

引用格式:胡振,何晶晶,王玥. 基于IPAT-LMDI扩展模型的日本家庭碳排放因素分析及启示[J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1831-1842. [Hu Z, He J J, Wang Y. Factor analysis and enlightenment of household carbon emissions in Japan based on IPAT-LMDI extension model[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9): 1831-1842.] DOI: 10.18402/resci.2018.09.13

基于IPAT-LMDI扩展模型的日本家庭碳排放因素分析及启示

胡 振,何晶晶,王 玥

(西安建筑科技大学, 西安 710055)

摘 要:日本是世界上城镇化水平较高的国家,其少子老龄化人口特征明显,资源相对匮乏,家庭崇尚低碳生活理念。中国已逐渐迈入快速城镇化、人口老龄化社会,人均资源占有量也并不高,因此,日本家庭碳排放的变化规律及相关经验对于中国节能减排对策的制定具有一定的参考价值。本文以日本2001—2011年数据为样本,基于IPAT-LMDI扩展模型,构建一个包括家庭规模、住宅利用率、经济发展水平、碳排放率、能源消费结构和能源消耗强度的日本家庭碳排放因素分解模型,并就各因素变动对日本户均碳排放的影响程度、日本户均碳排放对因素变动的敏感程度进行双向分析。结果表明,日本户均碳排放波动上升趋势是正向驱动因素和抑制因素共同作用的结果,其中碳排放率、能源消费结构和经济发展水平是正向驱动因素,能源消耗强度、家庭规模和住宅利用率是抑制因素;不同时期日本户均碳排放对抑制因素的敏感程度不同,总体来看对家庭规模的敏感程度较高,对经济发展水平的敏感程度较低。日本家庭碳排放的因素分析启示我们,在城市化的进程中应转变家庭能源控制视角,优化家庭能源结构,合理控制住宅增速、规模和节能标准,提高家庭低碳生活意识和水平。

关键词:家庭碳排放;IPAT扩展模型;LMDI分解法;弹性系数;日本

DOI: 10.18402/resci.2018.09.13

1 引言

2009年哥本哈根气候大会上中国提出减排目标,到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%^[1],而据统计,中国居民生活能源消费总量是仅次于工业的第二大能源消费部门,是碳排放的重要来源^[2],所以家庭将成为中国节能减排的重要部门。研究家庭碳排放的驱动因素,建设低碳家庭对有效控制和减少中国碳排放具有重要意义。

特别是近年来环境荷载负担日趋加重,研究家庭碳排放的驱动因素已显得迫在眉睫^[3]。IPAT模型因可定量分析驱动因素对环境压力的影响而受到碳排放领域学者的普遍认可^[4]。但是结合IPAT模型对家庭碳排放影响因素进行定量识别的过程较为

复杂^[5],首先需要选择合适的分解方法对其进行有效的分解分析。对数平均迪氏分解法(Logarithmic Mean weight Divisia Index method, LMDI)是当前家庭碳排放领域中最常见的因素分解方法^[6],该分解方法的加法形式最早由Ang等和Liu等于1998年提出,2001年又给出其乘法形式^[7-9]。LMDI分解法的优点主要体现为完全分解、无残差、允许数据包含零值等^[10],学者验证可以应用于强度指标的分解,可在能源、碳排放领域进一步推广使用^[11]。

目前,学者运用LMDI分解法对中国家庭碳排放的影响因素进行了多样化的分解,影响因素涉及人口、富裕程度、技术水平等。通过表1文献梳理发现:①能源消费的分解思路相似,大多被细分为能源消费结构、能源消耗强度和碳排放率。但在能源

收稿日期:2017-09-18;修订日期:2018-05-30

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51578438)。

作者简介:胡振,男,辽宁锦州人,博士,教授,主要研究方向为建筑运行能耗控制理论与方法。E-mail: huzhen@xauat.edu.cn

表1 家庭碳排放影响因素分解的文献回顾

Table 1 Literature review on the decomposition of household carbon emissions

研究者	家庭碳排放影响因素分解
查建平 ^[13]	碳排放强度、能源结构、直接生活能源消费强度、居民消费水平、家庭规模
张小洪等 ^[24]	能源消耗结构、家庭年收入、家庭人口、环保意识、家庭受教育程度
胡文发等 ^[1]	能源结构、能源消费强度、居民消费水平、人口密度、户均建筑面积
谭春平等 ^[6]	能源结构、能源碳排放强度、能源效率、住房水平
曲建升等 ^[5]	消费碳排放强度、消费结构、城乡消费比重、消费水平、经济水平、城乡结构
蒋金荷 ^[14]	碳密度、能源结构、能源强度、人均住房面积、家庭规模、总户数
马晓明等 ^[25]	能源碳排放因子、能源消耗结构、单位建筑面积、人均可支配收入
杜威 ^[10]	消费碳排放强度、消费结构、城乡消费比重、消费水平、经济水平、城乡结构
米红等 ^[26]	户数效应、城镇化效应、生活水平效应、生活方式效应、能源强度效应
柴士改 ^[27]	碳排放结构、碳排放强度、居民车辆用燃料消费支出的平均消费倾向、居民收入、户数、平均家庭规模

消费结构方面,电力和热力作为家庭能耗重要组成部分而缺少分析,主要在于电力和热力的碳排放系数会因上游发电行业和发电燃料结构差异而发生变化^[12-14],且其碳排放数据不易获取。②人口和富裕程度的分解较为多样化,如通过家庭人口、人均收入、人均住房面积等人均概念反映人文因素对家庭碳排放的影响,但学者研究发现,家庭户是较人均概念更合适的碳排放分析单位^[3,15,16],以“人均”概念对家庭碳排放进行因素分解无法较好地体现家庭能源消费行为的社会性。③已有文献大多根据家庭碳排放驱动因素的实证研究提出多方面的节能减排对策,但是学者普遍缺少对这一问题的反向思考,分析哪些措施对家庭碳排放的因素更敏感,以及哪些措施在实施中更具节能减排成效,使得对策的侧重点把握不准。虽然部分文献采用边际分析和弹性分析对LMDI分解法中的认知误区进行了修正^[17],但没有具体描述对策与因素变动之间的敏感性关系。

更重要的是,中国家庭碳排放的研究视角大多聚焦于国内家庭,对典型发达国家的家庭碳排放驱动规律缺乏关注。在国际上,日本是低碳社会和低碳家庭建设的典型代表,其典型性主要体现在两个方面。其一,日本经济社会发展程度高,法制体系完善,截止2013年,日本15岁以下的少年人口和65岁以上的老年人口分别占总人口的13%和24.1%,少子老龄化日益加剧^[18]。中国社会变迁与曾经的日本较为相似,作为经济高速增长、法制化进程加快的发展中国家,中国也提前步入了老龄化社会^[19],家

庭小型化等人口变迁问题导致了中国家庭碳排放不同程度的增加^[20]。其二,日本资源匮乏,能源对外依赖度高^[21],其低碳社会建设已逐渐从生产方式的改变延伸到家庭生活方式的改变,崇尚低碳、富足简朴、与自然和谐共生的家庭理念^[22]。当前,中国也在大力倡导节能减排,尽管中国人均资源占有量不足,能源分布不均,清洁能源利用尚未形成规模^[23],家庭低碳模式和生活理念尚处于摸索阶段,但低碳社会是必然的发展趋势,顺应客观规律,借鉴成功经验较为重要。

