

论基础研究影响经济增长的机制

杨立岩 潘慧峰

摘要: 经济增长理论中,知识外溢模型缺少对基础科学知识的分析。本文将基础研究纳入经济增长框架,描述基础研究影响经济增长的机制,讨论基础研究对长期增长的影响。通过研究得到两点结论:第一,应用技术的增长受基础科学知识的制约,如果没有基础科学知识的增长,经济也不会有长期增长。第二,政府在经济增长中是有所作为的,可以通过政府干预提高长期的经济增长率。

关键词: 基础研究 经济增长 机制

一、引言

到目前为止,大致有两种观点解释了经济长期增长的机制:一种观点认为人力资本投资行为是经济增长的原动力(Robert E. Lucas, 1988);另一种观点认为是知识的外溢效应导致了经济的长期增长(Paul M. Romer, 1990)。本文的论证是对第二种观点的发展。其实,最早的知识外溢模型应该是阿罗(Kenneth J. Arrow, 1962)的“干中学”模型。该模型为了规避资本边际收益递减,假定生产厂商的生产率是整个产业累计总投资的增函数,在此基础上展示了一个能够产生长期经济增长的模型。不过,在阿罗的模型中,知识的积累是人们从事生产的副产品,是一种无意识的结果。罗默在1990年将知识外溢模型向前推进了一大步,指出,经济增长可以为追求利润最大化的经济人进行有意识的R&D活动所驱动。并且指出,由于知识存在正的外部性,政府可以通过补贴R&D活动提高经济增长率。在罗默的基础上,琼斯(Charles L. Jones, 1995)基于实证的考虑提供了一个半内生增长模型,认为仅依赖于技术进步不会出现长期增长,长期增长最终依赖于人口的增长率。由于人口增长率是外生的,所以政府对长期经济增长无所作为。

在罗默的模型中,知识是这样体现在模型中的:一部分研究人员从事R&D活动,生产成果是一些资本设备的新设计方案,这些新设计方案一旦为下游的资本设备生产商所掌握之后,就可以将最终产品转化为新资本设备,这些资本设备可以直接投入生产,而所谓的知识就是设计方案种类的总和。因此,罗默模型中的知识实际上只包括我们通常所说的“应用技术”。但是,众所周知,除了应用技术之外,还存在另外一种知识,即基础科学知识。基础科学知识的生产活动叫做基础研究,应用技术的生产活动叫做应用研究。应用技术可以直接为其他主体所用从事营利性活动,从而市场就能够对其进行定价,市场会为应用研究提供激励。不过,基础科学知识缺少和生产直接联系的通道,从基础科学知识到生产要经过应用技术这一中间环节,缺少对基础科学知识定价的

机制,从而市场不能够为基础研究活动提供足够的激励。纳尔森(R. Nelson, 1959)和阿罗(K. Arrow, 1962)也认为因为两个原因私人不会投资基础科学:“首先,基础研究的成果不大可能在商业上直接可用,因此为什么产业界要投资它呢?其次,基础科学的发现一律变得广为人知,因此为什么企业家要投资竞争者可以获益的发现呢?(用行话说,私人投资者不能‘捕获’他们付出代价的基础研究的全部收益,因此他们不会在其中投资。)”

基础研究主要是为了揭示客观事物的本质、运动规律,不以任何专门或特定的应用或使用为目的。与此相反,应用研究主要针对某一特定的目的或目标。整个科学史表明,如果没有政府的支持,基础科学的发展往往是精英人物满足好奇的愿望所推动的,其增长率取决于一个国家的制度、学术传统和某些精英人物的偏好。基础科学知识是应用技术赖以发展的基础。这可以通过考察科技史得到证明:1687年,英国皇家学会出版了牛顿的伟大著作《自然哲学的数学原理》,提出了机械运动遵守的牛顿力学原理,为第一次工业革命大规模发明和使用机械打下了基础;量子理论和相对论不仅成为近代原子、分子物体和天体物理的基础,成为物理与化学及生物学交叉的重要理论基础,也成为现代核技术、半导体技术、微电子与光电技术发展的重要理论基础;科学技术发展到今天,基础科学知识科学对应用技术的指导作用进一步增强。

本文试图将基础研究纳入经济增长框架,描述基础研究影响经济增长的机制,讨论基础研究对长期增长的影响。通过研究得到两点结论:(1)应用技术的增长受基础科学知识的制约,如果没有基础科学知识的增长,经济也不会有长期增长。(2)政府在经济增长中是有所作为的,可以通过政府干预提高长期的经济增长率。

