

央行数字货币还是现金

——基于隐私需求视角的分析*

贾鹏飞

内容提要:我国数字人民币定位于现金类支付凭证(M0),强调与传统现金之间的替代和互补关系。深入研究央行数字货币与现金的关系具有重要的现实意义。本文通过构建世代交叠模型研究央行数字货币和现金的选择问题。央行数字货币“基于账户”的特点反映了其不具备完全的匿名性,在经济个体需要隐私的环境中,持有央行数字货币将产生隐私成本。然而,央行数字货币“电子货币”的特点使其可以获得大于零的利息。因此,经济个体将在央行数字货币和现金间权衡。基于经济个体的不同选择,本文刻画了央行数字货币和现金共存的经济环境。本文进一步分析货币政策冲击、偏好冲击以及隐私成本冲击对央行数字货币和现金的动态影响。在模型中,外部冲击将从集约边际和广延边际两个维度来影响央行数字货币和现金的需求。本文发现,央行数字货币利率的增加将导致央行数字货币总需求增加,现金总需求减小。偏好变量的增加将使央行数字货币总需求增加,但其对现金总需求的影响难以确定。隐私成本的增加将导致央行数字货币总需求减小,现金总需求增加。本文的研究为中央银行有效处理央行数字货币与现金的关系提供了政策建议。

关键词:央行数字货币 现金 个人隐私 世代交叠模型

作者简介:贾鹏飞,南京大学商学院副教授,210093。

中图分类号:F820 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-8102(2024)05-0041-13

一、引言

近年来,伴随着数字经济和私人加密货币的发展,央行数字货币(Central Bank Digital Currency, CBDC)备受关注。作为中央银行领域的重大历史创新,央行数字货币的发行与使用将对宏观经济、支付体系以及金融系统产生深远影响。根据国际清算银行的调查报告,全球绝大多数

* 基金项目:国家自然科学基金青年项目“宏观审慎政策的理论依据与最优政策设计”(72104101)。作者感谢匿名审稿专家的宝贵意见,文责自负。贾鹏飞电子邮箱:pengfei@nju.edu.cn。

中央银行正在积极研究央行数字货币的运行模式、功能及其可能产生的经济影响。发行央行数字货币的主要动机包括:提升支付效率 and 安全性、增加金融普惠、促进货币政策实施,以及提高金融稳定(Boar 和 Wehrli, 2021)。中国在央行数字货币的研发与应用方面走在国际前列(Auer 等, 2020)。中国人民银行高度关注数字货币发展,并积极开展央行数字货币的研究工作(中国人民银行数字人民币研发工作组, 2021)。2017年,中国人民银行组织相关商业银行和金融机构开展名为“Digital Currency/Electronic Payment”(DC/EP)的数字人民币(e-CNY)研发工作。2020年以来,数字人民币陆续在深圳、苏州、雄安新区、成都以及冬奥会进行试点测试。数字人民币试点场景覆盖生活缴费、餐饮服务、交通出行、购物消费、政务服务等领域。央行数字货币正从理论走向现实。

根据现有文献,本文将央行数字货币定义为“中央银行发行的、公众普遍持有的、基于账户的电子货币”。换句话说,央行数字货币同时具备四个特性:(1)中央银行发行;(2)公众普遍持有;(3)基于账户;(4)电子货币。同时具备这四大特性使央行数字货币不同于现有货币,如现金、银行存款、准备金。现有文献较多地讨论和比较了央行数字货币和银行存款。例如,Keister 和 Sanches (2023)发现,央行数字货币的引入可以迫使商业银行增加存款利率,商业银行也因此吸收更多存款。然而,在完全竞争的金融体系下,商业银行也将增加贷款利率,这会减少投资并不利于产出,导致金融脱媒。^①相反,贾鹏飞(2024)发现,如果商业银行具有垄断权力,商业银行可以在增加存款货币的同时减小贷款利率,进而增加贷款规模。此外,Brunnermeier 和 Niepelt(2019)发现,央行数字货币并不一定会影响金融体系,其影响在很大程度上取决于中央银行的货币政策。

值得一提的是,我国的数字人民币定位于现金类支付凭证(M0),强调数字人民币与传统现金的替代与互补关系(范一飞, 2016;中国人民银行数字人民币研发工作组, 2021)。为降低央行数字货币可能引发的金融脱媒和银行挤兑风险,我国的数字人民币坚持M0的定位,以降低与存款货币的竞争(中国人民银行数字人民币研发工作组, 2021)。在此设计特征下,央行数字货币对存款货币和金融系统的影响可能较小。深入比较央行数字货币与传统现金则更具有现实意义和政策价值,研究央行数字货币和现金的选择是本文最为核心的问题。

然而,现有文献较少对比央行数字货币和现金。即便对此问题有所涉及,其结论也与现实较为不符。例如,Keister 和 Sanches(2023)对比了央行数字货币和现金。他们聚焦于央行数字货币的电子特性,即特性(4):央行数字货币可获得大于零的利息收益,而现金的名义净收益率为零。这一设置将使央行数字货币在收益率方面优于现金,经济个体也将选择持有央行数字货币,并不持有现金。也就是说,在Keister 和 Sanches(2023)的模型中,央行数字货币的引入将使消费者对现金的需求为零。此外,Williamson(2022)刻画了央行数字货币的电子特性。在央行数字货币的收益率为正时,其相较于现金将处于完全优势的地位,也将完全替代现金。贾鹏飞(2023)研究了计息的央行数字货币,重点分析了央行数字货币替代现金的经济影响。与上述文献类似,本文基于央行数字货币的电子特性,研究计息的央行数字货币。^②

现实中,央行数字货币和现金预计将在相当长的时间内共存,现金也将继续发挥作用。即使央行数字货币的引入会在一定程度上减少消费者对现金的需求,现金的需求也不会为零。对央行

