

博士文库



上海市重点学科
“地理学与城市环境” 资助出版
编号J50402

基于生态足迹模型的 经济—生态协调度评估

刘宇辉 著



COORDINATED DEGREE ASSESSMENT OF
ECO-ECONOMIC SYSTEM BASED ON EF MODEL

中国环境科学出版社

本书由上海市重点学科“地理学与城市环境”资助出版，
编号：J50402

基于生态足迹模型的经济—生态 协调度评估

刘宇辉 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

基于生态足迹模型的经济—生态协调度评估/刘宇辉著. —北京: 中国环境科学出版社, 2009.6

ISBN 978-7-5111-0012-2

I. 基… II. 刘… III. 生态经济—评价模型—中国 IV. F124.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 085990 号

责任编辑 孟亚莉
责任校对 刘凤霞
封面设计 龙文视觉/陈莹

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2009 年 6 月第 1 版
印 次 2009 年 6 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 6.25
字 数 170 千字
定 价 19.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

本书是运用生态足迹模型对中国经济—生态协调度进行定量分析的一次尝试，主要根据作者的博士论文修改完成。在准备博士论文选题的过程中，考虑到当时可持续发展研究中过于偏定性研究的特点，作者一直想找到一种定量评估可持续发展的工具对中国可持续发展的动态及空间变化规律进行分析。作者的博士生导师，复旦大学彭希哲教授给了一份关于生态足迹的材料，问是否可以做一些尝试性研究。由此引发了作者对生态足迹研究的关注。

生态足迹模型是由加拿大学者 William Rees 及其学生 Mathis Wackernagel 于 1992 年率先提出的一种以土地为度量单位的生态可持续性评估方法。所谓生态足迹，是英文“Ecological Footprint”一词的中文直译，有时也译为生态占用，是指“在现有技术水平条件下、特定区域范围内持续生产人们消耗的所有资源，承担他们所享用的各类服务，及分解其排放的废弃物所需的各类土地和水域面积总量”。生态足迹代表人类对生态系统的资源和服务的需求水平，通过与生态系统资源的供给水平，即生态承载力比较来衡量不同层次的区域可持续发展状况。

值得说明的是，在作者论文写作之时，生态足迹模型刚引入国内不久，尚属于一种较新的概念和方法。经过最近几年的发展，国内对生态足迹的研究，无论是从方法本身还是应用领域的拓宽方面均取得长足进步。本书的关注点不在方法本身的改进，而主要是运用该模型对中国历年生态可持续状况的动态变化及生态供需的空间

分布进行分析,这一点,从作者个人的观点来看,也是生态足迹模型最擅长描述的领域。同时,生态足迹研究结果显示,生态足迹的不断增长是目前经济—生态系统失调的主要原因,通过产业结构、生产技术、消费方式等一系列调整不断减少生态足迹是可持续发展的必然之路,但由于篇幅所限,本书也不讨论减少生态足迹的具体政策和措施。

作者衷心感谢对本书形成提供了直接或间接帮助的诸多师长和学界友人。复旦大学社会与公共政策学院彭希哲教授是作者的博士生导师,在论文的选题、写作中提供了宝贵的指导作用。加拿大学者 Mathis Wackernagel 及其同事,中国科学院林业研究所刘世荣教授,第二海洋研究所宁修仁教授与作者素未谋面,却提供了作者文章写作中所必要的原始数据、资料和方法指导,体现了真正的学者无私、大度和热情的高贵品质。在此,我也衷心谢谢我的家人对我多年来一贯的支持!

