依存する可能性を明らかにした。

バランスシートを更に拡大することになる CBDC の導入には、財政赤字によって巨額の国債を抱える日銀は、我が国の DX の遅れもあり、あまり積極的になり得ないかもしれない。

銀行にとっての家計預金に関する大きな変化のニュースが 2 つある。第 1 は、「デジタル給与」の解禁 [14] である。家計預金を銀行からノンバンクなどの金融機関に流入し、「信用創造」機能が減少するリスクである。

第 2 は、銀行によるキャッシュレス「ことら」の始動 [15] である。金融システムの大きな支柱の一つである銀行預金からの資金流失をデジタル化サービス「ことら」によって防衛する試みである。既に技術的には実働レベルにあるが、ノンバンクの過剰なサービス競争に負けないで進展できるかどうかは CBDC 代替のための課題である。最も注意すべきは、メタのリブラなどのように金融政策に直接影響がある外国通貨の支配であるだろうか？ 特に中国の CBDC 計画の進展はその通貨 RMB の国際化とともに我が国への大きな脅威になりうる。

2022 年 11 月に発生した暗号資産交換業 FTX トレーディングの経営破綻は一部にはリーマンショックの再現かとも心配されている。この事態に対する金融監督当局の対応によって、今後の金融デジタル化の動きには今以上にその進展に格差が生じるかもしれない。

References

- [1] Bitter, Lea "Banking crisis under a Central Bank Digital Currency (CBDC)" Sept, 2020, WWW.ECONSTOR.EU

- [2] Bindseil 2020 "Tiered CBDC and the financial system" ECB working paper series No 2351 Jan 2020
- [3] Bindseil, Fotia 2021 "Introduction to Central Banking" Springer briefs in quantitative Finance
- [4] Bryant, J. "A model of reserve Bank Runs and deposit institution 1980
- [5] Bryant, J. "Bank collapse and depression" 1981
- [6] Diamond,D. Dybvig, P. "Bank Runs,Deposit Insurance, and Liquidity" J of Political Economy vol. 91 no. 3
- [7] Horoshi Nakaso, " The financial crisis in Japan during the 1990s: how the Bank of Japan responded and the lessons learnt ", BIS Papers, No 6, October, 2001, p58, Table 5.
- [8] Gertler,M. Kiyotaki, N, " Banking,Liquidity and Bank Runs in an Infinite Horizon Economy", AER 2015 pp.2011-43
- [9] Kkashyap A. "Rising Interest rates and Financial cracks" Princeton bendheim center for finance 2021 YouTube
- [10] Jooyong Jun Eunjung Yeo, 2021. "Central bank digital currency, loan supply, and bank failure risk: a microeconomic approach," Financial Innovation, Springer;Southwestern University of Finance and Economics, vol. 7(1), pages 1-22, December.
- [11] Williamson, S "Central Bank Digital Currency: Welfare and Policy Implications" Feb 12,2019, 2021 ECB conf.
- [12] 日本銀行調査統計局 2022年第2四半期の資金循環 2022年9月20日
- [13] 日本経済新聞 2022年7月5日 日銀当座預金、最多の563兆円 高まる利払い負担リスク
- [14] 日本経済新聞 2022年9月14日 デジタル給与、来春解禁へ
- [15] 日本経済新聞 2022年10月12日 キャッシュレス「ことら」始動
- [16] 日本経済新聞 2022年10月23日 国債市場「管理下」の危うさ
- [17] 日本経済新聞 2022年10月24日 『デジタル通貨』実験へ、JTB、日銀の動向にらむ