

基于EEMD的我国入境旅游与经济增长的多尺度对比研究

陈玲玲¹, 何 亮², 李玉霞³

(1. 金陵科技学院人文学院, 江苏 南京 211169)

(2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

(3. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 正确认知入境旅游与经济发展及彼此关系的长期波动规律, 对把握入境旅游业未来发展方向具有重要的理论与现实指导意义. 本文运用集合经验模态分解(EEMD)方法, 采用入境旅游(外汇)收入、入境旅游人数、GDP的月度序列数据, 对我国入境旅游与经济增长及其关系的时间多尺度变化规律进行了研究. 结果表明: (1)入境旅游收入、入境旅游人数、GDP以及入境旅游收入占GDP的比重经EEMD分解后均具有近似3、6、12个月的高频周期性波动特征, 但高频波动在各要素总体变化中的贡献作用不尽相同. (2)入境旅游收入的持续快速增长是主要特征, 其高频周期性波动不显著; 入境旅游人数以高频周期性波动为主, 未来呈现缓慢增长趋势. (3)GDP始终保持快速增长态势, 周期性波动特征可忽略; 而入境旅游收入占GDP比重的变化以高频周期性波动为主, 辅以低频周期性波动, 未来下降趋势显著. (4)要快速提高我国入境旅游收入, 不能片面地吸引入境客源, 促进旅游消费结构调整, 提高入境旅游人均消费才是关键.

[关键词] 集合经验模态分解(EEMD), 入境旅游收入, 入境旅游人数, GDP, 多尺度

[中图分类号] F592.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2015)03-0114-06

The Multi-Scale Comparison Between Chinese Inbound Tourism and Economic Growth Based on EEMD

Chen Lingling¹, He Liang², Li Yuxia³

(1. College of Humanities, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

(2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

(3. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: The correct cognition of long-term fluctuation of Chinese inbound tourism, economic growth and their relationship has important theoretical and practical significance on future inbound tourism development. This paper collected monthly data of foreign exchange revenue of inbound tourism, inbound tourist arrivals, GDP and the inbound tourism revenue's share of GDP from January in 2000 to December in 2014, based on which the multi-time scale fluctuation of inbound tourism, economic growth and their relationship were studied through the method of ensemble empirical mode decomposition(EEMD). The results showed that: (1) The high frequency fluctuation with periods of approximate 3, 6, 12 months are decomposed from long-term time series of inbound tourism revenue, inbound tourist arrivals, GDP and the inbound tourism revenue's share of GDP, while the contribution of high frequency fluctuation vary widely in every data series. (2) The sustained rapid growth is the main change characteristics in data series of inbound tourism revenue, while the high frequency fluctuation in all time scale is the main change feature in inbound tourist arrivals. (3) GDP has always maintained a momentum of rapid growth, the periodic fluctuation can be ignored due to two small variance contribution. The inbound tourism revenue's share of GDP has the main periodic fluctuation feature with high frequency, supplemented by the low frequency fluctuation, and shows a discernible decline trend in the future. (4) Tourism consumption structure adjustment and per-capita consumption enhancement are the keys to improve Chinese inbound tourism income.

Key words: EEMD, inbound tourism revenue, inbound tourist arrivals, GDP, multi-scale

收稿日期: 2015-04-07.

基金项目: 教育部人文社科研究青年基金(13YJC790010).

通讯联系人: 陈玲玲, 博士, 副教授, 研究方向: 旅游地理. E-mail: chenlingling@vip.163.com

入境旅游作为我国旅游业“三大市场”中开发最早、发展最快的市场,不仅体现了我国在全球中的旅游吸引力,也是国家赚取外汇、解决就业并推动经济发展的重要途径. 深入研究入境旅游与经济增长以及彼此关系的长期波动规律,对把握未来入境旅游与经济发展趋势,促进旅游业进一步发展并尽快培育成为我国战略性支柱产业有重要的理论与现实意义.