刘宇辉

2009年3月12日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 经济—生态协调度研究进展	5
1.3 生态足迹模型 (EF) 研究进展	7
1.4 本书内容框架	10
第 2 章 经济—生态协调发展: 从理念到理论	12
2.1 经济—生态协调发展: 新发展观的形成	13
2.2 经济—生态协调发展: 生态经济学基本理论	18
第 3 章 经济—生态协调发展: 要素分析与定量测度	32
3.1 经济生产—生态环境的相互作用	33
3.2 经济—生态协调发展的要素分析	40
3.3 经济—生态协调度的定量测度	53
第 4 章 生态足迹分析与经济—生态协调度研究	75
4.1 生态足迹理论解析	76
4.2 生态足迹模型方法及应用技术解析	82
4.3 生态足迹模型评价	89
第 5 章 实证研究之一: 中国经济—生态协调度的动态演变	95
5.1 关于生态足迹计算方法和数据来源的说明	96
5.2 中国 2001 年生态可持续性评估	99
5.3 中国生态可持续性动态分析: 1961—2001	110

5.4 中国 2005—2050 年生态足迹预测	127
第 6 章 实证研究之二：经济—生态协调度的区域分异	136
6.1 研究方法	138
6.2 中国分省生态承载力计算与分析	145
6.3 中国分省生产足迹计算与分析	154
6.4 中国分省消费足迹计算与分析	171
6.5 中国区域生态可持续性评估及比较分析	175
结束语	183
参考文献	186

第 1 章

绪 论

1.1 问题的提出

从某种程度上来讲，人类文明的进化史也是人类摸索着与自然相处的历史。从在森林中以采摘野果为生，到学会种植作物开始定居，再到大规模的现代化工业生产，人类对自然的利用规模和程度都发生了巨大变化。虽然在这过程中人类也曾经因为对自然的过度开发受到了自然界给予的打击和报复，但这些挫折基本上均是短暂和局部的。人类面对自然的信心也随之不断增加，并随着工业革命以来经济的繁荣发展和持续发生的大范围技术突破性进展而达到最高点。在经过漫长的对自然崇拜的岁月后，局势开始扭转，人类优势主义抬头，对自然的改造成为一种饱受鼓励的英雄般的行为。技术的发展带来了充足的食物、便捷的交通、多样性的文化娱乐，及由此支撑的个性精神的弘扬。并由此带动了人口迅速增长。世界总

人口由 1800 年的 9 亿上升到 1900 年的 16 亿，目前则已超过 67.74 亿^①。

正所谓“物极必反”，随着经济的繁荣发展，一系列的环境和生态问题也伴随而来。空气污染和水体富营养化危害着人类健康；大范围的水土流失、森林锐减、城镇化建设造成的耕地占用不断降低人类生命支持系统的质量和供给能力；从 20 世纪 60—70 年代以来，在生态环境不断退化的压力下，环境保护运动开始兴起，并迅速演化成目前席卷全球的可持续发展运动。作为对传统的以高速增长为核心内容的经济发展方式的调整与替代，可持续发展的核心目标是在保证经济发展的同时兼顾环境保护，从而从根本上保持发展的持续性，我们的后代能够有足够的资源维持与我们同等的甚至更高的生活水平。而其本质则是经济、人口、资源与环境等多种因素的协调发展。应该说，从 1987 年可持续发展概念第一次明确提出以来，可持续发展运动在短短十几年中取得了迅速发展，其成就也是有目共睹的。在理论上，经济学家和生态学家开始找到越来越多的共同点，一些旨在解决环境问题的经济学理论产生。“生态经济”“环境经济”“循环经济”“绿色经济”“飞船经济”，这一系列互相联系但又不无差异的概念和理论无一不说明了传统经济学与环境、生态等多学科互相融合以解决我们共同面临的生态危机的努力。在政策上，从清洁生产、产品生态设计、环境管理、生态工业规划等生产方式调整到资源税、环境税、可交易的排污许可证、环境股票、使用者费、资源补偿费等政策及制度安排，再到不断扩大的在减少温室气体排放，保护生物多样性及防止水土流失等领域进行的全球性合作，可持续发展运动得到了越来越多的技术、经济和制度的有力支持。在民间，以“地球之友”为典型代表的众多致力于环境保护的非政府组织如雨后春笋般冒起，而绿党也开始赢得更多民众支持进入西方发达国家的主流政治。

① 佟新. 人口社会学. 北京：北京大学出版社，2000：170-175.

