

# 全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望

李 鹤, 张平宇

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

**摘 要:** 基于国内外脆弱性研究文献资料的回顾, 对脆弱性研究的演进过程、研究现状与进展、面临的挑战进行了梳理与分析, 指出了脆弱性研究对于推动地理学人地系统研究的借鉴意义。作为当前全球环境变化及可持续性科学领域的一种新的研究视角, 脆弱性研究得到了地理学以及相关学科的广泛关注, 呈现出跨学科、综合集成的研究趋势, 在概念体系、分析框架、评价方法等方面研究进展丰富, 但尚未在学科交叉融合的基础上形成独立完善的理论与方法论体系。随着脆弱性研究越来越关注人文与自然要素综合作用下的耦合系统脆弱性过程与机制, 脆弱性研究在分析人地相互作用的尺度嵌套问题、促进人地系统研究的系统集成与学科交融、增强人地系统研究的实践指导方面具有重要的应用价值。

**关 键 词:** 脆弱性; 可持续发展; 全球变化; 人地系统; 研究进展; 应用展望

近 100 年来, 以全球变暖为主要特征的全球气候与环境发生了重大变化, 并通过极端天气事件频发、海平面上升、生物多样性丧失、环境退化等多种方式做出了反馈, 对人类的生存、社会经济的可持续发展构成了严重威胁。然而, 迄今为止, 人类为减缓全球气候变化所做的种种努力收效仍十分有限, 在此情况下, 如何去适应包括全球变暖在内的全球环境变化是人类响应全球环境变化策略的明智选择。而适应的核心是通过改变人类社会的脆弱性而减轻全球环境变化的不利影响、增强其有利影响, 规避全球环境变化带来的风险<sup>[1]</sup>。脆弱性是指由于系统(子系统、系统组分)对系统内外扰动的敏感性以及缺乏应对能力从而使系统的结构和功能容易受到损害的一种属性<sup>[2]</sup>, 20 世纪 90 年代以来, 在全球环境变化人文因素研究领域有关脆弱性的研究呈快速增长的趋势<sup>[3-4]</sup>, 并做为一项重要研究内容被 IHDP、IPCC、IGBP 等国际性科学计划与机构提上研究日程<sup>[5-7]</sup>。

目前, 随着应用领域的不断拓展和理论方法的逐渐完善, 脆弱性研究已成为全球环境变化及可持续性科学领域一种新的研究视角<sup>[8-10]</sup>和重要的分析工具<sup>[11-12]</sup>, 在全球环境变化及可持续性科学领域发挥着日益突出的作用。与此同时, 脆弱性研究凭借其独特的理论与方法论价值和广阔的实践应用前

景, 成为当代地理学以及相关学科诠释人类活动之生态与环境效益, 以及人地相互作用机制的重要科学途径和学科前沿的重大科学问题<sup>[13]</sup>。

## 1 脆弱性研究的演进

早在 20 世纪 60 年代末期的自然灾害研究中, 脆弱性研究的雏形就已经开始出现<sup>[14-16]</sup>。自然灾害研究通过灾害发生的可能性及其影响来辨识和预测脆弱的群体和危险区域, 但对政治经济, 尤其是社会结构、制度等因素在系统遭受灾害影响过程中发挥的作用关注不够。人类/政治生态学研究认为在灾害管理中由于工程学措施占据主导地位, 忽视了脆弱性产生的政治、结构性等潜在原因, 他们尝试解释为什么穷人和处在社会边缘的人群在自然灾害中承受的风险最大, 强调经济发展在适应外部风险变化中的作用以及社会等级结构、管理、经济依赖性的不同所导致的灾害影响的差异<sup>[16]</sup>。1994 年 Blaikie 等提出了 PAR 模型<sup>[17]</sup>, 他们提出物理的或生物的危害只代表了脆弱性的一种压力或特征, 更深一层的压力来源于脆弱性的不断积累, 这两种压力在灾害发生时达到顶峰。PAR 模型既从灾害影响评价研究的角度关注灾害产生的影响, 又从政治生态学的研究框架下对脆弱性产生的原因进行的

收稿日期: 2011-03; 修订日期: 2011-06.

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41001097); 国家自然科学基金重点项目(40635030)。

作者简介: 李鹤(1980-), 男, 助理研究员, 主要从事资源环境与区域发展研究。 E-mail: lihe@neigae.ac.cn

分析,把两种研究方向很好的连接起来<sup>[16]</sup>。脆弱性研究的另一个重要理论来源是20世纪80年代初期在粮食安全研究领域出现的权利失败理论<sup>[16]</sup>。1980年代以前,粮食安全、饥荒等研究中比较关注极端的气候灾害(水灾旱灾等)造成的粮食减产,随着研究的深入,研究者们逐渐认识许多饥荒的是在没有明显的粮食减产及环境灾害的情况下产生的,是由于个体权利的缺失使其缺乏获取粮食的社会、经济途径而导致其对饥荒的脆弱性。在20世纪80年代早期,Sen利用权利失败理论解释了饥荒产生的原因,把制度、福利水平、社会等级、性别等作为分析饥荒脆弱性的重要变量<sup>[18-19]</sup>,这一理论突出了社会经济因素在脆弱性产生原因及其结果差异方面的作用。

20世纪90年代早期,随着对贫困问题理解的加深,学者们除了考察研究传统意义上的收入贫困以外还特别强调了发展能力的贫困,即缺少能力去选择和完成基本的生计活动<sup>[15]</sup>,在借鉴粮食安全研究领域出现的权力缺失理论研究基础上,发展经济学领域出现了可持续生计和贫困脆弱性研究<sup>[16]</sup>。这一研究方向从个体层面界定和度量风险和福利之间的关系,脆弱性研究通常被应用到发展援助和扶贫实践中,一定程度上等同于对生计难以维持的敏感性。其度量方法一般有3种:使用家庭消费的变动性来度量、使用未来消费支出(或其期望效用)与贫困线(或其效用)之间的差来度量、使用陷入贫困的概率来度量<sup>[20]</sup>(图1)。

