

Does R&D investment drive employment growth? ——Empirical evidence at industry level from Japan

论文复现

小组成员：黄瑞，陈潼欣，李严婧

0. 主要工作

我们主要对原文中的第四部分（结果）部分进行了复现。主要复现了各种回归模型及其结果，由于 Python 语言底层算法的区别，因此部分结果如 R^2 等有部分差别；此外，也有部分系数存在细微的误差（比如 0.001 数量级）。但是大部分回归系数/标准误均一致。在图表展示过程中，如果我们有进行图表的复现，我们会先展示原文的图表，之后再展示我们复现的结果。

1. 简介

日本正经历着全球最快的人口老龄化，出生率下降和寿命延长导致劳动力市场不断萎缩，这对经济增长构成了严峻挑战。在这种情况下，技术创新被看作是解决问题的关键。通过提升技术资本，可以提高生产效率，弥补劳动力不足，保持经济的稳定发展。

尽管技术创新普遍被认为是经济增长的引擎，但也存在争议。有人认为，数字化和智能化的“第四次工业革命”可能威胁到某些职业，尤其是那些重复性高的工作，可能会导致就业减少。然而，这种观点在学术界并没有达成共识。许多国际研究显示，技术创新对经济增长和就业的影响因国家而异，比如在意大利、挪威、瑞典等国家，创新与经济增长是正相关的，而在西班牙可能是负相关的。对于日本来说，目前关于技术创新对就业影响的研究还比较少。

通过分析 2002 年到 2017 年间日本的研发支出数据，评估技术创新对就业的影响。研究以研发支出作为衡量创新能力的指标，并探讨了不同产业以及不同职业类型中创新的不同影响。为了全面评估创新的作用，研究引入了三种研发支出指标：总研发支出、自筹研发资金和外部研发资金，以确保结果的可靠性。

2. 分析和计量经济框架

技术性失业这一观点认为，技术进步会直接导致失业。这种理论强调，技术创新（特别是节省劳动的创新）使得生产效率提高，从而减少对劳动力的需求，进而造成就业的流失。与之相对的是补偿理论，即尽管技术创新可能会导致失业，但其负面效应可以通过间接的效应，如收入的增加和价格的变化，得到补偿。补偿理论认为，技术进步带来的生产效率提升不仅能够刺激市场需求的增加，还能够创造新的就业机会，从而缓解失业问题。

补偿效应的具体表现可以通过新生产机器的引入来解释。虽然新机器能够减少生产同样数量的产品所需的劳动力，但它也带来了两个方面的好处。首先，机器的制造需要时

间，而这些机器往往是逐步投入使用的，这为政府提供了支持失业工人的时间。其次，生产这些机器本身需要大量的劳动力，这可能在资本密集型的行业创造新的就业机会，帮助那些因技术进步而失业的工人找到新工作。

最后，为了分析技术创新对就业的直接影响，文中提到使用静态劳动需求模型，这是基于新古典经济学的理论假设，即假定市场是完全竞争的。在这种模型下，假设公司通过常数弹性替代生产函数（CES）来最大化利润。

$$Y = A[(\alpha L)^\lambda + (\beta K)^\lambda]^{\frac{1}{1-\lambda}}$$

其中，技术进步 A 影响生产效率和劳动的有效性。公式中的 α 和 β 是系数，分别衡量技术进步对劳动力和资本的贡献。这些系数反映了劳动力和资本在技术变化下的收益率。 λ 的范围被限制在 0 到 1 之间（ $0 < \lambda < 1$ ），它描述了劳动力和资本的替代弹性。

利润最大化问题中推导出劳动力需求函数：

$$l = y - \delta w + (1 - \delta) \ln(\alpha),$$

其中 l 为劳动力需求（以对数形式表示）， y 表示产出（以对数形式表示）。 $w = \ln(W/P)$ 为真实工资（真实工资是名义工资 W 除以产出价格 P 的对数）， δ 为一个参数，取决于资本与劳动力之间的替代弹性 $1/(1-\lambda)$ 。 $\ln(\alpha)$ 是技术效率相关的参数，体现技术对劳动力需求的影响。

下面定义扩展劳动力需求函数，将其表达为随机形式，并纳入了创新和控制变量：

$$l_{it} = \gamma + \beta_y y_{it} + \beta_w w_{it} + \beta_{inn} inn_{it} + X'_{it} \beta + u_{it}$$

其中， i 与 t 分别衡量行业和时间。 γ 为整体截距项，表示模型的总体水平。 y 表示真实收入， w 为真实工资 inn 为衡量创新的指标。 X' 是控制变量矩阵，用于控制其他可能影响就业的因素（如行业特性、政策、技术变化等）。 u_{it} 为随机误差项，表示未被解释的就业波动。误差项被定义为：

$$u_{it} = \mu_i + v_{it}$$

前一项表示无法观察到的、随时间不变的个体特征，后一项是误差项的剩余部分，包含随时间变化的随机成分。

模型假设所有行业的数据是汇总到一个数据集中的，因此假设各行业间是同质的，可以忽略行业 i 的下标。这种情况下，模型可以被看作一个标准的多元线性回归模型，并通过普通最小二乘法进行估计。然而，这是一种非常严格的假设，需要通过检验来验证这种同质性是否成立。