美国国家统计局网站 <http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopinfo.html>（截止到 2009 年 4 月 14 日）

以上种种努力均在一定程度减缓了生态环境退化的态势。如在西方很多发达国家,由于能源结构调整及能源利用效率的提高,空气污染得到治理,空气质量有所好转。但从整体来看,随着经济整体规模的扩大,无论是发达国家还是发展中国家所面临的生态压力并没减少,反而进一步扩大。技术的发展虽然提高了资源的利用效率和循环利用,开发出新的材料和能源以弥补资源的消耗,但对高消费的持续追求带动了对自然资源的更大消耗,并冲消了在生产领域所取得的一系列“开源节流”的技术努力。包括食品、木材、能源、交通、住房、娱乐、旅游、政府服务等在内的多种消费活动形成了对耕地、森林、水域等自然生态系统服务的更大需求。同时,在整体经济发展的同时,区域差异更加拉大,局部贫困更趋严重,大量贫困人口拥有较低的文化教育水平和谋生技能,只能通过对自然资源的消耗来维持自己的生存,也造成生态压力的增长。

与世界其他国家相比,中国面临的生态压力有过之而无不及。一方面中国人多地少,可利用的自然保护资源有限;另一方面,尽管中国目前的消费水平较低,但增长趋势明显,对自然资源的潜在需求将以很快速度增长。此外,中国区域差异明显,资源分布与经济发展也常出现不协调,更加剧了资源短缺与环境污染。据 2002 年中国环境状况公报,目前中国七大江河水系均受到不同程度的污染,仅不足 1/3 的监测断面满足人类水质要求,尤以海河和辽河流域污染为重;近 2/3 的城市空气质量未达到二级标准。同时,作为生命支持系统的土地资源不断减少退化;2001 年,全国水土流失总面积 356 万 km^2 , 占国土总面积的 37.1%;90%的可利用天然草原有不同程度的退化,并以每年 200 万 hm^2 的速度递增。另外生物多样性继续受到自然和人为活动的破坏,自然生态系统不断退化,生境丧失和破碎化程度加剧,很多物种数量持续减少,遗传资源破坏和流失严重,外来入侵物种对生物多样性影响日趋严重^①。经过最近几年的努力,环境质量在某种程度上得到了改善,但湖泊富营养

① 国家环境保护总局. 2002 年中国环境状况公报.

化仍突出；饮用水源地取水仍有 23.6% 超过Ⅲ类标准；城市空气质量优良天数超过 292 天的比例为 95.6%；近岸海域总体水质为轻度污染；4 类功能区夜间噪声超标率约 50%；酸雨分布未发生明显变化；全国生态环境质量为“一般”^①。

应该说，中国目前生态环境退化问题是很严重的，而随着经济与人口的进一步增长，中国的生态压力预计也将有较大增长。对中国面临的生态危机的思考引发出一系列问题，包括：中国经济发展到底产生了多大环境影响和生态压力？如果说目前的生态环境在退化，那么这种退化是短暂的还是持续的，是否可以由此断定区域目前的经济发展是不可持续的？如果是，它是否在各区域普遍存在？如果经济与人口持续增长，中国将面临多大生态压力？最后，如果我们目前的发展是生态不可持续的，该如何通过合理的经济、行政及制度安排来扭转这种趋势，促进经济与生态环境的协调发展，从而保证人类的长治久安？

对以上问题的探讨，作者相信它有着重要的现实和理论意义。作为可持续发展最重要和本质的内容，经济与生态环境之间协调发展的必要性是很显然的。而要真正达到经济与生态环境之间的协调发展，对经济—生态环境协调性的评估是必要前提。只有确切了解目前人类经济发展造成的环境影响或生态压力的大小，及造成这种影响的主要原因，人类才可能有针对性地采取适当政策与措施减少经济发展的环境影响。换言之，要想减少生态压力，就必须先定量化这些压力；本书利用生态足迹的方法对中国经济—生态的协调性进行评估。该方法虽然不能对生态环境质量的具体方面进行详细描述，但为我们了解中国整体的环境资源压力及变化的趋势提供了很好的依据。

^① 环境保护部. 2008 年中国环境状况公报.

