

恢复生态学的理论性质

Theoretical Implications of the Restoration Ecology

徐嵩龄

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

恢复生态学(Restoration Ecology)在70年代和80年代发展时,是以一门现代应用生态学分支出现的。它致力于研究那些在自然灾变和人类活动压力条件下受到破坏的自然生态景观的恢复和重建问题。因这种恢复和重建在相当程度上是以人工参与的方式进行的,所以一些生态学家曾根据其方法学和工艺特点赋予它另一个名称,“Synthetic Ecology”,其中的“Synthetic”既具“综合”之意,又含“人工”成份,故可粗糙地译为“合成生态学”。

恢复生态学不同于传统的应用生态学之处在于:它不是从单一的物种层次和种群层次,而是从群落层次,更准确地说从生态系统层次考虑和解决问题的。鉴于此,恢复生态学可以概括为生态系统的恢复和重建。这里,恢复(Restoration)与重建(Reconstruction)有若干语义学的区别。恢复是指原貌或原先功能的再现,重建则可以包括在不可能或不需要再现原貌的情况下营造一个不完全雷同于过去的甚至是全新的自然生态系统。

作为一门新的生态学分支,恢复生态学既集纳了生态学内的众多分支(从生态遗传学、种群和群落生态学,到生态系统生态学、景观生态学,等等)的知识内容,又与若干生态学相关学科(如地理学、地质学、土壤学、生物气象学、环境化学、工程学,甚至经济学)保持着广泛的学科交叉。而且,随着恢复生态学领域的广度与深度的不断发展,它的理论基础和方法学基础将会进一步扩大。作为一门新的应用性分支,它已广泛应用于陆地生态系统、淡水生态系统、河口与海岸生态系统、礁岛生态系统、海洋生态系统等,已成为人类从事自然景观建设、自然资源保护和生物多样性管理的重要工具,成为人类对由经济社会活动导致的退化生态系统、各类废弃地和废弃水域进行生态治理的科学技术基础。

恢复生态学的上述学科性质和特征,使这门有着高度实践价值的应用性分支,同时也具备了丰富的潜在性理论意义。现代生态学面临的两个基本而且重要的理论问题是大尺度生态系统理论和人与

自然关系的理论。正是恢复生态学,可以为这两类理论的校验、更新和发展创造一个独特的机会。而且,这一机会是前所未有的。

一、现代生态学理论的困惑

现代的生态学理论源于对自然现象的观察,致力于对它们的诠释和说明(Interpretation)。生态学的这一理论发展模式是和其它非定量的描述性科学基本一致的。

50年代中期,美国生态学家罗伯特·麦克阿瑟(R. MacArthur)倡导“假说—演绎”法(Hypothesis—Deduction Methodology)。自此,可预测性(Predictability)成为生态学理论追求的目标。严格地说,理论的诠释力和理论的预测力,是两个不同层次的概念。理论的预测力无疑包含着它对现象的诠释;但是,理论的诠释力不一定能达到预测的高度。对于一种自然现象,存在着多种诠释的可能性,但其发展规律却是唯一确定的。这意味着,诠释性理论可以是多种多样的,而具有预测力的理论只能有一个。

从事理论创造的生态学家一直期望并致力于把生态学改造成像物理学那样具备严谨的逻辑结构和精确的数量联系的有充分预测能力的科学。在现代生态学的发展中,数学、物理学,甚至地球科学中的每一次理论“爆炸”,几乎都会在生态学领域中“闪光”。新的生态学家越来越注意运用数学语言(数理统计、微分方程,甚至突变理论、分维几何),越来越注意引用和借鉴那些诞生于现代物理学并具有丰富哲学内涵的概念(熵、焓、耗散结构、协同作用、物质结构),越来越注意用形式逻辑来规范生态学概念的表述。六七十年代的美国IBP项目期间,来自应用数学、理论物理学、运筹学、计算机科学和工程技术领域向生态学领域的“移民”,造成大尺度生态学的研究空前繁荣。然而,浪潮过后,人们并未发现生态学理论上的真正突破。今天,生态学