^① 王鹏等(2022)发现,在央行数字货币替代现金的过程中,银行存款有可能同步被替代并导致金融脱媒。

^② 现阶段我国数字人民币试点尚未对央行数字货币支付利息。然而,从现实操作层面来看,各国中央银行对CBDC的试点或发行普遍采取“先支付工具,后政策工具”的渐进路径:第一阶段考虑不计息的CBDC并强调CBDC的支付功能,第二阶段考虑计息的CBDC并强调CBDC的政策工具功能(姚前, 2018)。因此,研究计息和不计息的央行数字货币均具有一定的现实意义和政策价值。

数字货币和现金共存现象的刻画更加贴近现实。然而,如何构建严格的宏观经济模型以刻画央行数字货币与现金的共存?这是本文研究的一个主要问题。

特别地,不同于现有文献,我们需要刻画现金相较于央行数字货币可能存在哪些优势。本文以隐私需求为切入点,刻画经济个体在央行数字货币与现金间的取舍。这主要基于两方面的原因。一方面,可以保护用户的个人隐私是现金的重要优势,也是央行数字货币所不具备的特性。因此,这可作为二者对比和选择的重要方面。另一方面,现有研究表明,个人隐私本身可对经济活动产生重要影响(Kahn等,2005;Choi等,2019;Garratt和van Oordt,2021)。比如,Garratt和van Oordt(2021)认为,现金的使用过少引发的隐私缺失可减小社会福利和经济产出。近年来,随着电子支付的发展,我国现金使用率呈下降趋势。^①由现金支付下降所可能引发的个人隐私问题值得关注。在本文模型中,持有央行数字货币可获得大于零的利息,^②这优于现金;但在保护隐私方面,央行数字货币的使用将产生隐私成本,这劣于现金。在异质性的经济环境中,部分个体将选择使用央行数字货币,部分个体将选择使用现金。本文因此刻画了央行数字货币和现金共存的经济环境。

本文通过构建世代交叠模型(Overlapping Generation Model)研究央行数字货币与现金的选择问题。为深入理解二者的对比,本文研究货币政策冲击、偏好冲击以及隐私成本冲击对央行数字货币和现金的动态影响,这是本文研究的另一个主要问题。在模型中,经济个体具有异质性的劳动禀赋。基本的经济问题为经济个体在年轻时期的消费和储蓄选择。在本文模型中,他们有两种储蓄方式:央行数字货币和现金。^③由于央行数字货币的使用产生隐私成本,却有较高的金融收益,经济个体在储蓄时将对央行数字货币和现金进行权衡。本文发现,劳动禀赋低的经济个体将选择使用现金,劳动禀赋高的个体将选择使用央行数字货币,这里存在一个劳动禀赋的阈值。

在本文模型中,各类外部冲击将从集约边际和广延边际两个维度来影响央行数字货币和现金的需求。在货币政策冲击下,假设中央银行增加央行数字货币的利率,这将增加经济个体对央行数字货币的需求(集约边际)。经济个体对央行数字货币需求的增加也将增加央行数字货币的平均收益,这将使更多的经济个体增加对央行数字货币的需求(广延边际)。因此,在此冲击下,央行数字货币的实际总需求将增加。对于现金,央行数字货币利率的增加将不影响经济个体对现金的需求。然而,由于更少的经济个体选择现金,现金的实际总需求会下降。

在偏好冲击下,假设偏好因子增加,这将使经济个体选择增加未来的消费并增加储蓄。储蓄的增加将使经济个体需要更多的央行数字货币以及现金(集约边际)。在广延边际方面,经济个体对央行数字货币需求的增加将提高央行数字货币的平均收益,并使更多的经济个体选择央行数字货币,更少的经济个体选择现金。因此,偏好因子的增加将增加央行数字货币的总需求。对于现金,偏好冲击的影响在集约边际方面增加了经济个体对现金的需求,但在广延边际方面,更少的经济个体将选择持有现金。因此,该冲击对现金总需求的影响并不确定。在隐私成本冲击下,假设

① 2019年中国人民银行开展的中国支付日记账调查显示,现金交易笔数和金额仅为23%和16%(中国人民银行数字人民币研发工作组,2021)。M0(流通中的现金)2010—2013年的年均增长率是13%,2014—2018年的年均增长率则只有4.6%(王信,2020)。

② 基于其电子特性,央行数字货币从技术上也可具有负的收益率(Jia,2020)。本文仅考虑央行数字货币收益率为正的情况。

③ 现实中,经济个体还具有其他的储蓄和支付方式,如银行存款。然而,如上文所述,我国的数字人民币坚持M0定位,以降低与存款货币的竞争。在此设计特征下,央行数字货币对存款货币和金融体系的影响可能较小,因此本文不考虑央行数字货币对存款货币的影响。

隐私成本增加,这将直接减少央行数字货币的平均收益,并使更多的经济个体选择持有现金,更少的经济个体选择持有央行数字货币(广延边际)。在集约边际方面,隐私成本的变化并不影响经济个体对央行数字货币和现金的需求。因此,在此冲击下,央行数字货币的实际总需求下降,现金的实际总需求上升。

本文的研究意义与价值可总结为以下几点。第一,本文深入比较央行数字货币与现金,更具有现实价值。对此研究的难点在于深入理解和刻画对央行数字货币和现金的取舍。特别地,经济学家需要回答现金相较于央行数字货币的优势在哪里。相较于现有文献,本文模型不仅关注央行数字货币的“电子货币”特性,还刻画其“基于账户”的特性。本文以个人隐私和匿名性为切入点,刻画了经济个体在选择央行数字货币和现金时的理性抉择,从而更加现实地刻画了二者共存的经济环境。