1.2 经济—生态协调度研究进展

1.2.1 国外研究进展

国外对经济—生态协调度的研究开始于 20 世纪六七十年代,而大规模的研究则是在 90 年代可持续发展运动开展以来才开始。到目前为止,关于经济—生态协调度研究有许多,且方法和侧重点各异。一般说来,目前经济—生态评估方法可基本分为三类:第一类是指标体系评价法,把经济系统与环境系统作为人类发展的两个独立子系统,分别选用合适的指标对其进行描述,这种方法包含的信息多,针对性强,但对经济与生态之间的相互联系反映不够,此类研究中比较有影响的有:联合国可持续发展指标体系(SDI);欧盟关键环境指标体系等。第二类方法是从资源、环境经济学理论出发,根据资源利用、环境破坏等造成的自然资本损失对传统国民经济核算体系及一些主要的经济指标进行调整,并由此分析自然资本损失的大小,这是一种“GDP 绿化”。“GDP 绿化”的方法主要有:可持续经济福利指数(Christian Krotscheck, Michael Narodoslawsky)、真实储蓄(世界银行)、真实进步指数(Cobb)、环境经济综合核算体系等。第三类方法强调人类与自然之间生态系统服务的供需关系,以能源、物质、土地等物理量单位对人类经济生产的资源需求,环境影响及自然生态系统服务供给进行测量,有的更进一步以两者之间的差距来衡量经济发展与生态环境之间协调的程度。此类研究主要包括:能源分析检测系统(Eugene、Howard Odum)、IPAT(John Holdren, Paul Ehrlich)、生命周期分析(Muller-Wenk)、环境空间分析(John Opshoor)、人类净初级生产力(Peter Vitousek)、物质流动分析法(Friedrich Schmidt-Bleek),以及生态足迹(Mathis Wackernagel、William Rees)等。

1.2.2 国内研究进展

国内的经济—生态协调研究相对来讲起步较晚,但取得很大进展。在可持续发展指标体系的构建上,牛文元领导的中国可持续发展战略研究小组提出了独特的由“五级叠加,逐层收敛,规范权重,统一排序”的可持续发展指标体系,并以此对中国及 31 个区域可持续发展的 5 大支持能力,以及由 5 类支持系统能力,共同贡献所形成的可持续发展总体能力给予定量表达。研究表明,在区域可持续发展能力比较中,东部与西部在质量上的差距远远大于它们在数量上的差距;东部地区面临的主要是环境污染问题,而西部面临的主要是生态破坏问题;西部与东部之间差距最大的是发展支持系统优势能力,高达 60.98%,其次是社会支持系统优势能力,差距高达 53.77%^①。另外,国家统计局和《中国 21 世纪议程》管理中心也建立了一套经济、社会、人口、资源、环境和科教 6 个子系统构成的指标体系;环保部也先后制订过城市环境综合定量考核指标体系、环境保护模范城市考核指标体系等;除此之外,国家计委等机构及广州、上海等大城市也做了类似的努力试图对区域可持续发展状况进行评估,其中经济发展与生态环境的状况均是重要的评价内容。

在可持续发展指标以外,中国学者也借鉴国外的一些研究方法,计算生态系统服务的价值及经济生产中对生态服务过度利用造成的自然资本的丧失。从生态系统价值评估研究来看,中国生物多样性国情报告编写组计算中国生物多样性的经济价值高达 39.33 万亿元;欧阳志云对陆地生态系统服务的经济价值进行估算,其总量为 30.488 万亿元/年;其他研究案例还包括陈仲新对中国生态系统功能和效益的价值评估,蒋延玲对中国主要森林生态系统服务价值的评估,谢高地对中国自然草地生态系统服务价值的研究等。从经济生产造成的环境损失价值评估及经济发展的可持续性评估研究来

^① 中国科学院. 2003 中国可持续发展战略报告. 北京: 科学出版社, 2003.