对日本家庭碳排放的研究,有利于充分认识能源资源稀缺、少子老龄化背景下的家庭碳排放驱动规律,提高中国家庭节能减排的忧患意识,尽早做好准备,以应对人口、经济和技术变迁对家庭碳排放的影响。同时,能够对中国家庭节能减排措施和理念的完善提供较好的指导和借鉴,促进低碳社会的转型过渡,提升未来的国际竞争力。

基于以上分析,本文以日本为例,根据IPAT经典模型中人口、富裕程度、技术水平之间的重要性程度和家庭碳排放影响因素的逐级分解思路建立以家庭户为分解单位,同时考虑空置住宅对家庭碳排放影响的IPAT-LMDI扩展模型。通过计算得出各因素变动对家庭碳排放的贡献值和贡献率,进而就各因素变动对家庭碳排放的影响程度、家庭碳排放变动对各因素的敏感程度展开正向和逆向分析。通过视角的延伸和方法的创新,探讨日本这一典型国家的家庭碳排放规律,为中国家庭节能减排提供参考和借鉴;同时,也能为IPAT-LMDI扩展模

2018年9月

型提供新的分析思路,促使学者对节能减排措施的着力点予以关注,以提高家庭节能减排的成效。

2 IPAT-LMDI 理论模型

2.1 基于 IPAT 的扩展模型

IPAT 模型又称环境压力模型,该模型由 Ehrlich 等于 1972 年首次提出,经 Commoner 扩展为经典模型^[4]。该模型将人类对环境的影响(I)等同于三个因素的产物,即人口(P)、富裕程度(A)和支持这种富裕程度的技术水平(T),用等式表示为: $I=PAT$,该等式体现出人口、富裕程度、技术水平对环境影响的重要性程度^[28]。因为家庭能源消费常常不以个人消费的方式进行,而是以家庭消费的方式展开^[3],所以本文基于 IPAT 经典模型,在日本数据样本的基础上综合考虑影响日本家庭碳排放的因素及重要性程度,建立以家庭户为单位的日本家庭碳排放扩展模型。IPAT 扩展模型分解过程如下:

$$I = P \times A \times T, \text{ 即 } C = P \times A \times T \quad (1)$$

$$\text{一级分解: } C = \sum_i C_i = \sum_i P \times \frac{G}{P} \times \frac{C_i}{G} \quad (2)$$

$$\text{二级分解: } C = \sum_i C_i = \sum_i P \times \frac{G}{P} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{G} \quad (3)$$

三级分解:

$$C = \sum_i C_i = \sum_i D \times \frac{P}{H} \times \frac{H}{D} \times \frac{G}{P} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{G} \quad (4)$$

式中 C 表示日本家庭碳排放总量; C_i 表示日本家庭第 i 种能源的碳排放量; D 表示日本住宅总数; H 表示日本家庭总数; P 表示日本总人口; G 表示日本国内生产总值; E 表示日本家庭能源消费总量; E_i 表示日本家庭第 i 种能源的消费量。

假设 $N=P/H$ 为日本总人口与日本家庭总数的比值,即家庭规模因素; $L=H/D$ 为日本家庭总数与日本住宅总数的比值,即住宅利用率因素; $R=G/P$ 为日本人均国内生产总值,即经济发展水平因素; $F_i=C_i/E_i$ 为日本家庭第 i 种能源的碳排放量在该种能源消费量中所占比重,即第 i 种能源的碳排放率因素; $S_i=E_i/E$ 为日本家庭第 i 种能源消费量在家庭能源消费总量中所占比重,即能源消费结构因素; $I=E/G$ 为日本家庭能源消费量与日本国内生产总值的比值,即能源消耗强度因素。则日本户均碳排放量(V)为:

$$V = \frac{C}{D} = \sum_i \frac{P}{H} \times \frac{H}{D} \times \frac{G}{P} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{G} \quad (5)$$

$$V = \frac{C}{D} = \sum_i N \times L \times R \times F_i \times S_i \times I \quad (6)$$

2.2 基于 LMDI 分解法的日本家庭碳排放因素分解模型

根据建立的 IPAT 扩展模型,运用 LMDI 分解法建立日本家庭碳排放因素分解模型,探讨日本户均碳排放的变动规律及其驱动因素。用 t 代表报告期,用 0 代表基期,则第 t 年相对于基期(2001 年)的日本家庭户均碳排放量变化可以表示为:

$$\Delta V = V_{(t)} - V_{(0)} = \sum_i N_{(t)} \times L_{(t)} \times R_{(t)} \times F_{i(t)} \times S_{i(t)} \times I_{(t)} - \sum_i N_{(0)} \times L_{(0)} \times R_{(0)} \times F_{i(0)} \times S_{i(0)} \times I_{(0)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= \Delta V_N + \Delta V_L + \Delta V_R + \Delta V_F + \Delta V_S + \Delta V_I + \Delta V_{rsd} \\ Q &= \frac{V_{(t)}}{V_{(0)}} = Q_N \times Q_L \times Q_R \times Q_F \times Q_S \times Q_I \times Q_{rsd} \quad (8) \end{aligned}$$

式中 ΔV_N 、 ΔV_L 、 ΔV_R 、 ΔV_F 、 ΔV_S 、 ΔV_I 分别表示各因素变动对日本户均碳排放的贡献值; Q_N 、 Q_L 、 Q_R 、 Q_F 、 Q_S 、 Q_I 分别表示各因素变动对日本户均碳排放的贡献率。其中, ΔV_N 、 Q_N 为家庭规模因素的影响程度; ΔV_L 、 Q_L 为住宅利用率因素的影响程度; ΔV_R 、 Q_R 为经济发展水平因素的影响程度; ΔV_F 、 Q_F 为家庭碳排放率因素的影响程度; ΔV_S 、 Q_S 为家庭能源消费结构因素的影响程度; ΔV_I 、 Q_I 为家庭能源消耗强度因素的影响程度; ΔV_{rsd} 、 Q_{rsd} 为分解余量。

根据公式(7),运用 LMDI 分解法对日本户均碳排放进行因素分解,结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta V_N &= \sum_i W'_i \times \ln \frac{N_{(t)}}{N_{(0)}}; \Delta V_L = \sum_i W'_i \times \ln \frac{L_{(t)}}{L_{(0)}} \\ \Delta V_R &= \sum_i W'_i \times \ln \frac{R_{(t)}}{R_{(0)}}; \Delta V_F = \sum_i W'_i \times \ln \frac{F_{i(t)}}{F_{i(0)}} \\ \Delta V_S &= \sum_i W'_i \times \ln \frac{S_{i(t)}}{S_{i(0)}}; \Delta V_I = \sum_i W'_i \times \ln \frac{I_{(t)}}{I_{(0)}} \end{aligned} \quad (9)$$

式中, $W'_i = (V_{i(t)} - V_{i(0)}) / \ln \frac{V_{i(t)}}{V_{i(0)}}$ 。由前式可得:

$$\Delta V_{rsd} = \Delta V - (\Delta V_N + \Delta V_L + \Delta V_R + \Delta V_F + \Delta V_S + \Delta V_I)$$

$$\begin{aligned}
&= (V_{(t)} - V_{(0)}) - \sum_i W_i \left(\ln \frac{N_{(t)}}{N_{(0)}} + \ln \frac{L_{(t)}}{L_{(0)}} + \ln \frac{R_{(t)}}{R_{(0)}} \right. \\
&\quad \left. + \ln \frac{F_{(t)}}{F_{(0)}} + \ln \frac{S_{(t)}}{S_{(0)}} + \ln \frac{I_{(t)}}{I_{(0)}} \right) \\
&= (V_{(t)} - V_{(0)}) - \sum_i W_i' \times \ln \frac{V_{(t)}}{V_{(0)}} \\
&= (V_{(t)} - V_{(0)}) - \sum_i (V_{(t)} - V_{(0)}) = 0
\end{aligned} \quad (10)$$