为了放宽这一假设，可以允许截面（行业）之间存在异质性。此时，模型允许固定效应与随机效应。本文中将按照以下步骤进行分析。首先，进行“可合并性”检验，以检验所有个体效应的联合不显著性。零假设为：所有个体效应均为零，备选假设为个体效应显著。通过 F 检验 评估所有单个效应的总体重要性。在零假设成立的情况下，适用的模型为 $POLS$ 模型，其中所有公司被视为同质。如果拒绝零假设，则表明固定效应模型更适合数据。如果固定效应模型有效，我们进一步通过豪斯曼检验 检查随机效应模型是否相对

于固定效应模型有效。也就是说，本文将估计三种模型：POLS、FE 和 RE 模型。此外，还会考虑数据中的横截面依赖性问题。为此，使用一系列检验方法，包括 CD 检验，LM 检验，以及 Pesaran（2004）提出的缩放 LM 检验和 CD 检验，以检查行业之间是否存在横截面依赖性。

3. 数据和方法

3.1 背景与样本概览

本研究所使用的数据来源于“日本研发调查”。数据涵盖了 2002 年至 2017 年间 33 个中等层级行业的企业。由于数据可用性的限制，我们仅关注中等层级行业，因为行业的更详细分类数据仅每五年通过《人口普查》公布一次。

3.2 变量和计量经济学策略

本研究与其他使用总就业作为因变量的研究不同，专注于从事研发活动的企业。通过这种方法，可以限制技术进步投资对特定技术行业企业失业率的影响，减少数据中的噪声。此外，企业在所有研发投资领域中占比最高，其他调查领域包括非营利机构、公共组织以及高校和大学。研发（R&D）包括一个参考年度内与新产品和服务设计及开发相关的所有费用，这些费用反映各行业的实际新增研发投入，排除了之前投资的折旧和摊销。

创新被定义为将新产品或大幅改进的产品推向市场，或者引入新技术或大幅改进的生产方法。已有研究表明产品创新与研发支出密切相关（Parisi et al., 2006）。因此，本研究将研发支出作为产品创新的近似值，并在全文中交替使用“创新”和“研发支出”这两个术语。本研究使用了三种衡量创新的变量：（1）企业内部研发总支出；（2）企业自筹研发支出，包括企业支付给公共机构、私立大学、海外机构和非营利机构的资金；（3）企业从外部获得的研发资金，包括公共组织和其他公司的资助。主要的技术代理变量是企业内部研发总支出，用于揭示就业与创新之间的关系。

就业水平由价格和生产水平决定。在本研究中，我们使用人均 GDP 和通货膨胀率作为产出和价格的代理变量。GDP 和通胀数据分别来源于日本国民账户和圣路易斯联邦储备银行（2019 年）。GDP 增长与就业变化正相关，即 GDP 增加会降低失业率。为了控制可能影响就业水平的宏观经济因素，本研究还纳入了总固定资本形成占 GDP 的比例

（*gfcfg*）和人口增长率（*popg*）。总固定资本形成是国内投资的重要组成部分，因此我们预计其与就业之间存在正相关关系。此外，根据传统菲利普斯曲线，我们预期通货膨胀与就业水平存在正相关关系。

我们在第二阶段分析中引入了一些具体的供给侧控制变量。我们研究了行业内员工的性别分布，纳入了男性工人总比例。此外，我们考虑了日本的老龄化问题和劳动人口特征，将全国平均年龄纳入计量模型中。相关性别和年龄数据来源于日本劳动力调查。

尽管本研究在计量分析中考虑了多个关键就业决定因素，但必须指出可能存在其他被忽略的变量，这些变量对日本的就业趋势有重要影响。由于数据限制，某些变量（如高等教育水平的变量）未能纳入模型。这些不可观察的特征可能与研发支出和就业创造相关，从而导致我们的估计值存在偏差。该模型由以下等式给出：

$$emp_{it} = \alpha_i + \beta_1 rnd_{it} + \beta_2 gdp_{it} + \beta_3 inf_{it} + \beta_4 pop_{it} + \beta_5 gfcfg_{it} + \beta_6 male_{it} + \beta_7 age_{it} + \beta_8 agesq_{it} + \beta_9 rnd * male_{it} + u_{it}$$

emp 表示企业 i 在年份 t 的就业水平； rnd 代表研发支出（作为创新的代理变量）； gdp 是 GDP 增长率； inf 是通货膨胀率； pop 表示人口增长率； $gfcfg$ 是占 GDP 比例的总固定资本形成（作为投资的预测变量）； $male$ 是一个哑变量，用于捕捉性别对就业的影响； age 是劳动力的平均年龄。

3.3 数据统计特性

下表提供了用于模型的解释变量和控制变量的主要统计特性摘要。为了减少数据的偏态性，就业水平和资本水平的度量被转化为自然对数形式。同时，宏观经济变量和供给侧控制变量以百分比形式呈现。

| Variable | Mean | SD | Min | Max |
|----------------|--------|-------|---------|---------|
| <i>emp</i> | 4.584 | 1.226 | 1.163 | 6.790 |
| <i>rnd_exp</i> | 11.537 | 1.916 | 5.704 | 14.935 |
| <i>rnd_rf</i> | 8.674 | 2.235 | 0.000 | 13.545 |
| <i>rnd_sf</i> | 11.659 | 1.793 | 5.992 | 15.206 |
| <i>gdp</i> | 0.906 | 1.644 | −3.400 | 3.300 |
| <i>inf</i> | 0.129 | 0.927 | −1.353 | 2.762 |
| <i>pop</i> | −0.029 | 0.119 | −0.189 | 0.163 |
| <i>gfcfg</i> | 0.001 | 4.274 | −13.096 | 5.620 |
| <i>male</i> | 69.897 | 8.423 | 44.643 | 100.000 |
| <i>age</i> | 48.699 | 1.576 | 47.029 | 52.247 |