目前,已有较多关于入境旅游发展及其与经济增长关系的研究成果^[1-6],大多利用年度数据进行分析,时间序列样本量小. 旅游业本身是一个对季节和外界干扰高度敏感的行业,选择年度数据进行研究就忽略了旅游经济隐含于年内的周期及异常波动特征,从而可能造成对入境旅游未来预测的精度、可信度不高等问题,甚至造成对入境旅游与经济增长关系的偏误. 经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)方法由于能够准确迅速地将信号不同频率的波动逐级分解开来,获得具有周期性波动的分量及未来事物变化的趋势量,被认为是提取大容量数据序列趋势的最好方法^[7],已成功应用于信号处理、气候变化、资源安全等众多领域^[8-10]. 在旅游行业中,陈玲玲等^[11]利用 EMD 方法对我国入境客源与外汇收入进行了多尺度对比研究;赵俊远等^[12]针对四川省旅游外汇收入的波动及其成因进行了 EMD 分解;余向洋等^[13]以黄山景区为例,采用 EMD 方法研究了景区多年来的客流波动特征;余向洋等^[14]将 EMD 与最小二乘支持向量机结合,对景区客流进行了中期预测,效果理想. 总体来看,EMD 应用于旅游业成果数量不多,但已有成果均表明 EMD 的最大优势是弥补了传统方法,如因子分析、灰色系统等不能对旅游业数据进行多时间尺度的波动周期提取的缺陷. 众所周知,旅游行业的季节性、敏感性、波动性等造成旅游业长期数据具有非线性、非静止的多尺度特征,因此,EMD 方法非常适合应用于旅游业来还原行业内非平稳数据序列的本质变化特征.

在方法的使用过程中,研究者发现 EMD 在尺度混合上会造成各种尺度振动模态的混合,有可能使个别 IMF 失去物理意义. 因此,在 EMD 基础上,引入了一种利用噪声辅助的集合经验模态分解(ensemble empirical mode decomposition, EEMD)方法^[15],该方法继承了 EMD 的自适性,又引入了白噪声扰动并进行集合平均,从而避免了尺度混合问题,使得最终分解的 IMF_s 保持了物理上的唯一性^[16,17]. 鉴于此,本文利用 EEMD 方法,对新世纪以来的入境旅游与经济增长的月度数据进行多尺度分解与对比,探讨我国入境旅游与经济增长及其关系的长期波动规律问题,以期准确把握我国入境旅游的未来发展方向.

1 数据与方法

1.1 数据

选取与入境旅游直接关联的两个指标,即入境旅游(外汇)收入与入境旅游人数,表征我国入境旅游的发展情况;选取我国 GDP 作为经济增长的直接代用指标.

为保证资料长度,并反映我国当前旅游与经济发展的现实状况,本文选择了 2000 年 1 月至 2014 年 12 月的月度数据,时间序列长度各为 180 个月. 入境旅游(外汇)收入(单位:亿美元)与入境旅游人数(单位:万人)数据从国家旅游局网站(<http://www.cnta.gov.cn/html/rjy/index.html>)收集并整理,GDP(单位:亿元)数据从国家统计局网站(<http://data.stats.gov.cn/>)收集并整理了季度数据,而后利用 matlab 对其进行 3 次样条插值,获得 GDP 的月度变化值. 为计算入境旅游(外汇)收入占 GDP 的比重,从国际清算银行网站(<http://www.bis.org/>)下载获取了人民币兑美元汇率的月度变化值.

1.2 集合经验模态分解(EEMD)方法

EEMD 即为 EMD 方法的改进版,其本质是对一个信号进行平稳化处理,将信号中不同尺度的波动或趋势逐级分解开来,形成一系列具有不同尺度的数据序列,每一个序列称为一个本征模函数(intrinsic mode function, IMF)分量,其中不同尺度数据的物理意义得以保留,并被很好地提取和表达. 最低频率的分量(IMF₁, res)代表原始信号的总趋势或均值的时间序列.