对公式(8)两边取对数,可以得到:

$$\begin{aligned}
\ln Q = \ln Q_N + \ln Q_L + \ln Q_R + \ln Q_F \\
+ \ln Q_S + \ln Q_I + \ln Q_{rsd}
\end{aligned} \quad (11)$$

根据公式(7)和公式(11)可以得到 $\frac{\ln Q}{\Delta V} =$

$$\frac{\ln V_{(t)} - \ln V_{(0)}}{V_{(t)} - V_{(0)}} = W, \text{ 则:}$$

$$\begin{aligned}
Q_N &= \exp(W \times \Delta V_N); \quad Q_L = \exp(W \times \Delta V_L) \\
Q_R &= \exp(W \times \Delta V_R); \quad Q_F = \exp(W \times \Delta V_F) \\
Q_S &= \exp(W \times \Delta V_S); \quad Q_I = \exp(W \times \Delta V_I) \\
Q_{rsd} &= \exp(0) = 1
\end{aligned} \quad (12)$$

2.3 IPAT-LMDI因素分解模型的逆向思考

基于IPAT-LMDI因素分解模型可以得出因素变动对日本户均碳排放的贡献值和贡献率,进而可以分析各因素变动对日本户均碳排放的影响程度。但是逆向思考发现,日本户均碳排放对各因素变动的敏感程度无从反映,哪些对策的实施更能够提高家庭节能减排的成效值得学者深究。

为了对家庭碳排放贡献值和贡献率分析进行有益补充,使得家庭碳排放因素分解实证研究更加全面,同时为了把握家庭碳减排的着力点,提高节能减排的成效,本文引入弹性系数概念。家庭碳排放弹性系数是指一定时期内家庭碳排放变动对各影响因素的敏感程度,或者一定时期内单一因素变动1%所引起的家庭碳排放变动的程度。假设 X 为自变量, Y 为因变量,则家庭碳排放弹性系数(EL)的一般计算原理如下:

$$\begin{aligned}
EL &= \pm \frac{(Y_t - Y_0)/Y_0}{(X_t - X_0)/X_0} \\
&= \pm \frac{\Delta Y/Y_0}{\Delta X/X_0} \\
&= \pm \frac{\Delta Y}{\Delta X} \times \frac{X_0}{Y_0}
\end{aligned} \quad (13)$$

式中的“ \pm ”号表示因素变动对家庭碳排放变动的

方向,“+”号表明因素变动对家庭碳排放具有正向驱动作用,“-”号表明因素变动对家庭碳排放具有抑制作用,为了便于分析比较,本文对弹性系数进行绝对值化处理。根据公式(9)、公式(13)可得出日本户均碳排放变动对家庭规模、住宅利用率、经济发展水平、能源消耗强度等因素的弹性系数,弹性系数的绝对值越大,表明家庭碳排放变动对各影响因素的敏感程度越高。弹性系数计算结果如下:

$$\begin{aligned}
EL_N &= \left| \frac{\Delta V_N}{\Delta N} \times \frac{N_0}{V_0} \right|; \quad EL_L = \left| \frac{\Delta V_L}{\Delta L} \times \frac{L_0}{V_0} \right| \\
EL_R &= \left| \frac{\Delta V_R}{\Delta R} \times \frac{R_0}{V_0} \right|; \quad EL_I = \left| \frac{\Delta V_I}{\Delta I} \times \frac{I_0}{V_0} \right|
\end{aligned} \quad (14)$$

3 日本家庭碳排放的因素分析

3.1 数据来源

日本家庭碳排放因素分解模型所需数据包括日本家庭各类能源消费量、各类能源碳排放量、日本国内生产总值、日本总人口、日本住宅总数和家庭总数(表2)。其中,日本家庭各类能源消费量、各类能源碳排放量数据来自日本资源能源厅^[29];日本国内生产总值、日本总人口、日本住宅总数和家庭总数等数据来自日本统计局^[30]。为了研究需要,本文对数据进行如下处理:

(1)家庭耗电的归属调整。日本的能源统计将家庭耗电分为直接耗电和间接耗电,直接电力碳排放计入生产部门,并未计入家庭部门,间接电力碳排放则计入了家庭部门,因此本文需要将家庭直接电力碳排放调整计入家庭碳排放总量。首先,将间接电力(或热)碳含量系数修正为该年的地区平均水平;其次,根据该修正系数测算日本家庭电力(或热)的碳排放;同时,为了统一口径,对间接电力(或热)的碳排放也进行修正。测算方法如下:

$$\begin{aligned}
&\text{某一年家庭间接电力碳含量系数} \\
&= \text{间接电力碳排放} / \text{间接电力发热量}
\end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
&\text{某一年家庭间接电力碳含量系数}^* \\
&= \text{各地区家庭间接电力碳含量系数之和} / 47
\end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
&\text{家庭电力碳排放} = \text{家庭电力发热量} \\
&\quad \times \text{某一年家庭间接电力碳含量系数}^*
\end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned}
&\text{家庭间接电力碳排放}^* = \text{家庭间接电力发热量} \\
&\quad \times \text{某一年家庭间接电力碳含量系数}^*
\end{aligned} \quad (18)$$

式中“*”表示修正值,家庭热力碳排放的测算方法同上。

2018年9月

表2 2001—2011年日本家庭碳排放因素

Table 2 Basic data on the analysis of the Japanese household carbon emission factors from 2001 to 2011

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
能源消费总量/亿t	1.238	1.274	1.243	1.200	1.307	1.286	1.333	1.284	1.260	1.332	1.284
轻质油制品/亿t	0.151	0.161	0.142	0.148	0.165	0.142	0.142	0.125	0.122	0.132	0.128
液化石油气/亿t	0.090	0.090	0.094	0.086	0.086	0.085	0.085	0.080	0.071	0.076	0.068
城市天然气/亿t	0.134	0.138	0.139	0.135	0.142	0.139	0.141	0.138	0.138	0.140	0.140
电力/亿t	0.862	0.884	0.868	0.830	0.913	0.919	0.964	0.940	0.928	0.983	0.947
热/亿t	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
碳排放总量/亿t	0.602	0.634	0.640	0.642	0.690	0.665	0.736	0.692	0.655	0.705	0.822
轻质油制品/亿t	0.082	0.087	0.077	0.080	0.090	0.077	0.077	0.068	0.066	0.072	0.069
液化石油气/亿t	0.043	0.043	0.045	0.041	0.041	0.040	0.040	0.038	0.034	0.036	0.032
城市天然气/亿t	0.054	0.056	0.056	0.054	0.057	0.056	0.056	0.055	0.055	0.056	0.057
电力/亿t	0.422	0.448	0.462	0.466	0.502	0.492	0.562	0.530	0.500	0.541	0.664
热/亿t	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
人口/亿人	1.273	1.275	1.277	1.278	1.278	1.278	1.278	1.277	1.275	1.281	1.278
GDP/万亿日元	493.831	497.312	504.518	516.791	525.203	538.749	546.858	531.458	508.902	523.194	532.980
住宅总数/亿户	0.524	0.532	0.539	0.546	0.554	0.561	0.568	0.576	0.582	0.588	0.594
家庭总数/亿个	0.461	0.467	0.473	0.478	0.483	0.489	0.494	0.500	0.505	0.510	0.515
户均碳排放/(t/户)	1.147	1.193	1.188	1.175	1.246	1.186	1.294	1.201	1.126	1.199	1.384

