

# 日本人均GDP与婴儿死亡率关系转变的分析与启示

李鸿斌

如皋市妇幼保健计划生育服务中心儿童保健部, 江苏 如皋

收稿日期: 2023年9月8日; 录用日期: 2023年10月4日; 发布日期: 2023年10月11日

## 摘要

本文检索世界银行数据库, 以1961~2018年日本婴儿死亡率、人均GDP及其他可能的相关影响因素为基础, 先进行数据Z-scores标准化, 再以相关分析最小样本量为依据进行阶段性分组, 通过相关分析寻找人均GDP与婴儿死亡率关系变化的转折, 并以婴儿死亡率为因变量、人均GDP和相关影响因素为自变量, 构建岭回归模型进行验证。研究发现日本在上世纪九十年代中后期出现了人均GDP与婴儿死亡率关系从有积极影响向无积极影响的转变。认识二者关系所处的位置、判断关系变化的转折点对适时调整防控策略有一定的意义, 不可放大也不能忽视人均GDP的作用。

## 关键词

婴儿死亡率, 人均GDP, 岭回归, 相关分析, 日本

## Analysis and Enlightenment of the Turning Point of the Relationship between Per Capita GDP and Infant Mortality Rate in Japan

Hongbin Li

Department of Child Healthcare, Rugao Maternal and Child Health Care and Family Planning Service Center, Rugao Jiangsu

Received: Sep. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 4<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 11<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

This article searches the World Bank database, based on Japan's infant mortality rate, per capita

GDP, and other possible influencing factors from 1961 to 2018. The data is first standardized by Z-scores, and then phased grouping is conducted based on the minimum sample size of correlation analysis. Through correlation analysis, the turning point of the relationship between per capita GDP and infant mortality rate is found, with infant mortality rate as the dependent variable, per capita GDP, and related influencing factors as the independent variable, to construct a ridge regression model for validation. Research has found that Japan experienced a shift in the relationship between per capita GDP and infant mortality rate from having a positive impact to not having a positive impact in the mid to late 1990s. Understanding the position of the relationship between the two and determining the turning point of changes in the relationship are of certain significance for timely adjustment of prevention and control strategies, and the role of per capita GDP cannot be magnified or ignored.

## Keywords

Infant Mortality Rate, Per Capita GDP, Ridge Regression, Correlation Analysis, Japan

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

婴儿死亡率(Infant mortality rate, IMR)是国际上公认的基础健康指标,也是衡量经济社会发展和人类发展的重要综合性指标之一。众多的研究表明经济社会发展因素对婴儿死亡率呈负面影响[1] [2] [3],从降低 IMR 效应方面,负相关是经济社会发展所追求的目标,而不相关或正相关则与降低 IMR 的目标不相适应。有研究提出人均 GDP 与儿童死亡率相关转折点的问题[1] [3],推测现阶段人均 GDP 与婴儿死亡率的负相关是由过去某个时期的非负关系转折而来[4] [5],未来还会向非负关系转折而去。这种关系的变化转折不仅是区分相关关系,还要考虑因果关系[6]。上世纪七十年代的中国出现了从不相关向负相关的转折[4],但没有进行因果关系分析。中国 IMR 影响因素的岭回归分析[6]表明,中国人均 GDP 与 IMR 确实存在从无影响向有影响的关系转变。认识现阶段人均 GDP 与 IMR 关系所处的历史方位,寻找关系变化的转折时期,对于适时调整防控策略、规避无效投入、减少资源浪费有一定的现实意义。日本 IMR 水平一直处于全球领先地位,早在 1983 年联合国儿童基金会[7]就指出日本降低 IMR 的方法是每个国家的典范,上世纪八九十年代日本就消除了地区差异[8],战后 IMR 下降与各县医疗资源差异密切相关,与公共卫生战略指标无关[9]。在日本 IMR 下降历程中是否存在与人均 GDP 关系的变化转折?在不同发展阶段婴儿死亡率的关键性影响因素如何?值得关注,其经验也值得其他国家或地区学习借鉴。我们检索世界银行数据库,通过阶段性相关分析寻找人均 GDP 与 IMR 关系的变化转折,通过阶段性及阶段合并后岭回归分析进行验证,比较标准化回归系数绝对值大小判断对 IMR 的影响程度,为不同国家或地区调整防控策略提供参考。

## 2. 对象与方法

### 2.1. 研究对象

以日本婴儿死亡率(‰)、相关经济社会因素指标为研究对象,相关经济社会因素包括人均 GDP (current LCU)、人均当前卫生支出(currentUS \$)、人均居民最终消费支出(2010 年不变价美元)、农业增加

值(占 GDP 百分比)、总生育率(女性人均生育数)、人口增长(年度百分比)、城镇人口增长率(年增长率)、人口密度(每公里土地面积人数)、超百万城市群的人口(占总人口的百分比)、二氧化碳排放量(人均公吨数)、能源使用量(人均千克石油当量)、耗电量(人均千瓦时)、谷类产量(每公顷千克数)、医院床位数(每千人)、护士和助产士数(每千人)、感染 HIV 的成年女性(占 15 岁以上 HIV 感染者的百分比)等 16 个指标。

从世界银行数据库(<https://data.worldbank.org.cn/>)下载各指标数据,下载时间为 2022 年 1 月 18 日,数据更新时间为 2021 年 12 月 16 日。根据下载数据信息的实际情况,再结合阶段性分组,确定不同阶段纳入研究数据的起始时间,人均居民最终消费支出为 1976~2018 年、能源使用量和耗电量为 1961~2011 年、护士和助产士数为 1990~2018 年,其他指标均为 1961~2018 年。

## 2.2. 研究方法

### 2.2.1. 数据标准化

因 IMR、经济社会因素指标的量纲及数量级不同,对各指标数据进行 Z-score 标准化,正态分布检验差异无统计学意义,或比较峰值与偏度再结合直方图虽不绝对正态但可接受为正态分布,方可纳入模型分析。

### 2.2.2. 阶段分组方法

以人均 GDP 与婴儿死亡率相关性的最小样本数作为阶段性分组的依据。世界银行公开数据库提供了 1960~2019 年日本人均 GDP 及 IMR 的各年度数据,先进行相关分析,相关系数  $r = -0.902$ ,作为总体相关系数,根据相关分析样本量估算公式[10]:  $n = 4 \left[ \frac{(z_{\alpha/2} + z_{\beta})}{\ln(1+r/1-r)} \right]^2 + 3$ ,在  $\alpha = 0.05, 1 - \beta = 0.90$  的水平上得到相关系数有统计学意义的最少样本数 ( $z_{0.05/2} = 1.96, z_{0.1} = 1.282$ ),经计算  $n = 7.78$ ,因此,IMR 与人均 GDP Pearson 相关分析的最少样本数为 8 个。结合各指标下载数据的实际情况,从 2018 年向前追溯,最终分组确定为 2011~2018、2004~2011、1997~2004、1990~1997、1983~1990、1976~1983、1969~1976、1961~1969 等 8 个阶段。