二、模型

我们讨论一个封闭的、分散的经济。经济中一共存在四个部门:(1)最终产品部门;(2)资本设备生产部门,罗默(Paul

M.Romer,1990) 将之称为生产者耐用用品部门;(3)应用技术部门;(4)基础研究部门。经济中只有一种最终产品,其数量用 Y 表示,由最终产品部门提供。有两种劳动力,一种是非熟练工人,其数量用 L 表示,另一种是研究人员,其数量用 H 表示,并且 L 和 H 是固定的。每一个非熟练工人拥有一个简单型劳动,每一个研究人员拥有一个研究型劳动。假设非熟练工人 L 和研究人员 H 之间不具有可替代性,非熟练工人只能在最终产品部门中从事最终产品 Y 的生产,而研究人员既可以在应用技术部门生产应用技术(其数量用 A_T 来表示),又可以在基础研究部门中生产基础科学知识(其数量用 A_S 来表示),将生产 A_T 和 A_S 的研究人员的数量分别定义为 H_T 和 H_S 。与现实相对应,应用技术、基础科学知识、应用技术研究人员和基础研究人员可以分别用专利数量、学术论文、工程师以及科学家的数量来度量。整个经济体系的运作过程是这样的:在基础研究部门中,一部分研究人员从事基础科学知识的研究;在基础研究部门的生产成果基础上,另一部分研究人员从事应用技术的开发,也就是开发新的资本设备品种,或者说是一种资本设备的设计方案,然后将该设计方案注册为永久性专利;从事应用技术研究的研究人员将其新开发的资本设备设计方案出售给下游的资本设备生产商;资本设备生产商使用购买来的资本设备设计方案生产新的资本设备,然后将新生产出来的资本设备再出租给其下游的最终产品生产商;最终产品生产商使用其租来的新的资本设备,同时雇佣一定量的非熟练工人生产最终产品。下面我们讨论各个部门的生产技术和市场状况。

1. 最终产品部门

最终产品部门的总量生产函数为:

$$Y=L \int_0^{A_T} x_i^{1-\alpha} di \quad (1)$$

其中, $0 < \alpha < 1$ 。 x_i 表示第 i 种资本设备的数量。定义一单位最终产品的价格为 1。假设在最终产品部门存在着一个代表性厂商(representative firm)。那么,该厂商的决策规划为:

$$\max_{x_i} \int_0^{A_T} (L x_i^{1-\alpha} - p_i x_i) di - w_L L \quad (2)$$

其中, p_i 为资本设备 x_i 的租赁价格, w_L 为非熟练工人的工资。该厂商视 p_i 和 w_L 为既定的值。由(2)式的一阶条件得到:

$$p_i = (1-\alpha) L x_i^{-\alpha} \quad (3)$$

(3)式即对 x_i 的反需求函数: $p_i = p_i(x_i)$ 。

2. 资本设备生产部门

在这个部门中,在区间 $[0, A_T]$ 上分布着无数个厂商,每个厂商只生产一种资本设备,且每种资本设备之间两两不同。每个厂商的生产函数是线性的,即: $x_i = Y$ 。这个生产函数需要这样理解:当资本设备生产商的上游部门(应用技术生产部门)生产出一个新的资本设计方案以后,这个新方案被某一个资本设备生产商购得,所花费的支出为固定成本,资本设备生产商一旦购得这个新方案以后,就可以将最终产品以一比一的比例转化为新的资本设备。我们假设在这个生产部门生产函数是可逆的,即掌握资本设备设计方案的资

本设备生产商,既可以以一比一的比例将最终产品转化为资本设备,也可以将资本设备转化为最终产品。当然,在整个社会中,只有购买了资本设计方案的厂商才能够做到这一点。假设所有资本设备的折旧率都为零。这样,如果用 K 表示经济中的资本存量,则 $K = \int_0^{A_T} x_i di$ 。

资本生产商的可变成本是 $r x_i$,其中 r 是实际利率,资本设备生产商视 r 为既定。由(3)式可以看出,资本设备生产商面对的需求函数是向下倾斜的,所以他具有垄断势力(market power)。其生产决策规划为:

$$\max_{x_i} (1-\alpha) L x_i^{1-\alpha} - r x_i \quad (4)$$

(4)式的一阶条件为:

$$(1-\alpha)^2 L x_i^{-\alpha} - r = 0 \quad (5)$$

(5)式的解记为 \bar{x}_i 。从而在每个时点,资本设备生产商的垄断利润为 $\pi_i(t) = (1-\alpha) L \bar{x}_i^{1-\alpha} - r \bar{x}_i$ 。由于有无数个资本设备生产商竞相购买一个资本设备设计方案,所以,垄断租金会完全转化为设计方案价格 $P_{A_T}^i(t)$,即 $P_{A_T}^i(t)$ 等于所有未来时点上的垄断利润的折现价格: $P_{A_T}^i(t) = \int_t^{\infty} e^{-r(s-t)} \pi_i(s) ds$ 。由对称性可知,对于任意的 $i \in [0, A_T], j \in [0, A_T], i \neq j, \bar{x}_i = \bar{x}_j$ 成立,都记为 \bar{x} 。从而, $\pi_i(t) = \pi_j(t), P_{A_T}^i(t) = P_{A_T}^j(t)$,记为 P_{A_T} 和 π 。另外,

$$K = \int_0^{A_T} x_i di = \int_0^{A_T} \bar{x} di = A_T \bar{x} \quad (6)$$

由(6)式,(1)式变为:

$$Y = L \int_0^{A_T} \bar{x}_i^{1-\alpha} di = L \int_0^{A_T} \bar{x}^{1-\alpha} di = L A_T \bar{x}^{1-\alpha} = (A_T L) K^{1-\alpha} \quad (7)$$

