

DOI: 10.5846/stxb201611152318

刘建国, Vanessa Hull, Mateus Batistella, Ruth DeFries, Thomas Dietz, 付峰, Thomas W. Hertel, R. Cesar Izaurralde, Eric F. Lambin, 李舒心, Luiz A. Martinelli, William J. McConnell, Emilio F. Moran, Rosamond Naylor, 欧阳志云, Karen R. Polenske, Anette Reenberg, Gilberto de Miranda Rocha, Cynthia S. Simmons, Peter H. Verburg, Peter M. Vitousek 张福锁, 朱春全. 远程耦合世界的可持续性框架. 生态学报, 2016, 36(23): 7870-7885.

远程耦合世界的可持续性框架

刘建国¹, Vanessa Hull¹, Mateus Batistella², Ruth DeFries³, Thomas Dietz¹, 付峰⁴, Thomas W. Hertel⁵, R. Cesar Izaurralde⁶, Eric F. Lambin⁷, 李舒心¹, Luiz A. Martinelli⁸, William J. McConnell¹, Emilio F. Moran¹, Rosamond Naylor⁷, 欧阳志云⁹, Karen R. Polenske⁴, Anette Reenberg¹⁰, Gilberto de Miranda Rocha¹¹, Cynthia S. Simmons¹, Peter H. Verburg¹², Peter M. Vitousek⁷, 张福锁¹³, 朱春全¹⁴

¹ Michigan State University, USA,

² EMBRAPA Satellite Monitoring, Campinas, SP, Brazil,

³ Columbia University, USA,

⁴ Massachusetts Institute of Technology, USA,

⁵ Purdue University, USA,

⁶ University of Maryland, USA,

⁷ Stanford University, USA,

⁸ CENA University of São Paulo (USP), Piracicaba, São Paulo, Brazil,

⁹ Chinese Academy of Sciences, Beijing, China,

¹⁰ University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark,

¹¹ Federal University of Pará, Brazil,

¹² Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam, Netherlands,

¹³ China Agricultural University, Beijing, China,

¹⁴ International Union for Conservation of Nature, China

摘要: 远距离之间的相互作用及其影响日益广泛。这种远程相互作用往往会对可持续发展产生深远的影响并会造成意想不到的结果。很多可持续性研究都是针对某个特定地点进行的, 很少注重多个地点之间远程相互作用对可持续性所产生的影响。虽然有些研究涉及到远程因素, 但通常都把它们看作外在变量, 而未把它们看作反馈。为了更好地理解和综合各种远程相互作用, 本文提出了一种基于远程耦合的综合框架, 它是一个远距离社会经济和环境相互作用的总体概念。人类与自然耦合系统是研究在特定地点发生的相互作用, 远程耦合概念是对人类与自然耦合系统研究的自然延伸。远程耦合框架包括五个相关的组成部分, 即: 人类与自然耦合系统、流、代理、原因、和影响。本文通过农产品贸易和物种入侵两个远程相互作用的例子来解释远程耦合框架, 重点阐述远程耦合框架的影响, 并讨论促进远程耦合研究发展的研究条件和方法。这个框架有助于分析系统内各组成部分以及它们之间的相互关系, 找出研究差距, 探索其中的隐含成本以及尚未开发的优点, 提供引入反馈及多系统(发送、接收和外溢系统)之间权衡和协同的有效手段, 从本地到全球各个层面加深对远程相互作用的认识, 并提高社会经济和环境可

收稿日期: 2016-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuji@msu.edu

李舒心译自: Liu, Jianguo, Vanessa Hull, Mateus Batistella, Ruth DeFries, Thomas Dietz, Feng Fu, Thomas W. Hertel, Roberto César Izaurralde, Eric F. Lambin, Shuxin Li, Luiz Antonio Martinelli, William McConnell, Emilio F. Moran, Rosamond Naylor, Zhiyun Ouyang, Karen R. Polenske, Anette Reenberg, Gilberto de Miranda Rocha, Cynthia S. Simmons, Peter H. Verburg, Peter M. Vitousek, Fusuo Zhang and Chunqian Zhu. *Ecology and Society* 18(2): 26. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05873-180226>. 英文原文获 2013 年度最佳论文奖. 欲了解最新有关远程耦合信息, 请访问网站: telecoupling.org.

持续发展政策的有效性。

关键词:代理,原因,人类与环境耦合系统,人类与自然耦合系统,社会与生态耦合系统,扩散,远程相互作用,影响,反馈,流,全球化,投资,知识传播,迁移,社会经济与环境相互作用,物种入侵,可持续性,技术转让,远程连接,远程耦合,贸易,跨国土地交易,水转移

引言

近几十年来,全世界发生的巨大变化以及远距离相互作用的不断增加对社会经济和环境可持续发展产生了深远的影响(Reid et al. 2010)。其中,生物燃料是一个具有讽刺意义的例子。例如,欧盟和美国的生物燃料规定对食品价格和碳足迹产生显著影响,因为制造生物燃料占用本该用于生产粮食的农田,而且需要从远方(如从非洲、亚洲和美洲到欧盟)进口大量的生物质,排放大量二氧化碳,并影响其它地区的土地利用(Banse et al. 2008)。对生物燃料需求的不断增长造成 2008 年全球性粮食短缺并在多个国家发生引发内乱,这其中的部分原因是由于食品价格上涨和粮食产量下降(Feng and Babcock 2010, Swinton et al. 2011)。为了应对生产生物燃料给社会和环境带来的负面影响,科学界和决策者已着手制定相关政策并提出解决措施。然而,建立能够及时防范负面影响产生的应对机制是科学和政策面临的主要问题。为了解决这些问题,我们需要全面理解远程相互作用并提高预测远程相互作用及其后果的能力。

远程环境相互作用自从地球形成时就存在,远程社会经济相互作用伴随着人类的起源和发展而产生。然而当今的贸易、跨国土地交易、入侵物种蔓延和技术转让等远程相互作用比过去更加普遍,而且发生的速度比以往任何时候都要快(Liu et al. 2007a; Appendix 1)。例如,食物(如谷物、鱼类)和水资源等许多生活必需品曾经可以利用本地资源自给自足,而如今却不得不通过进口来满足需求(Kastner et al. 2011, Konar et al. 2011)。近几十年以来,世界食品出口规模增长了十倍(United Nations Statistics Division 2012)。