### 2.2.3. 人均 GDP 与婴儿死亡率关系变化转折的确定方法

以阶段性 IMR 与人均 GDP 为基础进行双变量 Pearson 相关分析,根据相关分析结果寻找关系变化转折。人均 GDP 与 IMR 呈负相关且差异有统计学意义,定义为负相关,其他情形包括不相关和正相关,定义为非负关系。寻找首次发生人均 GDP 与 IMR 关系变化的转折时期,且在关系变化转折后保持一定的稳定性,当在多个阶段呈负相关,其间一个阶段出现非负关系,暂不认定为关系转折,纳入验证模型验证。

### 2.2.4. 验证方法

首先,通过阶段性岭回归分析进行初次验证。以阶段性 IMR 为因变量,以该阶段经济社会因素指标为自变量,进行岭回归分析。定义:  $\hat{\beta}(k) = (X'X + kI)^{-1} X'y$ ,为  $\beta$  的标准化岭回归估计,  $X'X$  是自变量样本相关阵,  $k$  称为岭参数,  $\hat{\beta}(k)$  作为  $\beta$  的估计比最小二乘法估计  $\hat{\beta}$  稳定,通过选择合适的  $k$  值可使岭回归分析比最小二乘法估计的回归系数有较小的均方误差。其次,通过阶段合并后分析进行二次验证,将负相关或非负关系期内的所有阶段分别合并进行岭回归分析。

根据相关系数和人均 GDP 的标准化回归系数的符号、相关分析和回归系数的显著性检验结果判断是否通过验证。当岭回归方程显著性检验有统计学意义,且拟合优度较好时,观察人均 GDP 的标准化回归系数符号与该阶段相关分析相关系数的符号是否一致,回归系数与相关分析的显著性检验结果是否一致,当二者均一致时表示通过验证,说明存在相关分析确定的关系转变。若二者关系不一致,表示未通过验证,相关分析确定的关系转变不成立,最终通过回归分析结果判断人均 GDP 是否是 IMR 的影响因素,

观察是否有从无积极影响向有积极影响或从有积极影响向无积极影响的关系变化，从而确定二者关系变化的转折。

### 2.2.5. IMR 影响因素的确定方法

通过观察岭回归分析结果判断 IMR 的影响因素，当回归方程有显著性意义、拟合优度较好时，回归系数假设检验无统计学意义的自变量不是 IMR 的影响因素，有统计学意义的自变量为 IMR 的影响因素。当标准化回归系数为负号时表示该自变量对 IMR 下降发挥积极作用，为正号时表示该自变量对 IMR 下降发挥消极作用。无积极影响包括无影响和消极影响两种情形。通过比较标准化回归系数绝对值的大小判断自变量对 IMR 的影响程度。

### 2.2.6. 统计学方法

数据 Z-scores 标准化、正态分布检验、相关分析、岭回归分析等统计数据处理在 SPSS PRO 1.0.5 软件上进行。P < 0.05 差异有统计学意义。缺失严重、无规律可循的自变量不纳入阶段分析，自变量护士和助产士数呈现规律性缺失，采取自动填充上年度数据的方式解决。相关分析若无统计学意义则判断为无相关关系，若有统计学意义再按 $|r|$ 大小判断相关性程度， $|r| \geq 0.95$  存在显著性相关； $0.95 > |r| \geq 0.8$  高度相关； $0.8 > |r| \geq 0.5$  中度相关； $0.5 > |r| \geq 0.3$  低度相关； $|r| < 0.3$  关系极弱，认为不相关。 $r$  为负值则呈负相关， $r$  为正值则呈正相关。通过方差扩大因子法确定岭回归  $k$  值，数据处理时自动选择  $k$  值。以 IMR 为因变量、人均 GDP 为自变量，逐个添加其他自变量，并逐个分析剔除，逐步筛选有意义的岭回归模型。剔除标准设定：回归系数显著性检验无统计学意义的自变量(人均 GDP 除外)，有多个者率先剔除 P 值大者。

## 3. 结果

### 3.1. 阶段性人均 GDP 与 IMR 的相关分析

1961~1969 年、1969~1976 年、1976~1983 年、1983~1990 年、1990~1997 年等 5 个阶段 IMR 与人均 GDP 均呈不同程度的负相关关系。1997~2004 年、2004~2011 年等 2 个阶段均呈不同程度的正相关关系，2011~2018 年呈高度负相关关系。1961~1997 年人均 GDP 与 IMR 呈显著负相关关系( $r = -0.955, P = 0.000$ )，1997~2018 年人均 GDP 与 IMR 呈中度正相关关系( $r = 0.716, P = 0.003$ )。见表 1。

**Table 1.** Phase wise correlation analysis between Japan's IMR and per capita GDP

**表 1.** 日本 IMR 与人均 GDP 的阶段性相关分析

分组	$r$	P
1961~1969 年	-0.938	0.000
1969~1976 年	-0.985	0.000
1976~1983 年	-0.999	0.000
1983~1990 年	-0.941	0.000
1990~1997 年	-0.965	0.000
1997~2004 年	0.904	0.002
2004~2011 年	0.833	0.010
2011~2018 年	-0.956	0.000
1961~1997 年	-0.955	0.000
1997~2018 年	0.716	0.003

### 3.2. 阶段性岭回归分析的初次验证

各阶段岭回归方程 F 检验差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ), 人均 GDP 回归系数 t 检验差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。1961~1969 年、1969~1976 年、1976~1983 年、1983~1990 年、1990~1997 年、2011~2018 年等阶段人均 GDP 的标准化回归系数均为负值, 1997~2004 年、2004~2011 年等阶段人均 GDP 的标准化回归系数均为正值。见表 2。各阶段回归分析的岭迹图见图 1~8。

**Table 2.** Ridge regression analysis of factors influencing phased IMR in Japan  
**表 2.** 日本阶段性 IMR 影响因素的岭回归分析

分组	n	k 值	自变量	标准化回归系数	回归系数 t 检验		拟合优度		回归方程 F 检验	
					t	P	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	F	P
1961~1969 年	10	0.06	人均 GDP	-0.132	-2.835	0.036	0.988	0.98	132.363	0.000
			超百万城市群的人口	-0.771	-8.408	0.000				
			能源使用量	-0.129	-2.696	0.043				
1969~1976 年	11	0.053	人均 GDP	-0.324	-7.490	0.001	0.997	0.996	520.108	0.000
			人口密度	-0.396	-11.695	0.000				
			耗电量	-0.274	-6.229	0.003				
1976~1983 年	12	0.021	人均 GDP	-0.269	-8.411	0.004	0.999	0.997	674.515	0.000
			人均居民最终消费支出	-0.238	-4.303	0.023				
			人口增长	0.182	3.331	0.045				
1983~1990 年	12	0.172	人均 GDP	-0.226	-4.884	0.016	0.978	0.95	33.911	0.008
			人口密度	-0.446	-6.529	0.007				
			人口增长	0.318	5.314	0.013				
1990~1997 年	13	0.145	人均居民最终消费支出	-0.293	-4.295	0.023	0.979	0.95	34.492	0.008
			城镇人口增长率	0.148	1.641	0.199				
			护士和助产士数	-0.290	-4.032	0.027				
1997~2004 年	15	0.171	人均 GDP	0.182	5.057	0.037	0.997	0.991	154.027	0.006
			人均居民最终消费支出	-0.199	-5.834	0.028				
			人口密度	-0.209	-11.743	0.007				
2004~2011 年	16	0.106	总生育率	0.189	6.139	0.026	0.990	0.978	77.282	0.002
			护士和助产士数	-0.244	-6.406	0.024				
			人均 GDP	0.276	4.579	0.019				
2011~2018 年	14	0.171	人均居民最终消费支出	-0.102	-1.815	0.167	0.977	0.96	57.467	0.010
			总生育率	-0.381	-5.391	0.013				
			超百万城市群的人口	-0.314	-6.162	0.009				
2011~2018 年	14	0.171	人均 GDP	-0.332	-5.908	0.004	0.977	0.96	57.467	0.010
			人均居民最终消费支出	-0.263	-3.462	0.026				
2011~2018 年	14	0.171	超百万城市群的人口	-0.385	-8.020	0.001	0.977	0.96	57.467	0.010
			超百万城市群的人口	-0.385	-8.020	0.001				