第二,本文在研究方法上不同于现有研究。本文构建了包含央行数字货币和现金的世代交叠模型,这不同于现有文献中使用的新货币主义模型和DSGE模型。^①世代交叠模型将更容易刻画央行数字货币相较于现金的优势和劣势,也可以更为清晰地呈现模型的动态机制。此外,世代交叠模型具有异质性,该模型框架有利于分析央行数字货币对各类经济主体产生的异质性影响。为深入理解央行数字货币与现金的对比,本文还研究了货币政策冲击和偏好冲击对央行数字货币和现金的动态影响。对两类外部冲击的研究是宏观经济分析的标准范式。然而,鲜有文献研究两类冲击的经济影响。本文模型还从集约边际和广延边际两个维度刻画外部冲击对央行数字货币和现金的影响,这也不同于现有文献的研究。

第三,本文关注了个人隐私的作用并且研究了隐私成本变化对央行数字货币和现金的影响。在对央行数字货币的讨论中,用户的隐私是必然涉及的问题。现有相关文献鲜有关注消费者的个人隐私,其中一个例外为Williamson(2022)。Williamson(2022)通过引入隐私冲击的方式刻画个人隐私,假设部分消费者有隐私需求,他们将选择现金;部分消费者没有隐私需求,他们将选择央行数字货币。不同于Williamson(2022),本文假设所有消费者均关注个人隐私,并假设央行数字货币的使用产生隐私成本,这类似于Davoodalhosseini(2022)。这一设置不仅体现了央行数字货币非完全匿名的特性,也帮助刻画了央行数字货币和现金共存的经济环境。此外,本文研究了隐私成本冲击对央行数字货币与现金的经济影响。

二、理论模型

(一)经济模型

1. 经济环境

在此我们考虑世代交叠模型,时间表示为 $t = 0, 1, 2, \dots, \infty$ 。经济环境是由经济个体构成的连续统。此外,还存在一个中央银行(或称政府),中央银行发行现金和央行数字货币。在 $t \geq 1$ 时,每个经济个体存活两期:第一期(年轻期)和第二期(年老期)。在 $t = 0$ 时,存在最初的年老个体,他们仅存活一期。注意到,每一期 t 均存在两类经济个体——处于年轻期的个体以及处于年老期的个体,即该经济环境为世代交叠。此外,假设人口数量恒定。

^① 现有文献中,使用新货币主义模型研究CBDC的文章包括Davoodalhosseini(2022)、Williamson(2022)、Chiu等(2023)、贾鹏飞(2023)、Keister和Sanchez(2023)、贾鹏飞(2024);使用DSGE模型研究CBDC的文章包括谢星等(2020)、Barrdear和Kumhof(2022)、Ferrari等(2022)。

在每一期 t , 经济个体具有相同的效用函数:

$$U(c_{1t}, c_{2t}) = u(c_{1t}) + \beta_t E_t c_{2t}$$

其中, c_{1t} 表示经济个体年轻时的消费, c_{2t} 表示经济个体年老时的消费, E_t 为预期符号。 β_t 为偏好变量, 在此假设此变量为独立同分布。假设 $u(\cdot)$ 具有标准的效用函数特征: $u' > 0, u'' < 0, u'(0) = \infty, u'(\infty) = 0$ 。为简化分析, 我们采用拟线性的偏好设置, 即假设经济个体第二期的效用函数为线性。

为更好地刻画央行数字货币和现金共存的状态, 本文假设经济个体具有异质性: 年轻的经济个体 i 具有异质性的劳动禀赋 y_i 。年老的经济个体并不具有劳动禀赋, 也不从事工作。因此, 年轻的经济个体将自然地成为经济体中的储蓄者。在本文模型中, 经济个体可以通过现金或央行数字货币两种方式进行储蓄。

假设一单位劳动可生产一单位的消费品或产出, 不同劳动禀赋的个体则将拥有不同数量的消费品。此外, 假设劳动禀赋 y_i 服从均匀分布, 其密度函数方程 $\theta(\cdot)$ 满足:

$$\theta(y_i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq y_i \leq \bar{y} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, \bar{y} 为正数。

2. 中央银行

在本文模型中, 中央银行发行现金 M_t^s 和央行数字货币 D_t^s , 并向经济个体征税 T_t 。央行数字货币和现金的本质均为中央银行的负债。然而, 不同于现金, 央行数字货币的电子特性使其可获得利息收益 $R_t > 1$ 。在此, 我们假设央行数字货币的收益率 R_t 为外生给定的变量, 该变量为独立同分布。我们将在后文分析收益率变化所导致的持有央行数字货币和现金的变化。参考 Andolfatto (2021), 为简化分析而不失一般性, 我们假设现金和央行数字货币的名义供给量不变, 即 $M_t^s = \bar{M}$, $D_t^s = \bar{D}$ 。在此, 我们重点研究的是央行数字货币和现金的实际持有量, 而非名义持有量。在此设置下, 通货膨胀率为零, 然而物价水平 p_t 为内生决定。中央银行的预算约束可表示为:

$$T_t = (R_t - 1)D_t^s$$

此外, 遵循现有文献, 我们假设税收负担仅作用于年老的经济个体 (Andolfatto, 2021)。

3. 交易媒介

本文模型中存在央行数字货币和现金, 两类货币均可充当交易媒介。该模型的基本问题为年轻的经济个体如何选择消费和储蓄。他们有两类储蓄方式: 现金和央行数字货币。交易发生在年轻的经济个体和年老的经济个体之间。例如, 年轻的经济个体 (出生于 t 期) 将部分消费品出售给年老的消费者 (出生于 $t-1$ 期), 并获得现金, 进行储蓄; 待他们在下一期 ($t+1$ 期) 变为年老的消费者, 他们再用手持有的现金向年轻的经济个体 (出生于 $t+1$ 期) 购买消费品。现金和央行数字货币在世代间传递。虽然二者的名义数量恒定, 但是由于物价水平内生决定, 现金和央行数字货币的实际数量 (以消费品衡量) 将随着经济环境的变化而改变。