远程相互作用发生的背景已完全不同(附录 1)。例如,1960 年全世界城市人口只有 10.2 亿,2010 年增长到 35.6 亿(United Nations Department of Economic and Social Affairs 2012),其中城市人口增加 25.4 亿,而他们消费的食物和其它资源却主要来自城市以外的地区,通常来自世界各地。从 1950 年到 2010 年世界经济活动增长了七倍(Nelson 2005)。三十年前,中国、印度和巴西等人口大国经济相对落后、人民生活贫困,现如今它们已跻身于世界经济强国之列。社交媒体使世界各个角落的人们可以更加便捷地互相联系,这种爆炸性的社会发展产生的社会经济和环境后果很难预测。

远程相互作用给可持续性带来了前所未有的挑战和机遇。这种相互作用日益深入地影响世界性重大问题(如气候变化、生物多样性、粮食安全、土地利用、减轻贫困、公共卫生、社会稳定、以及水资源缺乏)。例如,世界上 30%对物种的威胁来自国际贸易(Lenzen et al. 2012)。虽然中国等一些国家经历了从森林净损失变成森林净恢复的转型,但是这种转型往往是通过木材和农产品贸易,以消耗其它国家的森林资源为代价(Zhu and Feng 2003, Zhu et al. 2004, Rudel et al. 2009, DeFries et al. 2010, Lambin and Meyfroidt 2011)。据预测,粮食需求增长越快的地区气候变化对农业的影响越显著。譬如,中国需要通过贸易来弥补粮食生产和粮食消费之间的差距(Jones and Thornton 2003)。为了解决一些地区长期水资源匮乏的问题,许多引水工程项目都在加紧建设中,其中包括世界上规模最大、跨度最长的南水北调工程,计划年调水目标 450 亿 m^3 ,预计总投资 770 亿美元(Liu and Yang 2012)。与此同时,信息技术和网络的推广促进了民主(Li and Reuveny 2003);移动通讯的普及使与远方合作伙伴的联系更加便利,因而增加了更多的贸易机会(Aker 2008);全球卫生网让偏远社区可以及时接种疫苗(Milstien et al. 2006)。此外,大型综合农业企业积极实行生态认证、可持续性标准、及可持续采购战略,为商品贸易增长提供了潜在的均衡发展趋势,通过全球化进程实现可持续性(Giovannucci and Ponte 2005, Van Kooten et al. 2005)。

理解远程相互作用直接反映了国际上所提倡的将可持续发展理念付诸实践(United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability 2012)。虽然曾有一些独立和零散的关于远程相互作用的研

究,但依然存在着许多重要的知识空白,例如,美国科学院要求评估世界贸易对环境(如生态系统服务)与人类福祉(如健康)的影响(National Research Council 2012)。即使有些研究考虑远程因素,但往往把它们看成外在因素(United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability 2012)。在国际层面探讨远程相互作用需要建立一个新的研究框架来填补知识空白并推进可持续性科学及其应用(Kates et al. 2001, Turner et al. 2003)。本文提出了一个全新的综合框架,并通过两个例子进行说明来帮助理解各种远程相互作用。从本地到全球层面阐述了该框架对可持续性研究及其政策的影响。最后,讨论了推动这些研究所需要条件和方法。

远程耦合与可持续性的概念框架

许多学科涉及远距离自然或人类系统之间相互作用的研究。例如,大气科学使用远程连接的概念来探讨远距离气候系统环境之间的相互作用。一个地方的气候变化可以通过大气环流影响到数百或数千公里以外的气候(图 1A)。而且,长期以来社会科学家也致力于经济全球化的研究(图 1B),即远距离人类系统之间的社会经济活动。虽然这些独立进行的远距离社会经济或环境相互作用的研究获得了一些有益的见解,但却存在许多漏洞和疏忽(Adger et al. 2009, Eakin et al. 2009)。

对各种不同类型的人类与自然耦合系统相互作用进行综合研究有助于更好地理解可持续性(National Science Foundation Advisory Committee for Environmental Research and Education 2009)。本文提出远程耦合(Telecoupling)(Liu et al. 2011),这一综合概念来描述远距离人类与自然耦合系统之间社会经济和环境的相互作用(图 1C)。远程耦合概念的提出是人类与自然耦合系统(Liu et al. 2007b, Alberti et al. 2011)、社会与生态耦合系统(Walker et al. 2004)、人类与环境耦合系统(Turner et al. 2003, Moran 2010)研究的自然逻辑延伸。它是对远程连接、全球化、及世界体系理论等概念的归纳和综合(Hornborg et al. 2007, Dreher et al. 2008),因为这些概念以往基本上局限于单一学科(参见 Adger et al. 2009, Seto et al. 2012)。

本文提出的综合框架概念更有益于理解远程耦合。远程耦合系统分层结构,所以远程耦合框架需要采用多层次的分析方法。远程耦合系统层面包括一系列相互关联的人类与自然耦合系统,这些耦合系统通过它们之间的流连接起来(图 2)。耦合系统层面中的每个耦合系统由三个相关部分组成,即:代理、原因和影响(图 2)。每一部分又包含许多元素或不同尺度。例如,个人、家庭、组织团体、企业等不同类型的代理可能同时受到社会经济和环境的影响。此外,各层次之间也存在相互作用,例如,耦合系统