2000年以来,在权力缺失理论和自然灾害研究的基础上,脆弱性研究越来越关注耦合系统层面的脆弱性问题,不仅吸收了灾害脆弱性研究中的风险、灾害、暴露、敏感性等相关概念和分析方法,同时把权利失败理论和政治生态学研究强调的社会、经济、制度等人文因素及恢复力机制的研究纳入到自己的分析框架中,开始探讨耦合系统脆弱性产生的机制和过程<sup>[14,21-22]</sup>,把脆弱性作为系统的一个重要属性正式提出来<sup>[13-14,23]</sup>。与以往研究相比,耦合系统脆弱性研究由最初只关注单一扰动所产生的多重影响逐渐扩展到对多重扰动背景

下的脆弱性进行分析,开始关注在特定空间尺度上对耦合系统脆弱性要素进行系统分析,探讨脆弱性产生的多因素、多反馈、跨尺度过程<sup>[14]</sup>,尤其在全球环境变化研究领域,脆弱性研究呈现出综合集成、跨学科的研究趋势。

## 2 脆弱性研究现状

20世纪90年代以来,脆弱性研究逐步成为全球环境变化和区域可持续发展研究的重要主题之一,特别是近年来在一些国际性科学计划和机构中的关注程度较高。例如:IHDP把“脆弱性、恢复性与适应”列为4个横向交叉研究主题之一;2007年IPCC发布的第四次评估报告《气候变化2007:气候变化的影响、适应和脆弱性》中,气候变化对自然系统、人工系统和人-环境耦合系统的影响及其适应能力和脆弱性成为报告的主要内容。目前,国外学术界已将脆弱性研究应用到灾害管理、生态学、土地利用、气候变化、公共健康、可持续性科学、经济学等不同研究领域,从已有的脆弱性研究来看,生态环境脆弱性<sup>[24-25]</sup>、气候变化脆弱性<sup>[26-27]</sup>、自然灾害脆弱性<sup>[28-29]</sup>等自然科学科学领域一直在脆弱性研究中占据主导地位,但近年来随着IHDP、IGBP、IPCC等国际性研究计划越来越强调人类社会对全球环境变化的影响及人类社会对全球变化的响应与适应问题<sup>[30]</sup>,人文系统及人-环境耦合系统脆弱性的研究逐渐成为脆弱性研究领域新的发展趋势<sup>[21,31-32]</sup>。在研究对象和应用领域不断拓展的过程中,脆弱性研究在概念探讨<sup>[33-35]</sup>、评价方法<sup>[36-38]</sup>和分析框架<sup>[15,14,39]</sup>等方面取得了较快的进展,并逐渐由脆弱性概念和相关理论方法的探讨转入实证研究阶段。

国内脆弱性研究在20世纪90年代以来也涌现

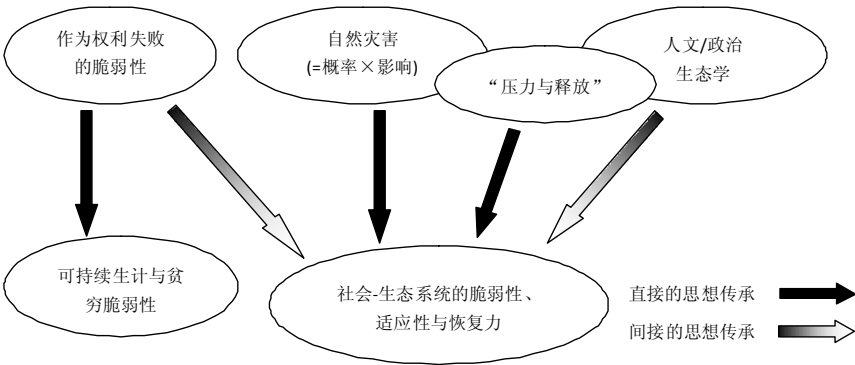


图1 脆弱性研究的演变(译自文献[16])

Fig.1 The evolution of vulnerability research (translated from reference[16])

出大量研究成果,较早的一篇讨论脆弱性概念的文章是“脆弱生态的概念及分类”<sup>[40]</sup>;作为“九五”国家重点科技攻关项目成果,由刘燕华、李秀彬等主编的《脆弱生态环境与可持续发展》较系统地阐述了脆弱性的概念、理论和研究方法<sup>[24]</sup>。2000年以来,随着全球变化研究领域的国际学术交流日益频繁,脆弱性研究在可持续发展与全球环境变化研究领域中的重要理论价值及学科意义逐渐受到国内学者的关注<sup>[2,13,25-26,41-46]</sup>。然而,从近年来发表的相关研究成果来看,已开展的研究仍主要集中在生态环境脆弱性、灾害脆弱性等方面,在生态环境脆弱性评估、脆弱生态环境类型区划<sup>[47-48]</sup>及自然灾害脆弱性发生机制方面进展较快<sup>[49-51]</sup>,也有一些研究尝试探讨社会经济系统内在脆弱性及其在特定扰动作用下脆弱性<sup>[32,52-53]</sup>。但总体来看,人文系统、人文与自然耦合系统的脆弱性研究相对滞后,并且由于研究起步较晚,相关学科对脆弱性研究的重视和提炼不够,缺乏对脆弱性理论和研究方法的深入探讨,并在“脆弱性”内涵的理解和认识方面与国际主流有一定的偏差。