(2)日本住宅总数和家庭总数的测算。因为日本住宅总数(D)和家庭总数(H)每五年统计一次,所以本文采用差值法对其他年份的数据进行测算。1998—2003年、2003—2008年、2008—2013年日本住宅总数的年增量分别为 $\Delta D_1 = (D_{2003} - D_{1998})/5$ 、 $\Delta D_2 = (D_{2008} - D_{2003})/5$ 、 $\Delta D_3 = (D_{2013} - D_{2008})/5$, 则2001—2002年、2004—2007年、2009—2011年的住宅总数分别为 $D_{1998} + 3\Delta D_1$ 、 $D_{1998} + 4\Delta D_1$ 、 $D_{2003} + \Delta D_2$ 、 $D_{2003} + 2\Delta D_2$ 、 $D_{2003} + 3\Delta D_2$ 、 $D_{2003} + 4\Delta D_2$ 、 $D_{2008} + \Delta D_3$ 、 $D_{2008} + 2\Delta D_3$ 、 $D_{2008} + 3\Delta D_3$ 。日本各年家庭总数的测算方法与住宅总数的测算方法相同。

3.2 因素变动对家庭碳排放的影响程度分析

基于建立的 IPAT-LMDI 日本户均碳排放因素分解模型,根据公式(9)、公式(12),以2001年为基年,计算2002—2011年日本户均碳排放的因素分解值,即家庭规模、住宅利用率、经济发展水平、碳排放率、能源消费结构、能源消耗强度因素对日本户均碳排放的贡献值和贡献率,其中,贡献值大于零,表示该因素变动对户均碳排放具有正向驱动作用;反之,则表示该因素变动对户均碳排放具有抑制作用(表3)。由表3可知:

(1)日本户均碳排放呈波动上升趋势。2002—2007年,日本户均碳排放基本呈隔年下降,又隔年上升的循环波动趋势,并在2007年达到该时期日本户均碳排放的较高点。2007—2009年,日本户均碳排放迅速下降到2002年以来的最低点,为1.126t。2009—2011年,日本户均碳排放呈持续上升趋势且增长速度较快,尤其在2011年,日本家庭碳排放迅速增加到1.384t,为2002年以来的最高点,该变化与“3·11”东日本大地震及海啸所引发的福岛核电站核泄露事故不无关系。因该事故导致的核电站关闭和经济周期波动^[31]使得核能发电比例由2010年的26%迅速下降为零^[32],部分已停用的火力发电厂被重新启用发电,化石燃料进口量迅速增加^[33],增长率高达25%^[34],随之而来的是短期内日本户均碳排放的迅速增加^[35]。

总之,在日本不同时期特定现实情况的影响下,其户均碳排放的变动趋势是正向驱动因素与抑制因素共同作用的结果,正向驱动因素使得日本户均碳排放量增加,抑制因素使得日本户均碳排放量减少。

(2)碳排放率和能源消费结构对日本户均碳排放具有正向驱动作用,且碳排放率对日本户均碳排放

表3 各因素变动对日本户均碳排放的影响程度

Table 3 The impact of factors changes on household carbon emissions

因素分解	年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
户均碳排放	ΔV	0.000	0.046	0.041	0.028	0.099	0.039	0.148	0.055	-0.021	0.053	0.238
	Q	1.000	1.040	1.036	1.024	1.087	1.034	1.129	1.048	0.982	1.046	1.207
家庭规模	ΔV_N	0.000	-0.013	-0.025	-0.038	-0.053	-0.064	-0.081	-0.091	-0.101	-0.111	-0.133
	Q_N	1.000	0.989	0.978	0.968	0.957	0.946	0.936	0.925	0.915	0.910	0.900
住宅利用率	ΔV_L	0.000	-0.002	-0.003	-0.006	-0.008	-0.010	-0.013	-0.015	-0.015	-0.017	-0.019
	Q_L	1.000	0.999	0.997	0.995	0.993	0.991	0.989	0.987	0.986	0.986	0.985
经济发展水平	ΔV_R	0.000	0.007	0.022	0.048	0.069	0.097	0.120	0.083	0.032	0.061	0.091
	Q_R	1.000	1.006	1.019	1.043	1.060	1.087	1.103	1.073	1.029	1.053	1.075
碳排放率	ΔV_F	0.000	0.029	0.070	0.112	0.099	0.074	0.154	0.121	0.078	0.100	0.342
	Q_F	1.000	1.025	1.062	1.102	1.086	1.066	1.135	1.109	1.071	1.089	1.311
能源消费结构	ΔV_S	0.000	0.000	-0.002	-0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	-0.001	0.001	0.007
	Q_S	1.000	1.000	0.999	0.999	1.001	1.000	1.001	1.000	0.999	1.001	1.005
能源消耗强度	ΔV_I	0.000	0.025	-0.020	-0.088	-0.009	-0.057	-0.034	-0.043	-0.014	0.018	-0.050
	Q_I	1.000	1.022	0.983	0.927	0.993	0.952	0.973	0.964	0.988	1.016	0.961

放的影响程度与家庭能源消费结构密切相关。从能源消费结构的静态特征来看,日本家庭能源消费以电力为主,其次包括城市天然气、轻质油制品、液化石油气和热,2011年五者在家庭能源消费结构中分别占比 73.782%、10.895%、9.956%、5.315%、0.053%。从能源消费结构的动态变化来看,2001—2011年,除热消费量基本保持不变之外,轻质油制品和液化石油气的消费量平稳降低,城市天然气和电力消费量波动提高(图1)。可以发现,日本家庭对电力的需求量大且电力消费比重在逐年提高。

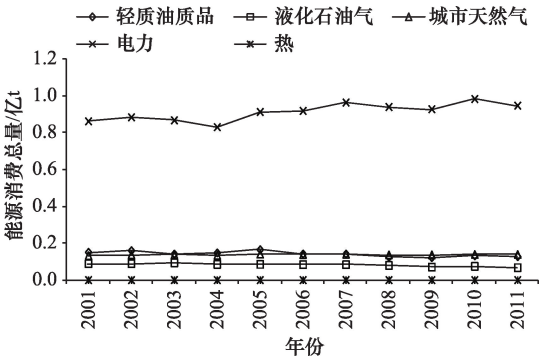


图1 日本家庭能源消费结构动态发展趋势

Figure 1 Dynamic development trend of household energy consumption structure in Japan

