

DOI: 10.5846/stxb201309042211

陶玉国, 黄震方, 史春云. 基于替代式自下而上法的区域旅游交通碳排放测度. 生态学报, 2015, 35(12): 4224-4233.

Tao Y G, Huang Z F, Shi C Y. Carbon dioxide emissions from regional tourism transport: a substitutional bottom-up analysis. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4224-4233.

## 基于替代式自下而上法的区域旅游交通碳排放测度

陶玉国<sup>1,2</sup>, 黄震方<sup>1,\*</sup>, 史春云<sup>3</sup>

1 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023

2 江苏师范大学历史文化与旅游学院, 徐州 221116

3 江苏师范大学城市与环境学院, 徐州 221116

**摘要:** 区域旅游交通碳排放测度是分解旅游业减碳任务的一个难题。在剖析替代式自下而上法机理的基础上, 以长三角为例, 依托归纳法和变异系数法, 尝试从人均 GDP、人均消费水平和人均运输线路长度三方面测算出游距离, 采取以实地调研数据为主、辅之以 MusTT 模型法拟定各旅游交通方式的距离比例, 立足区情确定碳排放系数, 并以区域输入和输出的双向旅游流的人次比值法则对替代结果进行还原调整。研究表明: (1) 2011 年, 长三角旅游交通碳排放总量为 8.32 Mt, 其中江苏省、浙江省和上海市分别为 3.23、2.98 Mt 和 2.11 Mt; (2) 飞机和自驾车共占排放量的 71.64%, 较明显低于世界平均比例, 二者是降低旅游交通碳排放的关键; 旅游公共交通的碳排放比例具有远高于发达国家甚至全球平均水平的“中国式”烙印; 由高碳排放系数的旅游交通方式向低碳排放系数甚至零碳排放系数的转变, 是旅游交通减排的基本方向。

**关键词:** 替代式自下而上法; 旅游交通; 出游距离; 碳排放系数; 长三角

## Carbon dioxide emissions from regional tourism transport: a substitutional bottom-up analysis

TAO Yuguo<sup>1,2</sup>, HUANG Zhenfang<sup>1,\*</sup>, SHI Chunyun<sup>3</sup>

1 College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

2 School of History Culture and Tourism, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China

3 College of Urban and Environmental Sciences, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China

**Abstract:** Global climate change is one of the most pressing issues in today's world and all countries are concerned with reducing carbon dioxide emissions. The tourism industry is highly sensitive to the impacts of climate change and global warming, as good weather is a high priority for tourists. Carbon dioxide emissions from tourism transport have to be monitored to enable sustainable tourism development in the 21st century, particularly as fossil-fuel energy sources are becoming scarce. Assessing carbon dioxide emissions from regional tourism transport is difficult but these data are needed to implement effective protocols to reduce emissions. We use the substitutional bottom-up analysis method to calculate the carbon dioxide emissions from tourism transport in the the Yangtze River Delta area. This analysis method is used for the first time. Based on a region's per capita GDP, per capita income and transport route distance per vehicle, we calculated that the daily tourism distances per person in Jiangsu Province, Zhejaing Province, and Shanghai were 3.43, 3.61 and 5.12 km in 2011, respectively. Based on on-the-spot data questionnaires and public transport data as well as tourism data (MusTT model), we calculated that the major tourism transport modes in the Yangtze River Delta area in 2011 were air (12.98%), train (14.60%), coach (49.88%), and car (16.84%). The transport coefficients of carbon dioxide emissions

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41271149); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(12YJC790175); 江苏高校优势学科建设工程项目

**收稿日期:** 2013-09-04; **网络出版日期:** 2014-07-02

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangzhenfang@njnu.edu.cn

resulting from air, train, coach, and car travel were 121, 9, 28 and 76 g/pkm, respectively. Our results were adjusted to account for tourists that came from other provinces to the destination province vs destination province tourists who traveled to other provinces. We conclude that: (1) Carbon dioxide emissions related to tourism transport were 8.32 Mt (Jiangsu Province, Zhejiang Province and Shanghai were 46.15, 32.29 and 21.56%, respectively). The CO<sub>2</sub> emissions per trip in these three areas were 7.85, 8.69 and 9.14 kg, respectively. (2) The CO<sub>2</sub> emissions from air, train, coach, and car travel were 3.29, 0.28, 1.97, and 2.67 Mt, respectively. The total emissions from air and car travel were 5.96 Mt (71.64%). This percentage, which is lower than the world's average value, indicates that emissions from air and car transport in the tourism sector are the main contributions to carbon dioxide emissions in China. The percentage of tourists using public transport (train and coach) was higher than the world's average. Our results indicate that Chinese tourists prefer to travel by train and coach. We surmise that the overall transition of energy saving and carbon dioxide emission reduction resulting from tourism transport has to be reduced from high coefficients to low or even zero coefficients. Considering that the numbers of inbound tourists from neighboring provinces are similar, the results may converge. Our results indicate that tourism catchment area is an important factor and this needs to be balanced with convenient transport links, residents' tourism preferences, and the distribution of tourism destinations in each province.