从不同领域脆弱性研究的侧重点来看,自然脆弱性研究主要关注特定扰动作用下系统所遭受的损害程度,认为施加在系统上的扰动特点、扰动发生的可能性或频率、系统对扰动的暴露程度及其敏感性等因素是系统脆弱性的决定因素<sup>[54]</sup>,研究集中在探讨水资源系统、农业系统、渔业系统、海岸带、干热河谷、喀斯特环境等生态环境系统和人类社会对外部扰动(气候变化、自然灾害等)的不利响应和自身的不稳定性<sup>[24]</sup>,在不同尺度脆弱要素或系统的评价方法、动力机制和格局变化等研究方面成果丰富。人文科学领域研究认为脆弱性是独立于外部扰动而存在的系统属性,对于许多人类系统来说,脆弱性通常是源于系统内部特征(如:贫穷、不平等、边缘化、居住条件、社会保障等因素)的一种内在属性<sup>[54]</sup>。因此,人文科学把脆弱性概念扩展到纯粹意义上的经济社会系统的脆弱性分析<sup>[55-56]</sup>,关注于识别社会中的最脆弱群体以及分析相同扰动背景下区域内或区域间脆弱性的差异,侧重探讨导致人类社会或团体容易受到损害的经济、政治、制度和文化因素以及重建自然环境系统和经济社会系统恢复力的人文机制和对策。

面向气候变化或自然灾害的人-环境耦合系统(社会-生态系统)脆弱性研究则强调综合集成自然

科学、社会科学和人文科学的研究方法来解释自然、社会及工程系统之间的相互作用,把研究的注意力转向关注:①哪些人、事物或地区面对正在进行的人文与环境条件的变化较脆弱;②这些变化及其结果在不同的人与环境条件下是怎样被减弱或增强的;③通过什么措施可以减少对这些变化的脆弱性;④怎样建立更具恢复力和适应性的团体和社会,<sup>[14]</sup>将暴露、敏感性、恢复力、适应能力等要素纳入到脆弱性分析框架中,在灾害阈值的确定、脆弱系统因果关系过程识别和属性解释、脆弱性空间制图、脆弱性评价等方面开展了大量研究工作<sup>[21]</sup>。人-环境耦合系统(社会-生态系统)脆弱性研究不仅促进了全球变化与可持续性科学研究领域自然科学和人文科学的交叉融合,同时也进一步完善了脆弱性分析框架,推动了脆弱性研究视角在地理学人地系统研究中的应用。部分学者<sup>[8-10]</sup>已明确提出“脆弱性科学”这一新的研究方向,并初步总结了脆弱性科学的研究议程及地理学者应关注的研究主题。目前,脆弱性研究凭借其综合集成的研究优势和特点,在地理学人地相互作用过程、机理等方面研究中发挥着日益突出的作用。

### 3 脆弱性研究进展

#### 3.1 脆弱性的内涵

作为一个学术概念,“脆弱性”在20世纪70年代被引入到自然灾害研究领域<sup>[57]</sup>,其后在气候变化、可持续发展、生态学等众多领域得到广泛应用。由于不同应用领域研究对象和学科视角不同,关于脆弱性内涵的争论非常激烈。据Birkmann统计,当前文献著作中大约有25种以上不同的脆弱性定义<sup>[58]</sup>,在脆弱性内涵的界定角度、侧重点及其构成要素方面仍存在分歧<sup>[2]</sup>。尽管有很多学者呼吁建立一种通用的脆弱性概念框架以方便不同领域学者之间的交流<sup>[34-35,59]</sup>,但只有在人-环境耦合系统脆弱性研究领域,对脆弱性内涵的理解初步达成了一些共识<sup>[2,16]</sup>,对于推动相关研究领域学者的交流以及脆弱性科学的发展具有重要意义。目前,随着脆弱性研究应用领域的拓展和相关学科的交融,脆弱性的内涵也在持续的丰富和发展<sup>[58]</sup>,已经从日常生活中的一般含义逐渐演变成一个多要素、多维度、跨学科的学术概念体系,在要素构成方面,从最初只关注扰动事件影响的程度或可能性(敏感



性)延伸到包括系统对扰动的暴露、敏感性、恢复力、适应能力等众多构成要素,在表现维度方面,由最初只关注自然生态方面的脆弱性逐渐拓展到社会、经济、环境、制度等多维度的脆弱性。

### 3.2 脆弱性分析框架

伴随着脆弱性内涵的丰富以及应用领域的拓展,涌现出众多探讨脆弱性成因及其影响因素相互作用关系的分析框架,如:早期的风险-灾害模型(RH)与压力-状态-响应模型(PAR)<sup>[17]</sup>、地方灾害脆弱性分析框架<sup>[39]</sup>、双重结构的脆弱性分析框架<sup>[5]</sup>、SUST脆弱性分析框架<sup>[14]</sup>等等,对于脆弱性分析与评价具有重要的指导意义。从脆弱性分析框架的发展演变来看,大致经历了逐渐从面向单一扰动的脆弱性分析发展到多重相互作用扰动背景下的脆弱性分析,由只关注自然系统或人文系统的脆弱性延伸到人-环境耦合系统的脆弱性分析,由静态的、单向的脆弱性分析转向动态的、多反馈的脆弱性分析,要素拓展和学科综合化的演化特征明显。在众多脆弱性分析框架中,Turner等<sup>[14]</sup>提出的SUST脆弱性分析框架将脆弱性研究与人-环境耦合系统结合起来,强调了扰动的多重性与多尺度性,突出了脆弱性产生的内因机制、地方特性及其跨尺度的转移传递过程,人-环境耦合系统脆弱性的多因素、多反馈、跨尺度特点得到较好的刻画,对于探讨人-环境耦合系统相互作用机理具有重要的借鉴意义。