看, 环保部和世界银行曾合作对山东烟台和福建三明进行了真实储蓄的案例研究, 结果表明烟台比三明有更好的可持续发展状况, 但三明正向可持续发展方向转变^①。北京大学杨友孝、蔡运龙运用环境—经济一体化核算体系 (SEEA) 分析了 1990—1996 年中国农村的资源净产值、环境净产值和真实储蓄, 结果表明, 中国农村经济发展的资源与环境代价巨大。资源净产值每年损失幅度为 21 亿~1 426 亿元, 平均占农村总产值的 1.72%; 环境净产值每年损失幅度为 604 亿~1 059 亿元, 平均占农村总产值的 2.33%; 真实储蓄仅 1990—1991 年为正值, 其余年份皆为负值; 它说明在此期间中国农村发展不可持续。类似的研究还包括许多。

尽管目前中国经济—生态协调度研究取得一定进步, 但从总的来说, 中国经济—生态协调发展的定量研究仍处于初步发展阶段, 主要表现为: 第一, 缺少权威的指标体系对各种经济、环境表现进行跟踪记录和完整评价。第二, 研究方法有限。目前的研究基本上是一种经济价值评估, 很少对生态系统服务供需进行物理量评价; 同时, 目前大多数经济—生态协调研究方法或可持续发展研究方法缺少明确的协调性或可持续性判断标准, 其研究成果多局限于学者之间, 难以被普通民众理解支持或成为可持续发展战略的宣传工具。第三, 目前的研究仍表现为零散的案例研究, 很少有从整体出发, 对中国经济—生态系统协调性的动态演变、区域差异等问题进行系统的比较分析; 同时, 由于方法的差异, 目前中国各级区域的经济可持续性评估结果也很少能在更高层次上与国外一些研究结果进行比较分析, 不利于从一种全球视野来看待中国的环境问题与经济发展。

1.3 生态足迹模型 (EF) 研究进展

在目前一系列的经济—生态研究指标体系和方法中, 生态足迹

^① 谢洪礼. 关于可持续发展指标体系的述评. 统计研究, 1999 (1): 64-66.

模型 (Ecological footprint, EF) 开始引起众多学者的广泛关注。生态足迹模型是由加拿大学者 William Rees 及其学生 Mathis Wackernagel 于 1992 年率先提出的一种以土地为度量单位的生态可持续性评估方法, 具有科学合理、形象生动、适用范围广等优点, 在对经济—生态协调性及整个可持续发展状况的整体评估方面有较好的优势。从国外研究来看, 生态足迹模型经过近十多年的发展, 方法不断完善, 被广泛用于全球、国家、区域、城市等多个层次的经济发展生态可持续性评估工作中。在国内, 生态足迹模型的研究也在不断深入。

从世界范围的研究来看, 目前生态足迹的研究中心主要有两个, 以 Mathis Wackernagel 为主的加拿大研究小组, 其主要的研究工作是对全球及各个国家生态足迹进行评估及跟踪记录; 其研究成果已被联合国、WWF 等机构作为其可持续发展指标体系的重要一环; 另一个研究中心是以 Stockholm 环境学院 John Barrett 为中心, 对国家以下层次区域、城市、产品等生态足迹进行评估计算, 并把它们推向市场、企业, 作为政策评估制定的一个有力工具。生态足迹研究数据最有影响力的发布渠道是 WWF 发布的一系列《地球生命力报告》(Living planet report)。其发布的一些主要结果实际上也提示了生态足迹研究在可持续发展进程中起到了作用。主要结论包括: ①20 世纪 80 年代以来, 从全球范围来看, 人类消费活动已经超过了地球的承载能力, 且超载程度不断扩大, 人类正严重耗损地球自然资本; ②世界各地由于经济发展水平、自然条件等方面存在的差异, 生态系统状况和承受的压力各不相同; ③发达国家通过贸易对发展中国家形成了资源的净进口, 其高资源消费产生的生态压力部分由发展中国家进行承担, 形成了资源利用的不合理局面, 对可持续发展产生了不良影响; ④由于经济规模和消费水平的上升, 生态足迹面临进一步增长的压力。控制人口增长, 增加土地产出率和资源利用效率, 改变不合理的生产和消费模式是缓减生态压力的主要方法。