由(7)式知,在均衡状态下,生产函数为一劳动扩展型的,即技术进步形式为哈罗德中性。由此性质,可知在在平衡增长路径(Balanced Growth Path, 简称为 BGP) 上,人均消费 c 、资本 K 、最终产出 Y 的增长率都等于技术 A_T 的增长率,即 $g_c = g_k = g_y = g_{A_T}$,其中 g_z 表示变量 z 的增长率。既然 $g_c = g_k = g_y = g_{A_T}$,我们用 g 来表示这个统一的增长率。

3. 应用技术生产部门

罗默(Paul M.Romer,1990)在他的模型中将技术部门的生产函数设为 $\dot{A} = H_A A$,其中, A 表示技术, H_A 表示从事技术开发的科研人员数量, H_A 为一大于 0 的常数。1995 年,琼斯(Charles L.Jones,1995)利用实证数据否定了这一函数设定形式。琼斯指出,罗默的设定隐含着规模效应(scale effect),即如果 H_A 扩大一倍的话, \dot{A}/A 也会随之扩大一倍,但是美国的数据却显示,1950 年到 1987 年间从事 R&D 的科学家或者工程师上升了五倍之多,而技术进步率却只有细微的增长。琼斯将函数形式修正为 $\dot{A} = H_A A$,其中 $0 < h < 1, \alpha < 1$ 。根据琼斯的这一改进,我们将应用技术部门的生产函数设定为:

$$\dot{A}_T = H_T A_T A_S h_T^{-1} \quad (8)$$

其中, $h_T > 0, 0 < \alpha < 1, \alpha < 1, h_T > 0, h_T$ 是一个反映外部性的变量,在均衡时 $h_T = H_T$ 。体现了研究人员的生产率,越大,生产率越高。另外,还具有概率的含义,即投入一定量的研

究人员,未必一定能够生产出新的资本设备设计方案,所以要求 $\theta > 0$ 。 $\theta < 1$ (从而 $\theta - 1 < 0$) 说明由于研究人员重复劳动所带来的生产率的降低。(8)式是一个总量生产方程,为了理解它的经济含义,有必要阐述一下它的微观基础:对于应用技术研究部门中的任意一个研究人员 j 来说,他拥有一个单位的研究型劳动,他将此劳动用于应用技术的生产,生产成果为 A_T^j ,其生产率要依赖于整个部门中的研究人员的数量 h_T ,定义为 $A_T = A_S h_T^{-1}$, h_T 是他所不能够控制的,如果整个部门中的研究人员较大的话,他从事重复劳动的概率比较大,因此要求 $\theta < 1$ 。在这个基础上,总量生产函数就变为

$$\dot{A}_T = \sum_{j=1}^{h_T} \dot{A}_T^j = H_T A_T A_S h_T^{-1}.$$

我们的改进体现在将 A_S 引入应用技术的生产函数之中,以反映基础科学知识对应用技术开发贡献。至于 $\theta > 0$, 则说明,基础科学知识对应用技术的研究有促进效应。注意,(8)式本身就说明基础科学知识存量是在生产函数中免费提供服务的。每个研究人员的工资为 $w_H = P_{A_T} A_T A_S h_T^{-1}$ 。

由(8)式,在BGP上,

$$g = \dot{A}_T / A_T = H_T A_T^{-1} A_S \Rightarrow g_{A_S} = \frac{1}{\theta} g \dots (9)$$

4. 基础研究部门

我们将基础研究部门的生产函数设定为:

$$\dot{A}_S = H_S A_S \dots (10)$$

其中, $\theta > 0$ 。依照琼斯的思路,生产函数似乎应该为这种形式:

$$\dot{A}_S = H_S A_S A_T^\theta \dots (11)$$

其中 $\theta > 0, 0 < \theta < 1$, $\theta < 1$, $\theta > 0$ 。我们这种设定,相当于要求 $\theta = 1$, $\theta = 1$, $\theta = 0$ 。对此,我们做以下几点说明:

(1) 可以证明,无论是做 $0 < \theta < 1$ 的假设,还是做 $\theta = 1$ 的假设,对本文的结论没有实质性影响,我们之所以选择后者,是基于计算方便的考虑。