### 3.3 脆弱性评价方法

定量评价模型和指标体系的构建是当前脆弱性研究的重要内容之一,特别是在自然灾害脆弱性、全球环境变化脆弱性、生态环境脆弱性等研究领域取得了大量研究成果,关于脆弱性评价的技术流程已初步形成<sup>[24,60]</sup>,脆弱性函数评价模型、综合指数法等一些定量或半定量的评价方法得到广泛应用<sup>[2]</sup>。史培军<sup>[51]</sup>提出了广义和狭义的危害脆弱性评估模型,认为广义的危害脆弱性是由区域时空脆弱性、孕灾环境脆弱性、承载体脆弱性构成,狭义的脆弱性评估模型由经济脆弱性、人文脆弱性、政治脆弱性构成,并分别给出了广义和狭义危害脆弱性评估的函数模型。Luers等<sup>[36]</sup>认为系统的脆弱性是由系统内某些变量面对扰动的敏感性与这些变量临近伤害临界值的程度构成的函数,脆弱性的度量可用二者比值的期望来表示,此外,他还在考虑系统适应能力的基础上提出了最小潜在脆弱性的评价方法。Brooks等<sup>[61]</sup>遴选了11个表征气候变化脆弱

性的关键指标,对59个国家的脆弱性程度进行了排序,并探讨了研究结果对适应气候变化的启示。脆弱性评价在揭示研究对象的脆弱性特征、影响因素、程度差异方面发挥着重要作用,近年来与GIS和遥感技术结合被广泛应用于脆弱性制图与区划方面,有利于揭示脆弱性空间格局和识别脆弱性热点区域,为政府和其他组织制定脆弱性援助方案提供决策支持。

### 3.4 脆弱性机制与调控

近年来,政治生态学、灾害管理、可持续生计以及恢复力研究领域在揭示脆弱性产生的社会、制度驱动力及其调控方面开展了大量研究工作。例如:Pelling<sup>[62]</sup>对圭亚那城市人口在洪灾扰动下的脆弱性进行了研究,通过调研和访谈发现政治精英对团体组织的控制阻碍了社会资本形式的发展,而这对降低居民的洪灾敏感性是十分必要的,提出只有通过改善资源利用和分配的决策过程才能降低对城市人口对洪灾的脆弱性。

此外,一些研究还通过适应能力的分析来解释研究对象的脆弱性机制与调控,其中以Holling为首的著名国际性学术组织“恢复力联盟(Resilience Alliance)”运用适应性循环理论对社会-生态系统的动态机制进行描述和分析<sup>[63]</sup>。Vasquez-Leon等<sup>[64]</sup>阐述了资源政策、种族划分、社会阶层如何影响美国-墨西哥边界的农民对扰动因素的生计缓冲能力,Adger<sup>[65]</sup>在越南海岸带脆弱性评价研究中,利用贫穷和对气候敏感性经济活动的依赖度来表征农户对气候压力的敏感性,并阐述了越南自由贸易计划如何对海岸带保护计划以及部分人口收入、恢复力方面的影响。上述案例在研究方法上越来越重视利益相关者的参与在脆弱性评价与调控中发挥的重要作用,同时突出了制度、政策、社会资本等社会经济要素在个体或群体脆弱性特征、原因及调控研究中的地位。

## 4 脆弱性研究面临的挑战

随着脆弱性研究对象的拓展和日益复杂化,脆弱性研究在理论方法研究和实践应用方面面临着诸多挑战,可概括为以下几方面:

### 4.1 概念框架的统一与理论体系构建

确定选用的脆弱性概念框架是进行脆弱性研究的首要步骤,目前脆弱性研究仍面临“关注度很

高,但缺乏准确统一的概念界定”的尴尬局面,多样化的脆弱性定义不仅造成研究思路与方法的混乱,而且影响不同脆弱性研究领域学者之间的交流和沟通,不利于脆弱性研究中不同学科之间的交叉和融合。同时,随着脆弱性应用领域的拓展,各研究领域多从各自学科角度出发,利用本学科理论对“脆弱性”进行研究和解释,研究结果虽有一定的实用性,但尚未在学科交叉与融合的基础上,提炼出独立、完整、规范的脆弱性理论体系。因此,要真正促进脆弱性研究向脆弱性科学方向发展,进一步规范脆弱性研究范式,在脆弱性概念框架的整合与理论体系构建方面仍面临着严峻挑战。

#### 4.2 脆弱性评价

脆弱性定量评价研究作为脆弱性研究领域关注的重要研究内容之一,虽然已经取得丰富的研究进展,但总体来看,脆弱性评价方法仍远未成熟<sup>[66]</sup>,尤其随着脆弱性研究对象的复杂化,脆弱性评价研究仍面临诸多挑战。①系统通常暴露于多尺度、相互作用的多重扰动<sup>[14,37]</sup>,但目前脆弱性研究中多为针对气候变化、自然灾害、土地利用等单一扰动下的脆弱性评价<sup>[65,67-68]</sup>,尽管也有学者尝试进行双重扰动背景下(如:气候变化与经济全球化)的脆弱性评价<sup>[37,69]</sup>,但总体上面向多重扰动的脆弱性评价仍处在探索阶段,尚无系统的方法实现多重扰动背景下的脆弱性评价。②耦合系统脆弱性是目前脆弱性研究领域关注的热点问题,由于耦合系统要素作用关系的复杂性与不确定性,关于耦合系统脆弱性评价的研究尚未取得突破性进展,尤其在处理耦合系统不确定性及系统信息的不完备性方面仍缺乏有力的理论和方法支撑。③无论采取哪种具体的脆弱性评价方法,都不可避免的需要界定相应的阈值以对脆弱程度进行解释<sup>[36]</sup>,而以往研究多采用统计学方法对最终的脆弱性指数进行划分,通常没有明确的脆弱性阈值,由此导致脆弱性评价结果最终是一种相对的估测,而非绝对的估测。④由于脆弱性概念的抽象性和综合性,在脆弱性评价结果验证方面缺乏现实参照,目前多数脆弱性评价研究鲜有尝试验证模型的质量和精准度,使脆弱性评价研究在模型改进和实践指导方面的可靠性难以保证。