理论(概念、定律、法则)不谓不多,但公正地说,基本上仍以诠释性为主。生态学尚不能称为一门有预测力的科学,这一点在现代的大尺度生态系统理论方面和人与自然关系理论方面表现尤为明显。

生态学在理论创造上的这一遗憾,不在于它缺乏概念体系,而在于它缺乏建立有预测力理论所需的方法学手段。仔细考察生态学理论发展史,人们不难看出,一切缺乏预测力的生态学理论,其建立过程都未摆脱从观察到诠释的模式,而一切有预测力的理论,除需要观察和诠释外,更需要科学实验。

对自然现象的直接观察和科学实验,在理论的形成过程中,表现出不同的哲学品格。直接观察会提供大量信息。这些信息表现出的定性的相关性往往多于定量的因果性。这些信息不一定能构成严格的科学逻辑结构,不一定能用以准确地界定所形成的概念的内涵和外延,不一定能对所建立的理论进行具有充分判决意义的证实和证伪。作为直接观察与理论之间的中介的科学实验,可以克服上述不足。它建立在对自然现象有一定程度的理性认识的基础之上。它通过对自然现象的摹写或深层揭示,从而可以利用经过提炼、处理和组织化的信息,去探索自然现象的内在机制,构造、检验、完善和发展理论。科学的发展是一个观察—实验—理论化的三位一体过程。特别是当一门学科脱离了它的初始的定性阶段向深入的定量化发展时,人工设计的实验愈将占有重要的位置,甚至科学概念的本身有时也来自实验而不是传统的直接观察。研究非生命现象的粒子物理学与研究生命现象的分子生物学的理论发展,就是明证;脱胎于生态学的农业、林业、畜牧业、渔业的理论发展,就是明证;即使生态学本身,那些个体生态学和种群生态学中具有预测能力的理论的发展,也是明证。

因此,如果现代的大尺度生态学要发展自己有预测能力的理论,它也必须遵循定量科学发展的这一通则,把实验作为理论建设的基础手段。生态恢复活动可以为这种大尺度生态学实验提供最重要的舞台。

二、恢复生态学:作为生态系统层次的实验生态学

生态系统是生态学中最为人熟知的概念。它不仅是系统生态学的基石,而且是区域生态学、城市生态学、全球生态学中的基本概念。即使对于像景观生态学这样的以景观特征及其生态学行为和功能为研究对象的分支,它的研究大多也是在生态系统水平上进行的。因此,可以认为,大尺度生态学应以生态系统为基本尺度。

关于大尺度生态学,生态学家基于观察和思

考,提出了一系列理论假说,如生态系统的整体观(holism)和整合层次(integrative level)上的萌生性质(emergent properities);生态系统演进在能值学、营养循环、种群和群落结构,以及稳定性等方面的20条规律;生态系统的基本粒子型结构和环境子(environs)概念的提出;生态系统中的间接影响的支配性作用(dominance of indirect effects)和共同进化(co-evolution)的问题;生态系统的振荡型(oscillating)进化模式和动物所起的放大器(amplifiers)作用;物种多样性与面积的大小和形状的关系问题,等等。这些是理论生态学家根据局部观察和过去的知识积累而进行的思维的产物,是亟待得到科学意义上的检验的。

对大尺度生态学的理论的检验,不外三条途径:(1)形式逻辑方法的检验,通常是构造原有理论的反例,如在系统稳定性与物种多样性关系方面所做的数学生态学工作,然而这一途径的作用极为有限。(2)进行更为系统的直接观察。(3)进行人工设计的科学实验。后者应视为关键性的主要途径。