经济个体也可以使用央行数字货币进行储蓄。在消费者关注隐私的经济环境下, 我们假设央行数字货币的使用会产生一个固定的隐私成本 γ_t 。① γ_t 以消费品来衡量, 可理解为消费者个人隐

① 参照 Davoodalhosseini (2022), 为简化分析而不失一般性, 我们假设隐私成本 γ_t 为固定的。

私的缺失所导致的消费品数量的下降(Williamson, 2022)。比如,用户信息的泄露可能会被他人利用并针对该用户,最终导致该用户消费品数量减少。此外,假设 γ_i 为独立同分布。

(二)经济问题

年轻的经济个体面临的基本问题为对消费和储蓄的选择。他们将选择央行数字货币或现金进行储蓄,并在二者间进行权衡。简单讲,相较于现金,央行数字货币具有较高的收益率,但使用央行数字货币会产生隐私成本。由于隐私成本为固定的,持有央行数字货币的平均收益将随着货币持有量的增加而增加,下文将进行详细阐述。换句话说,当央行数字货币的持有量较大时,其平均收益大于现金,经济个体将持有央行数字货币;当央行数字货币的需求较小时,其平均收益小于现金,经济个体则将持有现金。^①在本文模型中,由于经济个体具有异质性的劳动禀赋,其消费、储蓄以及货币需求也将不同。劳动禀赋较高的经济个体的储蓄和货币需求较大,他们可能会内生地选择使用央行数字货币;劳动禀赋较低的经济个体的储蓄和货币需求较小,他们则会选择使用现金。^②

具体地,选择使用央行数字货币的经济个体面临以下经济问题:

$$\max_{d_i} [u(c_{1i}) + \beta_i E_i c_{2i}], \text{ s.t. } y_i = d_i + c_{1i}, R_i d_i - \gamma_i - \tau_i = c_{2i}$$

其中, d_i 为实际的央行数字货币持有量, τ_i 为实际的税收水平, $\tau_i = \frac{T_i}{p_i}$ 。当然, $y_i \in [0, \bar{y}]$ 。

求解以上问题可得央行数字货币的需求方程:

$$u'(y_i - d_i) = \beta_i R_i \tag{1}$$

方程(1)的经济学含义为:消费的边际收益等于储蓄的边际收益。此外,注意到 $d_i = d_i(y_i, R_i, \beta_i)$,即央行数字货币的实际持有量将受到劳动禀赋、央行数字货币的收益率以及偏好变量的影响。

类似地,选择使用现金的经济个体面临以下经济问题:

$$\max_{m_i} [u(c_{1i}) + \beta_i E_i c_{2i}], \text{ s.t. } y_i = m_i + c_{1i}, m_i - \tau_i = c_{2i}$$

其中, m_i 为实际的现金持有量。此外,现金的净收益率为零,但使用现金不产生隐私成本。

求解以上问题可得现金的需求方程:

$$u'(y_i - m_i) = \beta_i \tag{2}$$

其中, $m_i = m_i(y_i, \beta_i)$,即现金的实际需求受到劳动禀赋和偏好变量的影响。

根据式(1)和式(2),由于 $u' > 0, u'' < 0$,并且 $R_i > 1$,我们得到: $d_i > m_i$,即引理1。

引理1:央行数字货币的实际持有量大于现金的实际持有量。

此外,央行数字货币的平均收益为 $(R_i d_i - \gamma_i)/d_i$,或者表示为 $R_i - \gamma_i/d_i$ 。很显然,央行数字货币的收益水平随着其实际持有量 d_i 的增加而增加,即引理2。这一结论将在下文的分析中多次使

^① 在模型中,由于通货膨胀率为零,现金的净收益率也为零。

^② 现实中,不同劳动禀赋的经济个体或面临不同的隐私成本,进而可能选择不同数量的央行数字货币。然而,为简化分析,参照 Davoodalhosseini(2022),本文考虑固定的隐私成本。此外,本文研究隐私成本冲击并假设隐私成本为外生变量,这使隐私成本难以内生地取决于经济个体的相关变量(比如劳动禀赋或货币持有量)。

用。除此以外,央行数字货币的利率 R_t 以及持有央行数字货币产生的隐私成本 γ_t 的变化(比如考虑货币政策冲击或隐私成本冲击)也将影响央行数字货币的平均收益。

引理2:央行数字货币的平均收益率是其实际持有量的增函数。

根据式(1)和式(2),我们还可以得到,央行数字货币或者现金的实际持有量是劳动禀赋的增函数,即引理3。

引理3:央行数字货币和现金的持有量随着劳动禀赋的增加而增加。

此外,结合引理2和引理3,我们容易得出,在本文模型中,当经济个体的劳动禀赋大于某个阈值 y_t^* 时,其持有的央行数字货币的平均收益大于现金,经济个体选择持有央行数字货币;当经济个体的劳动禀赋小于阈值 y_t^* 时,其持有的央行数字货币的平均收益小于现金,经济个体则选择持有现金。由此得到定理1。

定理1:在本文模型中存在劳动禀赋的阈值 y_t^* :当经济个体的劳动禀赋大于阈值 y_t^* 时,经济个体将选择持有央行数字货币;当经济个体的劳动禀赋小于阈值 y_t^* 时,经济个体则选择持有现金。

具体地,阈值 y_t^* 满足以下方程:

$$u[y_t^* - d_t(y_t^*, R_t, \beta_t)] + \beta_t E_t[R_t d_t(y_t^*, R_t, \beta_t) - \gamma_t - \tau_t] = u[y_t^* - m_t(y_t^*, \beta_t)] + \beta_t E_t[m_t(y_t^*, \beta_t) - \tau_t] \quad (3)$$