**Key Words:** substitutional bottom-up method; tourism transport; tourism distances; coefficients of carbon dioxide emission; Yangtze River Delta

旅游业的碳源来自化石能源。虽然在现代旅游研究的早期,关于旅游业与能源的话题就已进入了学者的视野<sup>[1]</sup>,但系统测度旅游业碳排放的成果直到 2000 年才面世<sup>[2]</sup>。之后,这一论题逐渐为学术界所关注<sup>[3-8]</sup>。2008 年,UNWTO, UNEP 和 WMO 联合发布了研究报告《气候变化与旅游业:应对全球气候挑战》<sup>[9]</sup>,将旅游业碳排放研究推向了高潮。当前,在全球<sup>[2-3,10]</sup>、国家<sup>[4-7,11-13]</sup>、区域<sup>[14-17]</sup>和单元(如景区)<sup>[8,18-19]</sup>四个尺度上,包括旅游交通、住宿业和旅游活动在内的旅游业碳排放综合研究已取得了一定的进展。通过对上述相关成果分析发现,旅游交通、住宿业和旅游活动占旅游业碳排放的比重基本依次减小,其中旅游交通部门所占比例一般超过 65%<sup>[20]</sup>,该部门是旅游业的最重要碳源。可见,降低旅游交通碳排放是旅游业实现节能减排的关键。虽然对对旅游交通碳排放进行测度是一项非常艰难的任务<sup>[9]</sup>,可喜的是,近 14 年来该主题研究在多个尺度上已取得了较大的进展。Gössling、Peeters 等人发现,全球旅游交通碳排放主要来自国际航空旅游<sup>[21-24]</sup>。以 Becken 为代表的研究者对国家尺度上的旅游交通碳排放作了深入探索<sup>[25-27]</sup>。随宏观尺度之后,单元尺度上的景区研究也取得了较丰硕的成果<sup>[28-31]</sup>。中观尺度上的区域研究进展一直比较缓慢,部分“区域”研究实质上仍为若干景区的相加<sup>[32]</sup>,并不具备区域典型性。

减排责任的区域分解需要科学评价各地区的排放责任<sup>[33]</sup>。国家战略层面上的旅游业节能减排任务也需要落实到地方场域。因此,区域旅游交通碳排放测度是一个很值得探究的领域。区域旅游交通碳排放是指区域接待的区内外游客所乘交通工具排放的二氧化碳。研究一般需获知各交通方式的出游距离和碳排放系数。但由于出游距离数据在各国统计资料中缺失,对其进行处理是宏观研究的一大困惑<sup>[6,9-10,24]</sup>,也是中观研究亟需破解的一道难题。区域研究进展缓慢的重要原因之一在于方法上的薄弱。目前,测度旅游交通碳排放的方法主要有能源消耗法、自上而下法、自下而上法和 LCA 法等。通过对区域层面的能源统计数据剥离,部分研究构建了能源消耗法分析了旅游交通碳排放的总量<sup>[16-17]</sup>。受数据限制,该方法难以涉及各旅游交通方式的能耗,同时对能耗的区际分摊考虑也稍显不足。依托旅游卫星账户,国外较多研究采用了自上而下法<sup>[5-6,12,14-15]</sup>,但中国尚没有建立有关温室气体排放的统计监测体系<sup>[13,34]</sup>。通过对游客进入、停留和离开旅游目的地 3 个环节的交通碳排放分别进行核算的 LCA 法<sup>[35]</sup>并不适应区域研究。从接待游客出游距离入手的直接的自下而上法,在景区研究中得到了广泛应用<sup>[28-31]</sup>,但很难解决区域出游距离的区际分割和区内重复计算等问题。

替代式自下而上法或许能为解决区域出游距离提供一把钥匙。依托替代式自下而上法、借鉴多利益相关者的可持续旅游和旅行(MusTT)模型法等辅助手段,分析区域出游距离,拟定较合适的碳排放系数,以期提高区域旅游交通碳排放测度的精确性,为旅游交通部门的节能减碳提供科学借鉴与参考。

## 1 研究方法

### 1.1 替代式自下而上法的缘起

替代式自下而上法是通过用某地居民的出游距离替代该地游客的出游距离以测度旅游交通碳排放的一种间接的自下而上法。此法能为解决区域出游距离这一关键问题提供一个全新的视角。宏观尺度上的一些研究对该法进行了初步探索<sup>[3,12-13]</sup>,其中Nielsen特别指出,在当前数据条件下,该法效果最佳<sup>[12]</sup>。但已有研究均未就方法的缘由、技巧等内容从方法论层面上作出系统论述。在此,笔者将其命名为替代式自下而上法。

直接的自下而上法不适合区域研究,既有理论层面的原因,也有现实操作层面的原因。具体如下:跨区游客的存在使得出游距离度量面临区际分割难题;游客在区内多目的地选择的可能性,导致距离的重复计算不可避免;通过普查测算出游距离既异常困难也不是研究所追求的,而区内景区吸引半径的大幅度变动可能性,使得抽样结果的可靠性难以得到保证。对居民出游距离进行测度,不存在直接的自下而上法的区际分割和重复计算问题,且其可从居民的社会经济统计数据入手的方式,可较大提高总距离测算的可靠性。区域研究可引入这种思维。遗憾的是,迄今为止此类成果鲜有见到。

此外,多利益相关者的可持续旅游和旅行(MusTT)模型法是一种改进的直接的自下而上法,其能为替代式自下而上法在结构排放测度方面打开一个来自客运的新窗口。该法核心理念是通过整合游客与旅客两方面的数据,创建一个适用于旅游交通碳排放测度的数据库。其由欧盟于2004年创立并成功运用于欧洲案例<sup>[23-24]</sup>。随后,该模型为UNWTO等所接受并应用于前文所提报告<sup>[9]</sup>。

### 1.2 替代式自下而上法机理分析

其一,替代原理。该法思路是区域游客的碳排放可用区域居民出游的相应值替代。区域游客可分为入境游客、区外游客与本地游客3种成分,其中,前二者是区域输入的游客,第三者来自区域居民。相应地,区域出游者也可分为出境游客、出区游客与本地游客3种类型,其中,前二者是区域输出的游客,本地游客与区域游客中的本地游客等同。在替代过程中,本地游客是被“自替代”,且其所占比重一般也较大,如2011年江浙沪的本省游客分别占34%、46%和51%。因此,研究还需要厘清区域输入游客和区域输出游客的替代关系。