已有研究表明,日本家庭碳排放的增长与居民用电量高度相关^[36],原因在于日本能源消费结构以电力为主,再加之受上游发电行业电力结构和发电

燃料结构差异的影响,电力碳排放率在各年波动较大,对家庭碳排放的正向驱动作用更显著。

为优化能源消费结构,降低综合碳排放率,一方面,日本注重能源的节约利用与新能源的开发,大力发展核能、太阳能、风能、水能等清洁能源,并强调各能源的组合优化利用^[37],如为了促进能源消费多样化,提出了原子能立国方针,但这同时也提高了日本低碳家庭建设对核电的依赖度^[38]。由于日本地震频发、核电站较为集中,立法、安全审查、技术规范等不完善都将加剧核电站的危险性,违背其碳减排的初衷;2009年重启“太阳能鼓励政策”,通过经济刺激计划推广太阳能发电^[39]。另一方面,日本注重能源技术革新,如将以煤为主的减碳技术、以核能太阳能为主的无碳技术、以二氧化碳的捕捉和埋存为主的去碳技术^[22]运用到能源结构中,有效降低了能源的碳排放率。

(3)经济发展水平对日本户均碳排放具有正向驱动作用,且对日本户均碳排放的影响程度较高。如图2所示,2001—2007年,日本经济发展水平持续上升,人均国内生产总值在2007年达到428万日元,为历年最高水平。2007—2009年,受世界经济危机的影响,日本经济发展水平持续下降,一度出现负增长的情况^[40]。2009—2011年,日本经济发展水平开始上升。其中,经济发展水平对日本户均碳

2018年9月

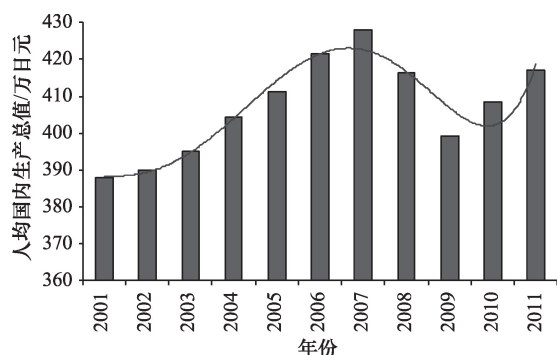


图2 日本人均国内生产总值及发展趋势

Figure 2 Per capita GDP and its development trend in Japan

排放影响程度最高、作用最明显是在2009年,该年日本人均国内生产总值达到自2007年下降趋势以来的最低点,为399万日元,日本户均碳排放也达到历年最低点,为1.126t。

总体来看,20世纪90年代以来日本面临前所未有的经济萧条,实际上体现出日本产业竞争力不足、资源消耗高,家庭碳排放不断增加。针对经济发展滞后对家庭碳排放的正向驱动,一方面,日本树立科技创新立国的目标,加快颁布系列法律法规,以鼓励科技创新和成果转化^[41],另一方面,通过“低碳型创造就业产业补助金”等方式给予战略性新兴产业大量资金支持,以促进日本产业结构优化升级。低碳经济的发展使得日本产业竞争力提升,取得一定的节能减排成效^[42]。

(4)能源消耗强度对日本户均碳排放的贡献值基本为负,可见该因素对日本户均碳排放具有抑制作用。2002—2008年,日本户均碳排放的波动趋势与能源消耗强度贡献值的波动趋势相似(图3),表

明该时期能源消耗强度对日本户均碳排放的抑制作用明显。在日本国内生产总值基数大、波动频率小的情况下,日本能源消耗强度的变动主要与能源消费总量的变动有关,二者波动趋势相似。这一现象被学者称为能源消耗强度的“反弹效应”,即因技术进步或经济发展而降低的能源消耗强度未能抵消因能源消费需求快速增长而增加的能源消耗强度^[43]。但在2006—2007年,日本国内生产总值迅速上升到2001年以来的最高点,弱化了能源消耗强度因素的抑制作用,导致户均碳排放迅速增加。在2010年,能源消耗强度因素的贡献值甚至提高到0.018t,更弱化了能源消耗强度因素的抑制作用。总之,在正常年份,日本家庭能源消费总量的波动会影响能源消耗强度的波动趋势,进而影响能源消耗强度对户均碳排放抑制作用的强弱,但是在国内生产总值出现异常变动的年份,能源消耗强度的抑制作用有所变化。

(5)家庭规模是相对于能源消耗强度和住宅利用率等抑制因素来说,对日本户均碳排放抑制作用最强的。一方面,该抑制作用有逐年增强的趋势,另一方面,与其他抑制因素影响程度的差距逐渐拉大。2001—2011年,日本家庭总数的增长速度远高于人口总数的增长速度(图4),直接表现是家庭规模的不断下降(图5),该时期家庭规模因素对日本户均碳排放的抑制值也从0.013t提高到0.133t。家庭规模减小,户均碳排放当然随之减小,但需要明确的是通过减小家庭规模来降低户均碳排放的做法是不科学的,也是不可行的。针对家庭规模小型化这一客观趋势,日本政府将节能减排的重点放在

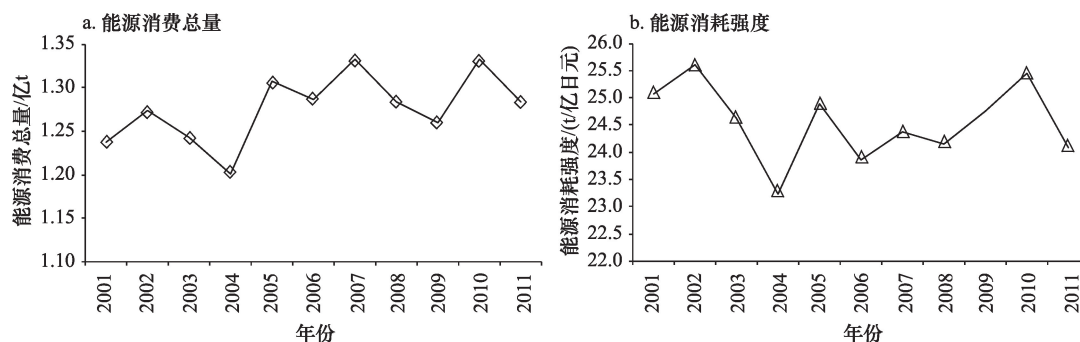


图3 日本家庭能源消费总量及消耗强度

Figure 3 Japanese total household energy consumption and consumption intensity

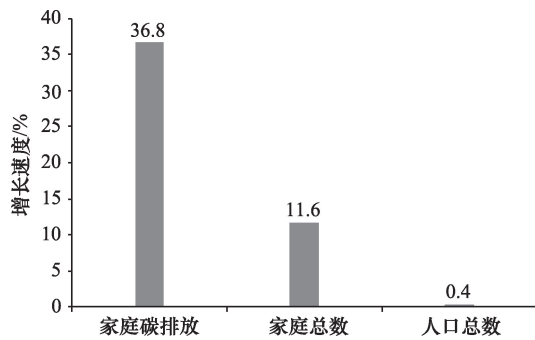


图4 2001—2011年日本家庭碳排放、人口总数、家庭总数增长速度

Figure 4 Growth rate of Japanese household carbon emissions, population and households from 2001 to 2011

