

Decision Analysis of Environmental Comprehensive Governance Based on Partial Least Squares Regression —Take Japan as an Example

Zhengyang Cao¹, Yixuan Wang², Aling Song¹, Haifeng Liu^{1*}

¹Basic Department of Army University of Engineering, PLA, Nanjing Jiangsu

²College of Computer and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan

Email: *hfliu1962@sina.com

Received: Nov. 22nd, 2019; accepted: Dec. 9th, 2019; published: Dec. 16th, 2019

Abstract

The study of the relationship between economic development and environmental governance is of great theoretical significance and practical need. This paper studies the linear relationship between regional economic development, industrial pollution and environmental protection investment based on partial least squares regression statistical method, so as to explore the starting point and focus of regional environmental comprehensive management. The empirical analysis and model fitting of the relevant data from 2004 to 2018 in Japan show that the cumulative contribution rate of the three principal components extracted based on partial least square regression is 85.6%. In recent ten years, industrial sewage has no significant impact on the economic development of Japan, but the total investment in environmental protection and material recycling investment is significantly positively correlated with the economic development of Japan. Combined with the experience of environmental protection in Japan, it provides a theoretical basis for the formulation of regional comprehensive environmental governance policy in China.

Keywords

Environmental Protection Investment, Economic Development, Industrial Sewage Discharge, Partial Least Squares Regression, Environmental Governance

基于偏最小二乘回归的环境综合治理决策分析——以日本为例

曹正洋¹, 王一璇², 宋阿羚¹, 刘海峰^{1*}

*通讯作者。

¹解放军陆军工程大学基础部, 江苏 南京

²电子科技大学计算机科学与工程学院, 四川 成都

Email: *hfliu1962@sina.com

收稿日期: 2019年11月22日; 录用日期: 2019年12月9日; 发布日期: 2019年12月16日

摘要

经济发展与环境治理的关系研究具有重要的理论意义与现实需求。本文基于偏最小二乘回归统计方法对区域经济发展、工业污染及环保投资间的线性关系进行研究, 以探索区域环境综合治理的着手点及侧重点。对日本2004~2018年的相关数据进行实证分析与模型拟合验证结果表明: 基于偏最小二乘回归法提取的3个主成分累计贡献率达到85.6%。近十多年工业排污对日本的经济没有显著影响, 而环保投资总额及物资循环投资与日本的经济显著正相关。结合日本的环保经验为我国区域综合环境治理政策拟定参考提供理论依据。

关键词

环保投资, 经济发展, 工业排污, 偏最小二乘回归, 环境治理

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

环境污染是每个走上工业发展之路上国家都必须面对的“世界难题”。许多靠工业革命起家的发达国家, 都曾出现过严重的环境污染公害事件。20世纪40年代美国洛杉矶光化学烟雾事件、50年代英国伦敦烟雾事件以及60年代日本四日市爆发的哮喘事件都是工业污染严重威胁人类生存环境的“前车之鉴”。20世纪60年代日本经济曾以每年近10%的增速飞速增长, 日本经济增长的“黄金期”也正是日本环境遭受污染最严重的时期。同期日本全国受大气污染公害人数高达18万人。而如今的日本, 经过数十年坚持不懈科学地环境治理, 已成为世界上环保大国中的典范代表。环境治理问题研究已成为学者关注的重点内容。

Hemamala Hettige [1], Ekins P. [2]等研究表明工业水排污在国民产出中所占的份额遵循库兹涅茨曲线轨迹。我国学者符森等[3]在省际经济发展数据和工业三废面板数据的研究中使用非参数估计的方法证实经济发展和环境的污染符合库兹涅茨曲线。

Euston & Liam [4]利用新加坡的相关数据研究表明经济发展与环保投资存在正相关的关系。而 Poul Schou [5]通过内生性增长模型的构建认为二者既可存在负相关亦可存在正相关。叶丽娟[6]以我国2003~2008年的数据进行回归分析和因素分析, 认为环保投资对经济增长的产出弹性与环保投资存在显著的区域差异。但总体看来, 多数的相关研究表明环保投资对经济发展有促进作用。邵海清[7]采用灰色关联法计算两者间的相关度, 证实环保投资对经济增长有促进作用。孙红梅等[8]选取2003~2013年我国30个省市的经济转型与环保投资数据构建面板向量自回归模型, 得到环保投资与经济发展是相互促

进的结论。

大部分关于环保投资与工业排污关系研究中所得出结论较为一致,即环保投资对工业排污有正向作用,但存在地区差异性。周涛[9]在其研究中运用传统多元回归方法对我国 30 个省 2001~2010 年的相关数据进行回归分析,得出环保投资正向作用于工业排污的结论。张平淡等[10]对我国 2005~2009 年 30 个地区的相关数据,采用对数平均的迪氏分解法(LMDI)进行检验,结果发现环保投资对工业排污具有显著正向影响。

目前大部分的相关研究都是针对区域经济发展、工业排污及环保投资三个方面中的两两之间相互关系的。其中以经济发展和环保投资关系和经济发展与工业排污关系的研究居多。本文则是将区域内经济发展、工业排污和环保投资三者结合起来研究。就前人研究及相关统计数据看来,这三者之间往往存在一定的内生性,是相互影响的。因此将三者放在一起研究所得到的模型会更加贴合实际情况,也更有利于后续为政策制定建议提供更切合实际的数据支撑。

2. 多元回归方法的综合评价模型构建

多元线性回归法是经典的对变量之间相关性进行定量分析的统计方法。采用传统的输入法进行回归分析会出现多重共线性现象导致伪回归。为消除多重共线性带来的影响,国内外许多学者做了大量的研究,偏最小二乘回归法[11][12]被认为是消除多重共线性的有效方法。对于偏最小二乘回归法, M. El Jabri 和 M.-P. Sanchez [13]的研究表明,其预测效果和模型结果精准度均优于贝叶斯网络。