其二,替代法则。中国现有的统计数据难以分析这种替代关系。通过旅游统计年鉴和国内旅游抽样调查资料等途径可收集到输入游客的资料,但输出游客的数据尚不完善。各省区的出境旅游统计人次只涉及旅行社部分,而受地缘、交通等因素的影响,此数据不一定能反映各地区的真实出游力,如2011年江浙沪分别为62.9万人次、119.8万人次和132.4万人次,浙江省和上海市几乎均为江苏省的两倍。在已有几个年份的国内旅游抽样调查资料中,由于同一年份没有同时涉及城市居民和农村居民,该数据虽有助于研究,但仍无法满足需要。

这里先借用宏观尺度上的出入境双向旅游流资料来分析替代关系。理论上,全球出境游和入境游一一对应,二者可完全替代。Gössling分工业化国家、前苏东国家和发展中国家三种类型,用居民替代游客测度了旅游交通碳排放<sup>[3]</sup>。虽然文章没有分析替代产生的误差,但应该比较小,这从表1中的全球尺度上的入境游与出境游的人次比值上不难看出。国家输出和输入的游客是出入境游客。因旅游吸引力和出游力的差异,不同国家的出入境游客人次比值也会不一样。在表1中,意大利、新加坡的均值分别为1.58和1.27,而日本和美国依次为0.39和0.81。受突发事件、经济发展等因素的影响,一些国家可能出现较大波动,如阿根廷和中国的某些相邻年份的比值变化较大。因此,研究应因时因地而定。

随着中国出境游的快速发展,表1中的比值从2000年的2.97降到2009年的1.07。根据《中国旅游统计年鉴2012》,2011年该值为0.82。同年,在中国排名前十五名的客源国和接待国中,只有同为东南亚的菲律宾

和柬埔寨这一对国家不同,说明出入境的平均距离也比较接近。

表 1 2000—2009 年部分国家和地区的入境旅游者人次和出境旅游者人次比值

Table 1 Ratio of outbound tourists and inbound tourists in some countries or regions from 2000 to 2009

国家 Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	均值 Mean
高收入国家 Developed country	0.99	0.98	0.96	0.97	0.97	0.94	0.98	0.98	0.97	0.95	0.97
发展中国家 Developing country	1.07	1.03	1.09	1.01	1.05	1.04	1.03	1.01	0.99	—	1.03
欧洲 Europe	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.87	0.91	0.90	0.88	0.88	0.91
意大利 Italy	1.87	1.77	1.59	1.48	1.59	1.47	1.60	1.57	1.51	1.48	1.58
新加坡 Singapore	1.36	1.34	1.33	1.11	1.27	1.37	1.37	1.32	1.14	1.14	1.27
日本 Japan	0.27	0.30	0.32	0.39	0.36	0.39	0.42	0.48	0.53	0.44	0.39
美国 American	0.84	0.79	0.75	0.73	0.76	0.77	0.80	0.88	0.91	0.89	0.81
阿根廷 Argentina	0.59	0.62	0.94	1.01	0.99	0.98	1.07	1.09	1.01	0.87	0.90
中国 China	2.97	2.74	2.22	1.63	1.45	1.51	1.44	1.33	1.15	1.07	1.50

根据 EPS 中的世界经济发展数据库相关资料整理;“—”为数据不详

综上所述,此法较适合中国国家层面上的研究。这也印证了石培华和吴普的研究<sup>[13]</sup>在思路上是可行的。需要说明的是,理论上此法应该比较研究对象的总接待游客和总出游游客,其比值更趋向 1,如以中国为例,2009 年比值为 1.00(表 1 中为 1.07),但考虑到排放主要来自长距离的交通(如在阿姆斯特丹,占“重要”市场份额的国内游客仅占旅游交通总排放的 2%<sup>[5]</sup>),分析其输入流和输出流的比值更具实际意义。

由于替代结果会存在或大或小的差值,因此,应对其进行调整以还原接待游客碳排放的“本来面貌”。已有相关研究<sup>[3,12-13]</sup>尚未涉足该领域。调整工作并非易事,全方位的调整既涉及人次方面,还涉及距离方面。如果将接待游客的出游距离再次卷入,则调整目的难以实现,也违背了替代的初衷,故比较理想可行的还原法则是仅考虑人次比值。

基于上述分析,在获知区域居民规模、区域居民乘坐各旅游交通方式的出游距离和碳排放系数的基础上,可通过替代式自下而上法测度旅游交通碳排放,公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^n P_i \times D_i \times \beta_i \quad (1)$$

式中,  $C$  为区域旅游交通碳排放量(Mt);  $P_i$  为乘  $i$  类交通模式的区域居民规模(人次);  $D_i$  为平均每位居民乘  $i$  类交通模式的出游距离(km);  $\beta_i$  为乘  $i$  类交通模式的单位碳排放系数(g/pkm)<sup>①</sup>。

## 2 数据来源

旅游交通碳排放测度的理想数据资料应该包括客源地、目的地、旅游路线、交通方式及碳排放系数等方面的情况<sup>[9]</sup>。中国的统计资料在这些方面尚不完备。本文数据来源主要有:世界银行数据库、2002—2012 年的中国统计年鉴、江苏统计年鉴、浙江统计年鉴、上海统计年鉴、中国国内旅游抽样调查资料、长三角各省市的旅游业年度报告(旅游统计资料汇编)和国民经济和社会发展统计公报等。居民出游的交通方式数据来自 2012 年 10 月—2013 年 4 月项目组对 943 户居民的调查。