#### 4.3 耦合系统脆弱性过程与机制

目前已有的脆弱性案例研究大多在特定空间尺度及某一时间截面展开,关于脆弱性单元空间分布格局与特征方面的研究成果较为丰富,但在时间

维度上对脆弱性动态变化及其驱动因素的耦合作用过程与机制探讨不够<sup>[70]</sup>,在空间尺度上对脆弱性跨尺度传递与转移过程的研究较为薄弱,造成脆弱性过程与机制方面的研究进展相对滞后,不利于有针对性的指导适应性能力建设。特别是在耦合系统脆弱性研究中,目前真正意义上的经济社会与自然环境两大系统耦合作用机理的研究仍然是相关学科的前沿课题和难题,既需要理论与方法的深化、学科之间的交叉和融合,也需要全球范围内更多的基于地方尺度的实证案例的充实和对比研究。加强脆弱性过程与机制的研究,尤其是脆弱性驱动力的厘定研究,辨析自然驱动力和人为驱动力对系统脆弱性的影响程度及其综合效果,科学处理脆弱性调控时空协调问题,对于推动脆弱性理论研究,充分发挥脆弱性研究实践价值具有重要作用。

#### 4.4 脆弱性研究领域的多学科交叉与融合

随着脆弱性研究越来越关注自然系统与人文系统之间复杂的作用关系,其未来的发展越来越取决于多学科研究方法、研究视角的交叉及多源数据、多学科知识的融合。近年来,许多大型国际科学研究计划将众多不同领域的研究团体组织起来,在脆弱性研究的多学科交叉与融合方面起到了积极的推动作用。但总体来看,多数脆弱性研究中在理论上仍属于多学科的工作,而不是跨学科的工作,学科之间的交叉与融合仍面临体制、管理、平台建设等诸多障碍。未来脆弱性研究中除了加强原有地学、生态学、灾害学、环境科学等自然学科的交叉研究外,还必须将社会学、心理学、管理学、经济学等人文社会学科纳入脆弱性研究中,促进学科的交叉与融合,更好地推动脆弱性研究在自然与人文因素相互作用研究领域的应用与发展。

### 5 脆弱性研究在人地系统研究中的应用展望

对人地关系的认识素来是地理学的研究核心,始终贯彻在地理学的各个发展阶段<sup>[71]</sup>。20世纪七八十年代以来,由于与人地关系相关的环境问题、人口问题、资源问题和发展问题密切交织在一起,从耦合系统角度审视人地相互作用及其优化调控问题,倍受国内外地理学以及一些长期研究地球系统的相关学科的关注(表1)。人地系统研究正在逐步从要素和过程的分离向综合集成方向发展,注重



表1 研究人-自然耦合系统的代表性科研计划

Tab.1 Representative programs on studies of coupled human and natural systems

研究机构或 科研计划	人-自然耦合系统动力学 研究计划(DCNHSP)	北界国际生态经济 学研究所(BIIEE)	恢复力联盟(RA)	政府间气候变化专业 委员会(IPCC)	千年生态系统评估(MEA)
关注焦点	人类与自然系统在不同时间、空间及组织尺度上的复杂相互作用	生态经济学	通过对复杂适应系统(社会生态系统)动力学的研究以揭示可持续性的根本	评价科学、技术、社会经济信息以理解气候变化及其影响和相应的适应、减缓策略	评价生态系统由于人类福利的原因而发生变化的条件与结果以及人类对生态系统变化的响应
成立时间/年	2000	1991	1999	1988	2001
网站	<a href="http://www.nsf.gov/geof/ere/ereweb/fund-biocomplex.cfm">http://www.nsf.gov/geof/ere/ereweb/fund-biocomplex.cfm</a>	<a href="http://www.beijer.kva.se/">http://www.beijer.kva.se/</a>	<a href="http://www.resalliance.org">http://www.resalliance.org</a>	<a href="http://www.ipcc.ch/">http://www.ipcc.ch/</a>	<a href="http://www.MAweb.org">http://www.MAweb.org</a>

注：源于参考文献<sup>[72]</sup>。

开展全球、区域、地方等各种空间尺度的实证研究及理论总结和提炼,突出了模型模拟研究在刻画人地系统整体性中的作用,在人地系统的特性与作用机制<sup>[73-74]</sup>、模型方法<sup>[75-77]</sup>、理论<sup>[78-79]</sup>与实践应用<sup>[80-81]</sup>方面取得了丰富的研究进展,但整体上针对这个复杂开放巨系统的研究尚不具备很好的综合集成能力。脆弱性研究作为当代人地相互作用机制研究的一种新的分析方法,科学地反映了全球变化背景下人地关系矛盾的新特性,在人地系统研究领域具有广阔的应用前景。

5.1 脆弱性研究与人地相互作用的尺度嵌套

历史时期,人地相互作用大多发生在地方尺度,尽管也存在一些大尺度的人口迁移、商贸或战争活动<sup>[72]</sup>。但在工业革命以后,尤其在当前经济全球化、全球环境变化背景下,人地系统内部各要素之间联系更加紧密,相互作用的速率、强度、尺度都发生了明显的改变<sup>[23]</sup>。人地相互作用的空间尺度由地方小尺度、到局部地区中观尺度、发展到全球宏观尺度,并且地方小尺度过程嵌套在全球宏观尺度过程中,并通都过累积效应影响全球过程,而全球过程的反馈又会影响到地方过程,人地相互作用呈现出新的特点,迫切需要一种新的研究范式来刻画人地系统在不同时空尺度之间的耦合作用过程。

