

# 第 12 章

## 人类 - 自然耦合系统的复杂性\*

### 摘 要

人类 - 自然耦合系统的综合研究能揭示崭新的复杂格局和过程,这些格局和过程是社会学家或自然学家各自进行独立研究时难于发现的。本文所展示的世界 6 个综合研究案例表明人类 - 自然耦合系统具有跨越空间、时间和组织单位的性质。这些案例还表现出非线性动态阈值、交互反馈、时滞、恢复力、异质性和惊讶的特征。此外,过去的耦合对目前的情况和将来可能发生的系统状况具有遗产效应。

### 12.1 前言

人类 - 自然耦合系统是人类与自然成分相互作用的综合系统。虽然许多研究曾探讨人类与自然的相互作用 (Marsh et al., 1864; Vitousek et al., 1997; National Research Council, 1999; Thomas et al., 1956; Turner et al., 1990), 但耦合系统的复杂性并没有得到很好的理解 (Schneider et al., 1984; Berkes et al., 2003)。这些研究难于取得进展的主要原因在于生态学与社会科学一直以来是分离的 (Rosa & Dietz, 1998)。虽然一些学者将耦合系统作为复杂对应系统来研究 (Levin et al., 1999, Gunderson et al., 2002), 但是大部分研究工作是理论性的而非实验性的研究。

越来越多跨学科项目综合生态学和社会科学来研究人类 - 自然耦合系统 (如社会生态系统和人类 - 环境系统)。在此,我们综合 6 个案例的研究来介绍其方法和研究结果 (图 12.1 和附表 A)。这些研究分布在 5 大洲: 非洲肯尼亚高原 (肯尼亚)、中国卧龙大熊猫自然保护区 (卧龙)、美国华盛顿普吉湾中心 (普吉湾) 和威斯康星州北部高原湖泊区 (威斯康星)、巴西帕拉州阿尔塔米拉附近的

\* From [Jianguo Liu, Thomas Dietz, Stephen R. Carpenter, Marina, Alberti, Carl Folke, Emilio Moran, Alice N. Pell, Peter Deadman, Timothy Kratz, Jane Lubchenco, Elinor Ostrom, Zhiyun Ouyang, William Provencher, Charles L. Redman, Stephen H. Schneider, William W. Taylor. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural Systems. *Science*. Vol. 317, no. 5844, pp. 1513 - 1516]. Reprinted with permission from AAAS.

地区(阿尔塔米拉)、瑞典克里斯蒂安斯塔德的瓦腾日科特(瓦腾日科特)(图12.1)。这些地区包括市区(普吉湾)、郊区(瓦腾日科特)以及农村(阿尔塔米拉、肯尼亚、威斯康星、卧龙),位于发达国家的有普吉湾、威斯康星和瓦腾日科特,发展中国家的有阿尔塔米拉、肯尼亚和卧龙。这些地区的生态、社会经济、政治、人口和文化背景是不同的,它们包含了各种类型的生态系统服务和环境问题(附表A见 [www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5844/1513/DC1](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5844/1513/DC1))。



图 12.1 6 个人类-自然耦合系统案例的地理位置和主要特性  
(地点、空间范围、人口、生态、经济、行政属性)

为节省版面,括号内的简称代表耦合系统,更详细的说明请见附表 A  
([www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5844/1513/DC1](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5844/1513/DC1))

这些研究有 4 个共同的主要特征。首先,它们目标明确,即要处理人类与自然系统之间复杂的相互作用和反馈。与经常排斥人类影响的传统生态研究或忽视生态效应的社会研究不同,这些研究同时考虑生态和人类成分及其之间的联系。因此,这些研究不仅测量生态环境变量(如景观格局、野生动物栖息地和生物多样性)和人类变量(如社会经济进程、社会网络、媒介及多层管理结构)(Schultz et al., 2007),而且也测量连接自然和人类成分的变量(如薪柴的收集和生态系统服务的使用)。其次,这些研究小组的成员都是跨学科的生态学家和社会学家,他们围绕共同的问题开展工作。再次,这些研究综合了生态学和社会科学以及其他学科的各种工具和技术,如用于数据收集、管理、分析、建模和综合