对大尺度自然生态现象的系统观察,早已在如威斯康星州麦迪逊树木园(Wisconsin—Madison Arboretum)这样的机构中进行,而生态系统水平的系统观察则起始于1967年美国IBP项目中对哈伯德河林区生态系统的研究(Hubard Brook Ecosystem Study),以及在70年代后期开始执行的以生物圈保护地作为生态观察网络的国际性的“长期生态学研究”项目(Long-Term Ecological Research)。这种研究是极有价值的。比如,哈伯德·布鲁克(Hubard Brook)数据表明成熟林地比其早期阶段有更高的营养损失,从而向埃·奥德姆(E. Odum)早先的假说提出了质疑。然而,利用这种系统观察来检验理论十分困难:(1)它所需要的空间尺度很大,而且尺度大小的不同选择本身就是影响生态学理论表述的重要因素之一;(2)它所需要的时间很长,往往要以十几年或几十年计;(3)被观察系统的内部成分和相互作用极为复杂。这些因素都制约着直接观察在理论检验中的效能。

应当说,生态学家早已认识到人工设计的实验在生态系统理论建设中的重要性。如1958年前后,利·斯洛博金(L. Slobodkin)和他的学生们进行了三物种生态系统的模拟实验,以研究食物链营养级之间的传输效率。然而,这种实验室模拟往往显得过于人工化。它们的真实性和结论的有效性往往受到质疑。

恢复生态学为生态学理论提供了一个非常恰当的实验场。它具有对天然生态系统的直接观察和实验室模拟二者的优点,从而弥补和克服了这二者的不足。恢复生态学作为大尺度的实验生态学有着如下特点:(1)具有充分的自然生态系统背景。(2)

由于生态恢复是在生态系统受到破坏的基础上进行的,所以它对导致生态系统破坏的主要和次要因素较为清楚,对在这些因素作用下生态系统退化的全过程较为了解,对人工设计的恢复措施有预定的科学依据,对生态系统恢复中的环境、生物参数可进行经济而且有效的监测和控制。(3)由于它采取人工设计的恢复措施,从而使被破坏生态系统的演进过程(即恢复和重建过程)比起天然过程,大大加快,同时也使恢复目标有着多种选择的可能性。因此,恢复生态学可以在一个较短时间内和恰当的空间尺度上,方便地认识自然生态系统变化的内在机制,建立定量地说明这一机制的生物—环境参数系统和逻辑结构,从而经济而有效地发挥其在建立大尺度生态学理论中的实验室作用。

恢复生态学的理论意义,不仅在于它为已有理论提供了“判决性检验”(acid test),而且也在于它能使已有的理论在生态恢复过程中,得到更精当的表述,从而使理论在应用中更具有操作性。

另外,恢复生态学往往是新的生态学理论观点的生长点。如阿·德·布雷德肖(A. D. Bradshaw)关于矿山尾矿植物的生态型(ecotype)研究开创了生态遗传学和进化生态学的新领域。恢复生态学对生态系统层次的直接理论贡献,尚少见报导。但是如果我们的理论生态学工作者能把恢复生态学工作视为自己的实验活动而直接参与其中,如果我们的恢复生态学工作者能具有一定的理论意识和素养,那么恢复生态学在大尺度生态学理论方面的直接贡献,一定会有大放异彩的一天。

三、恢复生态学:作为研究人与自然关系的合成生态学

如果把“自然”定义为“宇宙中不受人影响而发生的现象”,那么现在地球上具有这种性质的“自然”现象简直太少了。即使是那些目前仍然被人类视为“自然”的地方,如荒野地区,其环境、生物因子也程度不同地受到人类的影响。因而,这些“自然”生态系统实质是“受迫生态系统”(Stressed Ecosystem)。对于当今的地球生物圈,基本应以受迫生态系统的观点视之。这种受迫生态系统集中表现了人与自然关系中的不和谐性。这种不和谐是当今资源环境危机的导因。理论生态学家过分强调纯自然现象的生态学研究,受到尖锐的批评。应当承认,无视生态系统中的人类影响而一味追求纯自然生态系统,或把受迫生态系统视为纯自然系统,是既不真实也不合理的,它必然导致对人与自然关系的不和谐性的忽视。现代生态学应当把人与自然关系纳入研究领域之中。