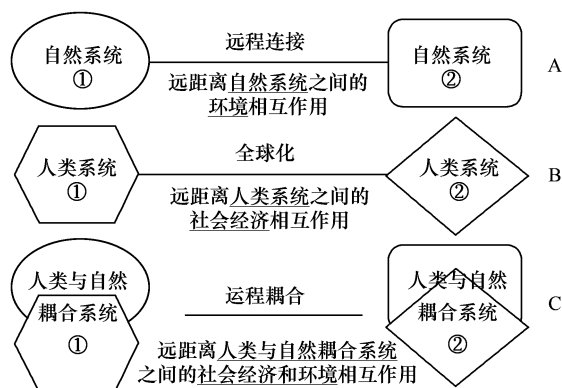


图1 远程连接、全球化和远程耦合的定义

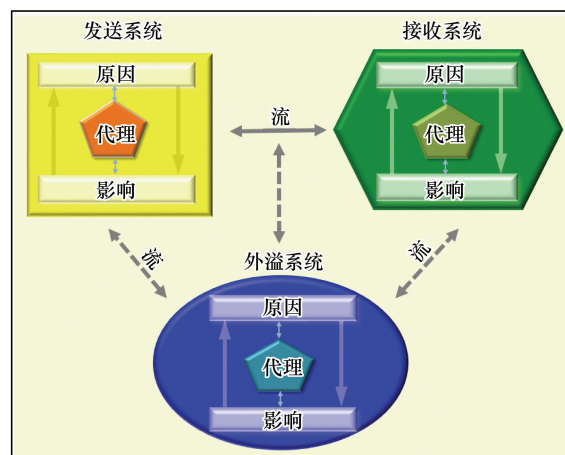


图2 远程耦合框架中的五个主要相关组成部分。远程耦合系统是分层结构并受到层次内和层次间相互作用的影响。远程耦合系统包含一系列通过流相互作用的人类与自然耦合系统。耦合系统由三个部分组成:代理、原因和影响。各个部分具有不同的属性。原因使至少两个人类与自然耦合系统之间产生远程耦合,其产生的影响发生在一个或多个人类与自然耦合系统。嵌套在人类与自然耦合系统内的代理通过促进或阻碍系统之间的物质/能量或信息的单向或双向流动,使远程耦合的产生成为可能。根据流的移动方向,系统可以被定义为发送、接收和/或外溢系统。为了简单起见,图中只列出直接与系统间远程耦合相关的部分,没有列出耦合系统中的结构和过程

中的代理促使耦合系统之间流的产生,而耦合系统之间的流又在耦合系统内产生影响。

原因是指在人类与自然耦合系统之间产生远程耦合的原因,它的产生对人类与自然耦合系统有着各种各样的社会经济和环境影响。远程耦合的产生是通过代理对系统之间流(即:物流、能流、和/或信息流)的促进或阻碍的结果。代理和原因也会相互影响。如图 2 所示,原因和影响由反馈环路相连,但是,把原因从影响中分离出来可以使分析简单化。另外,虽然代理、原因和影响嵌套在耦合系统中,但可以把它们看成系统的单个成分来突出其各自在远程耦合以及与其它部分关系中所起的作用。下面通过两个远距离相互作用的例子(表 1)来详细说明:一个例子是以人为主导并人为有意发起的,而另一个例子是以生物为主导但人为无意引起的。

表 1 两个例子(巴西和中国之间的大豆贸易和红火蚁入侵)中五大组成概要

		大豆贸易	红火蚁入侵
系统	发送	巴西	南美
	接收	中国	美国
	外溢	美国,其它一些未知国家	一些未知国家
流	物流或能流	大豆 资金 运输中的化石燃料	农药
	信息	价格 农业技术	入侵控制技术
代理		农民 政府 公司企业	红火蚁 贸易者 农民
原因	经济	中国大豆需求	贸易品需求
	政治	政府投资兴趣	政府推动国际贸易
	技术	改善热带农业技术	运输方式进步
	环境	气候差异	物种入侵性
	文化	传统上对大豆的偏好	偏爱外国商品
影响	环境	降低生物多样性和生态系统服务功能 排放 CO ₂ 外溢系统中的未知影响	降低生物多样性 农作物损失 外溢系统中的未知影响
	社会经济	土地集约利用 本地居民迁移 农民大豆收入的提高或降低 外溢系统中的未知影响	农业收入损失 财产损失 外溢系统中的未知影响

第一个例子是大豆贸易,所关注的是中国与巴西之间不断增长的大豆贸易。从 2000 到 2010 年,中国大豆进口量约从 1400 万吨增长到 4600 万吨(United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service 2010)。目前,中国食品生产所需的大豆中超过 80%需要从外国进口,主要进口国家是巴西和美国(Zhang and Liu 2009, Brown-Lima et al. 2010)。在中国、巴西以及其它国家的人类与自然耦合系统中,中巴大豆贸易对全球贸易市场及其价格、碳排放、生态系统服务、和人民生活起着重要的作用。

第二个例子是红火蚁入侵。红火蚁入侵(*Solenopsis invicta*)被国际自然保护联盟列为“100 个最严重入侵物种”之一(IUCN; Lowe et al. 2000)。红火蚁入侵导致生物多样性降低,仅在美国每年就造成约 60 亿美元的经济损失(Ascunce et al. 2011),主要是对农业造成危害。红火蚁源于南美,20 世纪初期首次由货船意外带到美国(Ascunce et al. 2011)。随后很快蔓延到美国南部地区,不久前又蔓延到澳大利亚、新西兰、中国等其它地区(Ascunce et al. 2011)。

虽然这两个远程耦合例子截然不同,但各个远程耦合之间存在互相作用。有些远程耦合可能会互相增强,有些会互相削弱。有些可能会衍生出新的远程耦合,而有些可能会消除现有的远程耦合。例如,研究表明贸易和物种入侵之间存在着密切联系。一方面,贸易是物种入侵的主要原因之一(Crosby 1986, Nentwig

2007)。而另一方面,物种入侵带来影响贸易的反馈,其中包括限制和检查有关贸易的货物和产品。部分地区甚至采用交易许可证方案(Horan and Lupi 2005)以及缴纳入侵物种关税(Margolis et al. 2005)等更强有力的措施来对贸易进行控制。

系统

系统是指人类与自然耦合系统,或称人类与自然相互作用的综合系统(Liu et al. 2007b)。虽然每个系统位于某个地理位置(地点)、具有特定的背景并由各种人类和自然成分以及过程【如气候土壤情况、栖息地、可及性、地形特征(如坡度、海拔)、经济政治制度和政策、以及本地人类与自然成分之间的耦合】组成,本文主要讨论系统之间与远程耦合相关的直接属性。对每个远程耦合而言,系统可以表现为发送系统、接收系统、和/或者外溢系统。发送系统可以被看成是起点、来源或捐助者,接收系统则被看成是目的地或接收者(图2)。流(能流、物流、信息流)从发送系统(如出口国)流出,而接收系统(如进口国)从发送系统获得流(能流、物流、信息流)。当然,系统被定义为发送系统还是接收系统取决于分析的是哪一种流。

外溢系统是对发送和接收系统之间的相互作用产生影响和/或被发送和接收系统之间的相互作用影响的系统。外溢系统可以至少通过三种主要方式将发送系统和接收系统连接起来,既可以作为发送和接收系统之间的中间站(如候鸟停留、港口和机场中转站),也可以作为发送和接收系统之间的通道(如输油管道渗漏),或与发送和/或接收系统之间产生的其它方式的相互作用(如贸易协议中的第三方)(图3)。一个系统既可以是一个远程耦合的发送系统,同时又是另一个远程耦合的外溢系统或者接收系统。