下表报告了模型中所有变量的相关系数。结果显示，各种用于衡量技术投资的创新指标之间存在正向且显著的统计相关性，这并不意外。因此，在回归分析中，这些创新变量被逐一分别纳入不同的回归模型，以避免多重共线性的问题。

| Variable | <i>rnd_exp</i> | <i>rnd_sf</i> | <i>rnd_rf</i> | <i>gdp</i> | <i>inf</i> | <i>pop</i> | <i>gfcfg</i> | <i>male</i> | <i>age</i> |
|----------------|----------------|---------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|------------|
| <i>rnd_exp</i> | 1.00 | | | | | | | | |
| <i>rnd_sf</i> | 0.96 | 1.00 | | | | | | | |
| <i>rnd_rf</i> | 0.71 | 0.60 | 1.00 | | | | | | |
| <i>gdp</i> | 0.001 | 0.01 | 0.001 | 1.00 | | | | | |
| <i>inf</i> | 0.01 | 0.02 | −0.02 | −0.26 | 1.00 | | | | |
| <i>pop</i> | −0.01 | −0.02 | 0.03 | 0.01 | −0.34 | 1.00 | | | |
| <i>gfcfg</i> | 0.004 | −0.009 | 0.009 | 0.003 | 0.27 | 0.51 | 1.00 | | |
| <i>male</i> | −0.09 | −0.05 | 0.03 | −0.01 | 0.05 | −0.11 | −0.10 | 1.00 | |
| <i>age</i> | 0.01 | 0.02 | −0.04 | 0.07 | 0.36 | −0.82 | −0.25 | 0.09 | 1.00 |

此外，研究发现 年龄与人口增长率和通货膨胀率等之间存在显著的关系。然而，这些关系并未引起关于解释变量之间相关性的重大担忧，即变量间的相关性水平不足以对回归模型的可靠性构成威胁。

4 结果

4.1 研发对就业的总体影响

本部分分析了研发投资对就业的总体影响，并展示了模型的回归结果。表 1 和表 2 分别呈现了两种模型的结果，一种是仅包含宏观经济因素的模型，另一种在此基础上扩展了供给侧因素。为了确保结果的稳健性和一致性，研究使用了三种不同的技术创新衡量指标，并采用了合并 OLS、固定效应和随机效应模型进行估计。

结果显示，所有三种创新变量对就业均有显著的正向影响，表明研发投资与就业增长之间存在紧密联系。具体而言，企业内部研发支出对就业的影响在合并模型中更为显著，而在固定效应和随机效应模型中略低。根据随机效应模型，企业内部研发支出每增加 1%，就业水平平均提高 0.35%。自筹研发支出对就业的影响与此类似，达到 0.36%。相比之下，由外部组织和机构资助的研发活动对就业的影响较小，仅为 0.02%，并且统计显著性较低。这表明企业可能利用外部研发资金主要用于改进生产流程，而非开发新产品，因此不会直接带来就业增长。

通过表 1 可以知道：在宏观经济因素方面，GDP 增长与企业内部研发支出模型中的劳动力需求呈正相关，但在其他模型中不显著。固定资本形成在 GDP 中的比例增加，显著提升了从事创新活动企业的就业水平。人口增长与就业需求在所有模型中均呈现出显著的正相关，而通货膨胀则与就业水平呈负相关。

通过表 2 可以知道：在加入供给侧变量后，对就业的影响变化较小，对关键系数几乎没有影响。行业中男性员工的比例和年龄分布对就业的作用不显著，研发支出对就业的影响也与行业平均性别构成无关。交互项的统计结果显示，性别并未对研发投资的就业影响产生显著作用。这说明性别不是推动就业增长的关键因素。研究建议，日本政府和政策制定者应进一步支持女性参与研发活动，因为性别差异并未限制研发的就业效应，但女性参与的不足可能限制了就业增长的潜力。

原文中表格为（其中，表 1 为带有宏观经济因素的模型，表 2 为加入供给侧变量的模型）：

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| <i>rnd_exp</i> | 0.494*** | 0.321*** | 0.346*** | | |
| <i>rnd_rf</i> | | | | 0.022* | |
| <i>rnd_sf</i> | | | | | 0.356*** |
| <i>gdp_g</i> | 0.004 | 0.002 | 0.003 | −0.004 | 0.002 |
| <i>inf</i> | −0.018** | −0.019** | −0.018** | −0.020** | −0.020*** |
| <i>pop_g</i> | 0.167 | 0.252** | 0.240** | 0.305*** | 0.343*** |
| <i>gfcfg</i> | 0.041*** | 0.044*** | 0.043*** | 0.049*** | 0.039*** |
| Constant | −2.087*** | −0.151 | −0.421 | 8.630*** | −0.455*** |
| <i>R</i> ² | 0.60 | 0.96 | 0.55 | 0.09 | 0.61 |
| <i>F</i> -test | 157.92*** | 364.22*** | 50.04*** | 9.35*** | 45.23*** |
| Hausman test | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| LR test | 620.24*** | | | | |
| Breusch_Pagan LM | | | 748.06*** | | 850.27*** |
| Pesaran LM | | | 6.77*** | | 9.91*** |
| Pesaran CD | | | 5.67*** | | 4.77*** |
| Observations | 528 | 528 | 528 | 479 | 513 |