的遥感和地理信息科学 (Schultz et al., 2007; Carpenter et al., 2007; Liu et al., 2003; Moran & Ostrom, 2005; Alberti et al., 2007) (附表 A)。最后, 这些研究不仅具有特定内容, 而且进行长时期的深入研究以阐述时间动态。总之, 这些研究提供了独特的从各学科间洞察人类 - 自然耦合系统复杂性的机会, 这从单独的生态学或社会学研究中是无法得到的。

## 12.2 相互影响和反馈环

在人类 - 自然耦合系统中, 人与自然相互作用并形成复杂的反馈环。例如, 卧龙当地居民用林木作为薪柴来做饭取暖。当居民附近的林木由于薪柴采集被耗尽 (Liu et al., 1999), 当地居民只好从远处收集薪柴 (An et al., 2005)。因为这些森林是竹林生长的重要环境, 也是濒临绝种的大熊猫的栖息地, 竹子又是大熊猫的主要食物来源, 所以薪柴采集导致竹林和大熊猫栖息地的恶化 (Liu et al., 1999)。为了防止进一步恶化并恢复大熊猫栖息地, 几年前中国政府开始实施三项重大自然保护政策, 同时帮助当地居民和保护熊猫栖息地。在肯尼亚, 当地居民将森林开垦成农田, 在不给土壤增加养分的情况下连续长期耕种 (在某些地区超过 100 年)。土壤退化导致农作物产量下降和大规模粮食危机, 更加快了将剩存的森林转为农田的速度。同样, 在阿尔塔米拉, 到 2003 年, 已有 255 739  $\text{hm}^2$  森林被变成牧场和耕地。由于土壤肥力下降而必须追施化肥, 从而农作物变得营养不足、产量下降, 使更多的森林变为农田 (2003 年尚有 136 913  $\text{hm}^2$  森林)。

在发达国家农业和旅游部门, 人类与自然系统之间相互作用的反馈在许多方面与发展中国家相似。如瓦腾日科特当地居民 (2005 年 76 000 人) 受益于生态系统服务就是长期农业景观良好管理的结果。旅游业作为威斯康星的重要经济支柱, 同时受到生态系统状况的制约, 由旅游而引起的经济发展和生态系统开发又常常降低旅游点的质量, 从而减少对旅客的吸引力。

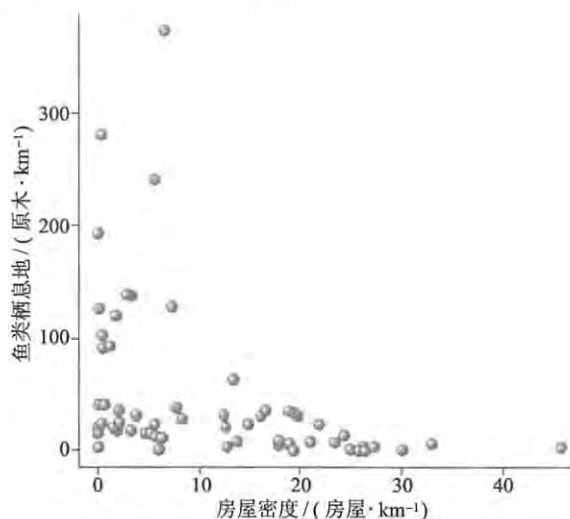
城市耦合系统的生态与社会经济的模式和进程与农村不同。它们受诸多因素制约, 如城区结构、基础设施建设以及不同家庭和商业的布局 and 消费偏好等。例如, 在普吉湾可以观察到从城市到农村依次对应着不同的发展模式, 表现出特有的空间异质性 (Alberti, 2005)。土地覆盖变化影响生物物理过程 (如水净化) 和水生生物系统完整性 (Alberti et al., 2007)。此外, 经济发展导致土地覆盖变化反过来又影响了土地价值和房地产市场, 房地产价值有多达 6.5% 的溢价与森林覆盖的相关关系已得到证实 (Oleyar et al., 2006)。