对于偏最小二乘回归方法而言,偏最小二乘回归不会剔除任何自变量,因此可以看到每一个自变量与因变量的关系系数,往往用于对外的预测效果更优[14][15]。

2.1. 基于偏最小二乘回归的区域经济综合评价模型构建

偏最小二乘回归法是通过将预测变量及观测变量分别通过投影的方式,投影到一个新的空间中去寻找线性回归模型。由于其成分之间相互正交,因此可以在一定程度上消除多重共线性。偏最小二乘回归法的本质是依照协方差极大化的准则,分解自变量数据矩阵 X 同时也分解因变量数据矩阵 Y , 最终建立解释隐变量与反映隐变量之间的回归方程式。

偏最小二乘回归法用于查找两个矩阵 X 和 Y 的基本关系。偏最小二乘回归模型会尝试找寻到 X 空间的多维方向来解释 Y 空间中方差最大的多维方向。偏最小二乘回归更适用于于预测矩阵比观测矩阵变量更多的数据或 X 的值中多重共线性较明显的情况。

为了实现偏最小二乘回归的基本思想,要求 t_1 和 u_1 的协方差最大,即求解:

$$\begin{aligned} \max \{Cov(t_1, u_1)\} &= \max \langle E_0 w_1, F_0 c_1 \rangle \\ \text{s.t.} &\begin{cases} w_1^T w_1 = 1 \\ c_1^T c_1 = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

利用拉格朗日乘法求出 w_1 和 c_1 满足:

$$\begin{aligned} E_0^T F_0 F_0^T E_0 w_1 &= \theta_1^2 w_1 \\ E_0^T F_0 F_0^T E_0 w_1 &= \theta_1^2 w_1 \end{aligned}$$

其中, E_0 、 F_0 分别为 X 与 Y 的标准化数据, w_1 是 $E_0^T F_0 F_0^T E_0$ 的单位特征向量, θ_1^2 是对应的特征值,同时也是目标函数值的平方, c_1 是 $F_0^T E_0 E_0^T F_0$ 最大特征值 θ_1^2 的单位特征向量。先求出 w_1 和 c_1 即可求得成分 t_1 和 u_1 , 然后分别求得 E_0 和 F_0 对 t_1 的回归方程:

$$E_0 = t_1 p_1^T + E_1$$

$$F_0 = t_1 r_1^T + F_1$$

回归系数向量为:

$$p_1 = \frac{E_0^T t_1}{\|t_1\|^2}, \quad r_1 = \frac{F_0^T t_1}{\|t_1\|^2}$$

其中, E_1 , F_1 为回归方程的残差矩阵。

用残差矩阵 E_1 , F_1 取代 E_0 和 F_0 , 求出 w_2 和 c_2 以及第二个主成分 t_2 , u_2 有:

$$t_2 = E_1 w_2, \quad u_2 = F_1 c_2$$

建立回归方程:

$$E_1 = t_2 p_2^T + E_2, \quad F_1 = t_2 r_2^T + F_2$$

回归系数为:

$$p_2 = \frac{E_1^T t_2}{\|t_2\|^2}, \quad r_2 = \frac{F_1^T t_2}{\|t_2\|^2}$$

如此计算得到:

$$F_0 = t_1 r_1^T + \cdots + t_A r_A^T + F_A = E_0 \left[\sum_{j=1}^A w_j^* r_j^T \right] + F_A$$

其中 $w_j^* = \prod_{i=1}^{j-1} (I - w_i p_i^T) w_j$, 则 $\sum_{j=1}^A w_j^* r_j^T$ 是偏最小二乘回归系数向量, A 为 X 的秩。

3. 经济发展、环保投资以及工业污染之关系评估——以日本为例

3.1. 数据来源及处理

本文用于衡量日本经济发展、环保投资以及工业污染的 18 项指标数据, 由《日本统计年鉴》、《战后日本经济社会统计》、《日本の統計》、日本《环境·循环型社会·生物多样性白皮书(环境白皮书)》以及日本统计局官网、日本环境保护局官网等官方网站综合查询整理而得。

3.2. 日本经济与环保产业概况统计分析

二战后, 日本采取大力发展重工业来推动经济发展的路线。当时的日本凭借着工业的飞速发展, 取得了瞩目的经济发展成效。但工业发展给日本带来的除了经济的快速增长, 还有日益严重的工业污染。1964 年, 日本因吸入含有硫化物等的工业废气而导致患上呼吸疾病的人数达到了当时日本总人口的 3%。著名世界范围内大气污染公害事件四日市哮喘就发生在 20 世纪 60 年代, 而日本空气污染最为严重的时候, 则是在 20 世纪 70 年代。同期日本确立了一些重要的环境保护的法律原则。

1970 年至 1980 年, 日本直接用于治理环境的财政预算经费增长了 1.3 倍。到了 80 年代, 日本开始多渠道整治污染, 对环境极为重视。如今日本工业的单位 GDP 能耗与我国相比不足我国的 14%。经过多年不懈地环境治理, 日本无论是在节能减排还是循环经济等领域上, 都取得了巨大的成就。下表(表 1)为日本 1971~2015 年, 日本年度国民生产总值、环保投资总额和工业废渣排放量的数据统计表。