## 3 长三角旅游交通碳排放测度体系

### 3.1 人均每天出游距离

出游距离(旅游过程中的移动距离)受经济、文化、地理等多方面因素的影响。Schafer 利用佩恩表对全球

① pkm: 每人·公里

11 个地区统计发现,从长远趋势来看,全球人均出行距离(通勤距离、通学距离、出游距离等移动距离的总和)与人均 GDP 几乎呈同比例增长,但当经济发展水平较低时,出行距离受文化、地理等因素的影响较大,如当全球人均 GDP 为 1 万美元时,西欧的人均出行距离约为北美的 60%<sup>[36]</sup>。在不同国家和地区,出游距离占出行距离的比值可能相差很大。UNWTO 采用了通过计算出游距离的方式测算了全球旅游交通碳排放<sup>[9]</sup>,但报告中的出游距离值是基于 Scott、Becken、Dubois、Gössling、Peeters 等专家的经验估算值,如国际、发达国家和发展中国家的陆地出游距离(往返)分别为 250 km、250 km 和 200 km<sup>[9]</sup>。2001 年,工业化国家、前苏东国家和发展中国家的人均每天出游距离分别约为 20 km、3.75 km 和 0.6 km<sup>[3]</sup>。本世纪初,中国居民人均每天出游距离约为 0.42 km<sup>[13]</sup>。表 2 还列举了国外为数不多的人均每天出游距离的近似值。可见,国内外上测算旅游交通碳排放的一个关键环节为出游距离,但对其研究比较单薄和零散,带有一定的主观性,还没有研究从理论上探讨其计算方法。

表 2 人均每天出游距离及相应年份的社会经济特征

Table 2 The daily per capital average tourism distances and social and economic character of reference years

国家 Country	出行距离 Travel distance/km	出游距离 Tourism distance/km	年份 Year	资料来源 Resources	人均 GDP <sup>①</sup> GDP per capita/ \$	居民消费水平 <sup>②</sup> Consumption per capita/ \$	线路长度 <sup>③</sup> Traffic line per capita/m
英国 UK	29	11.89	1995	[37]	19944	13685	6.95
荷兰 NED	41	14.76	1995	[37]	27102	14883	8.07
挪威 Norway	33	16.50	1992	[38]	29932	16191	22.20
德国 GER	33	16.50	1995	[39]	30888	16583	8.37
瑞士 Swiss	33	16.50	1994	[37]	39567	21589	10.58
瑞典 Sweden	45	20.25	2000	[40]	27869	13700	49.01
美国 USA	62	19.22	1995	[37]	27559	17738	24.59

表中①—③数据根据世界银行数据库相关资料整理,其中,②英国、荷兰、德国和美国的数据根据往年数据回归推断,③挪威的年份为 2005 年、瑞典为 2003 年

根据国际经验,旅游需求与经济发展水平密切相关。客源地的社会经济属性决定了其出游力<sup>[41]</sup>。中国宏观或中观层面上的居民出游力指数,是居民收入水平、居民消费水平和交通状况等三者的函数<sup>[41-43]</sup>。考虑到交通的互通性,全国的交通状况往往比区域情况更能反映地方的出游距离。本文选取区域人均 GDP、区域人均消费水平和全国人均运输线路长度(包括公路和铁路)3 个指标,尝试采用归纳法推导一种普适性的出游距离计算方法。美国的国土面积与中国相差不大,但由于其交通可达性更好、人口密度低等原因,所以其出游相对容易。欧洲的面积与中国也相差无几,考虑到表 2 中多数研究的核算年份为 90 年代中后期(1993 年欧盟正式诞生),洲内自由行还不是非常畅通。基于这两方面的考虑,中国的出游难度大体处在美国和欧洲的中间位置,即美国值和欧洲均值的中值应该比较适合中国。根据表 2 中各国的出游距离和社会经济特征,推算中国出游 1 km 所需的人均 GDP、人均消费水平和人均交通线路长度分别为 1626.18 美元、962.65 美元和 1.14 m。出游距离计算公式如下:

$$D = W_1 \times \left( \frac{\text{GDP}}{1626.18} \right) + W_2 \times \left( \frac{E}{962.65} \right) + W_3 \times \left( \frac{L}{1.14} \right) \quad (2)$$

式中,  $D$  是指区域人均每天出游距离(km);  $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_3$  分别为人均 GDP、人均消费水平和人均交通线路长度对  $D$  的权重,总权重和为 1; GDP 是指区域人均 GDP(美元);  $E$  是指区域人均消费水平(美元);  $L$  是指全国人均交通线路里程(m)。

公式(2)中的权重( $W_i, i = 1, 2, 3$ )通过变异系数法确定,计算公式如下:

$$W_i = \frac{\delta_i}{\sum \delta_i} \quad (3)$$

公式(3)中的  $\delta_i$  为第  $i$  项指标的变异系数,无量纲,计算公式如下:

$$\delta_i = \frac{S}{\bar{C}_i} \quad (4)$$

式中,  $S$  为第  $i$  项指标特征值的均方差,  $S = \sqrt{\sum (C_i - \bar{C})^2/n}$ ;  $\bar{C}_i$  为第  $i$  指标的均值, 计算公式如下:

$$\bar{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (5)$$

根据中国统计年鉴整理本世纪以来各省市的人均 GDP、居民人均消费水平和人均交通运输线路长度, 应用上述相关公式, 得出江浙沪的人均 GDP 的权重分别为 0.25、0.27 和 0.31, 居民人均消费水平的权重分别为 0.27、0.26 和 0.29, 人均交通运输线路长度的权重分别为 0.48、0.47 和 0.40。可见, 人均交通运输线路长度是影响出游距离的最主要因素。这在某种程度上也解释了表 2 中瑞典和美国的出游距离较远的原因。利用公式(2)可得到 2011 年江浙沪居民的人均每天出游距离(表 3)。

表 3 2011 年长三角居民人均每天出游距离

Table 3 The average daily tourism distances per capita in Yangtze River Delta (2011)

区域 Region	人均 GDP GDP per capita/ \$ <sup>①</sup>	居民人均消费水平 Consumption per capita/ \$ <sup>②</sup>	人均交通线路长度 Traffic line per capita/m	人均每天出游距离 Tourism Distance per capita/km
江苏省	9444	2658	2.92	3.43
浙江省	9173	3305	2.92	3.61
上海市	12783	5487	2.92	5.12