注: n 表示该阶段参与筛选回归模型时自变量的个数。

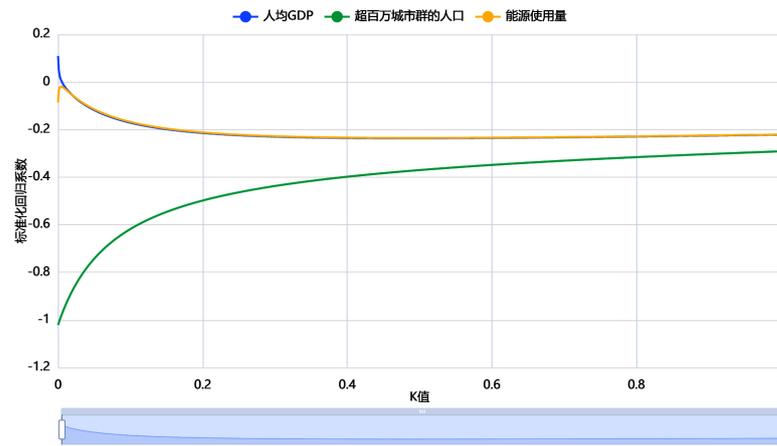


Figure 1. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1961 to 1969

图 1. 1961~1969 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

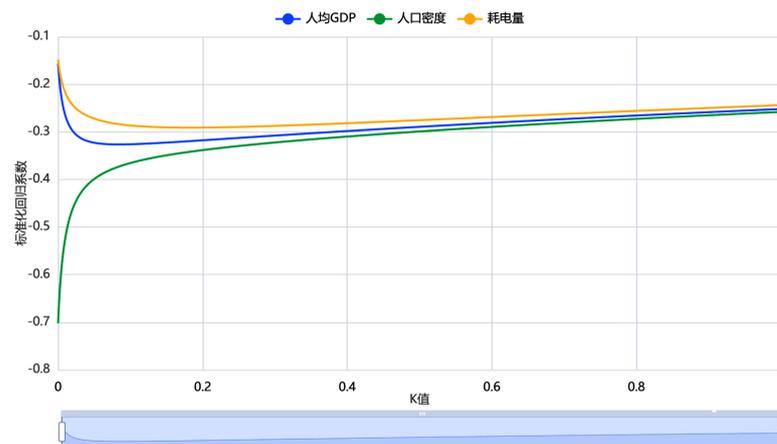


Figure 2. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1969 to 1976

图 2. 1969~1976 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

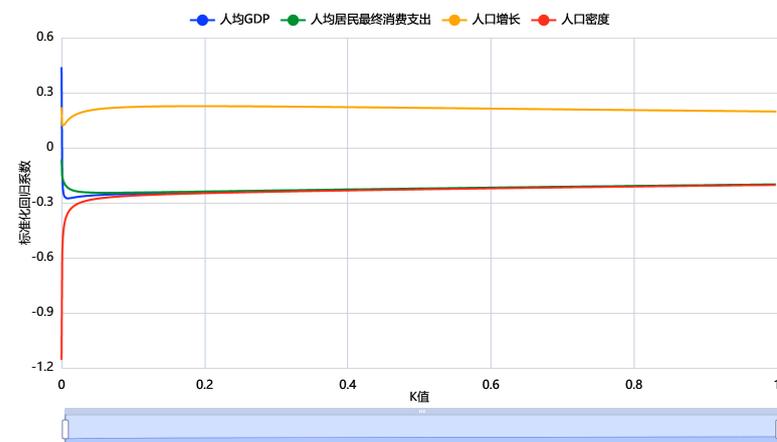


Figure 3. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1976 to 1983

图 3. 1976~1983 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

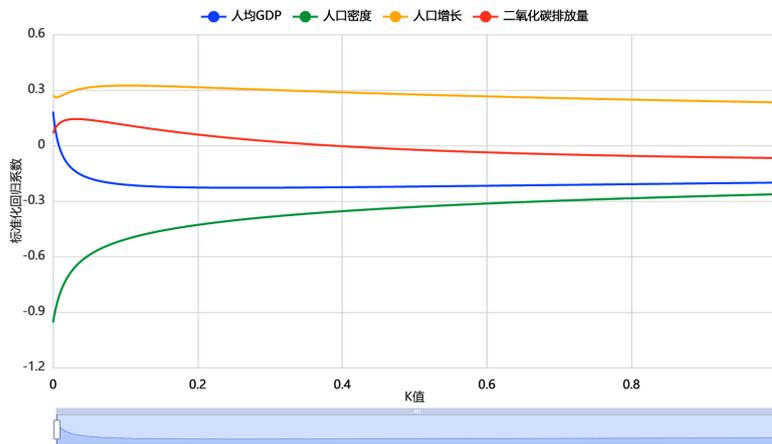


Figure 4. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1983 to 1990

图 4. 1983~1990 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

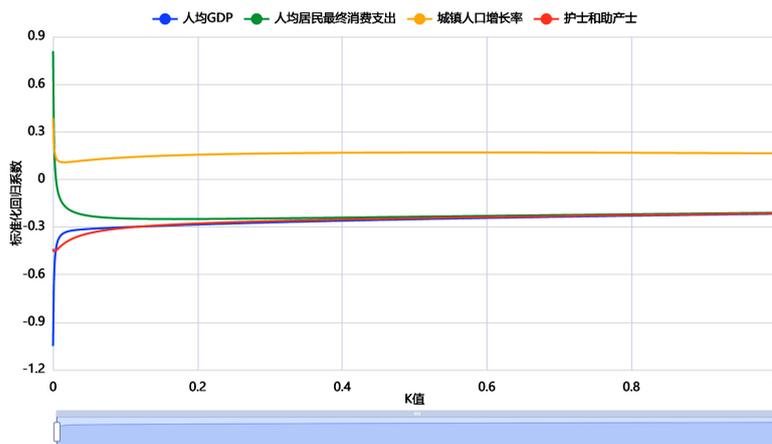


Figure 5. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1990 to 1997

图 5. 1990~1997 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

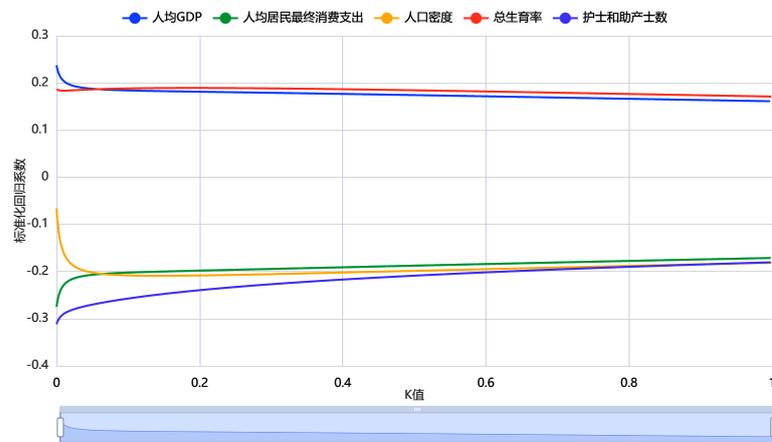


Figure 6. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1997 to 2004

图 6. 1997~2004 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

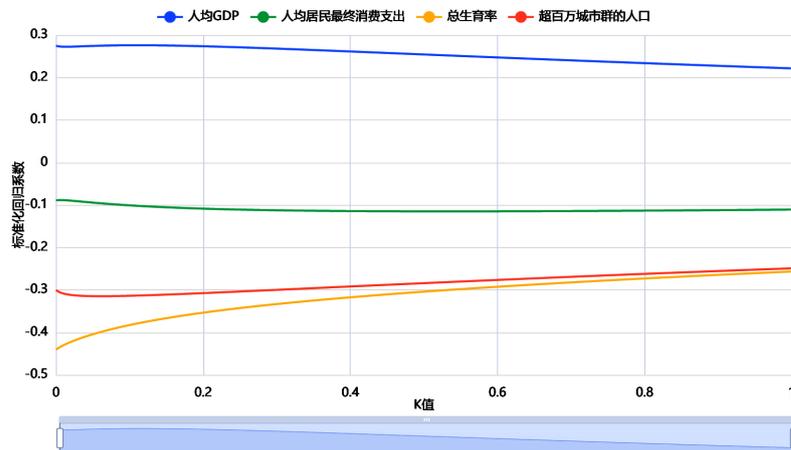


Figure 7. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 2004 to 2011

图 7. 2004~2011 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

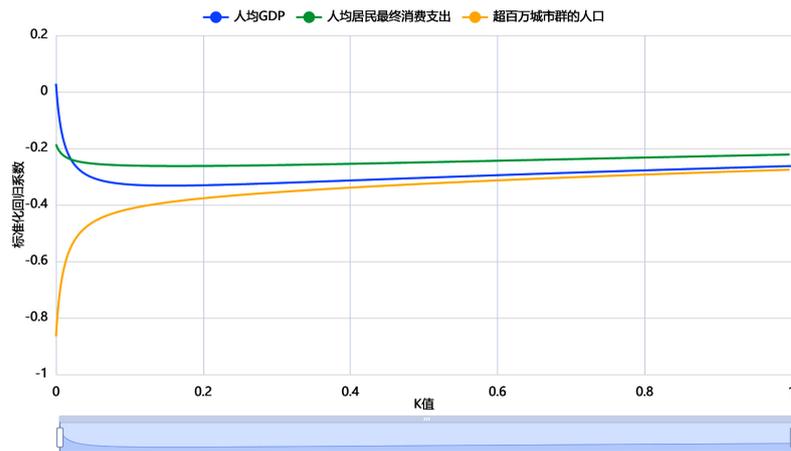


Figure 8. Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 2011 to 2018