具体方法是^[7,11]:找出原始数据序列 $X(t)$ 所有的极大值点,用 3 次样条函数拟合,形成原数据序列的上包络线;相应地找出 $X(t)$ 所有的极小值点,同样用 3 次样条函数拟合,形成原数据序列的下包络线;上下包络线的均值为原数据序列的平均包络线 $m_1(t)$;将原始数据序列 $X_1(t)$ 减去平均包络,得到一个去掉低频的新数据序列 $h_1(t)$,

$$X_1(t) - m_1(t) = h_1(t). \quad (1)$$

通常情况下,一次处理后 $h_1(t)$ 仍然不是一个平稳数据序列. 因此,将其重复上述处理过程 k 次,直到所有得到的平均包络趋于零为止,

$$h_{(k-1)}(t) - m_k(t) = h_{1k}(t). \quad (2)$$

由此,得到第一本征模函数(IMF₁)分量 $C_1(t)$,

$$C_1(t) = h_{1k}(t). \quad (3)$$

IMF₁分量代表原始数据序列中最高频的组分,保留了原始数据中最高频信号的物理特征. 原始数据中其他尺度的信号可以用同样的方法继续提取. 将原始数据序列 $X(t)$ 减去第1个IMF分量 $C_1(t)$,可以得到一个去掉高频组分的差值数据序列 $r_1(t)$. 对 $r_1(t)$ 进行上述平稳化处理可以得到第2个IMF分量 $C_2(t)$,如此重复下去直到最后一个差值序列 $r_n(t)$ 不可再分解为止. 此时, $r_n(t)$ 代表原始数据序列的趋势或均值的时间序列:

$$r_1(t) - C_2(t) = r_2(t), \dots, r_{n-1}(t) - C_n(t) = r_n(t). \quad (4)$$

最后,原始数据序列即可由这些IMF分量以及一个均值或趋势项表示,即:

$$X(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r_n(t). \quad (5)$$

EEMD在EMD分析基础上,修正了尺度混合的问题,将待分析的数据序列叠加上给定振幅的白噪声序列,然后将叠加了的混合信号进行EMD分解,反复重复这两个步骤,每次加入振幅相同的新生的白噪声序列从而得到不同的IMFs. 最后,将每次分解得到的IMFs求集合平均^[16]. EEMD的matlab文件见 http://rcada.ncu.edu.tw/research1_clip_ex.htm.

2 结果分析

2.1 入境旅游收入与人数的多尺度变化

图1(a)、(b)分别为2000年以来入境旅游(外汇)收入与入境旅游人数经EEMD分解后获得的各IMF分量以及趋势项res,图中signal即为原数据信号. 可以看出,两个要素均分解出6个IMF分量,这些IMFs依次反映了从高频到低频不同时间尺度的震荡变化信息,图形也反映出每一个IMF分量对数据信号的还原性都很强,变化规律符合非线性变化的特点. 尽管各个IMF分量不是严格的周期变化,但均具有稳定的变化准周期,因此通过matlab计算了每个IMF分量变化的平均周期及其对应的方差贡献率,见表1.