TABLE 1 Relationship between employment and R&D expenditure: Models with macroeconomic variables

Note: (***), (**) and (*) refer to the 1%, 5% and 10% significance levels, respectively. 1: Pooled regression, 2: Fixed-effects regression, 3: Random-effects regression, 4: Random-effects regression when R&D received is used to approximate innovation, 5: Random-effects regression when self-financed R&D is employed to approximate innovation.

TABLE 2 Relationship between employment and R&D expenditure: Extended models

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| <i>rnd_exp</i> | 0.497*** | 0.321*** | 0.344*** | | | 0.515*** |
| <i>rnd_rf</i> | | | | 0.025* | | |
| <i>rnd_sf</i> | | | | | 0.357*** | |
| <i>gdp_g</i> | 0.004 | 0.001 | 0.002 | −0.003 | 0.001 | 0.0001 |
| <i>inf</i> | −0.017** | −0.019** | −0.019** | −0.020** | −0.019*** | −0.018 |
| <i>pop_g</i> | 0.186 | 0.325** | 0.306** | 0.360*** | 0.332*** | 0.281* |
| <i>gfcfg</i> | 0.037*** | 0.040*** | 0.039*** | 0.045*** | 0.037*** | 0.036** |
| <i>male</i> | −0.006** | −0.004 | −0.004 | −0.003 | −0.004 | 0.016 |
| <i>age</i> | 0.003 | −0.008 | 0.007 | 0.011 | −0.001 | 0.006 |
| <i>rnd_exp * male</i> | | | | | | −0.002 |
| Constant | −1.777*** | −0.114*** | −0.362*** | 2.950*** | −0.153 | −1.855 |
| <i>R</i> ² | 0.60 | 0.97 | 0.55 | 0.09 | 0.61 | 0.55 |
| <i>F</i> -test | 113.03*** | 345.42*** | 35.85*** | 6.73*** | 32.20*** | 32.88*** |
| Hausman test | | 0.000 | | | | |
| LR test | 648.71*** | | | | | |
| Breusch_Pagan LM | 752.54*** | | | | 864.04*** | 786.56*** |
| Pesaran LM | 6.91*** | | | | 10.34*** | 7.96*** |
| Pesaran CD | 5.29*** | | | | 4.68*** | 5.14*** |
| Observations | 528 | 528 | 528 | 479 | 513 | 528 |

Note: (***), (**) and (*) refer to the 1%, 5% and 10% significance levels, respectively. 1: Pooled regression, 2: Fixed-effects regression, 3: Random-effects regression, 4: Random-effects regression when R&D received is used to approximate innovation, 5: Random-effects regression when self-financed R&D is employed to approximate innovation and 6: Random-effects regression including the interaction term '*rnd_exp*male*'.

我们对表 1 和表 2 进行了复现（可以发现表 1、表 2 的复现版本与原文几乎所有的数字都是一样的，即使有差别也在 0.01 数量级上）：

| | pooled | fe | re | re_rd_receive | re_rd_self |
|-------------------|----------|----------|----------|---------------|------------|
| rd_exp | 0.495*** | 0.321*** | 0.343*** | | |
| rd_receive | | | | 0.023* | |
| rd_self | | | | | 0.351*** |
| gdp_g | 0.004 | 0.002 | 0.003 | -0.002 | 0.001 |
| inf | -0.018 | -0.018 | -0.018 | -0.019 | -0.020 |
| pop_g | 0.167 | 0.252** | 0.241** | 0.251** | 0.344*** |
| GFCF_GDP | 0.041 | 0.044*** | 0.044*** | 0.049*** | 0.040*** |
| Constant | -2.087* | -0.151 | -0.390 | 3.260*** | -0.397 |
| R_squared | 0.6 | 0.97 | 0.56 | 0.04 | 0.63 |

（表 1）

| | pooled | fe | re | re_rd_receive | re_rd_self | re_interaction |
|---------------------|----------|----------|----------|---------------|------------|----------------|
| rd_exp | 0.497*** | 0.321*** | 0.341*** | | | 0.521*** |
| rd_receive | | | | 0.025* | | |
| rd_self | | | | | 0.350*** | |
| gdp_g | 0.004 | 0.001 | 0.002 | -0.003 | 0.001 | 0.001 |
| inf | -0.017 | -0.019 | -0.019 | -0.020 | -0.019 | -0.018 |
| pop_g | 0.186 | 0.325* | 0.309* | 0.360** | 0.335** | 0.283* |
| GFCF_GDP | 0.037 | 0.040*** | 0.039*** | 0.046*** | 0.037*** | 0.036** |
| male | -0.005 | -0.004 | -0.004 | -0.003 | -0.003 | 0.017 |
| age | 0.003 | 0.008 | 0.007 | 0.011 | 0.000 | 0.007 |
| rd_exp: male | | | | | | -0.002 |
| Constant | -1.777 | -0.114 | -0.322 | 2.950*** | -0.092 | -1.893 |
| R_squared | 0.6 | 0.97 | 0.56 | 0.04 | 0.62 | 0.56 |