图 8. 2011~2018 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

### 3.3. 阶段合并后的二次验证

合并前 5 个阶段为 1961~1997 年，合并后 3 个阶段为 1997~2018 年。两个阶段的岭回归方程 F 检验差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )，人均 GDP 回归系数 t 检验差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。1961~1997 年人均 GDP 标准化回归系数为负值，1997~2018 年为正值。见表 3。两个阶段回归分析的岭迹图见图 9、图 10。

### 3.4. 不同阶段 IMR 的发展水平及影响因素

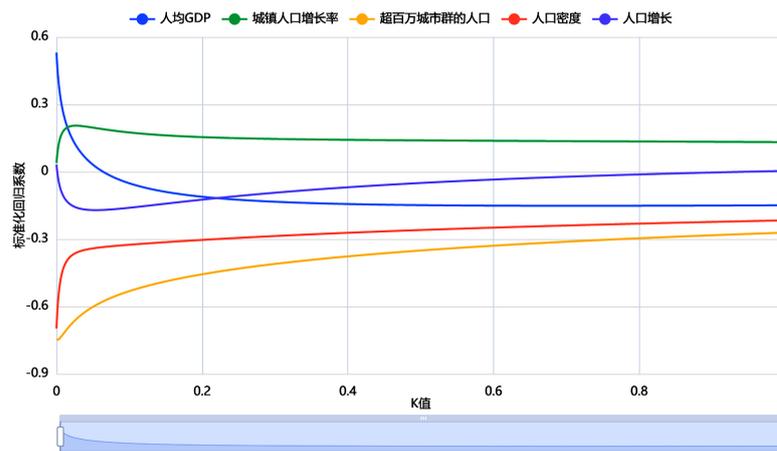
1961 年日本 IMR 为 27.9‰，2018 年为 1.8‰，日本 IMR 呈逐年下降现象，1961~2018 年平均下降量为 -0.46‰，平均下降速度为 4.69%，不同阶段 IMR 平均发展水平见表 4。

1961~1997 年 IMR 的首位影响因素是超百万城市群的人口，其次是人口密度，人均 GDP 位居最末位。1997~2018 年 IMR 的首位影响因素是人均居民最终消费支出，其次是护士和助产士数，人均 GDP 位居最末位。各个阶段的 IMR 影响因素见表 2、表 3，各个阶段影响因素顺位见表 4。

**Table 3.** Ridge regression analysis of the influencing factors of IMR in Japan from 1961 to 1997 and from 1997 to 2018  
**表 3.** 日本 1961~1997 年、1997~2018 年 IMR 影响因素的岭回归分析

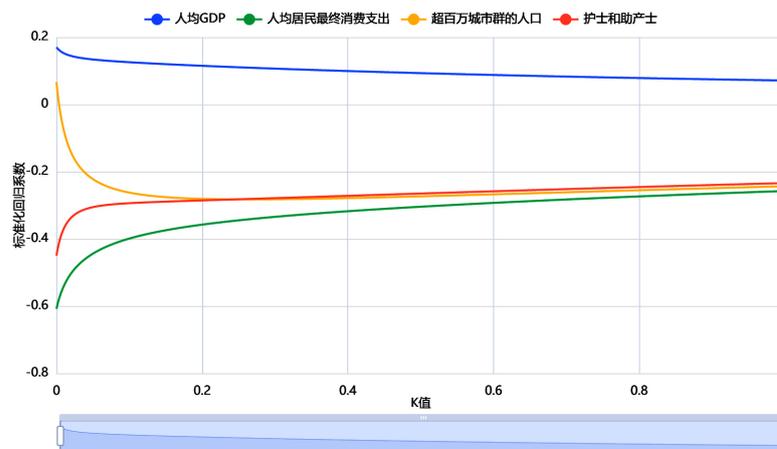
分组	n	k 值	自变量	标准回归系数	回归系数 t 检验		拟合优度		回归方程 F 检验	
					t	P	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	F	P
1961~1997 年	10	0.120	人均 GDP	-0.070	-2.543	0.016	0.979	0.976	288.745	0.000
			城镇人口增长率	0.169	5.746	0.000				
			超百万城市群的人口	-0.512	-18.385	0.000				
			人口密度	-0.320	-15.789	0.000				
			人口增长	-0.153	-5.642	0.000				
1997~2018 年	13	0.049	人均 GDP	0.134	3.311	0.004	0.971	0.964	141.192	0.000
			人均居民最终消费支出	-0.445	-5.853	0.000				
			超百万城市群的人口	-0.221	-3.244	0.005				
			护士和助产士数	-0.306	-4.211	0.001				