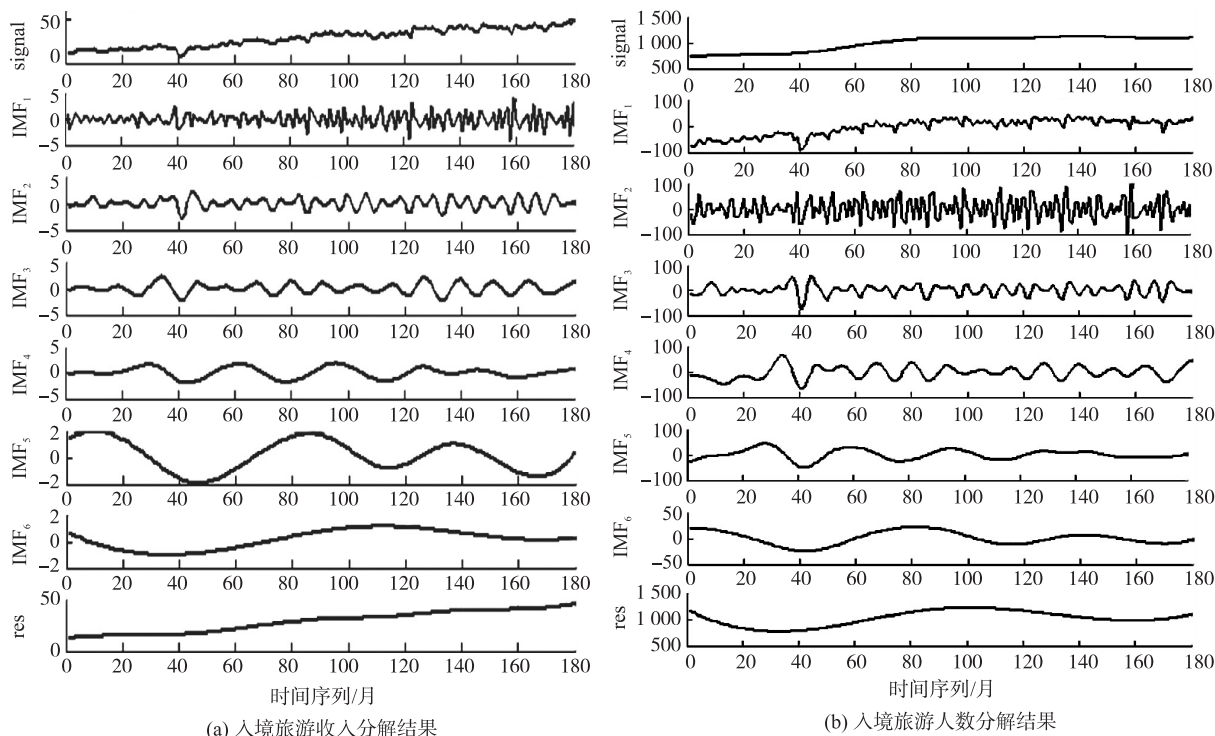


图1 2000年1月~2014年12月入境旅游收入和人数月度变化的EEMD分解结果

Fig.1 The decomposition results of inbound tourism revenue and inbound tourist arrivals from Jan 2000 to Dec 2014

表1 不同IMF分量对应的周期与方差贡献率
Table 1 The period and variance contribution of different IMF

	Item	IMF ₁	IMF ₂	IMF ₃	IMF ₄	IMF ₅	IMF ₆	res
平均周期(月)	入境旅游收入	3	6	12	17.84	61.19	158.69	—
	入境旅游人数	3	6	12	37.94	65.65	95.01	—
方差贡献率(%)	入境旅游收入	1.9	1	0.8	0.9	1.3	0.5	93.6
	入境旅游人数	18.4	2.7	8.5	1.8	2.1	0.9	65.6

根据表1可知,入境旅游收入与人数的IMF₁-IMF₃对应的平均周期均为3、6、12个月,说明两者具有完全一致的高频时间变化尺度,这充分体现了旅游行业的季节性波动特征.但是,一致的高频时间变化尺度在两个要素的长期变化中有着完全不同的贡献作用,入境旅游收入和入境旅游人数IMF₁-IMF₃的方差贡献率总计分别为3.7%、29.6%,说明入境旅游收入的高频时间尺度变化在总体变化中作用很小,而入境旅游人数的高频时间尺度变化在总体变化中作用较大.

入境旅游收入和人数在IMF₄-IMF₆代表的低频时间尺度的周期变化上也有差异,但两个要素的低频时间尺度变化对总体变化贡献均较小,方差贡献率分别为2.7%、4.8%,说明低频时间尺度并不是两者的主要波动特征.进一步观察图1(a)、图1(b)的趋势项(res)变化特征,以及表1的趋势项贡献率,发现入境旅游收入的未来趋势呈现快速、显著上升态势,其趋势项贡献率为93.6%,体现了准周期震荡波动并非入境旅游收入变化的主导因素.而入境旅游人数的未来趋势呈现平稳、缓慢上升态势,其趋势项贡献率仅为65.6%,体现了入境旅游人数变化以高频的季节波动特征为主,缓慢上升为辅.

2.2 GDP的多尺度变化

图2反映了GDP经EEMD分解后获得的6个IMF分量以及趋势项波动变化情况,发现每个IMF分量的震荡性均不强.结合表2方差贡献率结果可知,GDP的时间多尺度变化特征不明显,其IMF₁-IMF₃高频变化的方差贡献率总计为2.7%,IMF₄-IMF₆低频变化的贡献率仅为1%,因此可忽略.图2的res变化及表2趋势项贡献率均表明,GDP将始终保持快速增长趋势.