类似于 Andolfatto(2021),我们刻画了央行数字货币和现金共存的经济环境:低劳动禀赋的经济个体持有现金,高劳动禀赋的经济个体持有央行数字货币。在本文模型中,由于劳动禀赋与消费和收入相对应,我们也可以将现金使用的情形理解为“小额交易”,将央行数字货币使用的情形理解为“大额交易”(Davoodalhosseini, 2022)。

接下来,我们可以定义央行数字货币的总需求 D_t 和现金的总需求 M_t :

$$D_t = \int_{y_t^*}^y d_t(y_t, R_t, \beta_t) dy \quad (4)$$

$$M_t = \int_0^{y_t^*} m_t(y_t, \beta_t) dy \quad (5)$$

最后,我们用货币市场的均衡条件来决定物价水平 p_t :

$$(D_t + M_t)p_t = \bar{D} + \bar{M} \quad (6)$$

下面,我们来定义经济的均衡水平。模型的均衡表示为:给定外生变量 R_t, β_t, γ_t 和 $d_t, m_t, y_t^*, D_t, M_t, p_t$ 满足方程(1)~(6)。其中,本文重点关注的是经济个体对央行数字货币和现金的实际需求,即 d_t 和 m_t ,以及二者的总需求,即 D_t 和 M_t 。下文将分析在货币政策冲击 R_t 、偏好冲击 β_t 以及隐私成本冲击 γ_t 下,央行数字货币和现金的需求将如何变动。为简化分析,我们将各类外部冲击刻画为一次性的、可预期的固定变化,并研究各类冲击对央行数字货币和现金的长期经济影响。

三、央行数字货币与现金的对比分析

基于上面构建的理论模型,本节将深入比较央行数字货币和现金。具体地,我们将考虑三类

外部冲击(即货币政策冲击、偏好冲击、隐私成本冲击)对央行数字货币和现金实际持有量的动态影响。

(一)货币政策冲击

首先,我们考虑货币政策冲击对央行数字货币和现金的影响。在此,考虑中央银行增加央行数字货币的利率 R_t 。央行数字货币的发行使中央银行具有新的货币政策工具,即央行数字货币的利率。根据方程(1),我们得出,由于 $u' > 0, u'' < 0$,央行数字货币利率的增加将增加储蓄的收益以及储蓄,并使经济个体持有更多的央行数字货币, d_t 将增加,即引理4。我们可以将此类增加理解为来自集约边际。

引理4:央行数字货币利率的增加将使经济个体持有更多的数字货币。

根据引理2,央行数字货币 d_t 的增加意味着其平均收益的增加。此外,央行数字货币利率 R_t 的增加也将直接增加央行数字货币的平均收益。结合方程(3),央行数字货币平均收益的增加将减小阈值 y_i^* 。也就是说,相对于现金,此时的央行数字货币更具吸引力,这将使更多的经济个体持有央行数字货币。我们将这类增加理解为来自广延边际,即定理2。

定理2:央行数字货币利率 R_t 的增加将减小阈值 y_i^* ,并使更多的经济个体增加对央行数字货币的需求。

在本文模型中,阈值 y_i^* 的变化将直接影响广延边际效用的大小。在此,我们对以上引理提供证明。为简化分析,我们省略时间 t 和预期符号 E 。我们考虑央行数字货币利率增加所带来的影响,即 $R^2 > R^1$ 。我们以 $W^d(y_i^*, R^1) \equiv u[y_i^* - d(y_i^*, R^1, \beta)] + \beta[R^1 d(y_i^*, R^1, \beta) - \gamma - \tau]$ 表示经济个体持有央行数字货币所获得的效用,以 $W^m(y_i^*) \equiv u[y_i^* - m(y_i^*, \beta)] + \beta[m(y_i^*, \beta) - \tau]$ 表示经济个体持有现金所获得的效用。根据方程(3),阈值 y_i^* 应满足:

$$W^d(y_i^*, R^1) = W^m(y_i^*)$$

令:

$$F(R) \equiv W^d(y_i^*, R) - W^m(y_i^*)$$

则有 $F(R^1) = 0$ 。

此外, $F(R)$ 对 R 求偏导可得:

$$\frac{\partial F(R)}{\partial R} = \frac{\partial W^d(y_i^*, R)}{\partial R} = u'[y_i^* - d(R)] \left[-\frac{\partial d(R)}{\partial R} \right] + \beta \left[d(R) + R \frac{\partial d(R)}{\partial R} \right] = \beta d(R) > 0$$

因此,我们可以得出:如果 $R^2 > R^1$,则 $F(R^2) > F(R^1) = 0$ 。也就是说, $W^d(y_i^*, R^2) - W^m(y_i^*) > 0$ 。

在此,我们已知 $R^2 > R^1$,并比较 y_1^* 和 y_2^* 的大小。根据定义, $W^d(y_2^*, R^2) = W^m(y_2^*)$ 。假设 $y_2^* = y_1^*$,由于 $W^d(y_1^*, R^2) - W^m(y_1^*) > 0$,这显然不能满足 $W^d(y_2^*, R^2) = W^m(y_2^*)$,故排除。假设 $y_2^* > y_1^*$,结合定理1的结论,我们有 $W^d(y_2^*, R^1) > W^m(y_2^*)$,即当禀赋大于 y_1^* 时,经济个体将会选择持有央行数字货币。由于 $W^d(y_2^*, R^2) = W^m(y_2^*)$,我们可以得出 $W^d(y_2^*, R^1) > W^d(y_2^*, R^2)$ 。然而,根据 $\frac{\partial F(R)}{\partial R} > 0$,这显然不能成立,我们应有 $W^d(y_2^*, R^2) > W^d(y_2^*, R^1)$,故排除 $y_2^* > y_1^*$ 。因此,阈值需满足 $y_2^* < y_1^*$,证毕。