注：n 表示该阶段参与筛选回归模型的自变量的个数。



**Figure 9.** Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1961 to 1997

**图 9.** 1961~1997 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图



**Figure 10.** Ridge plot of regression analysis on the influencing factors of infant mortality rate in Japan from 1997 to 2018

**图 10.** 1997~2018 年日本婴儿死亡率影响因素岭回归分析的岭迹图

**Table 4.** Average development level, influencing factors, and ranking of phased IMR in Japan  
**表 4.** 日本阶段性 IMR 平均发展水平、影响因素及顺位

分组	起点 IMR (‰)	终点 IMR (‰)	平均增长 量(‰)	平均增长 速度(%)	影响因素及顺位				
					第 1	第 2	第 3	第 4	第 5
1961~ 1969 年	27.9	14.2	-1.71	-8.10	超百万城市群的人口	人均 GDP	能源使用量	-	-
1969~ 1976 年	14.2	9.4	-4.80	-5.72	人口密度	人均 GDP	耗电量	-	-
1976~ 1983 年	9.4	6.2	-3.20	-5.77	人口密度	人均 GDP	人均居民最终消费支出	人口增长	-
1983~ 1990 年	6.2	4.6	-1.60	-4.17	人口密度	人口增长	人均 GDP	-	-
1990~ 1997 年	4.6	3.8	-0.80	-2.69	人均 GDP	护士和助产士数	人均居民最终消费支出	-	-
1997~ 2004 年	3.8	2.8	-1.00	-4.27	护士和助产士数	人口密度	人均居民最终消费支出	总生育率	人均 GDP
2004~ 2011 年	2.8	2.3	-0.50	-2.71	总生育率	超百万城市群的人口	人均 GDP	-	-
2011~ 2018 年	2.3	1.8	-0.50	-3.44	超百万城市群的人口	人均 GDP	人均居民最终消费支出	-	-
1961~ 1997 年	27.9	4.6	-0.67	-5.39	超百万城市群的人口	人口密度	城镇人口增长率	人口增长	人均 GDP
1997~ 2018 年	4.6	1.8	-0.10	-3.50	人均居民最终消费支出	护士和助产士数	超百万城市群的人口	人均 GDP	-

## 4. 讨论

### 4.1. 人均 GDP 与 IMR 关系转变的设想

让·德雷兹[11]、阿码蒂亚·森[12]研究发现通过高速增长可迅速降低 IMR，称为增长引发型(growth-mediated)。理想的经济增长自然轨迹可看成是从低水平向高水平发展的过程，低或中等水平有高速增长的可能，但当经济增长到一定程度增长速度会自然放缓，甚至会出现增长停滞或下降；同样，理想的 IMR 下降历程也可看成是从高死亡率向低死亡率发展的过程，高或中等死亡率有快速下降的可能，当 IMR 下降到一定程度，处于低水平持续状态时[13]，下降速度缓慢，甚至会出现下降停滞或反跳抬升。人均 GDP 与 IMR 关系可表现负相关或非负关系(正相关或不相关)两情形，表示二者之的密切程度，但无确切因果关系。基于此建立研究假设，人均 GDP 与 IMR 关系理想的发展趋势可看为从非负关系向负相关转折而来(第一转变)，再由负相关向非负关系转折而去(第二转变)。中国的人均 GDP 与 IMR 关系变化出现过第一转折现象[4] [6]。负相关期间与非负关系期间 IMR 影响因素存在一定差别，面临关系转变应适时调整防控策略。

### 4.2. 在上世纪九十年代中后期日本人均 GDP 与 IMR 发生从负相关(有积极影响)向非负相关(无积极影响)的关系转变

结果表明，前 5 个阶段人均 GDP 与婴儿死亡率呈不同程度的负相关关系，合并前 5 个阶段为 1961~1997 年，二者呈显著负相关关系。后 3 个阶段出现了二者相关性从正相关向负相关的波动变化，

这与人均 GDP 的波动有关, 历史以来日本婴儿死亡率持续下降, 人均 GDP 在逐年增长至 1997 年的谷顶后, 转而逐年下降, 至 2011 年跌入低谷后又逐年增长。观察中国香港 IMR, 在 2006 年开始进入 2‰以下, 至 2018 年的 13 年间 IMR 波动于 1.7‰上下[14] [15]。日本 IMR 于 2017 年进入 2‰以下, 未来下降空间很小, IMR 将处于低水平持续状态[11], 甚或会出现年度的波动反跳, 预测未来日本人均 GDP 与 IMR 关系将不会随人均 GDP 波动而大幅变化, 故而将后 3 个阶段合并为 1997~2018 年, 呈中度正相关关系。

仅从人均 GDP 与 IMR 之间相关性密切程度, 无法揭示人均 GDP 对 IMR 的影响大小。在纳入更多自变量建立多元线性回归模型时, 相关自变量间存在着多重共线性, 筛选模型时会剔除对 IMR 有影响的自变量。所以选择岭回归分析, 规避多重共线性问题。结果显示, 各阶段或阶段合并后的岭回归方程 F 检验差异均有统计学意义, 说明回归模型有意义,  $R^2$  均接近 1, 说明拟合优度好,  $k$  值均较小, 提示各变量的标准化回归系数趋于稳定, 偏差较小。经观察, 相同阶段及阶段合并后的人均 GDP 回归系数 t 检验与相关分析假设检验结果一致, 均有统计学意义, 且标准化回归系数符号与相关系数符号均一致。经验证, 日本人均 GDP 与婴儿死亡率关系从 1961~1997 年 5 个阶段的负相关向 1997~2018 年 3 个阶段的非负相关的转变(第二转变)。1961~1997 年间的负相关是否是由过去某个时期的非负关系转折而来(第一转变), 目前尚缺乏实证资料的验证, 因 1997~2018 年间 3 个阶段的关系波动, 二者关系转变的论断仍需要经过时间的检验。从两个阶段 IMR 的平均发展水平看, 1997~2018 年 IMR 年平均下降量小于、平均下降速度慢于 1961~1997 年, 可能与二者关系转变有关, 其原因需深入探究。