跨尺度人地相互作用研究范式的构建与脆弱性研究有着密切的内在联系,需要引起地理学者的广泛关注。在当前世界各国经济及环境密切联系的时代,各种时空尺度上暴露单元的脆弱性具有相互嵌套的特性,某一尺度上暴露单元脆弱性的缓解可能会导致更大尺度上或其他地区脆弱性的增强,或者暴露单元当前脆弱性的降低可能会通过某些反馈回路造成未来脆弱性的提高。面向耦合系统的脆弱性分析框架有利于分析不同尺度扰动因素作用下耦合系统的脆弱性及其跨尺度传递转移过

程,而且有助于探讨人地系统优化调控的时空协调问题。尽管脆弱性研究在这方面也面临诸多挑战,但这种分析问题的角度和思路对于探讨人地相互作用的尺度嵌套问题具有重要的借鉴价值。

5.2 脆弱性研究与人地系统要素过程的综合集成

在人地系统中,一个要素或一组要素发生变化可能引起其他要素乃至整个系统的变化<sup>[73]</sup>,要素和过程的综合集成研究是揭示人地相互作用过程与机理的重要途径。近年来,随着自然与人文数据的采集与分析处理能力的加强,人地系统研究正在逐步从单一要素和过程的研究向多要素、复杂过程的综合集成方向发展<sup>[82]</sup>。尤其在影响全球环境变化的自然与人文因素耦合作用研究领域,侧重于研究影响全球环境变化的不同因素与过程的四个国际性科学研究计划(WCRP、IGBP、IHDP、DIVERSITAS)已经联合组成了地球系统科学联盟(ESSP),以一个多要素、多过程综合集成研究的平台替代了先前研究全球变化各个方面的一系列核心计划,强调从系统、综合的思想出发,通过关键过程和要素的综合集成来推动人地耦合系统研究。

随着脆弱性研究由最初只单独关注自然环境系统脆弱性逐渐延伸到探讨人文系统、人-环境耦合系统的脆弱性研究,自然、经济、社会、文化、制度等系统脆弱性的影响因素以及暴露、敏感性、恢复力、适应性等脆弱性因素的相互作用过程已经被纳入到耦合系统脆弱性分析框架中,使脆弱性分析在自然与人文要素及过程的综合集成研究方面具有突出的研究优势,为人地系统要素和过程的综合集成研究提供了一种科学的分析方法,在揭示人地相互作用过程、机理等方面研究中将发挥着日益突出的作用。

5.3 脆弱性研究与人地系统研究的多学科交融

人地系统是一个涉及自然科学、人文社会科学

及工程学等众多学科的跨学科研究主题,基于单一学科视角的研究尽管在刻画人地系统中某一子系统或要素的过程或机制方面具有不可替代的作用,但对人地系统的分析缺乏整体与综合的把握,由此,促进不同学科知识之间的交叉与融合,形成系统的、整体的研究视角是开展人地系统研究的关键。近年来,人地系统研究中的多学科介入与联合催生了人类生态学、政治生态学、环境(生态)经济学等一系列新的学科与研究视角,一些国际性合作计划与科研机构,也越来越重视人地系统研究中的多学科融合与集成,人地系统研究逐渐从多学科的介入、联合和渗透向更高层次的交叉与融合发展。但由于人文科学与自然科学的长期分割,人地系统研究中的多学科集成仍面临诸多障碍,尤其在不同学科之间的交流方面,缺乏通用的概念和分析框架,真正的人地系统综合性研究成果仍然乏善可陈。

脆弱性研究作为当前全球环境变化与可持续性科学研究领域的前沿科学问题,已得到众多学科领域的广泛关注,特别是在耦合系统脆弱性研究方面,吸引了不同领域学者的积极参与,在地理学与其他自然、人文学科之间建立起了密切的联系,成为相关学科研究人地相互作用关系的一种重要的、共同的切入点。目前,脆弱性丰富的科学内涵已经在不同学科领域之间初步达成一些共识,其面向耦合系统的脆弱性分析框架在揭示人地相互作用过程与机制方面所具有的独特学术价值也得到学界的广泛肯定,这为关注人地系统研究的不同学科之间的交流与沟通提供了通用的科学术语和分析框架。此外,众多关注脆弱性研究的国际性科研计划也为人地系统研究的多学科交叉与融合搭建了有力的平台。由此,加强脆弱性分析在人地系统研究中的应用,对于促进人地系统研究的多学科交叉与融合具有重要推动作用。

#### 5.4 脆弱性研究与人地系统研究的实践指导

实现人地系统的优化调控与可持续发展是开展人地系统研究的重要实践目的,当代可持续性科学的出现越来越强调对人地相互作用过程与机理的深入理解,许多可持续发展政策和管理实践的实施效果都取决于对人地系统综合性与复杂性的认识程度。例如:在林业资源管理中,如果不考虑跨边界效应,河流上游的木材砍伐通常会造成下游地区严重的土壤侵蚀与洪水灾害;在气候变化和极端灾害事件的应对方面,对扰动事件的不确定性估计

不充分通常会削弱人类的应对能力与效率<sup>[72]</sup>。为了更好地发挥人地系统研究的实践指导作用,不仅需要提高对人地相互作用机制的研究水平,还要将人地系统的科学认识纳入到可持续发展决策与管理实践中,在科学研究和政策管理之间搭建良好的沟通交流渠道与平台。与以往探讨人地相互作用关系的研究视角相比,脆弱性研究集成了风险、敏感性、适应性、恢复力等众多人地相互作用的研究视角,与相关扰动因素相结合开展研究,研究成果的针对性和前瞻性更强,并且越来越强调利益相关者在脆弱性分析与评价过程中的参与问题,为科研人员与决策制定者之间的沟通交流提供了良好的平台,有利于将人地系统研究成果纳入到可持续发展决策与管理实践中。