此外,根据方程(4),结合引理4和定理2,我们可得,央行数字货币利率的增加将增加央行数字货币的实际总需求,即定理3。在本文模型中,一方面,央行数字货币利率的增加使得现有经济

个体持有更多的央行数字货币(集约边际);另一方面,利率的增加以及央行数字货币持有量的增加也提高了央行数字货币的平均收益,这将导致更多的经济个体选择央行数字货币(广延边际)。

定理3:央行数字货币利率的增加将从集约边际和广延边际两个方面增加央行数字货币的实际需求。

接下来,我们考虑货币政策冲击对现金的影响。根据方程(5),很显然,央行数字货币的利率 R_i 并不影响现金的实际需求 m_i 。现金的实际需求 m_i 只取决于劳动禀赋 y_i 和偏好 β_i ,即引理5。

引理5:央行数字货币利率的增加并不影响经济个体的实际现金持有量。

然而,根据定理2,央行数字货币利率 R_i 的增加将减小阈值 y_i^* ,这意味着更少的经济个体将会持有现金。因此,从广延边际上看,央行数字货币利率的增加将减少现金的总需求,即定理4。

定理4:央行数字货币利率的增加从广延边际方面减少现金的实际需求。

(二)偏好冲击

其次,我们分析偏好冲击 β_i 对央行数字货币和现金的影响。在此,考虑 β_i 增加的经济影响。在本模型中,偏好 β_i 的增加意味着经济个体将需要更多年老时期的消费品,更少年轻时期的消费品。因此,在劳动禀赋 y_i 外生给定的情况下,经济个体的储蓄将增加。这意味着经济个体将持有更多的央行数字货币和现金。具体地,根据方程(1)和方程(2),可得偏好 β_i 的增加将增加经济个体的央行数字货币的持有量以及现金的持有量,即引理6。类似于上文分析,这类实际货币持有量的增加来自集约边际。

引理6:偏好变量 β_i 的增加将从集约边际方面增加经济个体对央行数字货币和现金的实际需求。

不同于货币政策冲击对现金的影响,偏好冲击将从集约边际方面直接影响经济个体对现金的实际需求。此外,类似于定理2的结论,由于经济个体对央行数字货币的需求增加,这将增加央行数字货币的收益率并促使更多的经济个体持有央行数字货币。这意味着阈值 y_i^* 下降。因此,从广延边际角度来看,更多的经济个体将持有央行数字货币,更少的经济个体将持有现金,这一结论与货币政策冲击相同,见定理5。

定理5:偏好变量 β_i 的增加将减小阈值 y_i^* ,使更多的经济个体选择央行数字货币。

对定理5的证明类似于定理2。在此考虑偏好变量增加所带来的影响,即有 $\beta^2 > \beta^1$ 。根据方程(3),阈值 y_i^* 应满足:

$$W^d(y_i^*, \beta^1) = W^m(y_i^*)$$

类似于上文,令:

$$F(\beta) \equiv W^d(y_i^*, \beta) - W^m(y_i^*)$$

则有 $F(\beta^1) = 0$ 。

在此,关键在于求出 $\frac{\partial F(\beta)}{\partial \beta}$, $F(\beta)$ 对 β 求偏导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(\beta)}{\partial \beta} &= \frac{\partial W^d(y_i^*, \beta)}{\partial \beta} + \frac{\partial W^m(y_i^*, \beta)}{\partial \beta} = u'[y_i^* - d(\beta)] \left[-\frac{\partial d(\beta)}{\partial \beta} \right] + [Rd(\beta) - \gamma - \tau] + \\ &\beta R \frac{\partial d(\beta)}{\partial \beta} - u'[y_i^* - m(\beta)] \left[-\frac{\partial m(R)}{\partial R} \right] - [m(\beta) - \tau] - \beta \frac{\partial m(R)}{\partial R} = Rd(\beta) - \gamma - m(\beta) \end{aligned}$$

由于在阈值时央行数字货币和现金的收益率相等： $R - \frac{\gamma}{d(\beta)} = 1$ ，即 $Rd(\beta) - \gamma = d(\beta)$ ，并且根据引理 1， $d(\beta) > m(\beta)$ ，因此，我们可以得出 $\frac{\partial F(\beta)}{\partial \beta} > 0$ 。类似于定理 2，在此我们可以采用排除法得出 $y_2^* < y_1^*$ ，证毕。

此外，结合上述分析，我们容易得出偏好冲击对央行数字货币总需求的影响，见定理 6。

定理 6：偏好变量 β_i 的增加将从集约边际和广延边际两个方面增加经济个体对央行数字货币的总需求。

下面，考虑偏好变量 β_i 对现金总需求的影响。偏好变量 β_i 的增加将从集约边际方面增加经济个体对现金的需求。然而，从广延边际方面来看，偏好变量 β_i 的增加使更少的经济个体选择现金。换句话说，偏好 β_i 的增加使经济个体持有更多的现金，但减少了持有现金的经济个体的数量。其作用在集约边际和广延边际两个方面正好相反。因此，我们并不能确定偏好冲击对现金总需求的影响，见定理 7。

定理 7：偏好变量 β_i 的增加将从集约边际方面增加经济个体对现金的需求。但从广延边际方面来看，偏好变量 β_i 的增加使得更少的经济个体选择持有现金。总体来讲，偏好冲击对现金总需求的影响并不确定。

(三) 隐私成本冲击

最后，我们分析隐私成本冲击 γ_i 对央行数字货币和现金的影响。在此，我们考虑隐私成本 γ_i 增加的情况。经济个体的货币需求方程(1)和(2)并不包含隐私成本。因此，在本文模型中，隐私成本的变动并不直接影响经济个体对央行数字货币和现金的实际需求，即引理 7。也就是说，隐私成本的变化并不从集约边际方面影响经济个体的货币需求。