（表 2）

4.2 主要行业研发支出对就业的影响

总体而言，研发支出对就业的影响在制造业中比在非制造业中更为显著（见表 3、表 4）。具体而言，制造业中企业内部研发支出增加 10% 会使就业增长 4% 至 4.2%，而在非制造业中，这一增幅为 2.7% 至 3.4%。外部研发资金对就业的影响在制造业中是显著的，而在非制造业中没有影响。这表明技术进步在制造业中能更快地创造就业，可能是因为制造企业将更多的研发资本用于产品创新，从而增加了对劳动力的需求，而非制造业则更多地集中于流程改进。

经济增长对制造业就业的影响表现为负相关。即便在 2008-2009 年全球经济危机期间，日本依然在技术发展上投入了较高比例的 GDP，因此从事大量研发活动的企业的就业水平出现上升趋势，而不依赖于 GDP 的变化。相比之下，经济增长对非制造业企业的就业没有显著影响。通货膨胀率与就业之间的负相关关系在非制造业中更为显著，高通胀

率伴随着就业的下降。国内投资对就业的促进作用在非制造业中更为明显，而人口增长则显著推动了制造业中的就业扩张。

性别分布对就业的影响在制造业中呈显著负相关，尽管影响较小，但在企业内部研发支出的模型中更为显著。这表明性别因素对研发对就业的影响有限，特别是在日本这样一个男性主导的社会中，男性通常受到家庭责任和生育选择的影响较小，劳动参与率更稳定。年龄作为经验的代理变量显示出就业水平的边际递减效应，这在制造业中尤为明显。年龄的二次项为负，且 U 型检验的结果支持年龄与就业之间的倒 U 型关系，这与经济理论和经验研究一致。

研究还尝试在模型中加入研发支出与性别比例的交互项，但发现这一项在统计上不显著。这表明，研发投资对就业的总体影响并不依赖于行业的性别构成，无论是在中等例行性程序占比的行业还是在制造业和非制造业中，性别均未显著改变研发对就业的作用。

原文图表为（表 3 为制造业部分的模型，表 4 位非制造业部分的模型）：

TABLE 3 Relationship between employment and R&D expenditure: Manufacturing sector

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| <i>rnd_exp</i> | 0.404*** | | | 0.418*** | | |
| <i>rnd_rf</i> | | 0.102*** | | | 0.104*** | |
| <i>rnd_sf</i> | | | 0.402*** | | | 0.417*** |
| <i>gdpg</i> | −0.0004 | −0.004 | 0.0003 | −0.006** | −0.009*** | −0.006** |
| <i>inf</i> | −0.016 | −0.015 | −0.017 | −0.018* | −0.016 | −0.019* |
| <i>popg</i> | 0.293*** | 0.254*** | 0.314*** | 0.280*** | 0.348*** | 0.272*** |
| <i>gfcfg</i> | 0.026*** | 0.032*** | 0.025*** | −0.001 | 0.015 | −0.001 |
| <i>male</i> | | | | −0.067*** | −0.036** | −0.069*** |
| <i>age</i> | | | | 1.758*** | 0.782 | 1.821*** |
| <i>agesq</i> | | | | −0.017*** | −0.008 | −0.018*** |
| <i>Constant</i> | −0.604 | 3.399*** | −0.597 | −39.858*** | −13.733 | −41.248 |
| <i>R²</i> | 0.70 | 0.25 | 0.70 | 0.71 | 0.25 | 0.71 |
| <i>F-test</i> | 24.82*** | 12.92*** | 24.96*** | 18.28*** | 9.76*** | 18.30*** |
| <i>Hausman test</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| <i>LR test</i> | 303.01*** | | | 306.89*** | | |
| <i>Breusch_Pagan LM</i> | 136.98*** | 242.09*** | 245.10*** | 255.77*** | 231.65*** | 256.65*** |
| <i>Pesaran LM</i> | 3.57*** | 3.84*** | 4.01*** | 4.58*** | 3.28*** | 4.63*** |
| <i>Pesaran CD</i> | 0.57 | 0.68 | 2.82*** | 2.38** | 0.52 | 2.20** |
| <i>U test</i> | | | | 0.09* | 0.30 | 0.07* |
| <i>Observations</i> | 304 | 302 | 304 | 304 | 302 | 304 |

Note: (***), (**) and (*) refer to the 1%, 5% and 10% significance levels, respectively. All models are estimated using the random-effects approach. Models 1 to 3 include macroeconomic variables, while regressions 4 to 6 contain both macroeconomic and supply-side variables. Regressions 1 and 4 use R&D spending to approximate innovation, while models 2 & 5 use R&D received and models 3 & 6 use self-financed R&D for the same purpose. U-Test tests the null of monotone or U-shape against the alternative of inverse U-shape.