#### 参考文献

- [1] 陈宜瑜. 对开展全球变化区域适应研究的几点看法. 地球科学进展, 2004, 19(4): 495-499.
- [2] 李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法. 地理科学进展, 2008, 27(2): 18-25.
- [3] Janssen M A, Schoon M L, Ke W, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240-252.
- [4] Janssen M A. An update on the scholarly networks on resilience, vulnerability, and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Ecology and Society*, 2007, 12(2).
- [5] Bohle H G. Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. *IHDP Update* 2/01, 2001.
- [6] McCarthy J J, Canziani O F, Leary N A, et al. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Stockholm Environment Institute(SEI), Cambridge UK: University Press, 2001.
- [7] Moran E, Ojima D, Buchman N, et al. Global land project: Science plan and implementation strategy. *IGBP Report No.53/IHDP Report No.19*, 2005.
- [8] Downing T E. Towards a Vulnerability Science?. *IHDP Newsletter Update* 3, 2000.
- [9] Cutter S L. A Research Agenda for Vulnerability Science and Environmental Hazards. *IHDP Newsletter Update* 2, 2001.
- [10] Cutter S L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(1): 1-12.

- [11] Kasperson J X, Kasperson R E. International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change. SEI Risk and Vulnerability Programme Report 2001-01, Stockholm Environment Institute (SEI), Stockholm, Sweden, 2001.
- [12] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development: sustainability science. *Science*, 2001, 292 (5517): 641-642.
- [13] 史培军, 王静爱, 陈婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向: 全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议透视. *地理学报*, 2006, 61(2): 115-126.
- [14] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [15] Roberts M G, 杨国安. 可持续发展研究方法国际进展: 脆弱性分析方法与可持续生计方法比较. *地理科学进展*, 2003, 22(1): 12-21.
- [16] Adger W N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 268-281.
- [17] Blaikie P, Cannon T, Davis I, et al. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. London: Routledge, 1994.
- [18] Sen A K. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*. New York: Oxford University Press, 1981.
- [19] Sen A K. *Resources, Values and Development*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1984.
- [20] 章元. 贫困的脆弱性研究综述. *经济学动态*, 2006(1): 100-104.
- [21] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2006, 31: 365-394.
- [22] Schroter D, Metzger M J, Cramer W, et al. Vulnerability assessment-analysing the human-environment system in the face of global environmental change. *The ESS Bulletin*, 2004, 2(2): 11-17.
- [23] Young O R, Berkhout F, Gallopín G C, et al. The globalization of socio-ecological systems: An agenda for scientific research. *Global Environmental Change*, 2006, 16 (3): 304-316.
- [24] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱性生态环境与可持续发展. 北京: 商务印书馆, 2001.
- [25] 徐广才, 康慕谊, 贺丽娜, 等. 生态脆弱性及其研究进展. *生态学报*, 2009, 29(5): 2578-2588.
- [26] 方一平, 秦大河, 丁永建. 气候变化脆弱性及其国际研究进展. *冰川冻土*, 2009, 31(3): 540-545.
- [27] Martensa P, McEvoya D, Chang C. The climate change challenge: linking vulnerability, adaptation, and mitigation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2009, 1(1): 14-18.
- [28] 郝璐, 王静爱, 史培军, 等. 草地畜牧业雪灾脆弱性评价: 以内蒙古牧区为例. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 51-57.
- [29] Ziad A M, Amjad A. Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers: A case study. *Journal of Hydrology*, 2009, 364(3-4): 298-310.
- [30] 王黎明, 关庆锋, 冯仁国, 等. 全球变化视角下人地系统研究面临的几个问题探讨. *地理科学*, 2003, 23(4): 391-397.
- [31] Briguglio L. Small island states and their economic vulnerabilities. *World Development*, 1995, 23(9): 1615-1632.
- [32] 李鹤, 张平宇. 东北地区矿业城市社会就业脆弱性分析. *地理研究*, 2009, 28(3): 751-760.
- [33] O'Brien K, Eriksen S, Schjolden A, et al. What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research. Oslo: CICERO Working Paper, 2004.
- [34] Füssel H M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 2007, 17(2): 155-167.
- [35] Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 293-303.
- [36] Luers A L, Lobell D B, Sklar L S, et al. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 2003, 13(4): 255-267.
- [37] O'Brien K, Leichenkober R, Kelkar U, et al. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, 2004, 14(4): 303-313.
- [38] Chazal J D, Quétiér F, Lavorel S, et al. Including multiple differing stakeholder values into vulnerability assessments of socio-ecological systems. *Global Environmental Change*, 2008, 18(3): 508-520.
- [39] Cutter S L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 1996, 20: 529-539.
- [40] Kochunov B I. 脆弱生态的概念及分类. 李国栋, 译. *地理译报*, 1993, 12(1): 18-23.
- [41] 林冠慧, 吴佩瑛. 全球变迁下脆弱性与适应性研究方法与方法论的探讨. *全球变迁通讯杂志*, 2004(43): 33-38.
- [42] 方修琦, 殷培红. 弹性、脆弱性和适应: IHDP三个核心概念综述. *地理科学进展*, 2007, 26(5): 11-22.
- [43] 刘小茜, 王仰麟, 彭建. 人地耦合系统脆弱性研究进展.