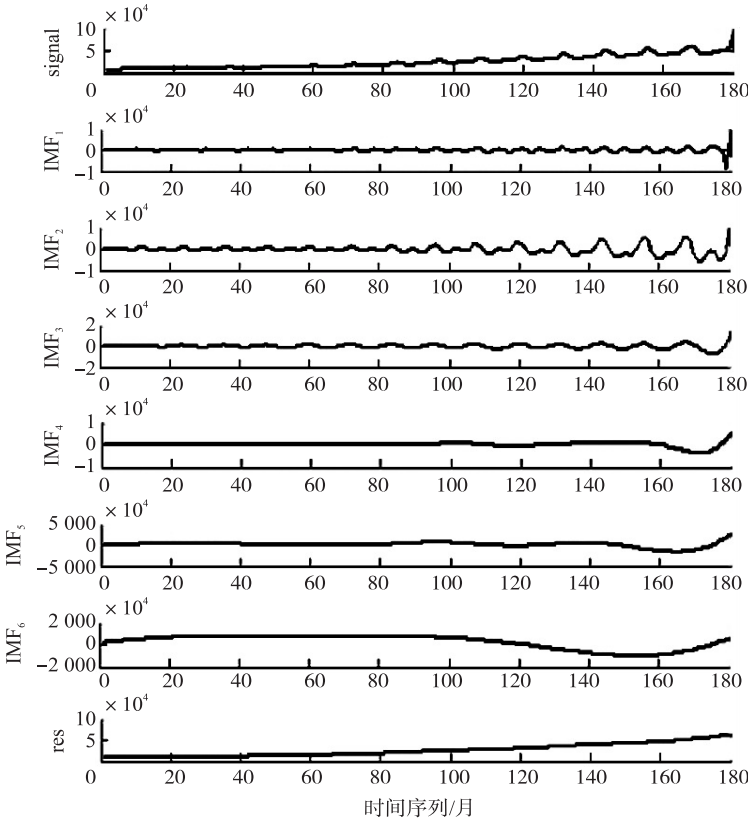


图2 2000年1月~2014年12月GDP月度变化的EEMD分解结果
Fig.2 The GDP decomposition result from Jan 2000 to Dec 2014

表2 GDP经EEMD分解后各IMF分量的周期与方差贡献率

Table 2 The period and variance contribution of different IMF decomposed from GDP

	IMF ₁	IMF ₂	IMF ₃	IMF ₄	IMF ₅	IMF ₆	res
平均周期(月)	3.91	6.21	12	34.96	55.27	169.34	—
方差贡献率(%)	0.5	0.8	1.4	0.7	0.1	0.2	96.3

2.3 入境旅游收入占GDP比重的多尺度变化

图3反映了入境旅游收入占GDP比重的多尺度变化情况.从IMFs可以看到明显的震荡波动特征,结合表3的平均周期与方差贡献率分析,入境旅游收入占GDP比重变化的高频特征显著,IMF₁-IMF₃分别代表3.05、6.21、12个月的准周期波动,与入境旅游收入的高频变化特征基本一致,其方差贡献率总计15.3%,体现了比较明显的周期性波动特点.IMF₄-IMF₆分别代表31.64、83.8、175.42个月的低频时间尺度变化周期,方差贡献率总计7.1%,说明信号的低频变化也应考虑.从图3的趋势项上看,入境旅游收入占GDP比重的变化将呈现下降趋势,并且下降趋势在总体变化中的贡献率为77.6%.因此可以说,新世纪以来入境旅游收入占GDP比重的变化以高频波动为主,低频波动为辅,且未来下降趋势显著.