Table 1. The Japan's data of GDP, total investment in environmental protection and industrial waste 1971-2015
表 1. 日本 1971~2015 年 GDP、环保投资总额及工业废渣排放量概况统计数据

| 年份 | GDP(亿日元) | 环保投资总额(百万日元) | 工业废渣排放(千吨) |
|--------|-----------|--------------|------------|
| 1971 年 | 807,013 | 1114 | 187,762 |
| 1972 年 | 923,944 | 1693 | 199,873 |
| 1973 年 | 1,124,981 | 2737 | 209,987 |
| 1974 年 | 1,342,438 | 3421 | 218,847 |
| 1975 年 | 1,483,271 | 3751 | 228,746 |
| 1976 年 | 1,665,733 | 4856 | 236,489 |
| 1977 年 | 1,856,226 | 6267 | 247,786 |
| 1978 年 | 2,044,041 | 8682 | 258,876 |
| 1979 年 | 2,251,466 | 11,253 | 278,856 |
| 1980 年 | 2,428,387 | 11,664 | 289,970 |
| 1981 年 | 2,610,682 | 12,030 | 292,312 |
| 1982 年 | 2,610,682 | 12,030 | 292,312 |
| 1983 年 | 2,706,007 | 11,923 | 296,782 |
| 1984 年 | 2,817,671 | 11,769 | 298,878 |
| 1985 年 | 3,005,430 | 11,469 | 301,123 |
| 1986 年 | 3,204,187 | 11,172 | 307,896 |
| 1987 年 | 3,354,572 | 10,944 | 312,271 |
| 1988 年 | 3,497,596 | 10,879 | 312,445 |
| 1989 年 | 3,739,372 | 12,848 | 323,345 |
| 1990 年 | 3,999,983 | 13,295 | 325,564 |
| 1991 年 | 4,300,398 | 13,402 | 344,512 |
| 1992 年 | 4,582,991 | 14,513 | 394,736 |
| 1993 年 | 4,710,207 | 15,514 | 397,949 |
| 1994 年 | 4,753,811 | 17,148 | 403,480 |
| 1995 年 | 4,865,517 | 25,124 | 404,602 |
| 1996 年 | 4,935,881 | 25,987 | 405,455 |
| 1997 年 | 5,042,619 | 27,441 | 414,854 |
| 1998 年 | 5,152,491 | 28,211 | 393,812 |
| 1999 年 | 5,048,429 | 27,222 | 396,869 |
| 2000 年 | 4,976,286 | 30,213 | 408,490 |
| 2001 年 | 5,029,899 | 30,420 | 399,799 |
| 2002 年 | 4,977,197 | 30,484 | 406,037 |
| 2003 年 | 4,902,940 | 27,423 | 393,234 |
| 2004 年 | 4,983,284 | 25,772 | 411,623 |
| 2005 年 | 5,017,344 | 23,654 | 417,156 |

Continued

| | | | |
|--------|-----------|--------|---------|
| 2006 年 | 5,073,648 | 21,342 | 421,677 |
| 2007 年 | 5,158,049 | 29,490 | 418,497 |
| 2008 年 | 5,076,147 | 22,141 | 419,425 |
| 2009 年 | 4,802,265 | 21,168 | 403,661 |
| 2010 年 | 5,003,598 | 12,596 | 389,746 |
| 2011 年 | 4,997,814 | 12,091 | 385,988 |
| 2012 年 | 5,072,524 | 15,318 | 381,206 |
| 2013 年 | 5,173,934 | 19,326 | 379,137 |
| 2014 年 | 5,193,352 | 17,182 | 384,642 |
| 2015 年 | 5,263,618 | 18,069 | 392,840 |

通过表 1 的相关数据，再结合图 1 及图 2 我们可以看到，日本工业开始起步发展的时候，日本的环保产业几乎还是一片空白，直到 20 世纪 80 年代才开始起步发展。90 年代，日本的环保投资总额开始逐年迅速上升，在 21 世纪初达到顶峰后开始下降而后又开始增长。而日本的工业废渣排放量从世纪 90 年代开始一直到 20 世纪初，整体呈上升趋势，2008 年后，震荡下降而后暂缓上升。

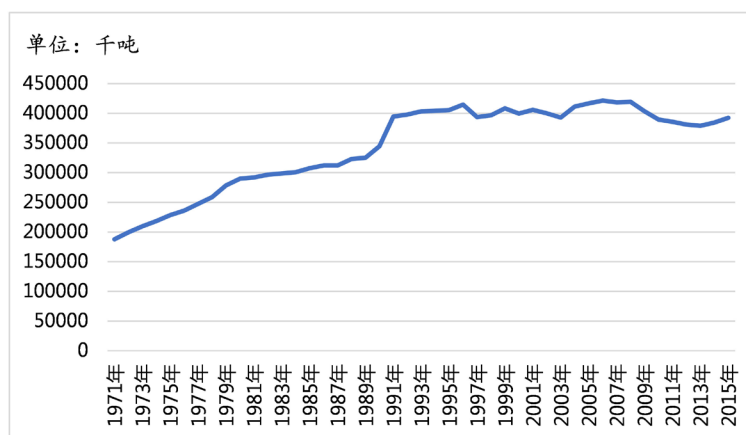


Figure 1. Japan's industrial waste discharge statistics data 1971-2015
图 1. 日本 1971~2015 年工业废渣排放量统计数据

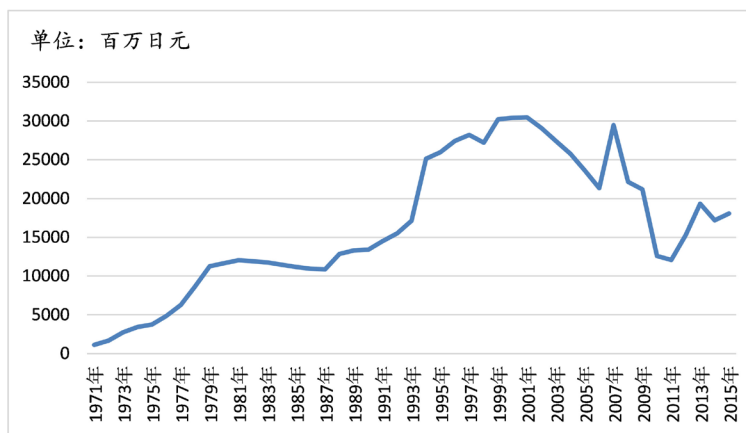


Figure 2. Japan's total environmental protection investment statistics data 1971-2015
图 2. 日本 1971~2015 年环保投资总额统计数据

从图 3, 我们可以看到自 2004 年开始, 日本环保投资中除物资循环投资外, 其余指标均呈整体逐年下降趋势, 其中, 治理水、土壤污染投资自 2009 年开始出现悬崖式下跌。