人与自然的系统的历史发展大体经历三个阶

段。第一阶段可称为“畏天”阶段。其时,人类仰仗着自然界的直接赐予。第二阶段可称为“斗天”阶段。其时,人类的需求通过对自然界的改造来满足。现代西方生态学家和生态学思想家在批判西方哲学和宗教中某些导致人类破坏生态环境的思想渊源时,都推崇东方哲学和宗教中人与自然和谐的思想。其实东、西方古代哲学和宗教中各有其畏天和斗天的成分。况且,东方的有关“和谐”的思想,是建立在“畏天”的基础上,是被动的依从式的和谐,是与自给自足的农业经济相一致的。

现在,人与自然的关系正开始进入第三阶段,即“和谐共处,持续发展”阶段。人类作为自然界的一员,将既不是像“畏天”阶段那样的卑贱的奴仆,也不是像“斗天”阶段那样自私自利地标榜为自然的主宰。处于这一阶段的生态学,应当研究人与地球生物圈和谐关系的科学界定,应当以受人类影响的自然生态现象为主要研究对象,应当承担地球生物圈的管理问题,应当与地球科学和人文科学结合,探索全球水平和区域水平的持续发展模式和规则。

恢复生态学和保护生态学、资源生态学正是在这一阶段诞生和蓬勃发展起来的。他们的研究内容适应着新时期生态学的要求。恢复生态学主要包括两类实践:恢复目标的选择;恢复的方法学。生态恢复的实践需要理论指导。这为恢复生态学的独立的理论创造(特别是有关人与自然关系的理论创造)提供了舞台。

现在,生态学界普遍认为,生态恢复的目标无非是再现被破坏前的原貌或重建一个不雷同于过去的生态系统。这里,不论是“再现”还是“重建”,都存在着这一新的生态系统能否与周围环境相洽的问题。因此,“相洽性”是决定生态恢复目标选择的关键。相洽性涉及到如下问题:(1)恢复后的生态系统(特别是大尺度生态系统)应当是可天然维持的系统,而不是人工支持系统;(2)这一生态系统应与其周围环境相协调,它的存在应当无碍于周围生态系统的功能,并且最好能补充、完善和强化之;(3)不同空间尺度的相洽性;(4)生态恢复——尤其是极端条件下的生态恢复——过程往往是复杂的,所以它可能不是一步到位,而需通过一串目标链来实现。对于这些问题,期待着理论的说明。

恢复生态学涉及大量在自然生态系统过程中未曾涉及的方法学问题。恢复过程是破坏过程的逆向演替。这一逆向演替可能是沿着被破坏时的轨迹复归,也可能是沿着一种新路径去恢复;可能是自然地进行,也可能是需要借助人工支持和诱导的过渡过程。由于生态恢复大多数情况下是在极端条件下进行的,如干旱和沙漠化、水土流失引起的土壤

(下转第13页)

边值问题解的存在性和唯一性;非线性固定边值问题和非经典边值问题(超定边值问题、卫星重力梯度边值问题和重力一测高边值问题)的理论和解法;关于内部边值和外部边值问题的统一表示理论;重力场的微分结构。二是大地测量参考框架理论,建立具有 10^{-9} 精度的大地测量参考框架应考虑哪些误差影响;以 10^{-9} 精度确定各种地球动力学因素对地球定向的影响。三是相对论大地测量、相对论框架中的惯性中心系统(CIS)理论,空间观测的后牛顿归算问题;相对论框架中建立地球中心系统(CTS)的理论和方法;相对论水准实现问题;地球自转轴运动的广义相对论效应;运动系统中重力和惯性力的分离问题。四是大地测量观测数据的地球物理解释理论,求解和给定的重力异常相关的地球密度异常,各种形式地壳构造运动的重力场效应的理论模型;重力与高程观测最佳联合处理模型;重力场动力学反演问题,如何利用重力数据结合地震三维层析成像揭示地幔对流空间模式的细节;根据几年至几十年大地测量板块运动监测数据,结合地质学的板块运动模型研究板块运动和地幔对流的时间相关性;地下水及其变化,大的土方工程(如三峡水库)等环境变化对形变和重力场监测的影响。五是大地测量数据处理理论,观测粗差检测理论以及抗粗差估计理论;多种类观测动态平差理论;四维整体大地测量时变协方差函数的研究。