①列和②列数据按 1 美元兑换 6.4588 元人民币计算

### 3.2 旅游交通方式距离比例

公式(2)中的距离需分配到各旅游交通方式上才有意义, 否则, 距离无法与碳排放系数相挂钩。为避免误解, 这里对公式(2)中的距离与距离比例中的两个距离稍作解释: 二者都是居民的出游距离, 只是测算角度不同, 测算前者的目的是为了获得一个较科学的总距离, 后者比例用来分配前者, 是碳排放系数的结合对象, 不是旅游的人次比例。2005 年全球出游距离中, 飞机占 43.55%, 自驾车占 36.67%, 汽车和火车等其他旅游交通方式占 19.78%<sup>[9]</sup>。不同国家和地区的距离比例可能差异很大, 例如, 2002 年自驾车在发达国家占 70%—75%, 而在发展中国家仅为 20%<sup>[3]</sup>, 即便均为发达国家的日本和美国, 它们在火车上也呈现出 19.9% 和 0.3% 的巨大差别<sup>[9]</sup>。

在中国, 旅游交通方式的距离比例研究比较薄弱。由于现有的统计年鉴等资料无法提供理想的数据, 因此, 通过实地调查对其进行估算很有必要。但调查工作一般会存在居民对出游距离感知的模糊性、不确定性和由调查能力限制所带来的片面性等不足。在一定程度上, MusTT 模型中的整合旅行和旅游数据的理念能弥补上述不足, 减少估算的误差。中国的统计年鉴中的公路周转量不包含自驾车和公交车, 虽不能为研究所直接利用, 但其关于全国或各省区的航空、铁路、公路和水运的旅客周转量, 仍能为本文提供宏观背景和微调依据。2011 年, 全国民航、铁路、公路和水运占总出行距离比例分别为 14.64%、31.02%、54.10% 和 0.24%。省域的一些数据参考价值较小, 不一定能反映真实的出行或出游距离, 如 2011 年江苏省的航空周转量为 70.9 亿人 km, 而上海市达 1136.69 亿人 km。

项目组通过对 2011 年 943 户居民 4713 人次出游的客源地、目的地、主要旅游交通方式及其出游距离(所乘工具的时间)的调查, 估算出长三角居民选择飞机、火车、汽车、自驾车和其他交通方式(水运、公交车、摩托车等)的距离比例(表 4)。

### 3.3 旅游交通碳排放系数

不同国家和地区的旅游交通碳排放系数, 会有所差异甚至相差较大(表 5)。差异产生的原因除工具本身的排放效率之外, 还主要包括以下几个方面: 一是能耗类型, 如 Association of Train Operating Companies(英国列车运营公司协会)显示, 电力火车的碳排放系数为 54 g/pkm, 而柴油火车达 74 g/pkm; 二是平均运距, 这主

要体现在飞机上,短距离一般要高于长距离<sup>[20]</sup>;三是上座率,这主要体现在陆上旅游交通上,在经济发达国家和地区,由于平均上座率较低,系数一般要高于欠发达国家和地区<sup>[6,21,28]</sup>。因为系数拟定是一项技术工程,所以一些国家机构(如 Department for Environmental, Food and Rural Affairs(DEFRA),英国环境、食品及乡村事务部)或公司(如 Association of Train Operating Companies; Carbon Tracking Ltd,碳足迹公司)的具有较大权威性的结果,往往被一些研究<sup>[5,21]</sup>所引用。在援引国外相关成果的基础上,中国大陆的相关研究<sup>[13,29-31]</sup>针对国情或区情作了可贵的修正调整,如肖潇提出了火车、飞机、汽车、自驾车和公交车的碳排放系数分别为 63、180、71、99 g/pkm 和 41 g/pkm 的参考标准<sup>[29]</sup>,但在针对性和有效性方面仍表现出一定的局限性,有必要进行重新审视与调整。

表 4 长三角各旅游交通方式的距离比例/%

Table 4 The percent of distance for tourism transport in Yangtze River Delta

区域 Region	飞机 Air	火车 Train	汽车 Coach	自驾车 Car	其他 Other
江苏	12.23	13.27	52.71	16.60	5.19
浙江	12.85	14.41	48.39	17.39	6.96
上海	14.71	17.60	46.49	16.48	4.72
长三角	12.98	14.60	49.88	16.84	5.70

表 5 旅游交通工具的碳排放系数/(g/pkm)

Table 5 Coefficients of carbon dioxide emissions for tourism transportation

资料 Resource	UNWTO <sup>[9]</sup>	Gössling <sup>[3]</sup>	Peeters <sup>[10]</sup>	MusTT <sup>[23]</sup>	Dubois <sup>[7]</sup>	Becken <sup>[6]</sup>	Lin <sup>[28]</sup>
对象 Scale	全球	全球	全球	欧洲	法国	新西兰	中国台湾
核算年 Year	2005	2001	2005	2000	2000	2000	1999—2006
飞机 Air	129	396	124(国际) 137(国内)	129	432(中) 378(远)	188.9	—
自驾车 Car	125	132	133 <sup>①</sup> ;89 <sup>②</sup>	133	180 <sup>③</sup>	68.7	97
汽车 Coach	—	—	—	22	19	69.2	28
火车 Train	—	73	—	27	26	98.9(柴油)	—
其他 Other	25	66	25	—	—	—	—

①指国际和 OECD(经合组织)90 国内,②指非 OECD90 国内,③的单位为 g 辆<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup>; —: 不详或未研究; Gössling 和 Dubois 系列的单位为 CO<sub>2</sub>-e(二氧化碳当量);根据 IPCC 第四次评估报告中温室气体的暖化值可得到 CO<sub>2</sub>-e 的计算公式(6),CO<sub>2</sub>占 CO<sub>2</sub>-e 的绝大多数,如消耗同质量的不同类型的化石能源,CO<sub>2</sub>占 CO<sub>2</sub>-e 数值的 98.7%。

$$\text{CO}_{2-e} = \text{CO}_2 + 25 \times \text{CH}_4 + 298 \times \text{N}_2\text{O} \quad (6)$$