有文献报道[16], 日本 1970~2000 年、2000~2018 年的阶段性婴儿死亡率影响因素分析, 人均 GDP 是 1970~2000 年的影响因素却不是 2000~2018 年的影响因素, 1970~2000 年的分析结果与本文前 5 个阶段合并后的结果相一致, 但 2000~2018 年与本文后 3 个阶段合并后的分析结果不一致, 可能与分组的时间起始不一致有关。本文作出的人均 GDP 与 IMR 关系从负相关向非负相关的转变, 更为恰切的表述应为从有积极影响向无积极影响的转变。从本文结果结合前期文献, 可推测日本发生第二转变的时间大致在上世纪九十年代中后期(1997 年至 2000 年间), 1997 年婴儿死亡率为 3.8‰, 已经处于相当低的水平, 以高 IMR 为起始有较大的下降空间, 使人均 GDP 与 IMR 负相关(积极影响)成为必然的可能, 除非期间 IMR 因防控失策出现持久的下降停滞甚至反弹, 在此期间, 人均 GDP 是婴儿死亡率的影响因素, 且发挥积极影响作用, 应当发挥经济发展与政策扶持的协同作用[4] [5] [6], 加强妇幼健康领域的经济投入力度, 甚或加大投入速度(适当快于人均 GDP 的增长速度), 可以加快 IMR 的下降速度, 从而缩短负相关期(积极影响期), 若在积极影响期忽视人均 GDP 的作用, 则会错失促进 IMR 快速下降的机遇。发生第二转变后, 从低 IMR 水平向更低的 IMR 发展, 下降空间十分有限, 使人均 GDP 与 IMR 非负相关(无积极影响)成为二者关系变化的最终发展趋势, 在此期间, 人均 GDP 不是 IMR 的影响因素, 或发挥消极作用, 仍然扩大妇幼健康的经济投入力度, 将难以发挥有效降低 IMR 的效果, 还会造成不必要的资源浪费。进入非负相关期(无积极影响期) IMR 将长期处于低水平持续状态, 导致婴儿死亡的疾病更多是先天性、遗传性、代谢性疾病, 是当前医学科学尚无法根治的疾病, 经济投入在保障妇幼健康服务有序运行的基础上, 有必要在针对性科技攻关方向上加大投入, 基于优胜劣汰的遗传学基本法则, 医疗救治方面要从伦理学角度作出理性的选择[6], 科技投入的重点需要定位在此类疾病的早期筛查、早期诊断、早期干预的研究上。判断二者关系所处的位置、及早发现关系变化的转折点对适时调整防控策略有一定的现实意义。目前仅发现中国大陆地区出现了第一转变[6]、以及本文所述的日本发生了第二转变, 人均 GDP 与 IMR 关系变化的假设仍需更多的国别研究加以论证。

#### 4.3. 不同发展阶段日本 IMR 影响因素不同, 人均 GDP 不是首要因素

从 IMR 影响因素顺位看, 1961~1997 年负相关期(积极影响期) IMR 的首要影响因素为超百万城市群

的人口,第二影响因素为人口密度,人均GDP位居最末位。1997~2018年非负相关期(非积极影响期)IMR的首要影响因素为人均居民消费支出,其次为护士和助产士数,人均GDP亦位居最末位。在1961~2018年的8个阶段的第一影响因素中,人口密度各3例次,超百万城市群的人口2例次,护士和助产士数、总生育率、人均GDP各1例次,人均GDP亦位居最末位,仅占1/8,在日本IMR下降历程中,人均GDP不是首要影响因素。有文献报道[17],2000~2016年高收入国家IMR前二位影响因素是人均卫生支出、人均GDP,与本文相近阶段1997~2018年的情况并不一致,不同高收入国家可能各有其特殊性,有必要进行国别研究。

从影响因素的发生频次看,8个阶段回归系数t检验差异有统计学意义的10个自变量,累积频数为27例次,其中,经济相关因素包括人均GDP、人均居民最终消费支出等2个指标,12例次,占44.44%(12/27);人口相关因素包括超百万城市群的人口、人口密度、人口增长率、城镇人口增长率、总生育率等5个指标,11例次,占40.74%(11/27);卫生相关因素仅护士和助产士数1个指标,2例次,占7.41%(2/27);能源与环境相关因素包括耗电量、能源使用量等2个指标,2例次,占7.41%(2/27)。人均GDP的构成比最高为29.63%(8/27),其次为人均居民最终消费支出均各为14.81%(4/27)。人均GDP等经济因素又是值得重视的影响因素。

在8个阶段中,从不同阶段影响因素的顺位看人均GDP不是婴儿死亡率的首要影响因素,但从频数构成比看人均GDP却位居首位,有必要进一步评估人均GDP对婴儿死亡率的作用。若将某阶段的婴儿死亡率某一影响因素的标准化回归系数绝对值称为该阶段该影响因素对IMR的影响力(简称回归系数影响力),8个阶段的总影响力为10个自变量27例次标准化回归系数绝对值之和,8个阶段某一影响因素的影响力为该影响因素所有频次的标准回归系数绝对值之和,按分类的(如人口因素)影响力为该分类的(人口因素包括5个自变量)所有影响因素的标准化回归系数绝对值之和。经测算总影响力为8.164,人口因素的影响力为4.008,占总影响力的49.09%,经济因素影响为3.147,占38.55%,卫生因素影响为0.534,占6.54%,能源与环境因素影响为0.475,占5.82%。人口因素居首位,经济因素也发挥重要作用。按影响力排序前五位影响因素分别为人均GDP(2.064,25.28%)、超百万城市群的人口(1.442,17.66%)、人口密度(1.360,16.66%)、人均最终消费支出(1.083,13.27%)、总生育率(0.558,6.83%)。人均GDP的影响力位居首位,这与文献报道的比较一致[17]。在日本IMR下降历程中,人均GDP不是首要影响因素,可能发挥着潜在的协同作用,其作用机制有待深入探索。

#### 4.4. 日本防控婴儿死亡率的启示

基于20个低收入国家的婴儿死亡率的岭回归分析表明[18],低收入国家婴儿死亡率总体上呈下降趋势,但发展态势不容乐观,人均GDP总体上呈增长趋势,但由于基础薄弱、增速缓慢,可能难以对婴儿死亡率发挥显著的决定性影响。人口相关因素在低收入国家婴儿死亡率影响因素中占主导地位,农业、环境与能源、经济、教育、卫生相关因素处于次要位置。日本降低婴儿死亡率的成功经验,有值得低收入国家学习借鉴的地方。

##### 4.4.1. 不能放大也不能忽视人均GDP的作用

加快经济社会发展,加大妇幼专项投入,一直以来都是社会各界的广泛认知和共识。有文献指出[9],在日本经济快速增长和推行全民健康保险制度之前IMR就急剧下降,还有报道称[19][20],日本医疗保健费用很低,人均医疗支出仅是美国的一半,日本IMR却领先全球。结果显示,在负相关期间首要影响因素为超百万城市群的人口、其次是人口密度,在非负关系期首要影响因素是人均居民消费支出、其次是护士和助产士数,两个阶段中人均GDP均位居最末位次,因而不能过度放大大人均GDP的作用。有研

究显示日本鹿儿岛县[21] 1968~1985年 IMR 与人口增长呈负增长相关,与老龄化指数和总生育率正相关,鲜少有研究日本人口因素与 IMR 的文献资料。日本是全球重要的经济大国,工业发达,商贸活动频繁,人均收入高,吸引人口迁入,人口密度增加,人口超过 100 万城市群人口增多,社会资源不断集聚,公共服务愈发健全,卫生资源配置更为优化,社会家庭较人口稀疏地区能够得到更为便捷、高效的医疗保健服务。人均居民最终消费支出受人均收入、城镇人口比重、消费价格指数等影响,与经济社会发展也密切相关。文献报道,日本降低 IMR 的实质性进展与人民生活水平有关[22],1955~2000 年日本 IMR 等儿童健康状况与社会指标之间的关系随着经济发展而发生变化[23]。在 8 个阶段中,尽管人均 GDP 不是首要影响因素,但频数构成比最高、回归系数影响力最高,因此,人均 GDP 又是不可忽略的影响因素。