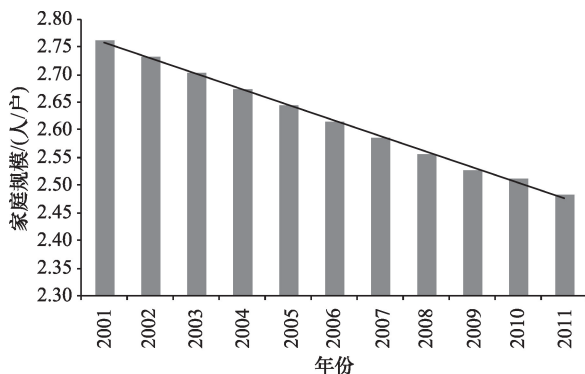


图5 日本家庭规模及发展趋势

Figure 5 Household size and its development trend in Japan

家庭低碳环保知识的宣传、低碳实践活动的推崇和可持续家庭户模式的研究上^[44],如制定“21世纪环境教育方案”,将低碳环保和可持续发展理念贯穿到居民日常生活的各个方面,同时通过“环保积分制度”等低碳实践活动调动家庭参与低碳社会建设的积极性,普及节能家电的使用等^[45]。

(6)住宅利用率因素对日本户均碳排放具有抑制作用,其虽有增强趋势,但总体上小于家庭规模因素和能源消耗强度因素的抑制作用。日本各年住宅总数大于家庭总数,截止2011年,日本住宅总数增长率为13.3%,家庭总数增长率为11.6%,住宅总数增长速度大于家庭总数增长速度,导致日本住宅利用率下降,空置住宅增多,但是不能简单地理解为住宅利用率越低,户均碳排放越低。空置住宅缺乏家庭能源消费行为,却依然在分摊家庭碳排放总量,且随着空置率的提高而分摊的家庭碳排放更多,导致家庭碳排放的测算存在虚减现象。在住宅

利用率方面,日本大量普及节能式住宅,在满足居民舒适生活的条件下,将低碳建筑设计理念、低碳建筑材料的使用、居民低碳生活方式的推崇贯穿于住宅全生命周期,并注重降低非居住楼层单位平方米的能源需求^[46],提高住宅的能源利用率,有效降低了家庭碳排放。

3.3 家庭碳排放变动对各因素的敏感程度分析

根据表3因素分解值和公式(14)得出日本户均碳排放随各因素变动的弹性系数(图6)。弹性系数越大,户均碳排放随其影响因素变化而变化的敏感程度越大,该影响因素应该得到更多的重视和关注。结果表明,日本户均碳排放对家庭规模、住宅利用率、能源消耗强度这三大抑制因素的敏感程度存在动态变化,其敏感程度由最初的“能源消耗强度因素>家庭规模因素>住宅利用率因素”到“家庭规模因素>能源消耗强度因素>住宅利用率因素”,近年发展为“家庭规模因素>住宅利用率因素>能源消耗强度因素”,且对家庭规模因素的敏感程度仍在持续增加。另外,值得一提的是日本户均碳排放对经济发展水平因素的弹性系数一直处于三大抑制因素之下,其中,2002—2007年,经济发展水平弹性系数与其他因素弹性系数之间的差距扩大,但是自2007年开始,该差距有逐渐缩小的趋势。可以看出,日本户均碳排放对抑制因素的敏感程度已逐渐从能源消费、经济水平等宏观领域延伸至家庭规模、住宅控制等微观视角,且对家庭规模因素的敏感程度最高。

这一结果与该时期日本经济增长停滞、人口结构变化密切相关^[47,48]。一方面,人口、经济和技术等

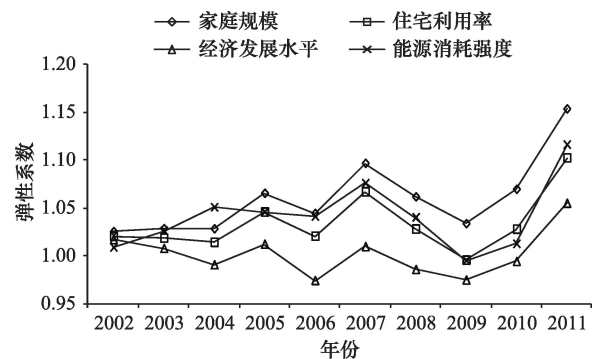


图6 户均碳排放变动对抑制因素、经济发展水平因素的敏感程度

Figure 6 The sensitivity of household carbon emissions to inhibitory factors, economic development factor

2018年9月

资源环境的影响因素归根结底与人有关,日本仅用了24年时间就迅速进入了重度老龄化社会,人口结构变化使得日本经济社会发展更为敏感脆弱,家庭作为社会的基本单位,其规模变化会引起环境更强烈的反应。另一方面,家庭户均碳排放随家庭规模的减小而减小毋庸置疑,但主流研究从人均碳排放角度得出结论,即家庭碳排放随着家庭规模的减小、规模效应的减弱而增加^[49]。近年来日本家庭总数增长速度(11.6%)远高于人口总数的增长速度(0.4%),在家庭规模小型化与家庭户数增加对碳排放的同向叠加影响下,家庭规模变化对日本家庭碳排放的贡献度扩大^[20]。综合两方面的分析,该时期日本家庭碳排放随家庭规模变化而变化的敏感程度逐渐提高。

4 结论及启示

本文构建以家庭户为单位的IPAT-LMDI扩展模型,对日本户均碳排放的影响因素进行定量分析,得到如下结论:

(1)日本户均碳排放呈波动上升趋势,是各因素共同作用的结果。

(2)碳排放率、能源消费结构和经济发展水平是日本户均碳排放的正向驱动因素;能源消耗强度、家庭规模和住宅利用率是日本户均碳排放的抑制因素。

(3)不同时期,日本户均碳排放对抑制因素的敏感程度不同。近年来日本户均碳排放对三大抑制因素的敏感程度是“家庭规模因素>住宅利用率因素>能源消耗强度因素”。

基于以上分析,家庭节能减排政策的制定需要综合考虑人口、经济和技术及其内部各复杂因素对家庭碳排放的共同作用,同时要根据家庭碳排放对各影响因素的敏感程度变化适时调整政策方向。日本家庭碳排放的因素分析与经验总结对中国家庭节能减排具有如下启示:

(1)对于碳排放率和能源消费结构因素,第一,促进发电行业电力结构和发电燃料结构的优化升级,减少对火力发电的依赖;第二,利用太阳能、水能、核能等清洁能源进行家庭电热输送,特别地,日本福岛核事故的教训启示我们要谨慎开发核能,重视安全审查和技术规范;第三,将各类碳减排技术

充分运用到能源消费过程中,降低综合碳排放率。

(2)对于经济发展水平和能源消耗强度因素,第一,促进低碳经济领域相关法律法规和政策制度的完善,为科技创新和技术研发创造有利的市场环境;第二,通过淘汰落后产能,严控生产标准和能效等级,鼓励技术研发和成果转化,给予节能产业资金支持等措施提高家庭能耗设备利用率。

(3)对于家庭规模因素,第一,在家庭碳排放研究中应该对家庭规模等微观影响因素给予更多重视和关注;第二,在家庭规模减小的客观趋势下,应着眼于通过居民节能环保知识的宣传教育、低碳实践活动的推广等改善家庭生活方式,促进全民低碳生活。

(4)对于住宅利用率因素,第一,加强宏观调控,控制住宅增长速度,使其与家庭总数增长速度相适应,降低住宅空置率;第二,推广绿色低碳建筑,普及中小户型节能住宅,以降低单位住宅能耗。

参考文献(References):