- 地球科学进展, 2009, 24(8): 917-927.
- [44] 孙芳, 杨修. 农业气候变化脆弱性评估研究进展. 中国农业气象, 2005, 26(3): 170-173.
- [45] 崔胜辉, 李方一, 黄静, 等. 全球变化背景下的敏感性研究综述. 地球科学进展, 2009, 24(9): 1033-1041.
- [46] 陈萍, 陈晓玲. 全球环境变化下人-环境耦合系统的脆弱性研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(4): 454-462.
- [47] 刘燕华. 中国脆弱环境类型划分与指标(生态环境整治与恢复技术研究第二集). 北京: 科学技术出版社, 1995.
- [48] 赵跃龙. 中国脆弱生态环境类型分布及其综合整治. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [49] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 1-9.
- [50] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.
- [51] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [52] 赵国杰, 张伟熙. 海岸带社会经济脆弱性研究. 统计与决策, 2006, (5): 12-14.
- [53] 李鹤, 张平宇. 东北地区矿业城市经济系统脆弱性分析. 煤炭学报, 2008, 33(1): 116-120.
- [54] Adger W N, Brooks N, Bentham G, et al. New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research(Technical Report No.7), 2004.
- [55] Adrianto L, Matsuda Y. Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions. Environmental Impact Assessment Review, 2002, 22(4):393-414.
- [56] Galea S, Ahern J, Karpati A. A model of underlying socio-economic vulnerability in human populations: evidence from variability in population health and implications for public health. Social Science & Medicine, 2005, 60(11): 2417-2430.
- [57] Schneiderbauer S, Ehrlich D. Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: A Review of Definitions, Concepts and Data. Brussels: European Commission-Joint Research Centre (EC-JRC), 2004.
- [58] Birkmann J. Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. Tokyo: United Nations University Press, 2006.
- [59] Newell B, Crumley C L, Hassan N, et al. A conceptual template for integrative human-environment research. Global Environmental Change Part A, 2005, 15(4): 299-307.
- [60] Schroter D, Polsky C, Patt A G. Assessing vulnerabilities to the effects of global change: An eight step approach. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2005, 10(4): 573-596.
- [61] Brooks N, Adger W N, Kelly P M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change, 2005, 15(2): 151-163.
- [62] Pelling M. The political ecology of flood hazard in urban Guyana. Geoforum, 1999, 30(3): 249-261.
- [63] Holling C S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. Ecosystems, 2001, 4(5): 390-405.
- [64] Vasquez-Leon M, West C T, Finan T J. A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border. Global Environmental Change, 2003, 13(3): 159-173.
- [65] Adger W N. Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. World Development, 1999, 27: 249-269.
- [66] Rygel L, O'sullivan D, Yarnal B. A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(3): 741-764.
- [67] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards. Social Science Quarterly, 2003, 84(2): 242-261.
- [68] Metzger M J, Rounsevell M D A, Acosta-Michlik L, et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 114(1): 69-85.
- [69] Belliveau S, Smit B, Bradshaw B. Multiple exposures and dynamic vulnerability: Evidence from the grape industry in the Okanagan Valley, Canada. Global Environmental Change, 2006, 16(4): 364-378.
- [70] Liu C L, Golding D, Gong G. Farmers' coping response to the low flows in the lower Yellow River: A case study of temporal dimensions of vulnerability. Global Environmental Change, 2008, 18(4): 543-553.
- [71] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统. 经济地理, 1991, 11(3): 1-5.
- [72] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, et al. Coupled human and natural systems. Ambio, 2007, 36(8): 639-649.
- [73] 陆大道. 关于地理学的“人—地系统”理论研究. 地理研究, 2002, 21(2): 135-145.
- [74] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, et al. Complexity of coupled human and natural systems. Science, 2007, 317

- (5844): 1513-1516.
- [75] 史培军. 人地系统动力学研究的现状与展望. 地学前缘, 1997, 4(1-2): 201-204.
- [76] 刘继生, 陈彦光. 基于GIS的细胞自动机模型与人地关系的复杂性探讨. 地理研究, 2002, 21(2): 155-162.
- [77] An L, Linderman M, Qi J G, et al. Exploring complexity in a human-environment system: An agent-based spatial model for multidisciplinary and multiscale integration. *Annals of the Association of American Geographers*, 2005, 95(1): 54-79.
- [78] 方创琳. 中国人地关系研究的新进展与展望. 地理学报, 2004, 59(S1): 21-32.
- [79] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 2001, 4(5): 390-405.
- [80] 毛汉英, 余丹林. 环渤海地区区域承载力研究. 地理学报, 2001, 66(3): 363-371.
- [81] 吴传钧, 郭焕成. 中国土地利用. 北京: 科学出版社, 1994.
- [82] 宋长青, 冷疏影. 当代地理学特征、发展趋势及中国地理学研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(6): 595-599.

## Research Progress and Prospective Applications of Vulnerability Approach under Global Change

LI He, ZHANG Pingyu

(Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Based on the analysis of existing literatures on the theme of vulnerability, this paper reviews the evolution and progress of vulnerability research, and analyzes the challenges facing present vulnerability research and the scientific implications of vulnerability approach in coupled human-environment system research. As a new research perspective in the arena of global environmental change and sustainability science, vulnerability approach has attracted extensive attention from scholars in geography and related disciplines, and is moving toward inter-disciplinary and comprehensive studies. Great progresses has been made in vulnerability conception, analytical frameworks, assessment methods and so on, but there is still lack of consummate vulnerability theoretical system and methodology on the basis of merging and crossing of different disciplines. With more and more attentions being paid to the vulnerability of coupled human-environment system under the interactions between human and natural factors, vulnerability approach has significant application value in analyzing the nested scale of human-environment interactions, promoting the integration study of key factors and processes, advancing the merging and crossing of related disciplines, and enhancing the decision support capacity of coupled human-environment system studies.

**Key words:** vulnerability; sustainable development; global change; coupled human-environment system; research progress; prospective application

本文引用格式:

李鹤, 张平宇. 全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望. 地理科学进展, 2011, 30(7): 920-929.