人类 - 自然耦合系统的变化受多种因素影响, 包括政府的政策和背景因素。其中, 局部过程的形成受大尺度并最终受全球尺度过程的影响 (Berkes et al., 2006)。市场和政府在一个地方做出的决定可以影响远处的人类 - 自然耦合系

统。例如过去几年里,城市的经济发展机遇吸引了许多卧龙居民来城市打工,因而减少了薪柴的采集和消耗。可是,与卧龙进城务工人员相比,上千倍来自世界各地的游客消费需要及在本地生产产品反而增加了对薪柴的需求。

### 12.3 非线性和阈值

人类-自然耦合系统中的许多关系是非线性的。例如当威斯康星岸边的房屋密度超过每公里7幢房子时,为湖泊和溪流中的鱼类提供重要栖息地的倒木数量急剧下降(图12.2)。还有,单个家庭住房和破碎化森林的普吉湾景观中鸟类与森林覆盖率呈非线性增加,当50%~60%的普吉湾土地是森林时,鸟类多样性达到最高点(图12.3)(Marzluff,2005)。



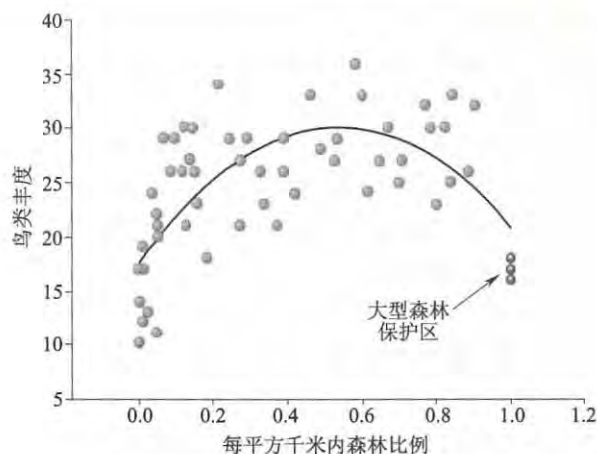


图 12.3 美国华盛顿普吉湾中部地区受人类影响的景观中鸟类多样性随森林增多(人居减少)的变化(经许可修订来自 Marzluff, 2005 的数据)

居的 5~7 年内很高,接着迅速下降。在卧龙,随着家庭和薪柴采集点之间距离的增加,大熊猫栖息地不断减少,在距离约为 1 800 m 时,栖息地减到最低(An et al., 2005)。当住户和薪柴供给之间的距离小时,薪柴采集的总面积小,因此大熊猫栖息地得到更好的保护。当距离大约是 1 800 m 时,为满足当地居民的薪柴需求,需要砍伐更多可用树木从而导致更多的栖息地丧失(An et al., 2005)。当距离很大时(> 1 800 m),薪柴采集分散在整个大区域从而受影响的地方可以迅速恢复,大熊猫栖息地也得到恢复。

## 12.4 惊讶

人们未了解人类-自然耦合系统的复杂性时,可能会对人类与自然耦合的结果感到惊讶。例如,胡瓜鱼(*Osmerus mordax*)最初是作为公众喜欢钓的鱼类如漠斑牙鲈(*Stizostedion vitreum*)的鱼饵引进威斯康星的,但胡瓜鱼以幼漠斑牙鲈为食,而导致漠斑牙鲈数量减少。另外,普吉湾的城市发展管理政策提倡加强城市内的高密度发展,反而无意间促进了城市发展的向外蔓延。

自然保护政策也会产生意想不到的不利结果。例如在卧龙,与自然保护区建立之前相比,自然保护区的建立反而加速高质量的大熊猫栖息地的退化(Liu et al., 2001)。为防止进一步恶化,于 2001 年施行天然林保护工程,鼓励当地居民监控非法采伐。令人意想不到的是,2001 年形成了大量的新的家庭,因为许多家庭决定分家以便更多地获得项目提供给家庭的补贴(中等家庭收入的 20%~25%)。住户数的增加和家庭人口的减少,又提高了薪柴和房屋建筑土