而在工业排污方面, 图 4 和图 5 的统计数据显示, 工业废气排放几乎都是趋于逐年平稳缓下降, 而工业废渣排放量在 2004 年 2006 年小幅度下降后开始反弹, 于 2009 年达到峰值, 之后整体开始震荡下降。而到 2018 年, 日本的年度工业废渣排放量为 2004 年的 93%。通过图 6 看到日本国内生产总值由于 2008 年亚洲金融危机的冲击开始下跌, 之后逐年缓慢恢复。通过这组数据, 我们可以看到日本自 21 世纪以来, 国家的经济结构已经初步完成了转型, 不再将经济发展中心放在工业生产上, 依赖工业生产来拉动国家经济发展。

3.3. 经济发展与环境治理关系评估指标选取

经济发展方面, 选取日本年度国内生产总值数据作为衡量经济发展的指标; 工业排污方面, 选取日本年度二氧化硫监测浓度、氮氧化物监测浓度、浮游粒子监测浓度、一氧化氮监测浓度、一氧化碳检测浓度、二氧化氮监测浓度以及年度工业废渣排放量 7 项数据作为衡量工业排污的指标; 在环保投资方面, 选取日本年度环保投资总额、地球环境保护投资、物资循环投资、治理水、土壤污染投资、治理大气污染投资以及城镇基础设施建设投资 6 项数据作为衡量环保投资的指标。

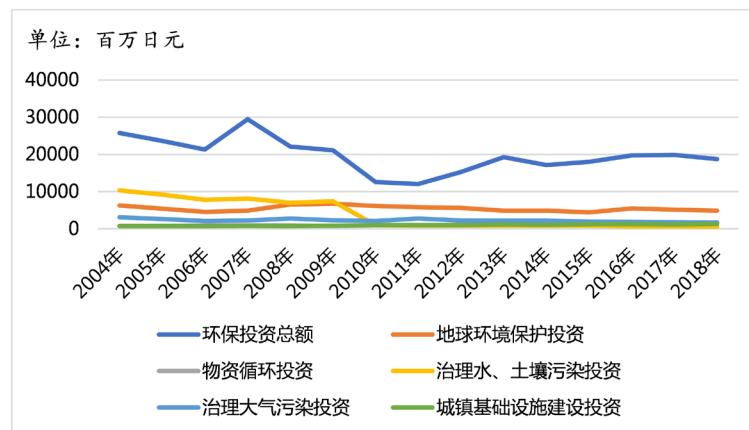


Figure 3. Japan's environmental protection investment statistics data 2004-2018
图 3. 日本 2004~2018 年环保投资概况统计数据

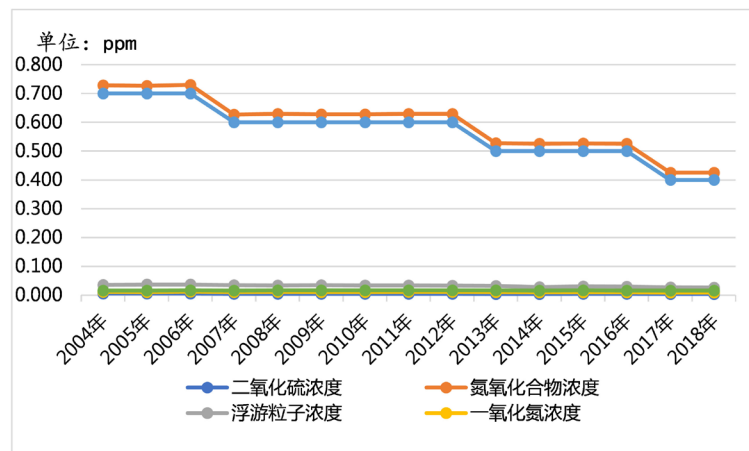


Figure 4. Japan's statistics on atmospheric pollution data 2004-2018
图 4. 日本 2004~2018 年大气排污情况统计数据

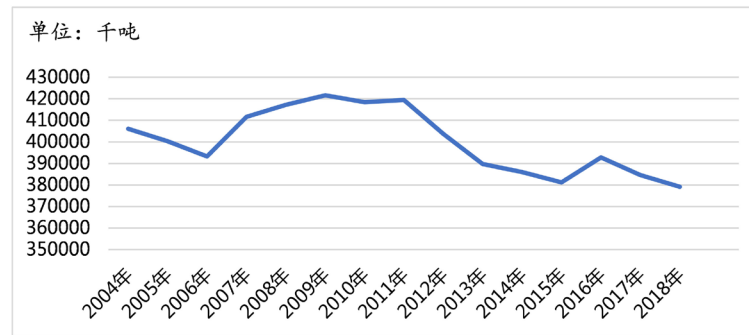


Figure 5. Japan's industrial waste discharge statistics data 2004-2018
图 5. 日本 2004~2018 年工业废渣排放统计数据

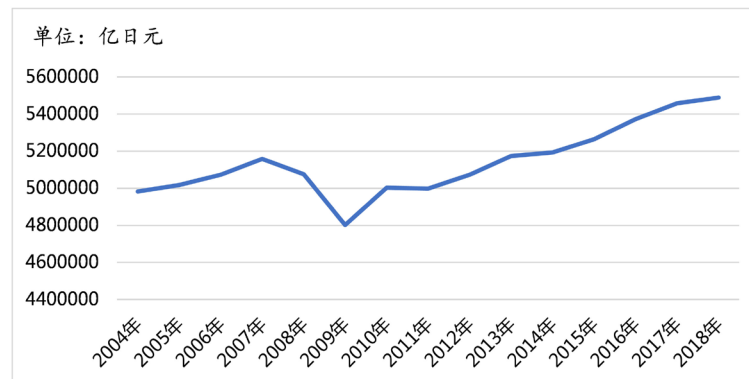


Figure 6. Japan's GDP statistics data 2004-2018
图 6. 日本 2004~2018 年国民生产总值统计数据

由于在环保投资中除年度环保投资总额外,其余几项指标系统性的记载数据均从从 2004 年开始,为保证模型样本的连续性及其完整性,准确得到具体指标在模型中的相互影响关系,上述 14 个指标均截取 2004 年至 2018 年期间,连续 15 年的日本年度数据作为本文的实证分析样本数据。