在大豆贸易的例子中,生产大豆的巴西是大豆流的发送系统,接收大豆及豆制品的中国是接收系统。但是对于大豆交易中的资金流,中国则变成发送系统而巴西变成接收系统。在市场交易过程中,商品和资金的关系显然逆向流动。而且至今对外溢系统的研究很少,如世界上所有涉及大豆贸易的国家(包括美国),受廉价大豆生产影响最严重的国家是美国,一些发展中国家(如巴西)采用热带农业先进技术生产大豆,与美国竞争贸易市场。在红火蚁入侵例子中,红火蚁的原生地南美是发送系统。红火蚁入侵的第一个国家美国是主要的接收系统。

发送、接收和外溢系统之间的相互关系复杂。在远程耦合中包含的发送、接收和外溢系统的数量可以是1-1-0(一个发送系统,一个接收系统,无外溢系统),也可以是1-1-1(一个发送系统,一个接收系统,一个外溢系统,图3A),还可以是一个或多个系统的组合(如1-1-n, 双边贸易广泛市场影响的情况),或者n-n-n(多个发送系统,多个接收系统,多个外溢系统,图3B)。后者最为复杂,因为不仅在发送、接收和外溢系统之间存在相互作用,而且各发送系统之间、各接收系统之间以及各外溢系统之间都存在相互作用。此外,随着时间的变化,远程耦合中的接收系统可能成为新远程耦合的发送系统。在红火蚁入侵例子中,根据问题时间段的不同,美国既可以看作是接收系统也可以看作是发送系统,它最初是接收系统,但后来因将物种传播到其它国家而成为发送系统。实际上,全球红火蚁入侵数量遗传追溯的结果显示,红火蚁入侵始发于美国,而不是南美(Ascunce et al. 2011)。全面理解代理、流、原因和影响以及它们之间复杂的相互关系的关键是在了解远程耦合系统的组成的同时,还必须考虑其时间和空间格局。

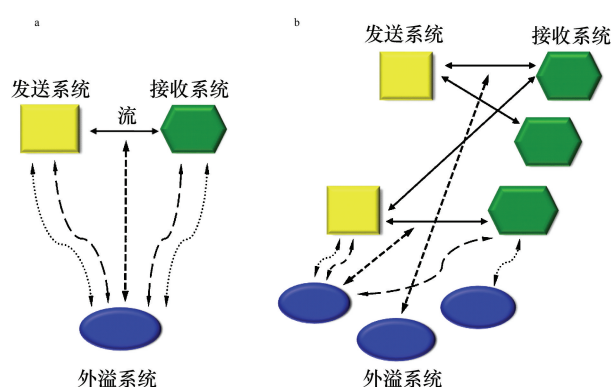


图3 发送、接收和外溢系统之间的关系类型举例(A)代表(1-1-1)关系,(B)代表n-n-n关系。箭头表示流动方向。为了简单起见,省略了发送、接收和外溢系统之间可能存在的一些箭头。外溢系统至少能以三种方式连接到发送和接收系统:发送和接收系统之间的通道(如输油管道渗漏;直虚线箭头),发送和接收系统之间的中间站(如候鸟停留地、港口和机场中转站;长虚线弯曲箭头),发送和/或接收系统之间产生的其它方式的相互作用(如贸易协议中的第三方;短虚线弯曲的箭头)

流

流是系统之间物质、能源、或者信息的流动,这种转移是代理采取行动的结果。物质和能包括各种生物地球物理实体(如制成品、食品、自然资源、有机物和生物燃料)、信息包括知识信息、贸易协定、财务数据、基因、和农业技术。流可以是单向也可以是双向,可以直接穿越发送和接收系统之间的通路,或者间接地经由发送和接收系统之间的外溢系统(图2、图3)。

在大豆贸易的例子中,主要物流是大豆及豆制品从巴西运往中国的运输过程,信息流的例子是巴西、中国和其它国家之间的金融交易和贸易协定。在红火蚁入侵的例子中,主要物流包括交易物品、红火蚁、以及控制入侵物种传播的农药等的运输或移动过程。信息流包括红火蚁造成损害等有关信息的传播以及控制蔓延方法的推广。

流可以直接从发送系统跳跃到远方的接收系统。这种现象发生在隔海相距2万 km 远的巴西和中国之间的大豆贸易。流也可以从发送系统附近的接收系统开始,然后逐渐向外辐射到远方的接收系统。红火蚁入侵就是这样的例子,开始于美国南部和东南部(初始接收系统)然后逐渐蔓延到美国加州,后来又从加州跳跃到其它国家。

基础设施网、机构组织和生态系统为流在系统之间提供运行通道起了重要作用。它们包括运输网(如公路、船舶、车辆、飞机)、政府间组织(如贸易协议)、贸易设施(如电子清关系统)(Hertel and Mirza 2009)、社会网络(如学术团体)(Haas 1993)、生态网(如动物迁徙路径)。在大豆贸易例子中,巴中大豆贸易中的网络包括金融、社会、交通、和政府网络。

代理

代理(或参与者)包括自主决策的实体,它直接或间接促进或阻碍远程耦合的产生。远程耦合框架强调各种代理及其在发送、接收和外溢系统之间错综复杂的关系。代理可以促进或阻碍流,而流可以产生、维护、加强、削弱或解除远程耦合。代理可以是单个也或者一群人或动物(如家庭等社会经济单元、政府机关等组织、或各类动物群)。

在大豆贸易例子中,主要代理包括巴西的大豆生产者、农产企业、公共和私人投资者及其支持者,中国的金融投资者和豆制品消费者,以及参与制定和执行贸易协议的有关政府机构。在红火蚁入侵的例子中,主要代理包括无意中携带并传播昆虫的交易者,美国和外溢系统中企图阻止蔓延(如实施控制操作)的农民和决策者,以及红火蚁,它们通过不断进化在物种竞争中胜过多数昆虫,并且获得超强的生存能力进而在被意外携带的过程中入侵扩大其栖息地。