三、我国大地测量学发展的战略目标与优先发展领域

大地测量学科正处于技术革命的历史转变过程。在总体发展水平上,我国与当代先进水平的距离大约10~15年,到下一个世纪10~20年代我国可能具备独立发展精密测地卫星系统的综合国力。我国目前和今后几十年仍将是一个人口众多的发展中国家,资源不足,交通不畅,发展资金短缺,又是世界上自然灾害多发国之一,这些问题在相当长

的时期内仍将是我国发展经济优先考虑的问题,作出这样的估计是我们考虑大地测量发展战略的基本依据。

1. 战略目标

为我国地球科学和社会发展提供完善和深层大地测量支持是我国大地测量发展的战略方向;建立以空间大地测量为主体的现代大地测量完整体系,满足地球科学、空间技术和社会经济发展的要求是我国大地测量发展的战略目标。

(1)面向和深入地球科学,即:为解决地球科学问题提供相关大地测量信息;制订科学的大地测量监测计划,研究最佳观测方案;以大地测量特有的理论和方法,对观测数据作地学解释或反演。

(2)从静态大地测量体系转到动态大地测量体系;制订长期监测计划,修订大地测量法式和规范,建立完善的大地测量监测系统,发展四维大地测量理论和方法。

(3)完善和精化我国大地测量基准体系。

(4)精化我国领域重力场,发展对我国重力场最佳拟合的全球重力场模型。

(5)发展以应用GPS技术为主的区域性动力大地测量。

(6)拓宽大地测量为我国社会、经济发展的服务领域。

2. 优先发展领域

根据对我国大地测量发展战略目标及重点的设想,结合我国大地测量发展的现状及基本国情,需要优先考虑那些具有重大战略意义、紧迫,经过努力又可能实现的项目,着眼于加速发展进程,尽快缩短与世界先进水平的差距。其中包括:我国及邻区岩石圈运动学模型的建立,地球动态变化信息及地固参考系研究,大地测量观测数据的地学解释和反演,重力位场精化及反演理论和方法,空间大地测量研究,大地测量信息系统,以及在相对论力学框架中的大地测量学理论体系。

(责任编辑 刘先曙)

(上接第20页)

极度贫瘠、土壤的重度污染,等等,所以逆向演替大多需以第二类方式为主。恢复生态学方法的主要理论意义就是说明如何实现这一逆向演替过程。对极端条件下受迫生态系统逆向演替(恢复)的认识,将从另一个侧面丰富极端条件下生态学的内容。对人工支持的诱导过程的研究,将赋予生态学以新的多学科性质,并使人类在人与自然关系中由依从的奴仆和盲目的主人变为主动积极的合作者。并且,可以预言,在目前高度关注全球环境变化和生物多样性保护的情况下,恢复生态学仍将高速地发展。其可能方向之一是大尺度的生态工程。它不仅是惯常

所指的水资源保护和植被保护等生态措施,还包括象局域气候改造这样的生态工程——这需要将生态措施与工程措施的创造性结合。生态学还可能会以分子生物技术和遗传工程技术为手段,对濒临灭绝的物种进行保护和对已灭绝的同源物种进行复制。进而言之,如果再与宏观的景观恢复相结合,那么全球生物多样性的就地保护和异地保护将具有更为丰富的内容。随着分子生物学和生态学的发展,如果生物进化方向上不存在不可逆性,谁又能完全排除会出现象科幻电影《侏罗纪公园》中出现的那种古生态的奇迹呢? (责任编辑 王宏章)