3.4. 数据预处理

本文选取单位为日元计的日本年度国内生产总值数据。一是为保证与环保投资金额货币结算单位一致,二是避免由美元单位结算的日本年度国内生产总值,因国际汇率的波动,对模型产生干扰。因此选取日本官方政府公布的以日元货币单位结算的国内生产总值数据作为样本数据。

以日本年度国内生产总值作为因变量,年度二氧化硫监测浓度、氮氧化物监测浓度、浮游粒子监测浓度、一氧化氮监测浓度、一氧化碳检测浓度、二氧化氮监测浓度、年度工业废渣排放量以及年度环保投资总额、地球环境保护投资、物资循环投资、治理水、土壤污染投资、治理大气污染投资以及城镇基础设施建设投资等 13 个变量作为自变量。其回归模型如表 2 所示:

Table 2. Model of Japan's economic development, industrial sewage and environmental protection investment regression 2004-2018

表 2. 日本 2004~2018 年经济发展、工业排污与环保投资回归模型

| 变量 | 评价指标 | 解释变量 | 单位 |
|-----|------|--------------|-------------|
| 因变量 | 经济发展 | 国内生产总值 Y_2 | 亿日元 |
| 自变量 | 工业排污 | 二氧化硫浓度 q_1 | 百万分比浓度(ppm) |

Continued

| | | | |
|-----|------|------------------|-------------|
| | | 氮氧化物浓度 q_2 | 百万分比浓度(ppm) |
| | | 浮游粒子浓度 q_3 | 百万分比浓度(ppm) |
| 自变量 | 工业排污 | 一氧化氮浓度 q_4 | 百万分比浓度(ppm) |
| | | 氧化碳浓度 q_5 | 百万分比浓度(ppm) |
| | | 二氧化氮浓度 q_6 | 百万分比浓度(ppm) |
| | | 工业废渣排放量 q_7 | 万吨 |
| | | 环保投资总额 w_1 | 百万日元 |
| | | 地球环境保护投资 w_2 | 百万日元 |
| 自变量 | 环保投资 | 物资循环投资 w_3 | 百万日元 |
| | | 治理水、土壤污染投资 w_4 | 百万日元 |
| | | 治理大气污染投资 w_5 | 百万日元 |
| | | 城镇基础设施建设投资 w_6 | 百万日元 |

为消除量纲影响, 将 2004 年至 2018 年的上述 14 项变量数据导入到 SPSS 中, 进行归一化处理, 得到归一化后的数据如表 3 所示。

Table 3. Japan's economic development, industrial sewage and environmental protection investment explanatory variables normalization data 2004-2018

表 3. 日本 2004~2018 年经济发展、工业排污与环保投资解释变量归一化数据

| 年份 | Y_2 | w_1 | w_2 | w_3 | w_4 | w_5 | w_6 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2004 年 | -0.232 | 0.361 | -0.388 | 0.669 | 0.609 | -0.413 | 0.533 |
| 2005 年 | -0.182 | -0.020 | -0.340 | 0.554 | 0.283 | -0.438 | 0.533 |
| 2006 年 | -0.100 | -0.381 | -0.256 | 0.414 | -0.093 | -0.406 | 0.533 |
| 2007 年 | 0.023 | -0.247 | -0.197 | 0.448 | -0.005 | -0.297 | 0.033 |
| 2008 年 | -0.096 | 0.478 | -0.205 | 0.329 | 0.374 | -0.403 | 0.033 |
| 2009 年 | -0.495 | 0.557 | -0.398 | 0.369 | 0.023 | -0.217 | 0.033 |
| 2010 年 | -0.202 | 0.305 | -0.148 | -0.290 | -0.139 | -0.040 | 0.033 |
| 2011 年 | -0.210 | 0.149 | -0.203 | -0.300 | 0.357 | -0.012 | 0.033 |
| 2012 年 | -0.102 | 0.075 | -0.014 | -0.302 | -0.006 | -0.032 | 0.033 |
| 2013 年 | 0.046 | -0.245 | 0.062 | -0.303 | -0.060 | 0.385 | -0.467 |
| 2014 年 | 0.074 | -0.228 | 0.195 | -0.305 | -0.082 | 0.063 | -0.467 |
| 2015 年 | 0.177 | -0.443 | 0.335 | -0.304 | -0.205 | 0.410 | 0.033 |
| 2016 年 | 0.336 | 0.024 | 0.396 | -0.322 | -0.311 | 0.442 | 0.033 |
| 2017 年 | 0.459 | -0.138 | 0.559 | -0.327 | -0.355 | 0.397 | -0.467 |
| 2018 年 | 0.505 | -0.247 | 0.602 | -0.331 | -0.391 | 0.562 | -0.467 |
| 年份 | q_1 | q_2 | q_3 | q_4 | q_5 | q_6 | q_7 |
| 2004 年 | 0.439 | 0.309 | 0.267 | 0.444 | -0.533 | 0.134 | 0.345 |