#### 4.4.2. 持续高效落实公共卫生服务项目

阿码蒂亚·森[11]还提出不依赖高速增长,通过精心策划的社会扶助项目起作用可快速降低 IMR。日本各级政府重视妇幼健康,颁布实施保障妇女的法律[24],逐步建立完备的医疗保健服务体系和健全的医疗保险制度[25],社区支持、公共卫生教育和优质医疗服务的有效系统涵盖了从受孕到学龄的各个阶段[26]。日本持续推广使用《母婴健康》手册,1960~1990 年间分发《母婴健康》数量与围产儿死亡率存在相关性[27],有助于早期识别高危妊娠,减少医疗资源的不当使用,通过护理提供者在客户和当局之间建立反馈系统[27]。日本现在使用云计算进行操作[28],成为健康教育和医疗保健沟通的电子记录工具。冲绳县 IMR 下降得益于婴儿公共卫生和初级保健模式的成功[29]。日本也是“扶持导致”的典型案列,其经验值得借鉴。建立政府主导的妇幼健康投入与政策扶持协同作用机制,是促进 IMR 下降的重要方法。

#### 4.4.3. 重视护士和助产等专业人才配备,并发挥其作用

结果显示在非负关系期间护士和助产数是位居第二位影响因素。有研究发现日本战后 IMR 与各县医疗资源的差异(人均医生、护士和住院分娩的比例)密切相关[9],1999~2007 年更多的护士和人均公共卫生护士与 IMR 大幅下降相关[29]。有报道在 1947~1987 年间日本婴儿死亡病因中,先天性异常死亡人数每年只有很小的差异,改善先天畸形死亡率似乎很困难,原因是改善医疗和护理的效果已经接近极限[30]。加快专业人才培养是重要经验,但当 IMR 处于低水平持续状态时,降低 IMR 已非人力所及,需要依靠科学技术的进步,还要从伦理学角度思考必要性。

#### 4.4.4. 基层网底功能非常重要

日本岩手县的泽内村[31]曾经以贫穷、疾病和大雪而闻名。1962 年 IMR 降为 0,主要归功于村长和村医的努力。着力提高妇女社会地位,开展计划生育、育儿、营养教育。重视公共卫生管理,成立政府卫生机构,重组卫生保健系统,配备公共卫生护士,启动婴儿定期健康检查。购买推土机清理冬季村里道路,使人们能够进入医院。东京荒川区的 Okuba 公共卫生咨询诊所在 1983 年实现了婴儿零死亡率,重要经验是公共卫生护士探访孕妇之家,以及母亲参与团体咨询和讨论[32]。尽管本文未能纳入反映基层网底功能的变量指标,但从最基层的村、社区入手,落实各项保障措施,更有利于整合社会力量,取得全方位的防控效果。

#### 4.4.5. 环境因素的正面与负面影响

日本于 1992 年实施《汽车氮氧化物法》,有研究[33]利用 1987 年至 1997 年间从 1500 多个监测站采集的面板数据,发现法规实施后受监管地区的 NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub> 水平分别降低了 87%和 52%。使用市级人口动态统计面板数据集,经双重差分模型分析,该法规的颁布解释了 1991 年至 1993 年期间胎儿死亡率的大部分改善,为大规模汽车监管政策对胎儿健康的积极影响提供了证据。2011 年 3 月福岛第一核电站核灾难发生后,日本婴儿死亡率的月度数据在 2011 年 5 月和 2011 年 12 月出现了明显的峰值[34]。20 世纪 30

年代日本在秋田县的 Yoneshiro 河周围, 由于河流受到采矿污染, 重金属在母亲体内积聚, 是造成高 IMR 的原因[35]。本研究纳入模型分析的二氧化碳排放量最终未被确定为 IMR 的影响因素, 也没有纳入更多的反映环境污染的变量指标进行分析, 但日本的正面经验与负面教训值得重视, 宜居环境是人类生存的基本需求, 保护生态环境是经济社会可持续发展的必然要求。

#### 4.5. 局限性

IMR 影响因素纷繁复杂, 本研究仅检索 16 个指标, 尚未涵盖全面。本研究基于相关分析和岭回归分析寻找人均 GDP 与 IMR 关系的变化转折, Pearson 相关分析是以服从二元正态分布的两个变量为基础的, 事实上, 经数据标准化后仍有少数指标并不符合严格意义上的正态分布, 通过观察每个指标的样本峰度绝对值均小于 10 并且偏度绝对值亦小于 3, 结合正态分布直方图、PP 图或者 QQ 图可以描述为基本符合正态分布。本研究从经济发展视角进行, 但从结果看人口、消费水平、卫生资源配置等因素也值得深入探索分析。阶段性分组起始时间、组内样本数的变化可能会导致该阶段 IMR 影响因素的变化, 事实上, IMR 及其影响因素随时间推移是动态变化的, 本文的研究结果仅供参考。关于人均 GDP 与婴儿死亡率关系变化的转折是基于相关分析结合回归分析的方法确定的, 事实上, 相关分析有统计学意义时, 回归分析可以出现回归系数  $t$  检验差异无统计学意义的情形, 本文的验证结果相一致可能是巧合, 虽对结果的判断没有影响, 但从方法学上仍有瑕疵, 二者关系转变应根据回归分析结果最终判断, 相关分析是分组的依据, 分组相关分析结果对二者关系转变有提示作用, 不应作为最终判断的直接依据。

#### 5. 结论

总之, 日本在上世纪九十年代中后期出现了人均 GDP 与 IMR 关系从负相关(有积极影响)向非负相关(非积极影响)的关系转变。负相关(有积极影响)期间 IMR 的首要影响因素是超百万城市群的人口、其次为人口密度, 非负相关(无积极影响)期间首要因素是人均居民消费支出、其次是护士和助产士数, 在两阶段内人均 GDP 均位居最末位。认识二者关系所处的位置、判断关系变化的转折点对适时调整防控策略有一定的意义。不能过分放大也不能忽视人均 GDP 的作用。日本降低 IMR 的做法值得学习借鉴。

#### 基金项目

南通市妇幼健康专科联盟科研项目(TFM202104)。

#### 参考文献

- [1] 李鸿斌, 贲宇. 基于《世界卫生统计 2015》资料全球婴儿死亡率分析[J]. 国际儿科研究杂志, 2022, 2(1): 12-19.
- [2] Patel, K.K., Rai, R. and Rai, A.K. (2021) Determinants of Infant Mortality in Pakistan: Evidence From Pakistan Demographic and Health Survey 2017-18. *Journal of Public Health*, **29**, 693-701. <https://doi.org/10.1007/s10389-019-01175-0>
- [3] 李鸿斌. 基于《世界卫生统计 2015》资料全球 5 岁以下儿童死亡率的现状分析[J]. 中国循证医学杂志, 2017, 17(3): 269-275.
- [4] Li, H.B., Feng, H.J., Wang, J., Qian, Z.J. and Gu, J.M. (2017) Relationships among Gross Domestic Product per Capita, Government Health Expenditure per Capita and Infant Mortality Rate in China. *Biomedical Research*, **28**, 2859-2864.
- [5] 李鸿斌, 贲宇, 冯海娟. 婴儿死亡率影响因素及未来防控策略思考[J]. 临床医学进展, 2022, 12(8): 7992-8000.
- [6] 李鸿斌. 中国婴儿死亡率影响因素的岭回归分析[J]. 临床医学进展, 2023, 13(6): 9368-9377.
- [7] Higami, E. and Tomob, K. (2014) How Infant Mortality Was Reduced in the Early Twentieth Century in Osaka. *Sociology Study*, **4**, 446-460.
- [8] Laskar, M.S. and Harada, N. (2005) Trends and Regional Variations in Infant Mortality Rates in Japan, 1973-1998.