代理之间形成的彼此联系形成了改变远程耦合的流。在人类为代理的系统中,这一过程可以通过政府、公共机构、私营公司、个人友谊和亲属关系等社会关系网来实现(Jackson and Watts 2002)。举例来说,政府和企业之间的关系为推动巴中大豆贸易的双向流起了很重要的作用(Niu 2010)。在动物为代理的系统中,同样存在有利于相互作用的交流方式。在红火蚁入侵的例子中,蚂蚁利用其特有的化学通讯协调活动从而扩大栖息地(Vander Meer et al. 2002)。

具有创造性的代理最能成功地建立新的远程耦合,但代理的不同特性(如恢复力)可以更好地维护和加强现有的远程耦合。外来物种(如红火蚁)占据上风而且成为接收系统的入侵者,是因为它们能在全新的生存环境下繁衍从而占有属于本地物种的有限资源(Callaway and Ridenour 2004)。中巴大豆贸易之所以迅速发展,部分原因是中国和巴西之间灵活的贸易协议,能及时适应新的市场,另一个原因是在产区和国外主要市场之间商品价值信息的有效连接。

原因

原因是影响远程耦合产生和变化(如强度的变化)的因素。大部分远程耦合并非只有一种原因,可以来源于发送、接收、或外溢系统(图2)。原因可分为直接原因或根本原因(Laland et al. 2011)。政治、经济、文

化、科技、或生态变化交织在一起可以在远程耦合系统中产生新动态。喜好的转变改变需求,而技术创新和推广能改变供给,发送系统中的供给和接收系统中的需求相互作用可以改变系统动态。政策和规则等的改变能加强或缓解与远方系统的互相作用。生态因素在远程耦合中起着重要的作用。原因也可以通过反馈机制与影响互相作用。

大豆贸易这个远程耦合的原因很多。其中一个主要的经济原因是中国对大豆产品(如植物油和动物饲料)的需求以及巴西丰富的土地、水和充足的大豆生产资金。其政治原因是中国政府极力追求向外国投资而巴西政府却积极开发出口市场。其文化原因是中国人喜好豆制品及以大豆为饲料的动物产品。其技术原因包括农业技术进步,主要是巴西农业研究公司投入巨资开发适应酸性土壤的热带农业技术,研究开发适合当地海拔高度生长并能从大气中生物固氮的大豆品种(Alves et al. 2003, 2006)。此外,近年来产品供应链的发展以及日新月异的高效农产品(如大豆)存储方式和长途运输业,都为远程耦合提供了有利条件。其生态原因是巴西良好的气候条件适合大豆生长。

对于红火蚁入侵远程耦合,主要经济原因之一是国际贸易的增长。红火蚁入侵主要是跨国贸易货物运输过程中无意传播开的(Ascunce et al. 2011)。其政治原因是20世纪初期在南美各国和美国的政府和组织机构之间关系的改善促进了它们之间的贸易开放和交流。其技术原因是与当时改进的船舶制造技术及其运营能力有关,长途运输如此大批量的货物前所未有。其文化原因是美国消费者对外国商品越来越感兴趣。红火蚁得以蔓延的一个主要生态原因是它被带入新环境后其自身优越的竞争力及其对环境挑战(如洪水和干旱)的恢复能力(Vinson 1997)。

影响

影响是指远程耦合对社会经济和环境产生的后果或作用。这种影响可能以不同的方式出现在发送、接收和/或外溢系统中(图2)。影响可以发生在不同的空间、时间和尺度。本文将影响分为两大类,即:社会经济影响和环境影响(表1),需要强调的是这两类影响之间本质上是相关的。影响可以促进也可以阻碍环境和/或社会经济的可持续性(Liu 2010)。

在大豆例子中,巴西和中国之间的贸易可能会造成巴西农业土地过度利用(Macedo et al. 2012),导致在免耕种系统施用更多的除草剂,和以磷为主要成份的农药和化肥的大量使用,从而减少生物多样性并降低生态系统服务功能(Martinelli et al. 2010)。大豆贸易造成巴西本地居民迁移和农村暴力、帮助中国造林和碳汇、及增加对外溢系统(如整个运输路线)的碳排放(表1)。由于从巴西进口的大豆价格较低,许多中国农民已经放弃大豆种植,大量的大豆田用于种植其它农作物(如玉米)、或转变成森林(GRAIN 2012)。大豆贸易为巴西的一些部门带来了收入(Lima et al. 2011)。在红火蚁入侵的例子中,物种入侵引起当地无脊椎动物群落生物多样性降低、破坏野生动物栖息地、造成农作物及相关的经济损失、损坏家具和住宅、并伤害牲畜和人类(如因红火蚁叮咬引起的疼痛及其潜在的疾病危险)(表1)(Vinson 1997; 表1)。

在单个人类与自然耦合系统中出现的各种复杂的影响类型(Liu et al. 2007b)也可以在远程耦合系统中明显看到,其中包括间接影响[也叫“二级影响”]、级联效应、非线性、时间滞后、遗产效应、诱发效应、和反馈。级联效应是指远程耦合对某个系统或某个系统组件的影响向外辐射影响到许多其它多个系统或系统组件的现象。在大豆贸易例子中,巴西农业研究公司将巴西先进的大豆农业生产技术推广到外溢系统(如在进行稀树草原大开发的非洲国家)。影响往往是非线性的,并可能时间滞后,也许直到远程耦合发生几年甚至几十年后才开始出现。遗产效应是指远程耦合停止后影响仍然持续一段时间的现象。诱发效应是指由某个影响带来的二级影响。在大豆贸易例子中,二级影响是对其它农业部门和整个消费者支出的影响。农民从收获大豆得到收入改变了他们对食品和其它商品的消费需求,从而对整个经济和外溢系统造成级联效应(Altieri and Pengue 2005)。

反馈是远程耦合的重要特性。系统之间发生反馈时,第一个系统对第二个系统的影响反过来又影响第一个系统。有时系统之间的反馈发生很快,而有时却非常缓慢,需要很长时间才能发现或认识到。在大豆贸易