在 UNWTO 和 MusTT 中,全球飞机的碳排放系数均为 129 g/pkm(表 5),杭州科协发布的《低碳生活指导手册》指出,飞行距离在 200 km 以上的飞机的系数区间为 105—139 g/pkm,而 MusTT 模型还给出了当平均运距在 1500—2000 km 区间时该系数为 121 g/pkm 的参考标准<sup>[23]</sup>。《中国统计年鉴 2012》显示,2011 年中国航空的平均运距为 1548 km。故本文该系数选取 121 g/pkm。在北京凯来美气候技术咨询有限公司的碳足迹计算器中,火车、小型轿车(中油耗)和轮船的碳排放系数依次为 9 g/pkm、245 g/辆和 10 g/pkm。在综合考虑全国火车的载荷因子(交通模式的平均乘客数量)相差不大、汽车以台湾为参考对象(表 5)、经实地调研得到长三角自驾游的载荷因子为 3.24 等方面的基础上,拟定火车、汽车、自驾车和其他旅游交通工具的系数依次为 9、28、76、10 g/pkm。

## 4 结果分析

### 4.1 碳排放总量

在确定居民人均每天出游距离、旅游交通方式的距离比例和碳排放系数的基础上,结合各省市的人口数量,利用公式(1),测得 2011 年长三角旅游交通的碳排放总量为 8.32 Mt,其中江苏省、浙江省和上海市分别为 3.23、2.98 Mt 和 2.11 Mt,依次占 38.83%、35.86%和 25.31%(表 6)。江浙沪每人每次出游的碳排放顺次为 4.76、

5.66 kg 和 6.21 kg。根据同期各省市的统计年鉴,江浙沪接待的游客数量分别占长三角的 41.60%、34.82% 和 23.58%,与前组比例相差不大,这也反推了研究结论是比较可靠的。考虑到各省市的入境游人次相差不大的情况,真实结果可能更收敛。

上述结果来自利用区域输入流和输出流的人次比值法则对居民出游结果的还原调整。各省市的本省游客和输入游客的人次可通过相关途径收集(表 7)。输出游客分出境游和出省游两种类型。2011 年,江浙沪入境游总人次,分别是经旅行社接待的入境游人次的 3.76 倍、6.16 倍和 8.33 倍。将各省市经旅行社组织的出境游人次乘以相应的倍数可估算出境游总人次。根据调查,江浙沪的本省游客人次,分别是其出省游客人次的 0.63、0.84 倍和 0.99 倍。结合这一系列倍数与各省市的本省游客人次可得到出省游人次。最终可得出总输入和总输出的人次比值。各比值均比全国的 0.82 略高,可能与世博会的影响有关。受数据限制,比值还存在一定的偏差。

表 6 2011 年长三角旅游交通碳排放总量

Table 6 The numbers of carbon dioxide emissions for tourism transportation in Yangtze River Delta (2011)

省市 Province/City	人口数量 Population (ten thousand)	出游距离 Tourism distance km/per tourist-day	总出游距离 Total tourism distance/ 10 <sup>8</sup> km	排放量 Emissions/Mt
江苏	7899	3.43	988.19	3.23
浙江	5463	3.61	719.81	2.98
上海	2347	5.12	438.35	2.11

表 7 2011 年长三角输入和输出的游客

Table 7 Numbers of inbound and outbound tourist for Yangtze River Delta in 2011

省市 Province/City	本省 Local	总输入 Total input/万人		总输出 Total output/万人		总输入/总输出 Total input/ Total output
		入境(旅行社) Inbound (Travel service)	外省 Other province	入境(旅行社) Inbound (Travel service)	外省 Other province	
江苏	14411	737.3(196.2)	26739	236.4(62.9)	22721	1.20
浙江	15981	773.7(125.5)	18314	738.6(119.8)	19075	0.96
上海	12202	668.6(80.3)	10877	1102.0(132.4)	12463	0.86

#### 4.2 各旅游交通方式碳排放分量

在长三角,飞机、火车、汽车、自驾车和其他旅游交通方式的碳排放结构分量,分别为 3.29、0.28、1.97、2.67 Mt 和 0.12 Mt,所占比例依次为 39.57%、3.32%、23.61%、32.07%和 1.43%(表 8)。其一,飞机和自驾车是最主要的两种碳源,这与世界旅游组织等相关研究结论<sup>[3,6-10]</sup>一致,但二者共约占 71.64%的比例,较明显低于 UNWTO 发布的 95.41%世界平均水平。二者排放主要受碳排放系数的影响。它们是旅游交通节能减排的主

表 8 2011 年长三角各旅游交通工具的碳排放

Table 8 The numbers of carbon dioxide emissions for tourism transportation in Yangtze River Delta (2011)

交通方式 Traffic models	碳排放系数 coefficients/ (g/pkm)	出游距离 Distances/ 10 <sup>8</sup> km	居民总排放量 Total emissions of residents/Mt	调整后总排放量 Total emissions/ Mt	各交通方式排放比例 Percent for traffic models/%
飞机 Air	121	277.85	3.36	3.29	39.57
火车 Train	9	311.96	0.28	0.28	3.32
汽车 Coach	19	1073.00	2.04	1.97	23.61
自驾车 Car	76	361.43	2.75	2.67	32.07
其他 Other	10	122.11	0.12	0.12	1.43
总计 Total	—	2146.35	8.55	8.32	100