- [1] 胡文发,郭淑婷.中国住宅建筑使用阶段碳排放的因素分解实证[J].同济大学学报(自然科学版),2012,40(6):960-964. [Hu W F, Guo S T. Empirical analysis of carbon emission factors during residential construction stage in China[J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2012, 40(6): 960-964.]
- [2] Ding Q, Cai W, Wang C. Impact of household consumption activities on energy consumption in China-evidence from the lifestyle perspective and input-output analysis [J]. *Energy Procedia*, 2017, 105: 3384-3390.
- [3] 陈佳瑛,彭希哲,朱勤.家庭模式对碳排放影响的宏观实证分析[J].中国人口科学,2009,(5):68-78. [Chen J Y, Peng X Z, Zhu Q. Impacts of household pattern on carbon emission[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2009, (5): 68-78.]
- [4] 王永刚,王旭,孙长虹,等. IPAT 及其扩展模型的应用研究进展[J].应用生态学报,2015,26(3):949-957. [Wang Y G, Wang X, Sun C H, et al. Research progress on the application of IPAT model and its variants[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(3): 949-957.]
- [5] 曲建升,刘莉娜,曾静静,等.中国城乡居民生活碳排放驱动因素分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(8):33-41. [Qu J S, Liu L N, Zeng J J, et al. An analysis on driving factors of China's urban and rural household carbon emissions[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(8): 33-41.]
- [6] 谭春平,范莉莉,王烨.甘肃城镇住宅建筑碳排放因素分解模型

- 及实证[J]. 统计与决策, 2014, (7): 109–111. [Tan C P, Fan L L, Wang Y. Decomposition model and empirical analysis of carbon emission in urban residential buildings in Gansu[J]. *Statistics & Decision*, 2014, (7): 109–111.]
- [7] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition[J]. *Energy*, 1998, 23(6): 489–495.
- [8] Ang B W, Liu F L. A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistent in aggregation[J]. *Energy*, 2001, 26(6): 537–548.
- [9] Ang B W. LMDI decomposition approach: a guide for implementation[J]. *Energy Policy*, 2015, 86: 233–238.
- [10] 杜威. 基于LMDI分解模型的中国居民生活间接碳排放特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S2): 5–9. [Du W. Analysis of characteristics of Chinese residents' indirect carbon emissions in daily life based on LMDI decomposition model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(S2): 5–9.]
- [11] 谌伟, 李荷华. LMDI分解方法在碳排放领域用法探讨[J]. 生态经济, 2015, 31(8): 93–96. [Chen W, Li H H. Discussion on application of LMDI for carbon emissions[J]. *Ecological Economy*, 2015, 31(8): 93–96.]
- [12] Ang B W, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced CO₂ emissions in manufacturing[J]. *Energy Economics*, 1997, 19(3): 363–374.
- [13] 查建平, 唐方方, 傅浩. 中国直接生活能源碳排放因素分解模型与实证[J]. 山西财经大学学报, 2010, 32(9): 9–15. [Zha J P, Tang F F, Fu H. Decomposition model and empirical study of carbon emissions from direct household energy in China[J]. *Journal of Shanxi Finance and Economics University*, 2010, 32(9): 9–15.]
- [14] 蒋金荷. 中国城镇住宅碳排放强度分析和用能政策反思[J]. 数量经济技术经济研究, 2015, 32(6): 90–104. [Jiang J H. China's urban residential carbon intensity decomposition and energy policy rethink[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015, 32(6): 90–104.]
- [15] 肖周燕. 我国家庭动态变化对二氧化碳排放的影响分析[J]. 人口研究, 2012, 36(1): 52–62. [Xiao Z Y. Effects of household dynamics on carbon dioxide emissions in China[J]. *Population Research*, 2012, 36(1): 52–62.]
- [16] Zhu Q, Peng X. The impacts of population change on carbon emissions in china during 1978–2008[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2012, 36(5): 1–8.
- [17] 柴士改. 城镇居民生活碳排放驱动因素的实证分析[J]. 统计与决策, 2016, (18): 95–99. [Chai S G. Empirical analysis of driving factors of urban residents' carbon emission[J]. *Statistics & Decision*, 2016, (18): 95–99.]
- [18] 施锦芳. 人口少子老龄化与经济可持续发展—日本经验及其对中国的启示[J]. 宏观经济研究, 2015, (2): 119–126. [Shi J F. Low birthrate and population aging with sustainable economic development—Japan's experience and its inspiration to China[J]. *Macroeconomics*, 2015, (2): 119–126.]
- [19] 王志宝, 孙铁山, 李国平. 近20年来中国人口老龄化的区域差异及其演化[J]. 人口研究, 2013, 37(1): 66–77. [Wang Z B, Sun T S, Li G P. Regional differences and evolutions of population aging in China[J]. *Population Research*, 2013, 37(1): 66–77.]
- [20] 陈婧. 人口因素对碳排放的影响[J]. 西北人口, 2011, 32(2): 23–27. [Chen J. The effect of population on carbon emissions[J]. *Northwest Population Journal*, 2011, 32(2): 23–27.]
- [21] 李国志. 基于状态空间模型的日本碳排放影响因素分析及启示[J]. 资源科学, 2013, 35(9): 1847–1854. [Li G Z. Impact factors analysis and inspiration based on state space model of Japanese carbon emissions[J]. *Resources Science*, 2013, 35(9): 1847–1854.]
- [22] 刘国斌, 张令兰. 日本低碳社会建设对吉林省的启示[J]. 现代日本经济, 2012, (4): 73–79. [Liu G B, Zhang L L. The Japanese practice of low-carbon society and the implications for Jilin Province[J]. *Contemporary Economy of Japan*, 2012, (4): 73–79.]
- [23] 康文星, 田微, 何介南. 我国能源利用现状的初步分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(12): 127–133. [Kang W X, Tian H, He J N. A preliminary analysis of China's energy utilization[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2010, 30(12): 127–133.]
- [24] 张小洪, 彭小龙, 全庞羽, 等. 家庭生活用能对二氧化碳排放的影响分析[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1668–1673. [Zhang X H, Peng X L, Quan P Y, et al. Analyses of effects of household energy consumption on CO₂ emissions[J]. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1668–1673.]
- [25] 马晓明, 郇洵, 谷硕, 等. 基于LMDI的中国建筑碳排放增长影响因素研究[J]. 现代管理科学, 2016, (11): 3–5. [Ma X M, Huan X, Gu S, et al. Study on the influencing factors of carbon emissions from China's construction based on LMDI[J]. *Modern Management Science*, 2016, (11): 3–5.]
- [26] 米红, 张田田, 任正委, 等. 城镇化进程中家庭CO₂排放的驱动因素分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(10): 3183–3192. [Mi H, Zhang T T, Ren Z W, et al. Driving factors of China's household CO₂ emissions in the process of urbanization[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 36(10): 3183–3192.]
- [27] 柴士改. 居民生活私人交通碳排放驱动因素的“三级分解”模型[J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(11): 178–185. [Chai S G. “Three-level decomposition” model for driving factors of private transportation in residents' life[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2017, 47(11): 178–185.]
- [28] 钟兴菊, 龙少波. 环境影响的IPAT模型再认识[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(3): 61–68. [Zhong X J, Long S B. Rethinking the environmental impact of the IPAT model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(3): 61–68.]
- [29] 日本资源能源厅. 能源消费统计调查[EB/OL]. (2015–12–20)