例子中,中国减少大豆种植所导致的土地利用变化产生正反馈,即中国对巴西大豆需求的增加推动了巴西大豆生产的发展。此外,大豆贸易促进中国对巴西的投资和巴西对中国产品的进口(如巴西从中国进口机械和纺织品)(Brainard and Welch 2012)。在红火蚁入侵例子中,红火蚁对其接收系统美国造成了相当大的环境和社会经济损失,从而促进接收系统开发新技术来阻碍入侵者蔓延。后来这些技术又反过来影响发送系统(南美)。具体而言,从 1961 年到 1975 年,美国东南部地区用了 $25 \times 10^4 \text{ kg}$ 复合灭蚁灵(氯化烃和环戊二烯衍生物)来控制红火蚁。同期,约 $15 \times 10^4 \text{ kg}$ 复合灭蚁灵出口到巴西(Eisler 2007)。然而,使用灭蚁灵具有双重负面影响,因为(a)它是一种生物累积性污染物,美国环境保护署于 1976 年禁止了复合灭蚁灵的使用,(b)它有助于红火蚁蔓延,因为它也同时杀灭可以与红火蚁竞争的本地蚂蚁(Markin et al. 1974)。另一个反馈的例子是红火蚁入侵到美国数十年后,美国曾试图从巴西进口红火蚁的天敌(如苍蝇和微生物)来控制红火蚁蔓延(Callcott et al. 2011)。

本文所举的例子中,虽然人们已经做了一些关于发送和接收系统影响的研究,但是很少或根本没有研究外溢系统影响的文献。有些研究指出食品和产品的运输可能对沿线及其外界环境带来巨大影响,如能源消耗和排放污染物(如二氧化碳)。这些研究仅仅提出了从巴西到中国大豆运输过程中的潜在影响,从来没有对这种影响的定量研究。

不同类型的远程耦合之间也存在相互作用。例如,研究显示,贸易给入侵物种的传播提供了条件(Westphal et al. 2008)。虽然没有研究本文提到的两个例子之间关系的相关文献,但运用远程耦合框架可以帮助研究人员寻找大豆贸易和物种入侵之间可能存在的关系以及它们与其它远程耦合的关系。

远程耦合框架的意义

远程耦合框架为从事各类远程相互作用的研究人员提供了通用语言、逻辑统一性、系统方法和全面指导。远程耦合框架以不同方式进行统一综合,因而它可以帮助我们理解远距离之间的相互作用是如何进行的,从局部到全球的各个层面找出实现社会经济和环境可持续发展的解决方案。

该框架综合了远距离社会经济和环境两者之间的相互作用,而不只是社会经济之间或环境之间的相互作用

这种综合有助于拓展远距离相互作用研究的范畴。从前关于贸易、动物迁徙、气候远程连接等方面的研究只关注某种社会经济相互作用(如贸易),或只关注环境相互作用(如动物迁徙)。而该框架同时提供了社会经济和环境相互作用的信息,因此它有助于权衡社会经济和环境影响,从而实现社会经济和环境的可持续发展(如人类福祉和生物多样性保护)(Carter et al. 2012, United Nations Environment Programme 2011)。

该框架将发送、接收和外溢系统看作一个统一的远程耦合网络系统,而不只是发送和/或接收系统

由于之前很少研究外溢系统,该框架因包括外溢系统而开辟了新的研究领域和方法。例如,该框架认为,之前只针对发送和接收系统的双边协议,也应该考虑外溢系统。在大豆贸易例子中,除了巴西和中国分别作为大豆输出国和接收国,外溢系统(如美国,主要大豆生产国和传统上的大豆出口国)也同样受到环境和社会经济影响,因为中国从巴西进口大豆影响中国从美国的大豆进口。

该框架有助于评估多个系统社会经济和环境之间的权衡和协同作用,而不只局限于一个系统

例如,有人呼吁消费本地商品和产品以支持当地生产商并减少长途运输对环境的影响(Halweil 2002)。但也有一些人认为购买外地商品可以支持远方系统的可持续性(如购买可持续咖啡)(Giovannucci and Ponte 2005)。还有人认为依赖当地农产品可能会危及粮食安全而且会失去利用粮食高产区来减少环境影响的机会(DesRochers and Shimizu 2012, MacMillan 2012)。事实上,权衡本地和全球采购食品之间的关系是复杂的,而且主要取决于系统本身。例如,最新研究表明,只有在温室气体排放强度较低的地区强调本地消费才有可能减少全球温室气体排放(M. Avetisyan, T. W. Hertel, and G. Sampson, unpublished manuscript)。了解远程耦合的协同和权衡作用将有助于减少把对其它系统的负面影响降到最低。

该框架有助于促进可持续政策,因为它明确地将远距离的相互作用看作反馈,而不只是单方向影响

反馈是维持系统可持续性的重要机制。事实上,政策可以用于反馈来引导系统向可持续性迈进。该框架明确考虑反馈,它可以帮助研究人员和决策者评估发送、接收和外溢系统中反馈的存在及其有效性。例如,发展中国家实行跨国土地交易政策,在政策实施初期有利于地方经济,但后来当国外投资市场带来的正反馈导致过度利用本地资源时,就会造成社会不平等和土地退化(Baird 2011)。因此,制订新政策时应该注重启动负反馈,这样才能减少土地退化和社会不平等。

该框架有利于研究不同类型远程相互作用之间的关系,而不只是针对一种相互作用

远程耦合是一个包括各种远程相互作用(如贸易、物种入侵、移民(Linderman et al. 2005)和旅游(He et al. 2008; Table 2))的综合概念。类似于生态系统服务这样的综合概念,生态系统服务包含了自然界给人类提供的各种福利,并有助于研究不同类型生态服务之间的关系(如固碳、食物供给、授粉、水净化、以及娱乐休闲)(Daily 1997, Liu et al. 2008)。远程耦合框架有助于对不同类型的远距离相互作用及其关系进行系统性的跨学科研究。例如,它可以促进贸易与动物迁徙之间的合作研究。采用树荫栽种的方式生产咖啡用于贸易的种植园已为候鸟提供栖息地(Perfecto et al. 1996)。同时,候鸟在种植园的出现成为生物多样性友好咖啡的标志,为环保主义者提供了贸易新市场,从而推动了贸易发展(Rice and Ward 1996)。

通过从本质上对其它相关理论框架(如Elinor Ostrom及其同事建立的制度分析与发展(Institutional Analysis and Development,即IAD)框架(Anderies et al. 2004, Ostrom 2005, 2011))的扩展,本文提出的远程耦合框架标志着一个重要的概念研究进展。IAD提供了一个分析结构,帮助理解不同机构(即正式的使用中的规则)如何影响公用的和本地使用的资源。从远程耦合的角度来看,有些机构可以被理解为社会经济的反馈机制,通过结果中产生的信息来调整规则,来实现社会目标。从这一点来看,远程耦合框架增加生物物理反馈,从而影响IAD研究中通常只考虑本地系统以外的流。此外,远程耦合框架不同于IAD框架的另一个方面是,它认为在相互联系日益紧密的远距离耦合系统中,必须包括具有反馈的外溢系统和相互作用(Liu and Diamond 2005, Henry and Dietz 2011)。