攻领域。因为飞机和自驾车的系数远高于别的方式,所以降低二者的选乘比例,促使其向低碳化的方式转变是减排的主要途径。由于长途游客偏向选择飞机作为交通工具,故而变长途为短途、变快速为慢速可在很大程度上减少排放。其二,旅游公共交通工具(火车、汽车等)的 26.93% 的比例,远高于发达国家甚至全球的平均水平,具有“中国式”的以火车和汽车为主要出行工具的烙印。其排放的主要驱动力来自出游距离。加强对这部分游客的低碳出游理念教育,引导其向更低碳排放甚至零碳排放的出游方式(如脚踏车、步行等)转变,对减排工作来说也意义非凡。旅游交通减排需要各利益相关者共同努力,供给方应尽量提供更低碳化的工具,需求方应力求选择短途、慢游的旅游行为方式。减排的基本方向是,由高碳排放系数的旅游交通方式向低碳排放系数甚至零碳排放系数转变。

## 5 结论与讨论

本文尝试构建的替代式自下而上法,有助于科学地解决宏观和中观层面上的出游距离这一关键问题,进而为推动旅游交通碳排放测度研究提供了一种新的可供选择的科学方法。依托此法,研究结果显示长三角旅游交通碳排放总量为 8.32 Mt。内部分异上,江浙沪分别为 3.23、2.98 Mt 和 2.11 Mt;飞机、火车、汽车、自驾车和其他旅游交通方式依次为 3.29、0.28、1.97、2.67 Mt 和 0.12 Mt,其中飞机和自驾车所占比例较明显低于世界平均水平,而旅游公共交通远高于发达国家甚至全球的平均水平。当然,文章对替代式自下而上法的机理分析还比较浅显,需要进一步深入研究。由于对旅游业碳排放基本上只能进行估算<sup>[3,13,29,33,44]</sup>,研究试图通过改善该法的三个环节,提高结果的精确性。

(1) 出游距离。测算旅游交通碳排放的一个重要环节为出游距离,但迄今为止还鲜有研究从理论上探讨其计算方法。通过对零散成果的归纳,研究首次尝试从人均 GDP、人均消费水平和人均交通线路长度三方面推导出出游距离的测算公式。相对于直接的自上而下法,此距离克服了区际分割和区内重复计算。在针对性方面,论文考虑了区际间的权重差异,但对由交通便捷度、居民出行偏好和旅游地的分布等因素引起的区域间指标均值的异质性则研究不够。或许通过其他方法如投入产出法能与本研究的结果进行相互验证。

(2) 旅游交通方式距离比例。通过以实地调研数据为主、辅之以 MusTT 模型法的方式,文章拟定了飞机、火车、汽车、自驾车和其他旅游交通方式的距离比例。这有助于对各旅游交通方式的结构碳排放进行研究。受问卷设计和调查能力等因素的影响,样本数量还偏小,结果还需进一步修正和完善。

(3) 旅游交通碳排放系数。在综合分析代表性文献和碳足迹计算器中的参数基础上,考虑客运平均运距等因素,结合实地调研数据,研究确定了飞机、火车、汽车、自驾车和其他旅游交通工具的系数。系数体系拟定的依据比较严谨,结果具有一定的科学性、区域性和普适性,其中,普适性体现在,除自驾车的系数需根据不同地区的载荷因子稍作调整外,其他系数对别的区域甚至国家层面上的研究也具有某种程度的参考价值。今后需加强对相关方面的研究,如汽车上座率甚至交通燃油类型等,提高适用性。

研究区域旅游交通碳排放,既能为测度区域旅游业的碳排放总量和进行产业间的横向比较奠定基础,也能为市县层面上的相关研究和旅游碳中和、旅游碳交易等后续研究提供参考依据,甚至还能对旅游业响应减少二氧化碳、化学需氧量、氨氮和氮氧化物等主要污染物的综合交叉研究提供素材。

**致谢:**感谢沈淮东、徐海军、尹成法、周玮、谈志娟、蒋铭萍、陆玮婷、谢慧玮、张红霞、张春丽、陈芸和龙国治等人在数据收集过程中的大力帮助。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] LeGrand B. Energy impacts on the economy of northern Wisconsin tourism industry. *Annals of Tourism Research*, 1974, 1(5): 145-158.
- [ 2 ] Gössling S. Sustainable tourism development in developing countries: Some aspects of energy use. *Journal of Sustainable Tourism*, 2000, 8(5): 410-425.
- [ 3 ] Gössling S. Global environmental consequences of tourism. *Global Environmental Change*, 2002, 12(4): 283-302.
- [ 4 ] Gössling S, Hansson C B, Hörstmeier O, Hörstmeier O, Saggel S. Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. *Ecological*