(2) 我们假设 $\theta = 0$, 相当于认为基础研究和应用技术之间的影响是单向的,即只存在 A_S 影响 A_T 这一个方向,而不存在 A_T 影响 A_S 这一个方向。我们的这种假设是基于培根(F. Bacon, 1605)提出的技术发展线性模式:政府资助的学术研究 纯理论性科学研究 应用科学或技术 经济增长。当然,这一假设改进的可能。不过,在本模型中,如果坚持使用(11)式的形式的话,在BGP上,单独由(8)式和(11)式就可以决定出增长率 g , 并且可以得到,除非 $\theta = 0$, 在其他情况下,经济增长率 g 都会等于零,即没有长远的增长。这与本文的努力方向是不一致的。本文旨在说明,经济的长期增长率是通过基础研究的增长实现的。

(3) 我们之所以假设 $\theta = 1$, 主要是基于以下考虑:基础科学的发展同前代人遗留下来的知识量成比例,在最普通的情况下,基础科学是按照几何级数增长的,也就是说,在没有政府支持的情况下,基础科学知识的增长存在一个自然增长率 a , 即 $\dot{A}_S / A_S = a$ 。将此式移项整理得到:

$$\dot{A}_S = a A_S \dots (12)$$

对比(11)式和(12)式,结合 $\theta = 0$ 、 $\theta = 1$ 和 H_S 有界的假设可知 $\theta = 1$ 。并且对比(10)式和(12)式可知,在没有政府支持的情况下,即基础科学知识的增长呈现一个自然增长率的情况下,会有:

$$H_S = \bar{H}_S = a / \dots (13)$$

\bar{H}_S 的大小完全由少数研究人员的偏好、制度环境、文化背景等因素决定。

这样,经济体系中各个部门之间的关系如图1所示。

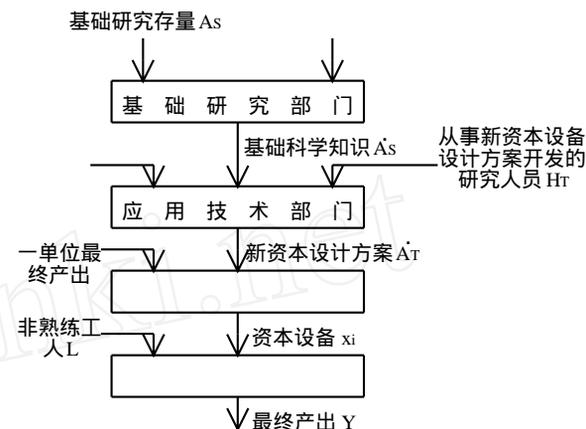


图1

为了完成我们的整个模型,还需要考虑消费情况。我们假设社会中除了 \bar{H}_S 个研究人员的偏好以外,其他 $(H - \bar{H}_S) + L$ 个成员的偏好一致,效用函数设为常用的不变替代弹性形式 $\frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta}$, 其中 $\theta > 0$ 。我们可以认为 \bar{H}_S 个研究人员的偏好基本上与 c 无关,每个时点上只要给与他们一个维持基本生存的消费量 \bar{c} 即可,他们的效用函数可以设为一个常数 \bar{u} , 不受 c 的路径的影响。规划可以写为:

$$\begin{aligned} \max_c \int_0^{\infty} [(H - \bar{H}_S + L) \frac{c^{1-\theta} - 1}{1-\theta} + \bar{H}_S \bar{u}] e^{-\rho t} dt \dots (*) \\ \text{s.t. } \dot{K} = \tau K + w_L L + w_H (H - \bar{H}_S) + A_T - P_{A_T} \dot{A}_T - (H - \bar{H}_S + L) c - \bar{H}_S \bar{c} \end{aligned}$$

其中, ρ 为时间偏好率。对于消费者来说, τ, w_L, w_H, P_{A_T} 都是既定的。通过通常的推导,可以求得 $g = \frac{\rho}{\theta}$ 。

三、经济增长方式:半内生增长还是内生增长?

由(10)式得到 $g_{A_S} = H_S$, 结合(9)式我们得到:

$$g = \frac{\rho}{1-\theta} g_{A_S} = \frac{\rho}{1-\theta} H_S \dots (14)$$

所以,经济增长率 g 完全是由基础科学知识的增长率 g_{A_S} 或者是由投入到基础研究部门的研究人员的数量 H_S 决定的。如果 g_{A_S} 或者 H_S 是外生决定的,则增长模型为半内生增长模型。之所以称作半内生增长模型,原因在于,如琼斯所说,从模型揭示了技术进步的源泉的角度讲,增长是内生的,而从最后的决定因素来看,经济增长率 g 又完全是由外生决定的基础科学知识增长率 a 决定的。如果能够将 H_S 内生化,从而使得 g_{A_S} 内生化,则模型完全变成了内生增长模型,