2018年9月

- [2017-05-06]. <http://www.enecho.meti.go.jp/>. [Japan Resources and Energy Agency. Survey on Energy Consumption Statistics by Prefecture[EB/OL]. (2015-12-20)[2017-05-06]. <http://www.enecho.meti.go.jp/>.]
- [30] 日本统计局. 日本统计年鉴[EB/OL]. (2016-01-20)[2017-05-06]. <http://www.stat.go.jp/>. [Japan Statistics Bureau. Japan Statistical Yearbook [EB/OL]. (2016-01-20)[2017-05-06]. <http://www.stat.go.jp/>.]
- [31] 田成川, 柴麒麟. 日本建设低碳社会的经验及借鉴[J]. 宏观经济管理, 2016, (1): 89-92. [Tian C C, Chai Q M. Experience and reference of Japan in building a low-carbon society[J]. *Macroeconomic Management*, 2016, (1): 89-92.]
- [32] 段海燕, 王培博, 王宪恩. 日本电力行业能源结构转型及与相关产业关联性研究[J]. 现代日本经济, 2017, 36(4): 85-94. [Duan H Y, Wang P B, Wang X E. Energy structure transition of the electric power industry and its relevance to related industries in Japan [J]. *Contemporary Economy of Japan*, 2017, 36(4): 85-94.]
- [33] 井志忠. “后福岛时代”的日本电力产业政策走向[J]. 现代日本经济, 2012, (1): 14-20. [Jing Z Z. Policy trends in the Japanese electricity industry after the Fukushima nuclear crisis[J]. *Contemporary Economy of Japan*, 2012, (1): 14-20.]
- [34] 李小军. 日本后福岛时期的核能政策研究[J]. 国际政治研究, 2017, 38(3): 120-143. [Li X J. Japan's nuclear energy policy in the Post-Fukushima Era[J]. *The Journal of International Studies*, 2017, 38(3): 120-143.]
- [35] Vivoda V. Japan's energy security predicament post-Fukushima [J]. *Energy Policy*, 2012, 46(C): 135-143.
- [36] 胡振, 王玥, 张中华. 城市家庭碳排放的地域特征与变动规律—以日本 47 个城市为研究对象[J]. 城市发展研究, 2018, 25(1): 23-28. [Hu Z, Wang Y, Zhang Z H. The regional characteristics and variation laws of urban household carbon emissions: a study of 47 cities of Japan[J]. *Urban Development Studies*, 2018, 25(1): 23-28.]
- [37] Chapman A J, Itaoka K. Energy transition to a future low-carbon energy society in Japan's liberalizing electricity market: precedents, policies and factors of successful transition[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2017, 81: 2019-2027.
- [38] 田思源. 日本低碳社会的核电依赖与法政策[J]. 清华法学, 2011, 5(3): 154-164. [Tian S Y. Nuclear power dependence and law policy in Japan's low carbon society[J]. *Tsinghua University Law Journal*, 2011, 5(3): 154-164.]
- [39] 李晴, 石龙宇, 唐立娜, 等. 日本发展低碳经济的政策体系综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S1): 489-492. [Li Q, Shi L Y, Tang L N, et al. A summary of low-carbon-economy policy system in Japan[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(S1): 489-492.]
- [40] 吴雪, 周晓唯. 人口红利对日本经济的影响及启示—基于二战后日本人口结构变化的分析[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2016, 45(5): 101-109. [Wu X, Zhou X W. The impact of demographic dividend on Japanese economy and its enlightenment—an analysis on the demographic changes after the world war II [J]. *Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2016, 45(5): 101-109.]
- [41] Ren J, Du J. Evolution of energy conservation policies and tools: the case of Japan[J]. *Energy Procedia*, 2012, 17: 171-177.
- [42] 孟浩, 陈颖健. 日本能源与 CO₂ 排放现状、应对气候变化的对策及其启示[J]. 中国软科学, 2012, (9): 12-26. [Meng H, Chen Y J. Energy and CO₂ emissions status, the countermeasures against climate change in Japan and their implications to China[J]. *China Soft Science*, 2012, (9): 12-26.]
- [43] 陆莹莹, 赵旭. 家庭能源消费研究述评[J]. 水电能源科学, 2008, 26(1): 187-191. [Lu Y Y, Zhao X. Review of researches on household energy consumption[J]. *Water Resources and Power*, 2008, 26(1): 187-191.]
- [44] Borgstede C V, Andersson M, Johnsson F. Public attitudes to climate change and carbon mitigation—implications for energy-associated behaviours[J]. *Energy Policy*, 2013, 57(6): 182-193.
- [45] Xue M, Kojima N, Zhou L, et al. Dynamic analysis of global warming impact of the household refrigerator sector in Japan from 1952 to 2030[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 145: 172-179.
- [46] 鲍健强, 王学谦, 叶瑞克, 等. 日本构建低碳社会的目标、方法与路径研究[J]. 中国科技论坛, 2013, 1(7): 136-143. [Bao J Q, Wang X Q, Ye R K, et al. On the goal, method and path of a low-carbon society in Japan[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2013, 1(7): 136-143.]
- [47] 孟令国. 日本人口红利的变迁、影响、应对及启示[J]. 世界经济研究, 2013, (9): 81-86. [Meng L G. Changes of Japan's demographic dividend and its underlying messages[J]. *World Economy Studies*, 2013, (9): 81-86.]
- [48] 王晓峰, 马学礼. 老龄化加速期人口因素对日本经济增长的影响—以人口、经济的双重拐点为视角[J]. 现代日本经济, 2014, (5): 1-12. [Wang X F, Ma X L. The effects of demographic factors on Japan's economic growth in the accelerating ageing period: a perspective from the double turning points of population and economics[J]. *Contemporary Economy of Japan*, 2014, (5): 1-12.]
- [49] 王钦池. 家庭规模对中国能源消费和碳排放的影响研究[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 299-307. [Wang Q C. Effects of household size on energy consumption and carbon emissions[J]. *Resources Science*, 2015, 37(2): 299-307.]

Factor analysis and enlightenment of household carbon emissions in Japan based on IPAT–LMDI extension model

HU Zhen, HE Jingjing, WANG Yue

(Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China)

Abstract: Japan is a country with a higher level of urbanization in the world and its low birth rate and population aging characteristics are obvious. Due to lack of resources, Japanese families advocate low-carbon life concept. With the acceleration of urbanization, China is gradually entering an aging society and the per capita resources are insufficient. Therefore, the Japanese household carbon emissions laws and related experiences should have a certain valuable reference for the establishment of energy-saving emission reduction measures in China. Based on the data from 2001 to 2011 in Japan, this paper built a decomposition model of household carbon emission factors in Japan according to the IPAT–LMDI extension model, which included household size, housing utilization rate, economic development level, carbon emission rate, energy consumption structure, and energy consumption intensity. Thereafter, the impact of various factors on household carbon emissions in Japan and the sensitivity of Japan's household carbon emissions to the major factors were further analyzed by two-way statistical approach. The results illustrated that the rising trend of household carbon emissions in Japan is the result of positive driving and inhibitory factors. The carbon emission rate, energy consumption structure, and economic development level are positive driving factors; energy consumption intensity, household size, housing utilization rate are the inhibitory factors. At different period, the sensitivity of household carbon emissions in Japan to different factors was varied in a large degree different. For example, the sensitivity to the household size was relatively higher; while to the economic development level was lower. Household carbon emissions analysis in Japan implies that we should change the perspective of family energy control in the process of urbanization, optimize the family energy structure, control residential growth, scale energy efficiency standards, and raise the awareness and level of low-carbon life.

Key words: household carbon emissions; IPAT extension model; LMDI decomposition method; elasticity coefficient; Japan