TABLE 4 Relationship between employment and R&D expenditure: Non-manufacturing sector

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>rnd_exp</i> | 0.273*** | | | 0.336*** | | |
| <i>rnd_rf</i> | | -0.004 | | | -0.006 | |
| <i>rnd_sf</i> | | | 0.304*** | | | 0.304*** |
| <i>gdp_g</i> | 0.008 | -0.002 | -0.013 | -0.002 | -0.002 | -0.008 |
| <i>inf</i> | -0.054** | -0.050*** | -0.068*** | -0.038 | -0.048*** | -0.053** |
| <i>pop_g</i> | 0.021 | 0.015 | 0.018 | 0.027 | 0.023 | 0.021 |
| <i>gfcfg</i> | 0.089*** | 0.100*** | 0.092*** | 0.057*** | 0.095*** | 0.087*** |
| <i>male</i> | | | | -0.034*** | 0.017** | 0.008 |
| <i>age</i> | | | | -0.024 | -0.079* | -0.069*** |
| <i>agesq</i> | | | | 0.0001 | 0.001 | 0.205 |
| Constant | -0.369*** | 1.718*** | -1.255* | 2.994*** | 2.739* | -2.861 |
| <i>R</i> ² | 0.29 | 0.10 | 0.38 | 0.34 | 0.11 | 0.38 |
| <i>F</i> -test | 16.96*** | 1.153 | 14.21*** | 14.87*** | 2.87** | 10.09*** |
| Hausman test | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| LR test | 249.16*** | | | 277.68*** | | |
| Breusch-Pagan LM | 136.90*** | | 118.36*** | 144.20*** | | 121.67*** |
| Pesaran LM | 3.40*** | | 2.03** | 3.94*** | | 2.27*** |
| Pesaran CD | 1.53 | | 0.593 | 1.54 | | 0.75 |
| <i>U</i> test | | | | 0.00*** | 0.45 | 0.34 |
| Observations | 210 | 177 | 200 | 208 | 175 | 198 |

Note: (***), (**) and (*) refer to the 1%, 5% and 10% significance levels, respectively. Non-manufacturing sectors include the agriculture and service sectors. All models are estimated using the random-effects approach. Models 1 to 3 include macroeconomic variables, while regressions 4 to 6 contain both macroeconomic and supply-side variables. Models 1 & 4 use R&D spending to approximate innovation, while models 2 & 5 adopt R&D received, and regressions 3 & 6 use self-financed R&D for the same purpose.

我们对表 3 和表 4 进行了复现：

| | re1 | re2 | re3 | re4 | re5 | re6 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| rd_exp | 0.388*** | | 0.389*** | | | |
| rd_receive | | 0.101*** | | 0.101*** | | |
| rd_self | | | 0.387*** | | 0.390*** | |
| gdp_g | 0.000 | -0.004 | 0.000 | -0.006 | -0.009 | -0.006 |
| inf | -0.016 | -0.015 | -0.017 | -0.018 | -0.016 | -0.018 |
| pop_g | 0.295*** | 0.254** | 0.315*** | 0.294* | 0.352** | 0.286 |
| GFCF_GDP | 0.026** | 0.032** | 0.025** | 0.002 | 0.015 | 0.002 |
| male | | | | -0.064** | -0.035 | -0.066** |
| age | | | | 1.675* | 0.779 | 1.738* |
| agesq | | | | -0.017* | -0.008 | -0.017* |
| Constant | -0.399 | 3.413*** | -0.402 | -37.694* | -13.671 | -39.112* |
| R_squared | 0.7 | 0.25 | 0.71 | 0.7 | 0.25 | 0.71 |

(表 3)

| | re1 | re2 | re3 | re4 | re5 | re6 |
|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| rd_exp | 0.328*** | | | 0.362*** | | |
| rd_receive | | -0.004 | | | -0.014 | |
| rd_self | | | 0.328*** | | | 0.313*** |
| gdp_g | 0.010 | 0.004 | -0.009 | -0.001 | -0.004 | -0.008 |
| inf | -0.025 | -0.017 | -0.038 | -0.014 | -0.012 | -0.015 |
| pop_g | 0.029 | 0.017 | 0.021 | 0.031 | 0.027 | 0.027 |
| GFCF_GDP | 0.001** | -0.000 | -0.000 | 0.000 | -0.000 | -0.000 |
| male | | | | -0.038*** | 0.006 | 0.000 |
| age | | | | -0.020 | -0.086 | 0.083 |
| agesq | | | | -0.000 | 0.001 | -0.001 |
| Constant | 1.013** | 4.108*** | 0.703 | 4.399** | 6.476*** | -0.281 |
| R_squared | 0.06 | 0.04 | 0.48 | 0.13 | 0.07 | 0.45 |

（表 4）

4.3 不同强度水平的研发支出对就业的影响

例行性强度高的行业更容易经历替代效应，即技术可能取代劳动力，从而导致就业减少。例行性强度衡量了任务重复完成的难易程度，机器通过编程代码完成这些任务的可能性较高。通过将行业按照例行性强度进行分类，研究对比了不同行业的就业趋势，分析了技术进步如何影响各行业的劳动力需求，尤其是在中等和高例行性强度行业中。

结果显示，创新对就业的影响在高例行性强度行业中更为显著。例如，食品、饮料与烟草、运输与电信以及化工行业的企业如果将内部研发支出提高 10%，就业预计增加 3.9%。相比之下，中等例行性强度行业企业的就业增幅为 2.9%-3.0%。这表明，基于高例行性技能的行业中，技术进步和创新与就业增长显著相关。