现实中,能够做到这一点的是政府。下面我们就分两种情况来具体讨论。

1. 半内生增长

如果政府对基础研究部门不加以支持的话,如前文所述,由于基础研究不具有排他性,私人没有激励从事基础研究,所以基础研究的增长完全依赖于自愿献身于科学事业的研究人员的数量的大小,即(13)式中的 \bar{H}_S 。基础科学知识的自然增长率等于自然增长率 a 。由(14)式,这时的经济增长率为:

$$g = \frac{1}{1-\alpha} a = \frac{1}{1-\alpha} \bar{H}_S \quad (15)$$

经济增长率 g 与 a, \bar{H}_S 完全成正比。自愿献身于科学事业的研究人员的数量越多,从而基础科学知识的自然增长率越高,经济增长率也就越高。尤其值得注意的是,如果 $a=0$ 则 $g=0$ (即没有长远增长)。(15)式充分表明所有变量(包括技术在内)的增长率都依赖于基础科学知识的自然增长率。

从(15)式第二个等号还可以看出,技术参数 α 、 β 越大,则经济增长率越高,这也可以得到直观的解释。由(10)式,比较大说明在 \bar{H}_S 一定的前提下,从事基础研究的研究人员的生产率较高,推出新科研成果的概率比较大,从而使基础科学知识的自然增长率较大,从而使得应用技术部门推出新资本设备设计方案的速度加快,带动经济的增长。由于(8)式是 Cobb-Douglas 型生产函数,所以 α 和 β 分别代表基础科学知识和应用技术的产出弹性, α 比较大说明基础科学知识和应用技术在应用技术部门的生产函数中的作用较大,从而一定的基础科学知识增长率会带来更大的应用技术增长率,带动经济的增长。

2. 内生增长

如果政府介入的话,完全有可能将从事基础研究的研究人员的数量 H_S 内生。政府在经济增长中的作为一般可以划分为两种情况,一种情况是将本来由私人做的事转化为由政府来做,另一种情况是对有正外部性的私人行为进行补贴,补贴支出由征税来应对 (Robert J. Barro and Xavier Sala-i-Martin, 1992; Shantayanan Devarajan, Danyang Xie and Heng-fu Zou, 1998)。在我们的模型中,因为从事基础研究的主体是研究人员,不可由政府替代,所以政府只能采取第二种作为。

研究人员 H 可以在应用技术和基础研究两个部门中从事生产。在政府无所作为的情况下,由于基础研究部门不具有排他性,所以追求物质消费的研究人员会全部集中在应用技术部门,而余下的那一部分研究人员对物质消费不那么热衷,他们淡泊功利,从事基础研究给他们带来的满足感在其效用函数中所占权重极大,他们会专心从事基础研究。这种情况下,研究人员 H 在两个部门间的划分比例为 $(H-\bar{H}_S)/\bar{H}_S$ 。这个时候,政府可以通过为基础研究部门研究人员发放工资的方式来进行调节。政府通过对社会成员征收一次总付税 (lumpsum tax) 的方式筹集财政收入,然后将所征集来的税收收入为基础研究部门的研究人员发放工资,工资率等于研究人员在应用技术部门得到的工资率。实际上,这里的工资就是一种补贴,在其他涉及政府行为的经济增长模型中,

被补贴部门的工资率等于补贴前的工资率加上补贴率,由于在我们的模型中,基础研究部门的工资率为零,所以政府所发放的工资实质上就是一种补贴。

在以上的政府干预机制下,政府到底应该设定一个多大的经济增长率目标以及应该如何确定工资路径和税收路径,实质上就相当于解一个社会计划者问题 (Social Planner Problem)。这样,整个规划可以描述成:

$$\max_{c, H_S} \int_0^{\infty} [(H-\bar{H}_S+L) \frac{c^{1-\alpha}}{1-\alpha} + \bar{H}_S u] e^{-\rho t} dt \quad (16)$$

$$s.t. \quad \dot{K} = (A_T L) K^{\beta} - (H-\bar{H}_S+L)c - \bar{H}_S \bar{c} \quad (17)$$

$$\dot{A}_T = (H-\bar{H}_S) A_T A_S \quad (18)$$

$$\dot{A}_S = H_S A_S \quad (19)$$

$$H_S \leq \bar{H}_S \quad (20)$$

(16)式即常见的消费预算约束式,其中的生产函数来源于(7)式。(17)式是将 $H_T+H_S=H$ 的约束代入(8)式得到。(18)式之所以要求 $H_S \leq \bar{H}_S$,是因为政府干预所能够影响的研究人员的范围仅限于其偏好受物质财富影响的群体,即 $H-\bar{H}_S$ 的范围。通过求解得到内生的经济增长率 g^* 和从事基础研究的研究人员 H_S^* 为(求解过程参见附录):

$$g^* = \max \left\{ \frac{1}{1-\alpha} H_S^*, \frac{1}{1-\alpha} \bar{H}_S \right\} \\ = \max \left\{ \frac{H-\bar{H}_S}{(1-\alpha) - (1-\alpha) \frac{1}{1-\alpha}} \frac{1}{1-\alpha} a \right\} \quad (19)$$

$$H_S^* = \max \left\{ \frac{H-\bar{H}_S}{(1-\frac{1}{1-\alpha})}, \bar{H}_S \right\} \quad (20)$$