- Economics, 2002, 43(2/3): 199-211.
- [ 5 ] Gössling S, Peeters P, Ceron J P, Duois G, Patterson T, Richardson R. The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 2005, 54(4): 417-434.
- [ 6 ] Becken S, Patterson M. Measuring national carbon dioxide emissions from tourism as a key step towards achieving sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 2006, 14(4): 323-338.
- [ 7 ] Dubois G, Ceron J P. Tourism/leisure greenhouse gas emissions forecasts for 2050: Factors for change in France. *Journal of Sustainable Tourism*, 2006, 14(2): 172-191.
- [ 8 ] Kelly J, Williams P W. Modelling tourism destination energy consumption and greenhouse gas emissions: Whistler, British Columbia, Canada. *Journal of Sustainable Tourism*, 2007, 15(1): 67-90.
- [ 9 ] UNWTO, UNEP, WMO. *Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges*. Madrid: UNWTO, UNEP, WMO, 2008: 121-144.
- [ 10 ] Peeters P, Dubois G. Tourism travel under climate change mitigation constraints. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(3): 447-457.
- [ 11 ] Dwyer L, Forsyth P, Spurr R, Hoque S. Estimating the carbon footprint of Australian tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 2010, 18(3): 355-376.
- [ 12 ] Perch-Nielsen S, Sesartic A, Stucki M. The greenhouse gas intensity of the tourism sector: The case of Switzerland. *Environmental Science & Policy*, 2010, 13(2): 131-140.
- [ 13 ] 石培华, 吴普. 中国旅游业能源消耗与 CO<sub>2</sub> 排放量的初步估算. *地理学报*, 2011, 66(2): 235-243.
- [ 14 ] Konan D E, Chan H L. Greenhouse gas emissions in Hawai'i: Household and visitor expenditure analysis. *Energy Economics*, 2010, 32(1): 210-219.
- [ 15 ] Jones C. Scenarios for greenhouse gas emissions reduction from tourism: An extended tourism satellite account approach in a regional setting. *Journal of Sustainable Tourism*, 2012, 21(3): 458-472.
- [ 16 ] Liu J, Feng T T, Yang X. The energy requirements and carbon dioxide emissions of tourism industry of Western China: A case of Chengdu city. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(6): 2887-2894.
- [ 17 ] 谢园方, 赵媛. 长三角地区旅游业能源消耗的 CO<sub>2</sub> 排放测度研究. *地理研究*, 2012, 31(3): 429-438.
- [ 18 ] Walz A, Calonder G. P, Hagedorn F, Lardelli C, Lundström C, Stöckli V. Regional CO<sub>2</sub> budget, countermeasures and reduction aims for the Alpine tourist region of Davos, Switzerland. *Energy Policy*, 2008, 36(2): 811-820.
- [ 19 ] Kuo N W, Chen P H. Quantifying energy use, carbon dioxide emission, and other environmental loads from island tourism based on a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 15(10): 1324-1330.
- [ 20 ] Tao Y G, Huang Z F. A literature review of accounting for carbon dioxide emissions in tourism at different spatial scales. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(5): 246-254.
- [ 21 ] Chenoweth J. Is tourism with a low impact on climate possible?. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 2009, 1(3): 274-287.
- [ 22 ] Gössling S, Peeters P. 'It does not harm the environment!' an analysis of industry discourses on tourism, air travel and the environment. *Journal of Sustainable Tourism*, 2007, 15(4): 402-417.
- [ 23 ] MusTT(Edited by Peeters P, Egmond T, Visser N). *European Tourism, Transport and Environment*. Breda; NHTV CSTT, 2004.
- [ 24 ] Peeters P, Szimba E, Duijnsveld M. Major environmental impacts of European tourist transport. *Journal of Transport Geography*, 2007, 15(2): 83-93.
- [ 25 ] Becken S. Analysing international tourist flows to estimate energy use associated with air travel. *Journal of Sustainable Tourism*, 2002; 10(2): 114-131.
- [ 26 ] Smith I J, Rodger C J. Carbon emission offsets for aviation-generated emissions due to international travel to and from New Zealand. *Energy Policy*, 2009, 37(9): 3438-3447.
- [ 27 ] Howitt O J A, Revol V G N, Smith I J, Rodger C J. Carbon emissions from international cruise ship passengers' travel to and from New Zealand. *Energy Policy*, 2010, 38(5): 2552-2560.
- [ 28 ] Lin T P. Carbon dioxide emissions from transport in Taiwan's national parks. *Tourism Management*, 2010, 31(2): 285-290.
- [ 29 ] 肖潇, 张捷, 卢俊宇, 钟士恩, 尹立杰. 旅游交通碳排放的空间结构与情景分析. *生态学报*, 2012, 32(23): 7540-7548.
- [ 30 ] 窦银娣, 刘云鹏, 李伯华, 刘沛林. 旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例. *生态学报*, 2012, 32(17): 5532-5541.
- [ 31 ] 包战雄, 袁书琪, 陈光水. 不同游客吸引半径景区国内旅游交通碳排放特征比较. *地理科学*, 2012, 32(10): 1168-1175.
- [ 32 ] 肖建红, 于庆东, 刘康, 刘娟, 程馨, 张然. 舟山群岛旅游交通生态足迹评估. *生态学报*, 2011, 31(3): 849-857.
- [ 33 ] 石敏俊, 王妍, 张卓颖, 周新. 中国各省区碳足迹与碳排放空间转移. *地理学报*, 2012, 67(10): 1327-1338.
- [ 34 ] 王群, 章锦河. 低碳旅游发展的困境与对策. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(3): 93-98.
- [ 35 ] 唐承财, 钟林生, 成升魁. 旅游业碳排放研究进展. *地理科学进展*, 2012, 31(4): 451-460.
- [ 36 ] Schafer A, Victor D G. Global passenger travel: Implications for carbon dioxide emissions. *Energy*, 1999, 24(8): 657-679.
- [ 37 ] Schafer A. Regularities in travel demand: An international perspective. *Journal of Transportation and Statistics*, 2000, 3(3): 1-31.
- [ 38 ] Høyer K G. Sustainable tourism or sustainable mobility? The Norwegian case. *Journal of Sustainable Tourism*, 2000, 8(2): 147-160.
- [ 39 ] Bundesverkehrsministerium (BMV). *Verkehr in Zahlen*. Berlin; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, 1996.
- [ 40 ] Statistiska centralbyrån/Statens institut för kommunikationsanalys(SCB/SIKA). *RES 2000*. Stockholm; Den nationella reseundersökningen. Birger Gustafsson AB, 2001.
- [ 41 ] 钟士恩, 张捷, 任黎秀, 罗浩, 李敏, 董雪旺. 基于社会经济属性的中国省际出游力研究——兼对中国与世界已研究国家案例比较. *经济地理*, 2009, 29(1): 153-159.
- [ 42 ] 吴必虎, 徐斌, 邱扶东. *中国国内旅游客源市场系统研究*. 上海: 华东师范大学出版社, 1999: 33-49.
- [ 43 ] 史春云, 张捷, 尤海梅, 单勇兵, 章锦河. 中国城市居民出游潜力的空间分异格局. *地理科学*, 2006, 26(5): 622-628.
- [ 44 ] 吴普, 岳帅. 旅游业能源需求与二氧化碳排放研究进展. *旅游学刊*, 2013, 28(7): 64-72.