自筹研发支出和外部研发资金这两种创新衡量指标在两类行业中同样对就业产生积极影响。自筹研发支出对中等例行性强度行业的影响略高于对低技能比例较高行业的影响。

宏观经济变量对就业的影响因行业例行性强度而异。经济增长对高例行性强度行业的就业增长有显著的正面影响，但对中等例行性强度行业的影响却是边际上的负相关。此外，通货膨胀与就业的负相关关系在中等例行性行业中更为显著。这种情况可能反映了日本经济近年来的结构性问题，包括增长缓慢和长期停滞。国内投资（gfcfg）在两类行业中对就业创造具有显著的正面影响，而人口增长同样推动了就业水平的上升。

在中等例行性强度行业中，性别分布和员工平均年龄对就业的影响不显著。而在高例行性强度行业中，性别对就业的影响更为显著。这表明，在高例行性任务占比高的行业中，研发支出对就业创造的影响在男性员工比例较高的企业中更为突出。

原文中的图表为（表 5 为中等例行性强度行业的模型，表 6 为高例行性强度行业的模型）：

TABLE 5 Relationship between employment and R&D expenditure: Medium routine-intensity level

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>rnd_exp</i> | 0.298*** | | | 0.292*** | | |
| <i>rnd_rf</i> | | 0.036* | | | 0.036* | |
| <i>rnd_sf</i> | | | 0.442*** | | | 0.437*** |
| <i>gdp_g</i> | −0.002 | −0.005 | −0.006 | −0.003 | −0.006 | −0.006* |
| <i>inf</i> | −0.030*** | −0.030 | −0.034*** | −0.030** | −0.031* | −0.034** |
| <i>pop_g</i> | 0.114 | 0.185 | 0.173** | 0.192* | 0.252 | 0.201** |
| <i>gfcfg</i> | 0.059*** | 0.060*** | 0.046*** | 0.054*** | 0.055*** | 0.042*** |
| <i>male</i> | | | | −0.004 | −0.005 | −0.005 |
| <i>age</i> | | | | 0.009 | −0.009 | 0.005 |
| <i>Constant</i> | −0.198*** | 3.012*** | −1.606*** | −0.156*** | 3.045*** | −1.330** |
| <i>R</i> ² | 0.56 | 0.12 | 0.72 | 0.55 | 0.13 | 0.72 |
| <i>F</i> -test | 18.82*** | 6.74*** | 28.06*** | 13.67*** | 5.05*** | 19.61*** |
| <i>Hausman test</i> | 0.000 | | | 0.000 | | |
| <i>LR test</i> | 284.74*** | | | 314.56*** | | |
| <i>Breusch_Pagan LM</i> | 183.91*** | 165.29*** | 170.72*** | 188.90*** | 170.30*** | 179.50*** |
| <i>Pesaran LM</i> | 4.13*** | 2.92*** | 3.27*** | 4.45*** | 3.25*** | 3.84*** |
| <i>Pesaran CD</i> | 1.53 | 0.71 | 1.31 | 1.55 | 0.76 | 1.34 |
| <i>Observations</i> | 256 | 241 | 251 | 256 | 241 | 251 |

Note: (***), (**) and (*) refer to the 1%, 5% and 10% significance levels, respectively. All models are estimated using the random-effects approach. Models 1 to 3 include macroeconomic variables, while regressions 4 to 6 contain both macroeconomic and supply-side variables. Regressions 1 and 4 use R&D spending to approximate innovation, while models 2 & 5 adopt R&D received and regressions 3 & 6 use self-financed R&D for the same purpose.

TABLE 6 Relationship between employment and R&D expenditure: High routine-intensity level

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <i>rnd_exp</i> | 0.387*** | | | 0.390*** | | | 1.384*** |
| <i>rnd_rf</i> | | 0.054** | | | 0.053** | | |
| <i>rnd_sf</i> | | | 0.415*** | | | 0.427*** | |
| <i>gdp_g</i> | 0.017** | 0.014** | 0.019*** | 0.021** | 0.016** | 0.024*** | 0.021** |
| <i>inf</i> | -0.012 | -0.008 | -0.018 | -0.020 | -0.023 | -0.029** | -0.022 |
| <i>pop_g</i> | 0.3664 | 0.325 | 0.397* | 0.397 | 0.516* | 0.327 | 0.350 |
| <i>gfcfg</i> | 0.030*** | 0.050*** | 0.043*** | 0.056* | 0.073*** | 0.073*** | 0.057** |
| <i>male</i> | | | | 0.032*** | 0.035 | 0.040** | 0.187*** |
| <i>age</i> | | | | -0.013 | 0.009 | 0.014 | -0.011 |
| <i>rnd_exp * male</i> | | | | | | | 0.013** |
| Constant | -0.614 | 3.035* | -1.282*** | -2.943 | -0.429*** | -4.324*** | -14.637*** |
| R ² | 0.66 | 0.09 | 0.66 | 0.68 | 0.10 | 0.69 | 0.72 |
| F-test | 20.57*** | 3.44*** | 20.57*** | 23.14*** | 2.73** | 16.13*** | 20.72*** |
| Hausman test | 0.000 | | | 0.000 | | | |
| LR test | 211.77*** | | | 197.59*** | | | |
| Breusch_Pagan LM | 131.08*** | 144.90*** | 143.04*** | 119.18*** | 130.06*** | 128.37*** | 127.35 |
| Pesaran LM | 5.66*** | 6.87*** | 6.71*** | 4.63*** | 6.58*** | 5.43*** | 5.34 |
| Pesaran CD | 4.46*** | 3.45*** | 3.02*** | 5.59*** | 4.36*** | 5.98*** | 5.09 |
| Observations | 192 | 174 | 187 | 192 | 174 | 187 | 192 |