为了看清楚各个参数对经济增长率的影响,我们假设 $\alpha=1$ 。如果政府干预的结果使得研究人员由应用技术部门向基础研究部门有所转移的话,则经济增长率肯定会高于自然增长率,这时,由(19)式、(20)式得到:

$$H_S^* = H - \bar{H}_S \quad (21)$$

$$g^* = \frac{1}{1-\alpha} H_S^* = \frac{H-\bar{H}_S}{(1-\alpha)} \quad (22)$$

由(21)式、(22)式可以看出,如果 $H-\bar{H}_S$ 、 β 比较大的话,配置在基础研究部门的科研人员会比较多,相应地,经济增长率也会比较高。如果 α 和 β 比较大的话,配置在基础研究部门的人员数量会降低,经济增长率也会降低。技术参数 α 的提高,也会通过应用技术部门的传导使得经济增长率有所提高,不过研究人员在应用技术部门与基础研究部门之间的配置比例不会受到影响。

四、对模型的几点解释

在这一节,我们准备对模型有关的以下几个问题做一下补充说明:第一,模型中有关劳动力的假设问题;第二,政府干预机制下的逆向选择问题;第三,我们模型与罗默模型、琼斯模型之间的关系;第四,有关应用技术与基础科学知识的划分问题。

1. 模型中有关劳动力的假设

在我们的模型中我们假设劳动力划分为两种,一种是只



能从事最终产品生产的非熟练工人,另一种是既能从事应用技术生产又能从事基础科学知识生产的研究人员。并且假定,不但非熟练工人和研究人员的数量固定不变,而且它们之间的划分比例也不变。我们做这样的假定,是出于以下的考虑:第一,最近几年,发达国家的人口停滞不前,有些国家(例如联邦德国)甚至出现人口负增长的现象。在这种情况下,假定劳动力总人数固定不变是可行的。第二,我们可以很方便地通过引入学习成本的概念来解决从非熟练工人向研究人员或者反方向的转化问题。在均衡条件下,两类人员工资之间的差额等于从低工资劳动力向高工资劳动力转化的学习成本。我们在模型中假设非熟练工人和研究人员之间是完全不可替代的,也就是假设从任何一种劳动力向另一种劳动力转化的学习成本都为无穷大。不过引入学习成本的概念之后,只会使得分析更为复杂,而不影响结论。

2. 政府干预下的逆向选择

在我们的模型中,政府可以通过为科研人员发放工资的方式吸引更多的研究人员向基础研究部门转移,以提高基础科学知识的增长率,带动经济的增长。在经济增长率的推导过程中,我们假设政府干预并没有使得基础研究部门中的技术参数发生变化,这实际上就是假设政府能够准确地识别研究人员生产出来的基础科学知识的质量优劣。而这是不现实的。实际上,政府干预可能会产生逆向选择问题。因为,基础科学知识不同于其他产品,人们没有办法对基础科学知识进行准确的计量。这里的计量包括定性与定量两个方面,主要是定性方面。定量可以通过论文数目、试验规模来大致地估定,但是如果人们没有办法对两篇论文或者两个实验的质量进行比较科学地比较的话,就会出现一些滥竽充数、粗制滥造的情况,也即逆向选择问题。这实际上暗示了一点很重要的政策建议——政府要想通过资助基础研究的方式来带动增长的话,一定要建立一套科学的基础科学知识评价体系。

3. 与罗默模型、琼斯模型之间的关系

我们的模型基本上采用了罗默的框架。在罗默的模型中,假设经济中存在三个部门,即我们模型中的最终产品部门、资本设备部门和应用技术部门。不过,罗默模型中的应用技术部门生产函数的设定与我们不同,罗默假定 $\alpha=1$,也正是这一假定,才使得罗默的模型能够解释长远的经济增长,并且经济增长率依赖于应用技术进步率。在我们的模型中,我们放弃了 $\alpha=1$ 的假设, $\alpha<1$ 假定,引入了基础研究部门,并且得到了经济增长率(包括技术进步率在内)都依赖于基础科学知识增长率的结论。

如果我们假定基础科学知识进步率等于零的话,基础科学知识 A_S 将会保持为一个常数。由(8)式,将 A_S 合并到参数 β 中去,定义一个新参数 $\beta = A_S$,则应用技术部门生产函数将变为 $\dot{A}_T = H_T A_T h_T^{-1}$ 的形式。如果我们再令 H_T 保持一个 n 的增长率的话,我们的模型就完全转化为琼斯的模型。不过,基于本节中第一小节分析,我们假定 H_T 保持不