将远距离相互作用看成远程耦合有助于发现知识空白并促进可持续性的研究和管理。远程耦合框架扩展了传统上远距离相互作用的研究,开辟了新的研究领域,并可以发现许多隐藏的影响。先前的研究要么注重社会经济问题(如贸易、外国直接投资、技术转让、人类迁移),要么注重环境/生态问题(如动物迁徙),尽管社会经济和环境影响同时存在。远程耦合有不同的种类,它们都对可持续性(表2)有着深远的影响。

推动远程耦合研究

远程耦合为可持续发展科学及其应用(如保护、开发、提供生态系统服务、适应和缓解气候变化、生物入侵控制、能源利用、土地利用和水资源利用)提供了独特的挑战和难得的机会。许多关于远程耦合的重要而复杂的问题有待解决(表3)。例如,远程耦合是如何产生的?它们如何随时间而变化?它们如何消失?它们如何互相影响?在什么情况下远程耦合能增强或减弱其可持续性?具有哪些特性的系统可能成为远程耦合的发送、接收或外溢系统?各远程耦合之间有那些相似和不同?

关于远程耦合的研究存在着大量的知识空白。例如,尽管对全球贸易的研究相当普遍,它的很多影响仍是未知数。虽然计算用于生产贸易农产品所占的土地面积很有用(Meyfroidt et al. 2010),但是,由于不同土地覆盖类型中的碳储量、生物地球化学和人类福祉的差别很大,仅仅考虑土地面积不能衡量很多重要的环境和社会经济影响(Meyfroidt et al. 2010)。而且,多数研究都未考虑或认识到外溢系统的存在。然而,远程耦合对外溢系统的影响有时甚至比对接收和发送系统的影响更大。外溢系统跨越广阔空间连接和传递远程耦合的影响,它对从本地到全球各个层面的可持续发展可以发挥关键作用。此外,耦合系统之间的跨部门连接仍是一个尚未研究的领域。例如,农业部门的粮食-饲料-燃料的连接,以及在发送、接收和外溢系统中农业-能源

-金融之间的广泛联系(如生物燃料、金融投资和土地商品之间的关系)。

表 2 远程耦合的远距离相互作用以及发送、接收和外溢系统与可持续性的实际/假设关系举例。以前仅仅对远程耦合的某些属性进行过研究,大多数属性尚不清楚。为简化起见,省略系统之间的反馈

远程耦合的远距离相互作用	与发送、接收和外溢系统可持续性的关系
货物和产品贸易(如食品、木材、药品、和矿石)	发送系统中制造商品和产品消耗资源(如土地、水和劳动力),而且生产过程中释放污染物,社会经济可持续性可能会提高,但环境可持续性可能会受到损害。而接收系统中环境质量可能会提高,但社会经济利益(如失业)可能会受到影响。外溢系统的可持续性可能会受到不同方式的影响,取决于与发送和接收系统的关系。
投资开发(外国直接投资)	开发投资在接收系统中可能会刺激经济市场和资源利用(如对农业生产和制造设施)但也影响环境;在发送系统中可能会(也可能不会)使经济增长或资源开发放慢;可能以不同的方式影响外溢系统。
跨国土地使用权转让	跨国土地使用权转让(如跨国土地交易或土地侵占)可能不利于发送系统土地管理和土地保有制,并对人民生活和环境产生负面影响,但在接收系统中促进粮食和能源安全并改善环境,可能以不同的方式影响外溢系统。
保护投资	保护投资(如生态系统服务付费)在接收系统中可以保护和恢复环境可持续性,在发送系统中可能会(也可能不会)破坏可持续性,可能以不同的方式影响外溢系统。
技术转让	技术创新在发送系统中可能会因为资源(如土地、水、能源和人力资源)消耗而导致社会经济和环境后果。在接收和外溢系统中,技术实施(如新灌溉法,新一代汽车电池)可能会影响环境和社会经济的可持续性。
知识传播	知识传播(如理论、技术、改革、治理和管理方法)在接收和外溢系统中可能会影响资源的利用方式,促进环境和社会经济的可持续性(如通过提高效率)。在筹资和认知方面,发送系统可能受益也可能受到困扰。
人类迁移	人类迁移可能会(也可能不会)放弃发送系统(如土地和其它资源),并占有接收系统(如就业)。资源消耗也从发送系统转移到接收系统,两个系统的可持续性都受到影响。对外溢系统可持续性的影响可能不同,取决于它们与发送和接收系统的关系。
旅游	旅游业(如景区、饭店、宾馆)及相关的基础设施(如道路)在接收和外溢系统中得以发展并促进社会经济的可持续性,但对环境可持续性存在潜在威胁。发送系统也可能受到影响(如资金流向接收和外溢系统,人们因外出而减少在家乡的资源消耗,从而有益于环境)。
废物转移	废弃物(如电子垃圾、大气污染和污水)转移可能会减少发送系统中对环境和人类健康的影响;但在接收和外溢系统中,可能会污染生态系统(如垃圾填埋场)并危害人类健康,对可持续性产生负面影响。
物种入侵	外来入侵物种占据接收和外溢系统,改变土地利用和土地覆盖、海洋生态系统、水质和水量、生态系统服务、经济收益、以及生物多样性,从而影响可持续性。发送系统可能会由接收和外溢系统的反馈而受到影响[如巴西(发送系统)从美国(接收系统)进口灭蚊灵(环戊二烯的衍生物)来控制起源于南美巴西的红火蚁]。
动物迁徙	动物迁徙(如候鸟和有蹄类动物迁徙)在每年的不同时期利用发送、接收和外溢系统(如中途停留地)。迁徙可能影响生态系统过程和环境可持续性。由于动物迁徙可能传播疾病,破坏农作物,因而可能影响社会经济可持续性。
远距离调水	调水设施可能修建在发送、接收和外溢系统中的(如水渠、水库),可能影响各系统中的土地利用、水资源利用、生物多样性和经济增长。调水增加接收和外溢系统中的供水能力,也增加污染物扩散和物种入侵,减少发送系统中的水资源。
物种扩散	物种扩散可能降低发送方系统中动物、植物、或微生物物种的密度,但有利于增加物种在接收和外溢系统(如扩散走廊)中的密度。根据系统的具体特征,物种密度的变化可以改善也可以危害系统中的环境和社会经济可持续性。
大气环流	大气环流可能影响发送、接收和外溢系统的环境和社会经济可持续性。例子包括水量和水质的变化(如蒸发)、土地覆盖(如发送系统土壤流失和接收系统土壤沉淀)和生态系统服务(如输送酸雨等污染物)。