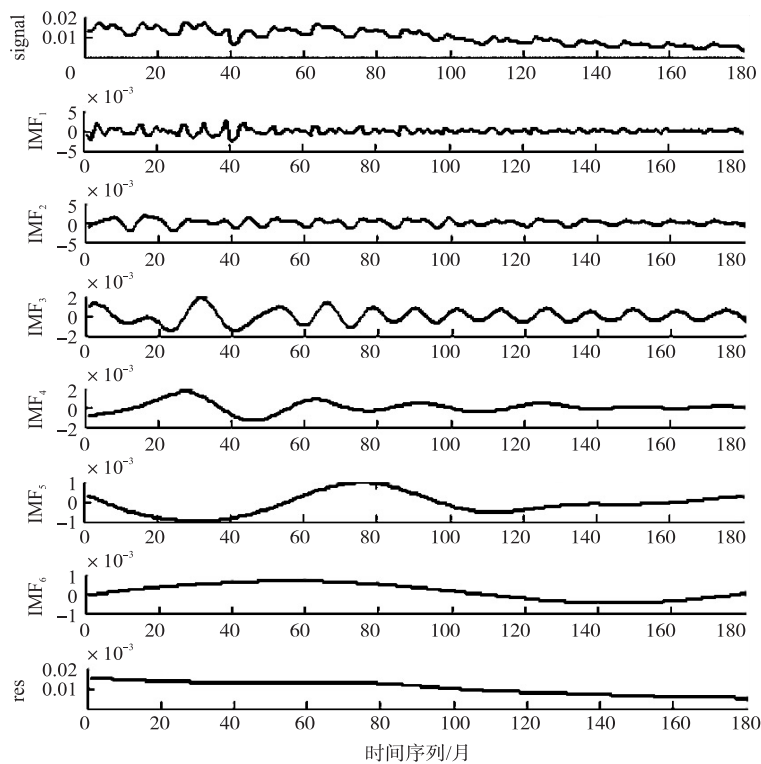


图3 2000年1月~2014年12月入境旅游收入占GDP比重的EEMD分解结果

Fig.3 The decomposition result of inbound tourism revenue's share of GDP from Jan 2000 to Dec 2014

表3 入境旅游收入占GDP比重变化的各IMF分量的周期与方差贡献率

Table 3 The period and variance contribution of different IMF decomposed from inbound tourism revenue's share of GDP

	IMF ₁	IMF ₂	IMF ₃	IMF ₄	IMF ₅	IMF ₆	res
平均周期(月)	3.05	6.21	12	31.64	83.8	175.42	—
方差贡献率(%)	5.4	5.6	4.3	3.2	2.4	1.5	77.6

3 结语

2015年是我国“十二五”的收官年,也是全面迈向“十三五”的过渡年,此时深入探讨入境旅游发展与经济增长的内在波动规律,正确认知入境旅游在经济发展中的地位及未来趋势,对下一个发展阶段的入境旅游规划与管理具有重要的现实指导意义.

本文运用了集合经验模态分解(EEMD)方法,对2000年1月~2014年12月的入境旅游(外汇)收入、入境旅游人数、我国GDP,以及入境旅游收入占GDP的比重,各180个长时间序列进行了逐一分解,寻找数

据变化的内在规律.通过研究,获得了以下主要结论:

(1)入境旅游(外汇)收入与入境旅游人数具有完全一致的3、6、12个月的高频波动周期,低频波动均可忽略.两者长期的发展规律差异很大,入境旅游收入始终保持快速增长趋势,入境旅游人数以高频周期性变化为主,未来呈现缓慢增长态势.

入境旅游收入与入境旅游人数的高频波动周期完全一致,均为3、6、12个月(表1),这个结果印证了旅游业年内的季节变化特征,但是高频波动在驱动数据总体变化中的贡献作用并不一致,前者的高频波动贡献率仅为3.7%,后者为29.6%,这说明旅游人数的季节变化并不能直接导致旅游收入的季节变化,旅游收入的季节变化也不是其主导性变化特征.在低频波动变化上,两者均表现不明显,在驱动数据总体变化的贡献率分别为2.7%、4.8%.结合图1(a)、(b)中两个要素的res变化趋势以及表1的res贡献率,可以看出入境旅游收入的高频和低频周期性波动均可忽略,变化特征主要表现为持续、快速增长;入境旅游人数的高频波动变化为主要特征,低频波动变化也可忽略,未来将呈现缓慢增长趋势.

入境旅游收入与入境旅游人数在长期变化规律中的差异反映了两者变化的内在驱动力并不一致,体现了入境旅游人数并非入境旅游收入变化的绝对条件.这也说明了要促进我国入境旅游收入的持续增长,仅从吸引更多的入境人数来着手是片面的,甚至是错误的.

(2)GDP分解的高频波动周期与入境旅游相似,分别为3.91、6.21、12个月,但总体来看,GDP分解的IMFs震荡性不强,未来保持快速增长趋势.