引理 7：隐私成本 γ_i 的增加将不影响经济个体对央行数字货币和现金的实际需求。

然而，我们注意到，央行数字货币的平均收益为 $R_i - \gamma_i/d_i$ 。因此，即使在 d_i 不变的情况下， γ_i 的增加也会减小央行数字货币的平均收益。结合方程(3)，央行数字货币收益的减少将减弱其相对于现金的吸引力。因此，这将导致更多的经济个体选择持有现金，即导致阈值 y_i^* 上升，见定理 8。

定理 8：隐私成本 γ_i 的增加将增加阈值 y_i^* ，并导致更多的经济个体选择持有现金，更少的经济个体选择持有央行数字货币。

对此引理的证明可参见定理 2。我们考虑隐私成本增加所产生的影响，即有 $\gamma^2 > \gamma^1$ 。根据方程(3)，阈值 y_1^* 应满足：

$$W^d(y_1^*, \gamma^1) = W^m(y_1^*)$$

令：

$$F(\gamma) \equiv W^d(y_1^*, \gamma) - W^m(y_1^*)$$

我们有 $F(\gamma^1) = 0$ 。在此， $F(\gamma)$ 对 γ 求偏导可得： $\frac{\partial F(\gamma)}{\partial \gamma} = -\beta < 0$ 。同样地，采用排除法，我们容易得出阈值 y_2^* 需满足 $y_2^* > y_1^*$ ，证毕。不同于定理 2 和定理 5 的结论，隐私成本的增加将增加阈值，并使更多的经济个体选择持有现金。

此外,从广延边际来看,阈值 y_i^* 的上升意味着更少的经济个体选择央行数字货币,更多的经济个体选择现金。这将减少央行数字货币的总需求并增加现金的总需求,即定理9。

定理9:隐私成本 γ_i 的增加将从广延边际方面减少对央行数字货币的总需求并增加对现金的总需求。

四、延伸讨论

为更好地理解本文主题,本文在此提供可供进一步研究的重要方向,这主要包括隐私成本的估算以及定量分析。如何估算央行数字货币的隐私成本是未来一个重要的研究方向。在本文模型中,隐私成本是经济个体权衡使用央行数字货币和现金的重要方面。当隐私成本较小时,更多的经济个体将会选择使用央行数字货币。根据本文定理,隐私成本的变化将直接影响阈值,进而从广延边际方面影响央行数字货币和现金的需求。然而,隐私成本如何估算?参考现有文献(Davoodalhosseini, 2022),我们可以将隐私成本与交易金额或消费数量相联系。比如,我们可以将隐私成本设定为固定比例的交易金额,交易金额越大,隐私成本越高。在此,我们需要使用央行数字货币的实际交易数据。未来该数据的可得性将有利于我们估算央行数字货币的隐私成本。

如何在本文的基础上进行定量分析是未来另一个重要的研究方向。本文的研究为定性分析,主要构建了央行数字货币和现金共存的模型并分析了该模型的动态作用机制。然而,在此基础上的定量分析将有利于我们更好地把握模型机制。比如,如定理7所示,偏好变量增加对现金总需求的影响并不确定。在此,需要我们对集约边际和广延边际两个方面的效用进行量化评估,进而得到偏好变量变化对现金总需求的定量影响。世代交叠模型可以清楚地阐释模型机制但不适用于定量分析。未来我们可以考虑使用新货币主义模型对此问题进行定量分析(Chiu等, 2023)。此外,与上文类似,我们的定量分析仍需使用央行数字货币的实际运行数据。

五、结论与启示

作为中央银行领域的重大创新,央行数字货币的发行与流通将对支付系统和宏观经济产生深远影响。本文通过构建世代交叠模型研究央行数字货币和现金的选择问题。本文模型刻画的基本问题为经济个体对消费和储蓄的选择。在模型中,经济个体具有两种储蓄方式:央行数字货币和现金。央行数字货币“基于账户”的特点反映了其不具备完全的匿名性,在经济个体关注隐私的条件下,本文假设持有央行数字货币将产生隐私成本。然而,央行数字货币“电子货币”的特点使其可以获得大于零的利息收益。经济个体因此在央行数字货币和现金间权衡。在异质性的环境中,部分经济个体选择央行数字货币,部分选择现金,本文也刻画了二者共存的经济环境。

本文进而分析货币政策冲击、偏好冲击以及隐私成本冲击对央行数字货币和现金需求的动态影响。在模型中,外部冲击将从集约边际和广延边际两个维度来影响央行数字货币和现金的需求。本文发现,央行数字货币利率的增加使其更具吸引力,这将增加经济个体对央行数字货币的总需求,减小对现金的总需求。偏好变量的增加使经济个体增加储蓄,这将增加经济个体对央行数字货币的总需求,但其对现金总需求的影响难以确定。隐私成本的增加将增强现金的吸引力,

这将减少央行数字货币的总需求,增加现金的总需求。

根据研究结论,本文提出以下几点政策建议。第一,着力处理好央行数字货币与传统现金的替代与互补关系。第二,在央行数字货币的研发与应用进程中重点关注用户的个人隐私问题。第三,深入研究央行数字货币在货币政策领域的应用。第四,使用央行数字货币时应注意消费者的边际储蓄倾向。第五,关注用户对央行数字货币的需求以及使用央行数字货币的用户总量。

参考文献:

1. 范一飞:《中国法定数字货币的理论依据和架构选择》,《中国金融》2016年第17期。
2. 贾鹏飞:《央行数字货币替代现金的经济影响》,《经济学家》2023年第9期。
3. 贾鹏飞:《央行数字货币与商业银行——兼论央行数字货币与金融脱媒风险》,《数量经济技术经济研究》2024年第3期。
4. 王鹏、边文龙、纪洋:《中国央行数字货币的微观需求与“金融脱媒”风险》,《经济学(季刊)》2022年第11期。
5. 王信:《现金使用率与金融普惠》,《中国金融》2020年第1期。
6. 谢星、张勇、封思贤:《法定数字货币的宏观经济效应研究》,《财贸经济》2020年第10期。
7. 姚前:《共识规则下的货币演化逻辑与法定数字货币的人工智能发行》,《金融研究》2018年第9期。
8. 中国人民银行数字人民币研发工作组:《中国数字人民币的研发进展白皮书》,2021年7月。
9. Andolfatto, D., Assessing the Impact of Central Bank Digital Currency on Private Banks. *Economic Journal*, Vol.131, No.634, 2021, pp.525-540.
10. Auer, R., Cornelli, G., & Frost, J., Rise of the Central Bank Digital Currencies: Drivers, Approaches and Technologies. BIS Working Papers, No.880, 2020.
11. Barrdear, J., & Kumhof, M., The Macroeconomics of Central Bank Issued Digital Currencies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol.142, No.104148, 2022.
12. Boar, C., & Wehrl, A., Ready, Steady, Go?—Results of the Third BIS Survey on Central Bank Digital Currency. BIS Papers, No.114, 2021.
13. Brunnermeier, M., & Niepelt, D., On the Equivalence of Private and Public Money. *Journal of Monetary Economics*, Vol.106, 2019, pp.27-41.
14. Chiu, J., Davoodalhosseini, M., Jiang, J., & Zhu, Y., Bank Market Power and Central Bank Digital Currency: Theory and Quantitative Assessment. *Journal of Political Economy*, Vol.131, No.5, 2023, pp.1213-1248.
15. Choi, J., Jeon, D., & Kim, B., Privacy and Personal Data Collection with Information Externalities. *Journal of Public Economics*, Vol.173, 2019, pp.113-124.
16. Davoodalhosseini, M., Central Bank Digital Currency and Monetary Policy. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol.142, 2022, 104150.
17. Ferrari, M., Mehl, A., & Stracca, L., Central Bank Digital Currency in an Open Economy. *Journal of Monetary Economics*, Vol.127, 2022, pp.54-68.
18. Garratt, R., & van Oordt, M., Privacy as a Public Good: A Case for Electronic Cash. *Journal of Political Economy*, Vol.129, No.7, 2021, pp.2157-2180.
19. Jia, P., Negative Interest Rates on Central Bank Digital Currency. MPRA Paper, No.103828, 2020.
20. Kahn, C., McAndrews, J., & Roberds, W., Money Is Privacy. *International Economic Review*, Vol.46, 2005, pp.377-399.
21. Keister, T., & Sanches, D., Should Central Banks Issue Digital Currency?. *Review of Economic Studies*, Vol.90, No.1, 2023, pp.404-431.
22. Williamson, S., Central Bank Digital Currency: Welfare and Policy Implications. *Journal of Political Economy*, Vol.130, No.11, 2022, pp.2829-2861.

Central Bank Digital Currency or Cash —An Analysis Based on Privacy Concern

JIA Pengfei (Nanjing University, 210093)

Summary: As a major innovation in the history of central banking, Central Bank Digital Currency (CBDC) will have great impact on the payment system and the macroeconomy. In China, CBDC, known as e-CNY, is positioned as M0, and it can have significant substitution effects and complementary effects on cash. Comparing CBDC and cash thus has important policy implications. This paper studies CBDC and cash, through the lens of an overlapping generation model under which, we assume that agents demand privacy. Agents consume and save, and they have two saving vehicles: CBDC and cash. CBDC is not anonymous, and hence carrying CBDC incurs a privacy cost. However, CBDC has the potential of bearing an interest. Cash is anonymous, and using cash can protect the agent's privacy. But the nominal yield for cash is zero. Agents then consider the trade-offs of using CBDC and cash. In the model, agents are heterogenous in terms of their endowment. We show that agents with low endowment choose to use CBDC, whereas agents with high endowment choose to use cash. Thus, in the model, we find that CBDC and cash can co-exist.

We then explore the effects of monetary policy shocks, preference shocks, and privacy cost shocks on the demand for CBDC and cash. In this paper, exogenous shocks affect CBDC and cash through both intensive and extensive margins. The research results show that, the increase in CBDC interest rate makes CBDC more attractive than cash, which in turn leads to an increase in the demand for CBDC while a decrease in that for cash. In addition, as the preference shifter goes up, agents increase their savings. We show that in this case, aggregate demand for CBDC increases whereas that for cash is unclear. Finally, we study the case in which privacy cost increases. We find that as privacy cost goes up, the average return of CBDC falls, and as a result the agents demand more cash and less CBDC.

Our paper makes three contributions to existing literature. First, while existing literature often studies CBDC and bank deposits, this paper focuses on CBDC and cash, and as noted above, comparing CBDC and cash is more relevant in practice. The key is to explore the comparative advantages of using cash. From the perspective of privacy concern, this paper compares CBDC and cash. Second, unlike most previous studies, this paper develops an Overlapping Generation Model (OLG) in studying CBDC. The OLG model provides a heterogeneous environment and thus can be used to study the effects of CBDC on different types of agents. In addition, this paper studies the impact of three exogenous shocks on CBDC and cash. Third, while previous studies have emphasized the role of privacy on economic activities, this paper studies privacy in a model where agents have privacy concerns and compare CBDC and cash.

Based on the research results, this paper provides several policy suggestions. First, central banks should make more efforts to understand the relationship between CBDC and cash. Second, in designing and implementing CBDC, central banks should pay more attention to users' privacy concern. Third, central banks should keep exploring CBDC and monetary policy. Fourth, central banks should pay close attention to the number of users and their demand for CBDC.

Keywords: Central Bank Digital Currency, Cash, Privacy, Overlapping Generation Model

JEL: E32, E41, E50

责任编辑:诗 华