地的需求(Liu et al.,2003)。

有些生态系统只能通过人为管理才能可持续,然而许多自然保护措施排除了这种人为管理的干扰,也可能产生意想不到的结果。例如,根据拉姆萨尔公约(一项为保护和可持续利用湿地的国际条约),瓦腾日科特湿地因设立为自然保护区而禁止放牧。但放牧被紧止后该湿地植被却生长过度,破坏了湿地生态系统的平衡。这意想不到的后果使人们认识到放牧对于维持瓦腾日科特的湿地系统的重要性(Olsson et al.,2004)。

## 12.5 遗产效应和时间滞后

遗产效应是先前的人类与自然耦合相互作用对后来的影响。在6个案例中,遗产效应的持续时间从几十年到几百年。阿尔塔米拉的遗产效应时间最短,1970年政府推行的土地所有制至今仍影响着该地区土地覆盖空间格局的变化、人口分布以及人类活动。瓦腾日科特的遗产效应时间最长,数百年来,那里的景观一直受到人类活动如湿地草原利用的影响。

其他地方的遗产效应持续时间介于两者之间。卧龙目前低海拔(1 200 ~ 3 000 m)森林类型是30~90年前森林采伐形成的。威斯康星20世纪30年代开始放养鱼类,研究已经证明,关键物种的引进可以在数十年或更长的时间内影响鱼类种群的数量。肯尼亚长期(长达100年)连续的耕作已经使农作物产量减少,而且大部分土壤退化发生在将森林转变为农田后的头15~20年。另外,普吉湾的景观格局可能是受几十年甚至一个世纪前基础设施建设的影响。

因为时间滞后效应,人类与自然耦合相互作用的生态和社会经济的影响可能不会马上注意到或预见到。在肯尼亚,土壤改良投入和收入的增加之间存在时间差。在瓦腾日科特,未经处理的工业和家庭废水,积累了几十年以后到20世纪40年代才导致停止从Helgeå河提取饮用水。因为邻近湖泊之间的地下水流动需要数百年,所以对地下水水质的干扰需要很长的时间才会在“下游”出现。在普吉湾,1990年华盛顿州采纳的发展管理法的生态效果估计至少8年内不能观测到(Alberti et al.,2005)。

对不同指标来说,由单一原因引起的滞后时间长短可能不同;相反,对同一指标来说,不同的原因引起的滞后结果在不同时期会逐步显示出来。前者可在阿尔塔米拉看到,那里农作物价格的变化迅速影响一年生植物的种植,但对多年生植物(如可可粉和黑胡椒)种植(或遗弃)的影响常常延迟。至于后一种情况的另一个例子是,由于薪柴需求的巨大变化,导致电力价格的变化,进而迅速影响卧龙大熊猫栖息地,但居民生育间隔对大熊猫栖息地的影响则要缓慢得多(An et al.,2006)。显然,做饭的能源是日常所必需的,电力价格的波动可能很快迫使当地居民使用更多的薪柴(从而破坏森林和大熊猫栖息地),而孩子们长

大成人成立新家庭而增加能源需求则需要较长的时间。

## 12.6 恢复力

人类-自然耦合系统有不同程度的恢复力,即系统在受干扰后保持类似的结构和功能以满足持续发展的能力(Gunderson & Holling,2002;Walker & Meyers,2004;Folke & Glob,2006)。恢复力受诸多因素影响。例如,在卧龙,大面积速生树种比小面积慢生树种的薪柴采集恢复力要强。在肯尼亚,来自在市区工作的亲属的汇款将提高因干旱和土壤贫瘠造成农作物歉收粮食安全问题的恢复力。

人类干预在维持恢复力上也发挥着关键作用。如上所述,在瓦腾日科特维持湿地景观的恢复需要放牧以及实施可行的奖励措施。尽管存在快速的城市化,普吉湾仍是美国所剩无几的完整的原始森林地之一。威斯康星的社会生态恢复力主要归结于许多生态系统的良好状况,还有美国印第安人对土地和湖泊的可持续性利用,以及部落、私营及国有制相融合与各利益相关者(美国印第安人的部落、政府、湖泊协会、正式的研究机构和非政府组织)对生态系统管理的创新(Carpenter et al.,2007)。