- Public Health*, **119**, 659-663. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2004.08.019>
- [9] Yorifuji, T., Tanihara, S., Inoue, S., Takao, S. and Kawachi, I. (2011) The Role of Medicine in the Decline of Post-War Infant Mortality in Japan. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, **25**, 601-608. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2011.01216.x>
- [10] 方积乾. 卫生统计学[M]. 第7版. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 199-200.
- [11] 让·德雷兹, 阿玛蒂亚·森. 饥饿与公共行为[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2006: 187-210.
- [12] 阿玛蒂亚·森. 以自由看待发展[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2002: 35-37.
- [13] 李鸿斌. 中国婴儿死亡率发展趋势研究——动态数列分析法的应用[J]. 中国人口科学, 2013, 33(6): 39-49.
- [14] 香港特别行政区政府统计处. 1951年至2018年香港婴儿死亡趋势[J]. 香港统计月刊, 2020(3): FB1-FB15. [https://www.censtatd.gov.hk/en/data/stat\\_report/product/FA100108/att/B72003FB2020XXXXB0100.pdf](https://www.censtatd.gov.hk/en/data/stat_report/product/FA100108/att/B72003FB2020XXXXB0100.pdf)
- [15] 香港特别行政区政府统计处. 1951年至2011年香港婴儿死亡趋势[J]. 香港统计月刊, 2013(2): FB1-FB14. [https://www.censtatd.gov.hk/en/data/stat\\_report/product/FA100108/att/B71302FB2013XXXXB0100.pdf](https://www.censtatd.gov.hk/en/data/stat_report/product/FA100108/att/B71302FB2013XXXXB0100.pdf)
- [16] 李鸿斌, 冯海娟, 贲宇. 日本阶段性婴儿死亡率经济社会因素的岭回归分析[J]. 国际医学与数据杂志, 2023, 7(1): 4-7.
- [17] 李鸿斌, 贲宇, 冯海娟. 不同收入国家2000-2016年婴儿死亡率经济社会影响因素的峡谷险峰岭回归分析[J]. 国际临床研究杂志, 2023, 7(3): 39-44.
- [18] 李鸿斌. 基于世界银行数据20个低收入国家婴儿死亡率影响因素的岭回归分析[J]. 临床医学进展, 2023, 13(8): 13116-13153.
- [19] Korte, D. (1992) Infant Mortality: Lessons from Japan. *Mothering*, No. 62, 82.
- [20] Schulman J. (1989) Japan's Healthy Babies—An American Doctor's View. *World Health Forum*, **10**, 66-69.
- [21] Wakisaka, I., Yanagihashi, T., Eguchi, S., et al. (1988) A Study of Infant Mortality in Kagoshima Prefecture over the Period 1968-1985. *Japanese Journal of Health & Human Ecology*, **54**, 143-152. (In Japanese) <https://doi.org/10.3861/jshhe.54.143>
- [22] Hokama, T. and Binns, C. (2012) Progress in Infant Health in Okinawa, Japan. *Asia Pacific Journal of Public Health*, **24**, 654-662. <https://doi.org/10.1177/1010539512453250>
- [23] Ishitani, S., Nakamura, K., Fukuda, Y., et al. (2005) Critical Contribution of Sanitation Infrastructure and Primary Medical Care to Child Health Status in Japan from 1955 to 2000. *Journal of Medical & Dental Sciences*, **52**, 213-222.
- [24] Grant, J. (1991) A Role for Japan's Past in the Future. *JOICFP News*, No. 208, 3.
- [25] Li, Z.C., Morikawa, Y., Nakagawa, H., et al. (1993) Comparison of the Levels of Maternal and Child Health between China and Japan. *Japanese Journal of Health and Human Ecology*, **59**, 97-103. (In Japanese) <https://doi.org/10.3861/jshhe.59.97>
- [26] Leppert, P.C. (2011) An Analysis of the Reasons for Japan's Low Infant Mortality Rate. *Journal of Nurse-Midwifery*, **38**, 353-357. [https://doi.org/10.1016/0091-2182\(93\)90017-B](https://doi.org/10.1016/0091-2182(93)90017-B)
- [27] Takayanagi, K., Iwasaki, S. and Yoshinaka, Y. (1993) The Role of the Maternal and Child Health Handbook System in Reducing Perinatal Mortality in Japan. *Clinical Performance and Quality Healthcare*, **1**, 29-33.
- [28] Yoshida, H., Kato, N. and Yokoyama, T. (2014) Trends in Maternal and Child Health (MCH) Research in Japan: Here and Now, and Beyond. *Journal of the National Institute of Public Health*, **63**, 32-38. (In Japanese) <https://www.niph.go.jp/journal/data/63-1/201463010005.pdf>
- [29] Mishina, H., Hilton, J.F. and Takayama, J.I. (2013) Trends and Variations in Infant Mortality among 47 Prefectures in Japan. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, **19**, 849-854. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2753.2012.01862.x>
- [30] Nakamura, Y., Nagai, M. and Yanagawa, H. (1991) A Characteristic Change in Infant Mortality Rate Decrease in Japan. *Public Health*, **105**, 145-151. [https://doi.org/10.1016/S0033-3506\(05\)80289-6](https://doi.org/10.1016/S0033-3506(05)80289-6)
- [31] Araki, M. (1983) A 20th Century Miracle in a 19th Century Village-Infant Mortality...Zero. *JOICFP Review*, No. 5, 6-12.
- [32] Okuba Public Health Consulting Clinic Arakawa-ku Tokyo (1984) Which Achieved a Zero Infant Mortality in the Assigned Area. *Kangogaku Zasshi*, **48**, 834-835.
- [33] Inoue, T., Nunokawa, N., Kurisu, D. and Ogasawara, K. (2020) Particulate Air Pollution, Birth Outcomes, and Infant Mortality: Evidence from Japan's Automobile Emission Control Law of 1992. *SSM-Population Health*, **11**, Article ID: 100590. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2020.100590>
- [34] Körblein, A. (2012) Infant Mortality in Japan after Fukushima. Strahlentelex Elektrosmog Report.

---

[http://www.folkkampanjen.se/pdf\\_20130929\\_dodlighet.pdf](http://www.folkkampanjen.se/pdf_20130929_dodlighet.pdf)

- [35] Moriya, K. and Tomobe, K. (2019) Mining Pollution and Infant Health in Modern Japan: From Village/Town Statistics of Infant Mortality. Discussion Papers in Economics and Business.  
[http://www2.econ.osaka-u.ac.jp/econ\\_society/dp/1916.pdf](http://www2.econ.osaka-u.ac.jp/econ_society/dp/1916.pdf)