GDP经EEMD分解后的3个高频波动周期与入境旅游收入、入境旅游人数近似(表2),其方差贡献率为2.7%,3个低频尺度变化的贡献率仅为1%,说明GDP的周期性特征可忽略,图2中各个IMFs变化也体现出周期震荡特征均不明显.res的变化趋势及其高达96.3%的方差贡献率都表明新世纪以来GDP始终保持快速增长态势,如果没有强烈的外界干扰,未来快速增长的趋势仍将持续.

(3)入境旅游收入占GDP比重的变化以3.05、6.21、12个月的高频周期性波动为主,辅以低频周期性波动特征,未来下降趋势显著.

为了进一步探讨入境旅游经济在我国经济发展中的作用,首先通过汇率的月度变化,计算获得了入境旅游收入在GDP中比重的变化.EEMD分解后获得了6个IMFs和1个趋势项,发现入境旅游收入占GDP比重的变化也存在近似3、6、12个月的高频周期性波动,并且高频周期性波动在总体变化中的贡献率总计为15.3%,此外还存在近似32、84、175个月的低频周期性波动,方差贡献率总计为7.1%.图3的res项变化可以看出近年来入境旅游收入占GDP比重的下降速度明显加快,并且这种下降趋势对总体变化有77.6%的贡献率,说明了入境旅游收入在GDP中的比重地位呈现出高频周期性波动的主要特征,低频周期性变化为辅,从总体趋势上看,入境旅游收入在GDP中的比重变化呈现下降态势,并且越往后期下降速度越快,未来这个趋势仍将持续.究其原因,根据我国的社会现实,自改革开放以来国家一直将经济发展作为重要任务,GDP因此呈现出持续上升态势;而入境旅游则更多受到国际经济形势影响,2007~2009年全球发生了经济危机,尤其是西方发达国家近些年经济疲软,直接导致我国的入境旅游行业受到影响,直至世界经济环境有所改善,在一定程度上有利于部分区域,特别是以商务旅游为主导地区的入境旅游市场逐步恢复与发展.可见,入境旅游市场的进一步发展在全球经济形势日益复杂的背景下任重道远.

(4)促进旅游消费结构调整,提高入境旅游人均消费,是扩大我国入境旅游市场的关键.

扩大入境旅游市场对我国旅游业培育为战略性支柱产业具有积极影响,但本次研究发现入境旅游人数并非入境旅游收入变化的绝对条件,以及入境旅游收入在GDP中比重持续下降两个结论值得警醒.这说明入境旅游人数的增长对我国入境旅游业发展来说仅仅是“数量”变化,入境旅游(外汇)收入才真正体现入境旅游业发展的“质量”变化,通过宣传及营销吸引更多入境旅游增加“量变”并不难,但快速提高入境旅游收入推动“质变”才最重要.实现这一点,只有花大力气调整入境游客的非基本旅游消费支出,通过调整旅游供给结构来实现人均旅游消费的提升,才能促进旅游收入增加.因此,我国旅游供给结构中的长期重视旅游目的地、旅行社、宾馆建设,而轻视旅游商品及产品开发的状况必须得到根本性的改变.只有人均旅游消费提高,才能从根本上推动入境旅游收入的高速增长.

(下转第134页)