Continued

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2005 年 | 0.436 | 0.400 | 0.017 | 0.444 | -0.533 | -0.002 | 0.223 |
| 2006 年 | 0.445 | 0.400 | 0.517 | 0.444 | 0.467 | -0.167 | 0.090 |
| 2007 年 | 0.108 | 0.218 | 0.017 | 0.111 | -0.533 | 0.265 | 0.558 |
| 2008 年 | 0.114 | 0.127 | 0.267 | 0.111 | 0.467 | 0.395 | 0.136 |
| 2009 年 | 0.111 | 0.218 | 0.017 | 0.111 | 0.467 | 0.502 | 0.080 |
| 2010 年 | 0.111 | 0.127 | 0.017 | 0.111 | 0.467 | 0.427 | -0.413 |
| 2011 年 | 0.114 | 0.127 | 0.267 | 0.111 | 0.467 | 0.449 | -0.442 |
| 2012 年 | 0.114 | 0.036 | 0.267 | 0.111 | 0.467 | 0.078 | -0.256 |
| 2013 年 | -0.217 | -0.055 | 0.017 | -0.222 | 0.467 | -0.249 | -0.026 |
| 2014 年 | -0.223 | -0.418 | -0.233 | -0.222 | -0.533 | -0.337 | -0.149 |
| 2015 年 | -0.220 | -0.145 | -0.233 | -0.222 | 0.467 | -0.450 | -0.098 |
| 2016 年 | -0.223 | -0.236 | -0.233 | -0.222 | -0.533 | -0.176 | 0.001 |
| 2017 年 | -0.555 | -0.509 | -0.483 | -0.556 | -0.533 | -0.369 | 0.006 |
| 2018 年 | -0.555 | -0.600 | -0.483 | -0.556 | -0.533 | -0.498 | -0.056 |

4. 基于偏最小二乘回归的日本经济发展环保治理关系实证分析

使用 MATLAB 将上述表 3 中的数据输入, 运用偏最小二乘法进行回归分析, 首先得到主成分分析结果如表 4 所示:

Table 4. Japan related data of partial least squares regression model principal component analysis table

表 4. 日本相关数据偏最小二乘回归模型主成分分析表

| 成分个数 | 累计方差贡献率 | R^2 |
|------|----------|----------|
| 1 | 0.642593 | 0.796660 |
| 2 | 0.802349 | 0.876518 |
| 3 | 0.856120 | 0.920150 |

由表 4 可以看出, 在提取第三个成分时, 累积方差贡献率达到 85.6%, 大于 85%, 而这 3 个成分所得模型的拟合度约为 92%, 因此仅需要提取 3 个成分便可使模型的精度达到要求。选取 3 个成分的回归结果显示可决系数 $R^2 = 0.92015$, 且所有主成分通过检验。所得关系式如下:

$$Y_2 = 0.312t_1 + 0.204t_2 + 0.387t_3$$

将表达式的自变量还原为原始变量, 回归模型为:

$$Y_2 = 0.142w_1 + 1.865w_2 + 0.262w_3 + 0.09w_4 - 0.253w_5 - 0.239w_6 - 0.334q_1 + 1.179q_2 + 0.377q_3 - 0.339q_4 - 0.392q_5 + 0.004q_6 - 0.174q_7 \quad (4-1)$$

对模型进行方差分析, 得到结果如表 5 所示:

Table 5. Japan's related data of partial least squares regression model variance analysis table
表 5. 日本相关数据偏最小二乘回归模型方差分析表

| 来源 | 自由度 | SS | MS | F | P |
|------|-----|---------------------|-----------------------|--------|-------|
| 回归 | 3 | 4.623 ¹¹ | 1.54084 ¹¹ | 42.250 | 0.000 |
| 残差误差 | 11 | 4.011 ¹¹ | 3.64672 ⁹ | | |
| 合计 | 14 | 5.024 ¹¹ | | | |

从方差分析表中可以看到其 P 值小于 0.05，说明该方程通过显著性检验。其残差统计结果如表 6 所示：

Table 6. Japan's related data of partial least squares regression model residual statistics table
表 6. 日本相关数据偏最小二乘回归模型残差统计表

| 年份 | Y_2 | 拟合值 | 残差 | 标准化残差 |
|--------|-----------|-----------|---------|----------|
| 2004 年 | 4,983,284 | 4,998,709 | -15,425 | -0.30646 |
| 2005 年 | 5,017,344 | 5,030,865 | -13,521 | -0.26559 |
| 2006 年 | 5,073,648 | 5,099,011 | -25,363 | -0.53783 |
| 2007 年 | 5,158,049 | 5,113,885 | 44,164 | 0.88417 |
| 2008 年 | 5,076,147 | 4,954,471 | 121,676 | 2.18339 |
| 2009 年 | 4,802,265 | 4,872,391 | -70,126 | -1.59960 |
| 2010 年 | 5,003,598 | 4,971,668 | 31,930 | 0.62605 |
| 2011 年 | 4,997,814 | 4,987,513 | 10,301 | 0.20562 |
| 2012 年 | 5,072,524 | 5,100,624 | -28,100 | -0.53376 |
| 2013 年 | 5,173,934 | 5,198,348 | -24,414 | -0.43040 |
| 2014 年 | 5,193,352 | 5,270,702 | -77,350 | -1.40758 |
| 2015 年 | 5,263,618 | 5,329,624 | -66,006 | -1.21601 |
| 2016 年 | 5,373,178 | 5,347,993 | 25,185 | 0.46472 |
| 2017 年 | 5,457,965 | 5,407,275 | 50,690 | 0.97882 |

通过标准化残差正态图(图 7)看到，15 个样本点仅一个样本点落在(-2,2)区间外，因此说明该模型样本符合正态分布。通过 PLS 响应图(图 8)看到模型的预测值与实际值的分布较为接近 $y = x$ 的函数图像，这也说明了该模型的精确度相对较高的。

5. 结果分析及政策建议

5.1. 结果分析

根据偏最小二乘回归方法逐一对 2004~2018 年日本相关数据进行建模实证分析所得结果而言，提取的 3 个主成分累计贡献率 85.6%，而这 3 个成分所得模型的拟合度约为 92%，