变,如果想产生长远增长的话,只有令基础研究部门的增长率为正而不是零才行。也就是说,在基础科学知识保持自然增长率的情况下,我们模型中的基础科学知识增长率担当了和琼斯模型中人口增长率相同的角色。

4. 有关应用技术与基础科学知识的划分

在现代社会中,应用技术与基础科学知识之间的关系远非我们假设的那样简单。有许多应用技术行业(例如新材料),为了开发新的应用技术,必须率先突破基础科学知识瓶颈,这个时候,基础科学知识就和应用技术变得捆绑在一起了,率先成功开发所需基础科学知识的主体往往也是率先推出新的应用技术的主体,从而使得应用技术的价格转变为基础科学知识和应用技术的一揽子价格,这个时候市场也就可以定价基础科学知识了,不再需要政府的支持。换句话说,许多应用技术的开发变得越来越依赖于前沿基础科学知识的发展,所以基础科学知识的研发有被应用技术部门(尤其是高新技术部门)内部化的趋势。在现实中,许多科研机构(例如美国的贝尔实验室)同时开发基础科学知识和应用技术也可以作为佐证。所以,准确地说,在我们的模型中,不应该将知识从性质上简单地划分为基础科学与应用技术两类,应该从提供机制上划分为可以由市场提供激励的知识与不可以由市场提供激励的知识,只不过后者与绝大多数的基础科学知识相对应罢了。

还有一点值得指出的是,如果我们将封闭经济拓展到开放经济的话,根据我们模型的结论,似乎所有国家的经济增长率都是一样的,因为基础科学知识可以为所有国家免费地学到。这与现实情况不符。这一点可以通过研究人员的异质性(heterogeneity)在我们的模型中得到解决。也就是说,每个国家的研究人员的素质是不同的,既从事基础研究又从事应用技术开发国家的研究人员素质往往会高于只从事应用技术开发国家的研究人员的素质,体现在应用技术生产部门的生产函数中就是前者的技术参数 β 比较大,从而由(22)式得出,其经济增长率也就比较高。这可以解释现实中的美日赶超问题。第二次世界大战后,日本一直把应用技术视为发展经济的“原动力”,以空前规模开展“技术革新”,在技术上直赶美国。但它的基础研究仍比较薄弱,远不及欧美,在技术上有很大的对外依赖性。应用技术往往采取模仿创新的战略,这种战略一度使日本在20世纪80年代呈现赶超美国的态势。但因为,日本不重视基础研究,即不重视 A_S 的生产, A_S 的停滞制约了 A_T 的长远增长,因此日本在新一轮信息技术革命竞争中被美欧远远地甩在了后面。这标志着日本的模仿创新战略的破产,即只专注于应用技术的开发而忽略基础科学的研究将会导致没有长远增长。相比而言,美国既重视应用技术也比较重视基础研究,政府每年对基础研究的投入经费约占全国研究总经费的27%,承担了基础研究经费的57%,这是美国的基础科学领域在世界上居绝对领先水平的重要原因,巨大基础科学知识的存量及增长保证了应用技术的增长,从而带动了经济的长远增长。

五、结论

罗默虽然通过知识的外溢效应解释了经济的长期增长机制,但是罗默提到的知识实际上只包括我们通常所说的“应用技术”,没有将基础科学知识包括在内。基础科学与应用技术有很大的不同,应用技术可以通过向资本设备生产商收取专利费的方式为开发者提供补偿,而基础科学知识只有先转化为应用技术以后才能够应用于生产,并且基础科学知识存量是作为一种外部环境的形式进入应用技术部门的生产函数的,市场缺少对基础科学知识定价的机制,没有给基础研究人员提供适当的补偿,从而市场不能够为基础研究活动提供足够的激励。这时,就需要政府出面来支持基础科学知识的增长。我们将基础科学知识引入了经济增长的框架之中,描述了基础研究影响经济长期增长路径的机制,得到了以下两点结论:第一,应用技术的增长受基础科学知识的制约,如果没有基础科学知识的增长,经济也不会有长期增长;第二,政府在经济增长中是有所作为的,可以通过政府干预提高长期的经济增长率。

扶持基础研究的政策含义发生了很大的变化,其目的由简单地纠正市场失灵转变为保证经济的长期增长。

但是,我们模型将基础科学与应用技术之间的关系理解为单向关系,有失偏颇。实际上,不仅基础科学知识对应用技术有所影响,应用技术对基础科学知识也有影响,例如,新电脑软件的开发使得一些在基础研究领域中的必要复杂计算成为可能,以类似资本方式推动基础研究的进展,另外,应用技术也为基础研究提出了一些新课题,使得基础科学的发展速度加快。因此,考虑基础科学与应用技术之间的双向互动关系是我们模型的主要拓展方向。

附录:

求解内生的经济增长率与从事基础研究的研究人员数量。

写出正文中规划(1)的当前值汉密尔顿函数(the current-valued Hamiltonian):

$$H = [(H - \bar{H}_S + L) \frac{c^{1-\alpha} - 1}{1-\alpha} + \bar{H}_S] + \mu_1 [(A_T L) K^{1-\alpha} - (H - \bar{H}_S + L) c] + \mu_2 [(H - H_S) A_T A_S] + \mu_3 (H_S A_S)$$

一阶条件为:

$$\frac{\partial H}{\partial c} = 0 \Rightarrow c^{-\alpha} = \mu_1 \quad (A1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial H_S} = 0 \Rightarrow \mu_2 (H - H_S)^{-1} A_T A_S = \mu_3 A_S \quad (A2)$$

$$\dot{\mu}_1 = \mu_1 - \mu_1 (1 - \alpha) A_T L K^{-\alpha} \quad (A3)$$

$$\dot{\mu}_2 = \mu_2 - \mu_1 A_T^{-1} L K^{-\alpha} - \mu_2 (H - H_S) A_T^{-1} A_S \quad (A4)$$

$$\dot{\mu}_3 = \mu_3 - \mu_2 (H - H_S) A_T A_S^{-1} - \mu_3 H_S \quad (A5)$$

定义在BGP上 μ_1 、 μ_2 和 μ_3 的增长率分别为 g_1 、 g_2 和 g_3 。

由(A1)式,

$$g_1 = -\alpha g^* \quad (A6)$$

由(A4)式 $\dot{\mu}_2/\mu_2 = -\mu_1/\mu_2 A_T^{-1} L K^{-\alpha} - (H - H_S) A_T^{-1} A_S$, 由于在BGP上 $\dot{\mu}_2/\mu_2 = g_2$ 为常数,且由(9)式得知 $(H - H_S) A_T^{-1} A_S$ 为常数,所以 $\mu_1/\mu_2 A_T^{-1} L K^{-\alpha}$ 为常数。由于 $g_{A_T} = g_k = g^*$,所以,

$$g_1 = g_2 \quad (A7)$$

由(A2)和(9)式得到:

$$g_3 = g_2 + (1 - \alpha) g^* \quad (A8)$$

(A8)式结合(A6)式、(A7)式得到:

$$g_3 = (1 - \alpha) g^* \quad (A9)$$

由(A5)式,

$$\dot{\mu}_3/\mu_3 = -\mu_2/\mu_3 (H - H_S) A_T A_S^{-1} - H_S \quad (A10)$$

由(A2)式得知 $\mu_2/\mu_3 (H - H_S) A_T A_S^{-1} = \alpha / (H - H_S)$,代入(A10)式得到:

$$g_3 = -\alpha / (H - H_S) - H_S \quad (A11)$$

结合(A9)式,有:

$$(1 - \alpha) g^* = -\alpha / (H - H_S) - H_S \quad (A12)$$

结合(9)式,由(10)式得到:

$$\alpha g^* = H_S \quad (A13)$$

联合(A12)式和(A13)式,即可解到正文中(19)式和(20)式。

注释:

转引自[英]特伦斯·基莱(Terence Kealey):《科学研究的经济定律》,中文版,368~369,9页,石家庄,河北科学技术出版社,2002。

在经济学中,代表性个体假设是指这样一种情况:市场中只有一个主体,该主体按照完全竞争模式做决策,是所有相关价格的价格接受者。

在经济增长理论中,BGP具有这样的性质:状态变量(state variable)、控制变量(control variable)和共态变量(co-state variable)的增长率以及实际利率都为常数。稳态(steady state)是BGP的一个特例,不过,这时所有相关变量的增长率都为零(也是一个常数)。

本文中, \dot{z} 表示变量 z 对时间 t 的导数。

可以证明,当 $\alpha=1$ 时,效用函数将退化为对数形式,即 $u(c) = \ln(c)$ 。

参考文献:

1. Arrow, Kenneth J., 1962. The Economic Implications of Learning by Doing, *Review of Economic Studies* 29: 155-173.
2. Barro, Robert J. and Sala-i-Martin, Xavier, 1992. Public Finance in Model of Economic Growth, *Review of Economic Studies* 59: 645-661.
3. Devarajan Shantayanan, Xie Danyang, Zou Heng-fu, 1998. Should Public Capital Be Subsidized or Provided?, *Journal of Monetary Economics* 41: 319-331.
4. Jones, Charles I., 1995. R&D-Based Model of Economic Growth, *Journal of Political Economy* 103: 759-784.
5. Lucas, Robert E., Jr., 1988. On the Mechanics of Economic Development, *Journal of Monetary Economics* 22: 3-42.
6. Romer, Paul M., 1990. Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy* 98: S71-S102.
7. [英]特伦斯·基莱(Terence Kealey):《科学研究的经济定律》,中文版,石家庄,河北科学技术出版社,2002。

(作者单位:清华大学经济管理学院 北京 100084
(责任编辑: N)