## 12.7 异质性

人类与自然耦合的相互作用随空间、时间和组织单元而异。威斯康星社会经济差异形成人们不同的选择和行为,这反过来又导致不同的生态效果。在阿尔塔米拉,虽然不同的定居人群沿用着相似的土地使用方式,但像森林采伐率这种重要变量却发生了变化,可以说其变化的强度是外因和内因(如地方、区域和全球政治经济)共同作用的产物(McCracken et al.,1999)。在肯尼亚高原,家庭因拥有不同质量的土壤而获得不同作物产量的现象普遍存在。

人类-自然耦合系统不是静态的,而是随着时间而变化。虽然在过去几十年间,6个研究案例中,当地的人口规模都有所增加,但是由此产生的生态影响却不尽相同。在肯尼亚研究区域,过去30年人口规模增加一倍,而农场规模却显著减少。为了满足家庭需求,小规模农场必须在雨季也种植玉米,但这种做法加速了土壤退化并增加了贫困。这种随时间的变化还可以从1940年至2000年威斯康星用于休闲的土地面积增加,导致住房密度增加了4.6倍(从3.7个/km<sup>2</sup>至17.2个/km<sup>2</sup>)得于证明。还有,普吉湾在1991年至1999年间,用于开发的土地面积增加了620 km<sup>2</sup>(增加了31.5%),而森林覆盖率下降了714 km<sup>2</sup>(下降了10.3%)(Alberti et al.,2005)。时间上的变化不仅发生在耦合系统内,而且这种变化也跨越边界。在卧龙,国内外游客迅速增多使其与全国和全球经济上的联

系更为紧密。

空间上变化存在于所有的耦合系统中。例如,在卧龙,在较为方便而且几乎不受限制的林区中收集薪柴的数量比地形复杂或执法严厉的林区多得多。在瓦腾日科特,栖息地及其管理办法、地方管理协会、社会网络和多层次机构因景观不同而异(Schultz et al.,2007)。普吉湾的景观异质性随着城市化程度增加而增加,但随城市土地利用模式、基础设施和空间活动分布的不同而存在很大差别(Alberti,2005)。在威斯康星,人们喜欢选择定居在低海拔湖泊周围,因为那里有小溪的流入、中低度溶解有机碳、适度的养分以及相对多种多样的鱼群可钓(Magnuson et al.,2006)。在阿尔塔米拉,肥沃的土壤可种植可可和甘蔗,而在较差的土壤上种植牧草和树薯则较为普遍。这些都体现了人类-自然耦合系统的空间异质性。

## 12.8 结论与展望

本文谈到的这些研究,其成果受益于生态学和社会科学的一体化,同时这些结果也将有助于生态学和社会科学一体化的进一步发展。这些研究方法和结果可应用到地方、国家和全球水平的许多其他耦合系统中。例如,我们发现在过去30年中卧龙的家庭数量比人口数量增长更快,这一研究结果揭示了家庭数量比人口数量增长更快的趋势是全球性的,并且在76个生物多样性热点国家这一现象尤其明显(Liu et al.,2003)。这些研究中,威斯康星的湖泊未来项目(The Lake Futures Project)曾是《千年生态系统评估》设想发展的雏形(Millennium Ecosystem Assessment)。

本文的案例比较研究对单学科研究中无法观察到的多种复杂性提出了重要的解释。虽然这些案例都源于人类和自然系统之间的相互作用,但是研究发现给人们带来的许多意想不到的类型不尽相同。6个研究案例都表现出了遗产效应的存在,但其持续时间从几十年到几百年不等。因各研究案例的独立性,来自一个研究案例的信息并不一定适合其他研究案例。为了提高案例研究的普遍性,人类-自然耦合系统的未来研究方向应该不仅包括在特定地点的研究,而且还应包括横跨区域多个地点进行并列的、长期观测项目的研究,其目的是为了获取完整的变化动态和格局(Moran & Ostrom,2005;Olsson et al.,2006;Carpenter & Folke,2006)。此外,本文谈到的研究只注重系统内部的相互作用,并非不同耦合系统之间的相互作用。随着全球化的深入,地理上相距遥远以及不同尺度的耦合系统之间也会出现更多的相互作用(Liu & Diamond,2005;Young et al.,2006)。因此,超越现有耦合系统的研究方法,发展全方位的研究体系,并横跨地方、区域、国家以及全球,建立起一个进行跨学科研究的国际网络至关重要。