同时我们可以看到，2004 年至今的日本工业排污数据在呈逐年下降趋势发展，因此日本 2004 年至今的工业排污与其国内经济发展没有显著线性关系。

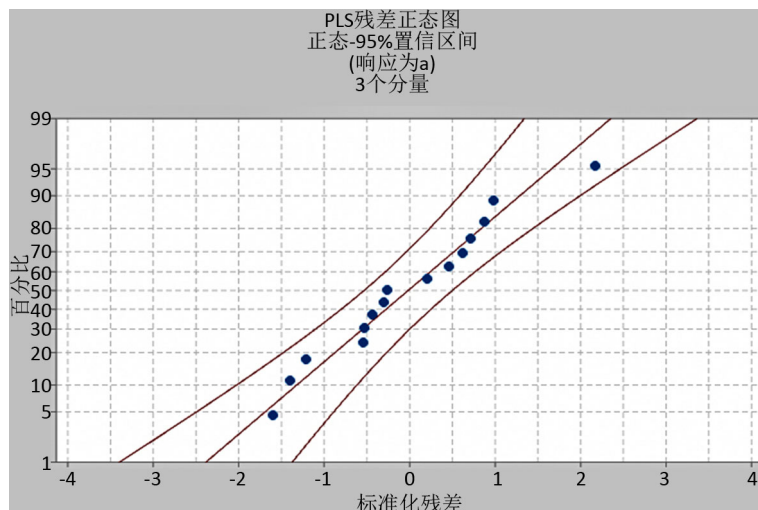


Figure 7. Standardized residual normality map of Japan's related data partial least squares regression model

图 7. 日本相关数据偏最小二乘回归模型的标准化残差正态图

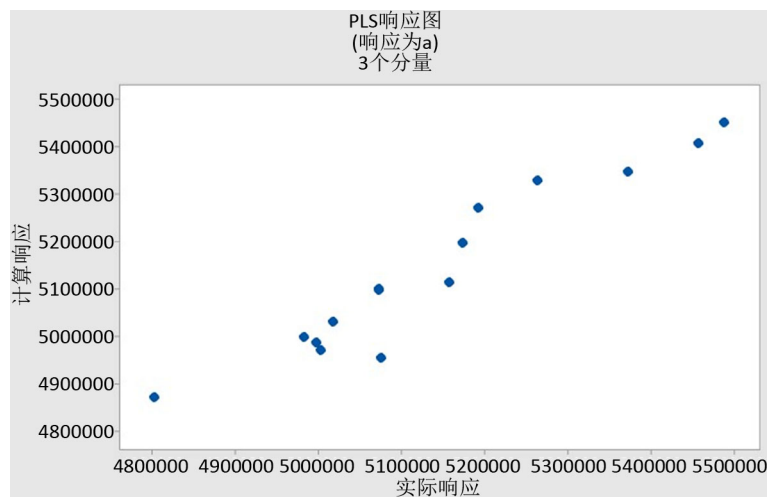


Figure 8. Japan's related data of partial least squares regression model PLS response map

图 8. 日本相关数据偏最小二乘回归模型 PLS 响应图

5.2. 政策建议

健全环保政策法律体系。1981年,《环境保护法》被要求执行试行,标志着中国的环保之路正式启程,而同年开始实施的排污收费制度,标志着我国的环保产业开始进入实质性阶段。中国的环保产业起步相对与许多欧美发达国家较晚,因此许多相应的环保政策相对环保产业起步较早的发达国家还不够完善。瑞典20世纪60年代就制定了环境保护法,而美国也在20世纪70年代通过了26部环境保护法[17]。政府对于环保产业的治理,主要以采取行政和法律手段为主。因此,所制定的相关政策科学合理与否,直接影响了我国环保产业的发展和需求。只有建立完善健全的环境保护法律体系,才能为我国的环保产业发展提供有力的支撑和保障。

调整不合理排污收费标准。我国在对企业排污收费的标准制定上不够合理。目前,我国企业排污所缴纳的污染治理费用与实际的污染治理费用相差甚远。如此以来,企业只需缴纳少量的排污费,即可获

得排污权, 进而进行大量的排污, 污染我国的生态环境, 将环境污染的危害嫁接到整个社会。不合理的排污收费制度, 不仅没有起到应有的作用, 反而还减轻了企业排污的成本, 淡化了企业的环境治理积极性和法律意识, 令我国环保产业的资金流入缺乏, 加重了我国环境治理的压力和负担。因此, 按照实际治理排污所需花费, 重新调整征收企业的排污费制度, 显得尤为重要。

加大环保产业投资力度。世界银行的研究资料表明, 国家的环保投资 GDP 占比在 1.0%~1.5% 时, 环境污染的污染初步地控制, 占比为 2.0%~3.0% 时, 环境状况才能得到改善[18]。根据国家统计局的数据显示, 我国常年来环保投资占 GDP 的比例维持在 0.72%~1.14% 之间, 其中, 在 2010 年时达到峰值为 1.86%, 之后开始逐年下降, 2018 年我国的环保投资 GDP 占比为 1.49%。根据发达国家环保投资的经验来看, 环保投资高峰期的占 GDP 甚至达到了 6%~8%, 平均占比大概在 2%~3% 左右。其中, 日本 2001 年的环保产值占比达到了 8% 以上。本文的实证分析结果也显示, 环保投资与经济发展有成正相关, 因此, 只有增加环保投资的资金投入, 不仅能推动环保产业的发展, 同时也能带动国家的经济发展。

落实环保产业激励机制。在对企业排污征收排污费的同时, 也要加大对环保企业的资金支持和补贴。通过相关制度保障或立法, 明确补贴政策的实施办法和具体操作, 以确保将各项优惠补贴政策实实在在落地。在推进绿色生产及消费的同时, 鼓励企业进行环保生产, 从源头上减轻企业排污给环境污染治理带来的压力。自 2009 年开始, 日本政府承诺对在 3 年内削减二氧化碳排放 6% 的企业, 给予 3 年内最高 3% 的利息补贴。充分借鉴日本及其他发达国家的环境经济政策的实施经验, 建议我国根据目前环境治理与保护的现实需求, 加快设立环境保护专项基金, 对环保企业降低税收甚至免税收。同时, 对在生产或使用过程中, 对环境产生较大污染或危害的产品征收产品环境税。