Note: (***), (**) and (*) refer to the 1%, 5% and 10% significance levels, respectively. All models are estimated using the random-effects approach. Models 1 to 3 include macroeconomic variables, while regressions 4 to 6 contain both macroeconomic and supply-side variables. Models 1, 4, & 7 use R&D spending to approximate innovation, while models 2 & 5 use R&D received, and models 3 and 6 use self-financed R&D for the same purpose. Regression 7 also includes the interaction term '*rnd_exp*male*'.

我们对表 5 和表 6 进行了复现：

| | re1 | re2 | re3 | re4 | re5 | re6 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| rd_exp | 0.268*** | | 0.253*** | | | |
| rd_receive | | 0.035** | | 0.032* | | |
| rd_self | | | 0.421*** | | 0.406*** | |
| gdp_g | -0.002 | -0.005 | -0.005 | -0.003 | -0.006 | -0.006 |
| inf | -0.030* | -0.030 | -0.034** | -0.030* | -0.031 | -0.033** |
| pop_g | 0.132 | 0.190 | 0.179 | 0.216 | 0.265 | 0.212 |
| GFCF_GDP | 0.060*** | 0.059*** | 0.047*** | 0.055*** | 0.054*** | 0.044*** |
| male | | | | -0.004 | -0.004 | -0.005 |
| age | | | | 0.009 | 0.009 | 0.005 |
| Constant | 0.145 | 3.036*** | -1.373** | 0.287 | 3.076*** | -1.014 |
| R_squared | 0.52 | 0.08 | 0.72 | 0.51 | 0.08 | 0.71 |

(表 5)

| | re1 | re2 | re3 | re4 | re5 | re6 | re7 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| rd_exp | 0.377*** | | | 0.371*** | | | 1.193** |
| rd_receive | | 0.054** | | | 0.051* | | |
| rd_self | | | 0.404*** | | | 0.403*** | |
| gdp_g | 0.017 | 0.014 | 0.019 | 0.021 | 0.016 | 0.023* | 0.021 |
| inf | -0.012 | -0.008 | -0.018 | -0.020 | -0.024 | -0.029 | -0.022 |
| pop_g | 0.486** | 0.325 | 0.400* | 0.418 | 0.517 | 0.349 | 0.377 |
| GFCF_GDP | 0.030 | 0.050* | 0.043* | 0.056* | 0.074** | 0.073** | 0.057* |
| male | | | | 0.032 | 0.036 | 0.039* | 0.160* |
| age | | | | -0.012 | 0.009 | -0.013 | -0.011 |
| rnd_exp_x_male | | | | | | | -0.011 |
| Constant | -0.510 | 3.035*** | -1.158 | -2.716 | -0.494 | -4.063* | -12.372* |
| R_squared | 0.67 | 0.11 | 0.68 | 0.68 | 0.08 | 0.7 | 0.71 |

（表 6）

5. 总结

首先，从模型设定的视角来看，这篇论文采用了随机效应模型，并对结果进行了多模型对比。课程中提到，随机效应模型适用于当个体（如行业或企业）被视为总体中的随机抽样时，同时需要满足误差项与解释变量无关的假设。论文通过 Hausman 检验验证了随机效应模型相对于固定效应模型的有效性，表明随机效应模型在效率和一致性上具有优势。这与课程中关于模型选择的理论相契合。其次，论文通过引入研发支出作为主要解释变量，探索创新对就业的影响。研发支出被进一步分为内部研发支出、自筹研发支出和外部研发资金。这种变量细分方式符合课程中关于变量代理问题的讨论，即选择合适的代理变量可以更准确地反映理论中的抽象概念，如“创新”。此外，论文通过对不同行业例行性强度的分类，进一步考察了研发支出与就业之间的异质性关系。这种分组分析对应于课程中的分组回归分析，通过对例行性强度不同的行业单独建模，可以揭示变量之间关系的差异性，从而深化对异质性问题的理解。再次，在宏观经济变量的引入上，论文包含了 GDP 增长率、通货膨胀率、人口增长率和固定资本形成等控制变量。这些变量的选择体现了课程中关于多元回归分析的理论，即通过加入适当的控制变量可以减少遗漏变量偏差，提升估计结果的可靠性。最后，在研究局限性方面，论文指出由于数据限制，无法完全控制一些关键变量。这提醒我们在复现论文时，可以尝试通过课程中所学的工具变量法（IV）或面板数据固定效应法，控制内生性问题。

6. 小组分工

小组分工为：三人商量决定选题，之后黄瑞、陈潼欣负责代码复现，李严婧负责报告撰写与 PPT 制作；之后，复现代码的同学再检查报告与 PPT 中的结果部分；三人均确认检查之后完成这份小组作业。