## ■ 主要参考文献

- Alberti M A. 2005. *Int. Reg. Sci. Rev.* ,28,168.
- Alberti M et al. 2005. *Landscape Benchmarks*( Washington State CTED, Olympia, WA, 2005) .
- Alberti M, et al. 2007. *Landsc. Urban Plan.* ,80 :345.
- An L, He G M, Liang Z, Liu J. 2006. *Biodivers. Conserv.* ,15 :2343.
- An L, Linderman M, Shortridge A, Qi J, Liu J Ann. 2005. *Assoc. Am. Geogr.* ,95,54.
- Berkes F, et al. 2006. *Science*,311 :1557.
- Berkes F, Colding J, Folke C, eds. 2003. *Navigating Social- Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Brock W A. 2006. In *Punctuated Equilibrium and the Dynamics of U. S. Environmental Policy*, R. Repetto, ed. New Haven, CT: Yale Univ. Press, 47 –77.
- Carpenter S R, et al. 2007. *Bioscience*,57,323.
- Carpenter S R, Folke C. 2006. *Trends Ecol. Evol.* ,21 ,309. The Lake Futures Project. <http://lakefutures.wisc.edu>.
- Folke C, *Glob Environ. 2006. Change*,16 :253.
- Gunderson L H, Holling C S, eds. 2002. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Washington D C: Island Press.
- Levin S A. 1999. *Fragile dominion: complexity and the commons*. Cambridge, MA; Perseus Publishing.
- Liu J, et al. 2001. *Science*,292 :98.
- Liu J, et al. 2003. In *People and the Environment: Approaches for Linking Household and Community Surveys to Remote Sensing and GIS*, J Fox, V Mishra, R Rindfuss, S Walsh, eds. Boston MA: Kluwer Academic Publishers, 241 –263.
- Liu J, et al. 1999. *Biol.* ,13 :1360.
- Liu J, Daily G. , Ehrlich P. , Luck G. , 2003. *Nature*,421 ,530.
- Liu J, Diamond J. 2005. *Nature*,435 :1179.
- Magnuson J J, Kratz T K, Benson B J, eds. 2006. *Long- term dynamics of lakes in the landscape*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Marsh G P, *Man and Nature*. 1864. Cambridge: Belknap Press of Harvard Univ. Press.
- Marzluff J. . 2005. *Urban Ecosyst.* ,8 :157.
- McCracken S D, et al. 1999. *Photogrammetric Eng. Remote Sens.* ,65 :1311.
- Millennium Ecosystem Assessment. [www. MAweb. org](http://www.MAweb.org).
- Moran E F, Ostrom E. 2005. *Seeing the forest and the trees: human environment interactions in forest ecosystems*. Cambridge: MIT Press.
- National research council. 1999. *Our common journey*. Washington, D C: National Academy Press.
- Oleyar M D, Greve A L, Withey J C, A M Bjorn, [www. urbaneco. washington. edu/](http://www.urbaneco.washington.edu/)

publications/oleyar\_et al. pdf.

Olsson P, et al. 2006. *Ecol. Soc.* ,11 (1) ,18.

Olsson P, Folke C, Hahn T. 2004. *Ecol. Soc.* ,9 (4) :2.

Rosa T E A. 1998. *Dietz Int. Soc.* ,13:421.

Sass G G, et al. 2006. *Fisheries* 31 :321.

Schneider S, H, Londer R. 1984. *The Coevolution of climate and life* San Francisco: Sierra Club Books.

Schultz L, Folke C, Olsson P. 2007. *Environ. Conserv.* ,34:140.

Thomas W L Jr. 1956. *Man's role in changing the face of the earth* Chicago: Univ. of Chicago Press.

Turner II B L, et al. 1990. *The earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the Past 300 Years.* Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. 1997. *Science* ,277 :494.

Walker B, A J. 2004. *Meyers, Ecol. So.* ,9 (2) : 3 .

Young O, et al. 2006. *Glob. Environ. Change* ,16:304.