优化调整环保投资结构。日本是当前世界上资源利用率最高的国家, 其一般废弃物再生利用率自 1993 年到 2006 年, 实现了从 8% 到 19.6% 的跨越。而日本企业生产废弃物的再生利用率, 更是完成了从 1990 年的 38.2% 到 2005 年的 51.9% 的巨大飞跃[19]。我国从 2008 全球爆发金融危机开始, 走大搞基建路线来抵抗金融危机, 靠基础设施建设来换取高速的经济发展。这样的做法虽立竿见影, 但是后劲不足, 不能长久进行下去。传统的以环境代价换取经济增长的发展模式将在未来对中国的环境质量产生负面影响[20]。要想获得可持续发展的绿色循环经济持续增长, 必须改变优化环保投机结构, 借鉴日本的经验, 将投资从城市基础设施建设上转移到物资循环利用上, 才能获得更加持久的经济增长效益。

促进环保技术创新转型。除了投资结构上的转型和调整优化, 还要开展节能减排技术上的优化与创新。要讲我国从“先污染, 后治理”的模式转变到“全程监控减排”的模式。2003 年, 日本松下电器公司宣布将其电器产品的平均能耗较 1995 年降低 50%, 索尼等许多日本的电器公司也宣布作出相应的节能减排计划。目前, 日本的环保产业已经在其市场机制的引导下完成从产业“治理型”到“防止型”的转型, 迈入了自律发展阶段, 其市场需求也从政府的强制执行转化为现在的社会所需。我们也要借鉴日本成功的环保经验, 提高能源利用效率, 推广节能减排, 加速淘汰落后产业产能, 促进先进技术的引进和开发。推动节能减排新能源的运用, 节能技术及材料制造进行开发和研制, 从源头上进行节能减排, 我国的环保产业发展才能达到事半功倍的效果。

全面加强公众环保意识要深刻地意识到, 环保不能只靠政府、只靠企业、而是要靠社会中的每一个人。从 1983 年开始, 日本政府便开始开展“流动学校”的活动, 其主要目的就是增强日本每一位中小学生的环保意识。在日本, 无论是对于中小学生, 还是成年人, 无论是政府官员, 还是企业负责人, 都有对应完善的环保意识教育体系, 全方面地向日本国民灌输和加强环保意识。日本的垃圾分类在其国内的推广普及和成功, 靠的就是全民的环保意识。我们也应该相应完善我国的环保意识教育, 在学校开设专门的环保意识教育课程, 定期进行主题教育。对于企业负责人及政府相关部门工作人员, 也要加强环保意识及相关知识的普及和教育。实现将环保意识从政策到口号再到意识最后到行动的层层转换, 将环保

意识落在每个人的实际行动当中。只有这样,我国的环保产业才能取得长足的发展和进步。

基金项目

国家自然科学基金(71071161, 61273209)江苏省自然科学基金(BK2012511)。

参考文献

- [1] Hettige, H., Mani, M. and Wheeler, D. (2000) Industrial Pollution in Economic Development: The Environmental Kuznets Curve Revisited. *Journal of Development Economics*, 62, 445-476. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(00\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(00)00092-4)
- [2] Ekins, P. (1997) The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence. *Environment and Planning A*, 29, 805-829. <https://doi.org/10.1068/a290805>
- [3] 符淼, 黄灼明. 我国经济发展阶段和环境污染的库兹涅茨关系[J]. 中国工业经济, 2008(6): 35-43.
- [4] Quah, E. and Boon, T.L. (2003) The Economic Cost of Particulate Air Pollution on Health in Singapore. *Journal of Asian Economics*, 14, 73-90. [https://doi.org/10.1016/S1049-0078\(02\)00240-3](https://doi.org/10.1016/S1049-0078(02)00240-3)
- [5] Schou, P. (2000) Polluting Non-Renewable Resources and Growth. *Environmental and Resource Economics*, 16, 211-227. <https://doi.org/10.1023/A:1008359225189>
- [6] 叶丽娟. 环保投资对区域经济增长影响的差异研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2011.
- [7] 邵海清. 环保投资与国民经济增长的灰色关联分析[J]. 生产力研究, 2010(12): 14-15.
- [8] 孙红梅, 赵正丽. 经济转型与环保投资相关性的实证研究——基于面板向量自回归模型和空间面板模型的实证分析[J]. 山西财经大学学报, 2016, 38(12): 16-28.
- [9] 周涛. 我国环保投资结构对工业污染治理绩效影响研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江理工大学, 2014.
- [10] 张平淡, 朱松, 朱艳春. 环保投资对中国 SO₂ 减排的影响——基于 LMDI 的分解结果[J]. 经济理论与经济管理, 2012(7): 84-94.
- [11] 游士兵, 严研. 逐步回归分析法及其应用[J]. 统计与决策, 2017(14): 31-35.
- [12] 王慧文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999
- [13] El Jabri, M., Sanchez, M.-P. and Trossat, P. (2019) Comparison of Bayesian and Partial Least Squares Regression Methods for Mid-Infrared Prediction of Cheese-Making Properties in Montbéliarde Cows. *Journal of Dairy Science*, 102, 6943-6958. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16320>
- [14] 姚天宝, 申惟文, 任建民. 逐步回归和偏最小二乘回归模型在混凝土重力坝变形监测中的应用[J]. 水电能源科学, 2015, 33(2): 81-84.
- [15] 肖雪梦, 张应应. 三种回归方法在消除多重共线性及预测结果的比较[J]. 统计与决策, 2015(24): 75-78.
- [16] 王鲁明. 区域循环经济发展模式研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [17] 裴瑛. 国外环保产业政策及其借鉴[J]. 政策瞭望, 2015(8): 51-52.
- [18] 王欢. 河北省环保投资对工业废气排放影响的实证研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北经贸大学, 2017.
- [19] 王玲. 环境经济政策下环保投资的中日对比研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中央民族大学, 2012.
- [20] 胡世前. 中国经济增长与工业污染互动关系研究[J]. 财经问题研究, 2015(6): 19-25.