- [4] 闻大中. 农业生态系统能流的研究方法(三)[J]. 农业生态环境, 1986(2):48-51.
- [5] 李连禄, 黄育珠, 韩纯儒. 农业生态系统工业能投的折能系数探讨[J]. 农业生态环境, 1989(4):32-36.
- [6] 李兰海. 农业生态系统能流分析指标的探讨[J]. 农业现代化研究, 1988(1):18-19.
- [7] 胡莉莉, 牛叔文. 中国区域农业生产用能特征及经济效益研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10):1-6.
- [8] 朱立志, 刘静, 向猛. 我国农业生产能源消费变化与趋势分析[J]. 环境经济, 2010, 84(12):44-47.
- [9] 彭科, 安玉发. 中国农业生产能源消费影响因素的实证分析——基于固定效应模型[J]. 技术经济, 2012, 32(6):101-106.
- [10] 董国仓, 罗有贤, 翁才银, 等. 基于 Arcgis 的重庆市县域生态足迹差异分析[J]. 经济地理, 2009, 29(11):1 885-1 889.
- [11] 李建豹, 白永平, 罗君, 等. 甘肃省县域经济差异变动的空间分析[J]. 经济地理, 2011, 31(3):390-395.
- [12] 方叶林, 黄震方, 涂玮, 等. 基于地统计分析的安徽县域经济空间差异研究[J]. 经济地理, 2013, 33(2):33-38.
- [13] 李成圆, 熊黑钢, 闫人华. 天山北坡县域现代农业发展水平的差异研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(8):93-98.
- [14] 彭丽, 秦趣, 苏维词. 重庆市县域综合发展水平差异的时空特征分析[J]. 世界地理研究, 2009, 18(3):61-67.
- [15] 江苏省统计局. 江苏省农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2014:192-195.
- [16] 尹钧, 高志强, 张布雷, 等. 农田能量测算原理与指标体系的研究[J]. 山西农业大学学报, 1998, 18(2):95-98.
- [17] 卞有生, 柳英坤, 卞晶. 农业生态工程中人工辅助能产投比的计算分析研究[J]. 中国工程科学, 2006, 8(8):28-32, 44.
- [18] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模[M]. 2版. 北京:清华大学出版社, 2009:319-354.
- [19] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7):2 766-2 774.

[责任编辑:丁 蓉]

(上接第119页)

[参考文献]

- [1] 武春友, 谢风媛. 入境旅游发展与经济增长的非线性关系[J]. 商业经济与管理, 2010(2):76-83.
- [2] 许志军. 入境旅游人数与我国GDP关系的协整分析[J]. 北京财贸职业学院学报, 2008, 24(3):29-32.
- [3] 王彩红, 孙根年, 马耀峰. 20年来中国入境旅游业的波动周期及影响因素[J]. 宁夏大学学报:自然科学版, 2004, 25(2):174-179.
- [4] 庞丽, 王铮, 刘青春. 我国入境旅游和经济增长关系分析[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(3):51-55.
- [5] 张世兵. 湖南省入境旅游发展与经济增长的关系研究[J]. 经济地理, 2013, 33(7):182-186.
- [6] 唐芳, 师谦友, 程永静. 西安市入境旅游发展与经济增长的关系研究[J]. 河南科学, 2014, 32(1):133-138.
- [7] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert Spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1998, 454:903-995.
- [8] 邓拥军, 王伟, 钱成春, 等. EMD方法及Hilbert变换中边界问题的处理[J]. 科学通报, 2001, 46(3):257-263.
- [9] 张真真, 林振山, 杜建丽, 等. 树轮资料(1511—1954)太阳活动的多尺度分析——EMD方法的应用[J]. 地理科学, 2009, 29(5):709-714.
- [10] 陈玲玲, 林振山, 郭杰, 等. 基于EMD的中国粮食安全保障研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1):180-188.
- [11] 陈玲玲, 杨慧. 我国入境旅游客源与旅游外汇收入的多尺度对比研究——EMD方法的新应用[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(6):94-97.
- [12] 赵俊远, 高詹玉, 李肖利, 等. 四川省旅游外汇收入波动及其成因的多时间尺度分析——基于EMD方法的应用[J]. 西部经济管理论坛, 2013, 24(2):1-5.
- [13] 余向洋, 沙润, 朱国兴, 等. 基于EMD的景区客流波动特征及其组合预测——以黄山风景区为例[J]. 地理科学进展, 2012, 31(10):1 353-1 359.
- [14] 余向洋, 胡善风, 朱国兴, 等. 基于LS-SVM方法的景区客流中期预测研究[J]. 旅游学刊, 2013, 28(4):75-82.
- [15] Wu Z H, Huang N E. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method[J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2009, 1(1):1-41.
- [16] 王兵, 李晓东. 基于EEMD分解的欧洲温度序列的多尺度分析[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2011, 47(7):627-635.
- [17] 李慧群, 付遵涛. 基于EEMD的中国地区1956年~2005年日照变化的趋势分析[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2012, 48(3):393-398.

[责任编辑:丁 蓉]