从国内来看, 徐中民、张志强等学者于 2000 年率先介绍了生

态足迹概念并在国家及区域层次进行了率先研究。在此后近十年的研究过程中,生态足迹方法成为一个研究热点,一方面生态足迹的实证研究逐步扩大,涵盖国家、省级行政区、地区、行业、社区、家庭、产品等各个层次^①,同时对生态足迹模型方法上存在的一些缺陷也不断进行尝试性调整。如徐中民、张志强最初研究成果表明:1999年中国生态足迹为 1.325 hm^2 ,而生态承载力只有 0.681 hm^2 ,生态赤字为 0.645 hm^2 。在各省市区中,上海生态赤字最大,为 1.987 hm^2 ;西藏有最大生态盈余,为 5.431 hm^2 。苏筠等对居民家庭生态足迹的计算表明,北京、上海居民家庭的生态足迹分别为 1.62 hm^2 、 1.33 hm^2 ,均 10 倍于其实际面积。在方法上,针对生态足迹方法使用全球平均生产力、核算不完整、结构性缺乏等缺点,分别出现了基于情景模拟、投入产出表、土地干扰度进行调整的模型^②。这些研究推动了生态足迹模型在中国的发展,对中国可持续发展测度和政策制定具有重要的指导意义。但生态足迹模型在区域及以下层次的具体方法应用中尚存在一些不足,主要体现在以下两方面。

消费规模的预测方法:所谓生态足迹,是指用土地来衡量的整体自然资源消费规模及由此造成的生态影响。由于现行统计体系主要记录的是生产数据,所以必须通过一定的方法来估量消费规模。目前国内的研究一般沿用 Mathis Wackernagel 提出的综合法来估算消费规模,即通过对生产数据的贸易调整得到消费数据,其中普遍出现了一种概念偷换,以国际贸易数据代表整体贸易,但这两者之间实际上存在巨大的规模差异。目前对各区域生态足迹的计算实际上只包含了国际贸易部分,它们对生态足迹的计算结果难以准确。如青海等内陆区域,海关进出口数据可能很小,但其国内区际贸易量很大。这其中,电力和有色金属冶炼产品向东部地区的输送规模

① Zhang J H (章锦河), Zhang J (张捷). Touristic ecological footprint model and analysis of Huangshan City in 2002. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2004, 59(5): 763-771 (in Chinese).

② 曹淑艳, 谢高地. 表达生态承载力的生态足迹模型演变. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1365-1372.

均庞大，只考虑国际贸易的做法严重低估其生态足迹。为此，有必要对生态足迹的计算方法进一步调整。

区域生态承载力的计算方法：区域承载力是指区域资源、环境在内的生态系统服务供给水平。在生态足迹模型中，以土地的供给来表示。它是与生态足迹相对应的一个概念。生态承载力一方面取决于区域各类土地的规模，另一方面取决于区域土地的生产力。土地面积越大，土地生产力越高，区域土地生态承载力也越高。但到目前为止，国内生态足迹的大部分实证分析中对生态承载力的计算一般采用 Mathis Wackernagel 在全球生态足迹计算中中国土地平均生产力数据，而没有考虑到中国各地区土地生产力之间存在的巨大差异。Mathis Wackernagel 的计算结果是建立在联合国数据库基础上的，因其数据的权威性，其生态承载力计算的相关研究成果被世界各地生态足迹的研究者广为采用，其对国家层次生态承载力的研究可以说是到目前为止最权威的一种计算方法。但中国面积广阔，光热水土等各种自然条件存在巨大差异，各区域的土地生产力必然会不同。以农作物单产为例，中国农作物单产最高的是广西壮族自治区，最低的是山西省，前者是后者的 4 倍；又以草地载畜量为例，福建省草地面积小，但草地质量好，单位草地面积载畜量为 4.37 头羊/hm²，而西藏草地面积大，但草地面积载畜量仅为 0.38 头羊/hm²，前者是后者的 11 倍。在这种情况下，以全国平均土地生产力来代替区域土地生产力并计算区域生态承载力，结果差异无疑是巨大的。它不可能如实反映区域土地的供需水平和生态系统的可持续状态。从这一点来看，对生态足迹的研究也有必要进一步加强^①。

1.4 本书内容框架

本书共 6 章。第一部分为理论部分，包括第 2、3 章，主要介

^① 生态足迹模型基本概念、方法及与其他方法的比较详见第 4 章：生态足迹分析与经济—生态协调度研究。