表 3 深入研究远程耦合与可持续性的问题举例

问题	
远程耦合系统构成	
系统	远程耦合中的系统具备哪些属性才能成为这个远程耦合的发送、接收或者外溢系统?发送、接收或外溢系统之间的空间关系如何影响其自身的状态以及远程耦合的强度?
流	远程耦合的流如何随时间和空间的变化而演变?远程耦合中各种流之间如何相互作用(例如增强或减弱)?远程耦合中各种流之间有什么相似和不同?
代理	代理如何随时间和空间而变化?各代理之间是如何相互影响的?为了应对远程耦合的影响和变化,代理如何改变自身的行为?代理之间的社会网络是如何形成的而且如何维持?

续表	
问题	
原因	影响远程耦合变化及其相互作用的主要因素是什么？有哪些重要因素促成远程耦合的形成和解体？这些因素是怎样相互作用并随时间而变化？
影响	从本地到全球各层面远程耦合如何影响社会经济和环境可持续性？远程耦合与本地耦合对可持续性的相对重要性是什么？远程耦合对可持续性的级联效应是什么？时间延迟和遗产效应是如何产生的？什么是发送、接收和外溢系统之间的反馈？远程耦合作用如何改变远程耦合系统的恢复力和脆弱性？
启示	
对科学研究	远程耦合如何出现、演变和消失？远程耦合如何抵消或增强发送、接收和外溢系统的可持续性？是否可以同时实现发送、接收和外溢系统的可持续性？远程耦合如何随时间和空间而变化？远程耦合如何强化和削弱可持续性的其它因素？一个系统的增益是否会被另一个系统所抵消？不同学科领域专家怎样进行合作才能更好地理解复杂的远程人类与自然耦合系统？可持续发展科学团体如何有效促进远程耦合研究？如何更好地确定外溢系统并将其纳入可持续性研究模型？
对政策、管理、和治理	如何将远程耦合理论应用于从本地到全球各个层面的可持续发展决策和治理进程之中？各级机构如何加强远程耦合对可持续性的积极影响并减少其负面影响？如何将不同的耦合系统作为远程耦合系统来综合管理和治理？出台哪些新政策才能更有效地管控远程耦合以实现可持续性？

与本地耦合相比,远程耦合研究(表3)和管理(表4)更具挑战性,因为它们更加复杂,在多尺度多系统中涉及了多个流、多个代理、多种原因和多重影响,而且通常跨越行政和政治边界。本地耦合的管理方法与具有强大影响力的远程耦合的管理方法存在很大不同。对于只有本地耦合的系统,当灾害发生时系统可能缺乏恢复能力。耦合系统可以作为资源库来补充因灾害几乎灭绝物种的种群。当地人文基础设施被摧毁时,耦合系统也可以作为信息流、物流和能流的来源。然而,当耦合系统消失或受到破坏并且无法替代时,完全依赖耦合系统可能也会遇到风险。例如,当进口国对产品的需求因国际竞争而减少时,美国许多生产设施不得不停止运行,因此给当地经济和人类福祉造成严重影响(Minchin 2009)。在本地耦合和远程耦合同时存在的系统中,评价它们之间互相平衡的程度相当重要。

表 4 本地耦合与远程耦合的区别

	本地耦合	远程耦合
人类与自然耦合系统的数量	一个	两个或两个以上
代理、原因、影响、和流	本地	本地和远方
本地以外可选择的生活资源	无	有
依赖本地资源的风险	高	低
管理和治理的复杂性	低	高

将本地耦合和远程耦合综合并同时纳入到决策过程中可以提高适应能力。这种综合有助于地方、国家和国际(如联合国、世界银行和世界贸易组织)等各级政府和组织创造新机制和/或改革现有机制。有些寻求对远距离相互作用影响进行管理的国际政策,如濒危野生动植物国际贸易公约(CITES)和降低因森林砍伐和退化所产生的二氧化碳排放(REDD),这两个政策都与国际间影响可持续性的物流(即濒危物种、碳和林产品)的相关规定有关。然而,这些政策往往只侧重于特定的社会经济和环境影响,很少试图从综合远程耦合的角度制定政策,尽管从远程耦合的角度出发,能有助于理解和解决发送、接收和外溢系统中的多个影响和反馈等问题。

推进远程耦合研究的优先课题包括:(1)研究远程耦合可持续性新理论和新方法的开发与综合,如反馈如何影响多系统动态;(2)远程耦合的知识创新,洞悉远程耦合系统的变化,如在发送、接收和外溢系统之间的商品贸易如何影响人类与环境;(3)探索不同远程耦合之间的复杂关系,如物种入侵、贸易、迁移、疾病蔓延、生态系统服务流量;(4)探讨跨系统多尺度耦合系统的可持续发展战略。

在远程耦合的背景下研究和促进可持续发展需要开创新的研究领域。这些新领域包括:(1)采用远程耦合框架;(2)改变研究方法,从侧重局部研究转变到基于网络的远程耦合系统研究,如从对个别地点的研究扩

展到连接多个地点的研究,并从多站点比较研究变成跨系统的综合研究;(3)加强发送、接收和外溢系统中研究人员和利益相关者之间的合作。远程耦合系统是一种网络,因此网络科学为理解远程耦合系统提供了极其有用的理论和方法(Bodin and Prell 2011)。研究远程耦合可以填补许多研究空白,诸如:分析日益普及的社交网络对远距离资源利用造成的生态后果,预测未来土地利用和用水情况来帮助解决世界上粮食和生物燃料生产造成的土地和水资源短缺问题。

远程耦合框架可以引导出新的分析方法并改善现有的分析方法。例如,基于代理模型(Agent-based model)已被广泛用于研究土地变化和人类与自然耦合系统(Chen et al. 2012; Filatova et al., in press),,但其中的代理主要局限于一个人类与自然耦合系统之中。而远程耦合框架强调在研究耦合系统中土地变化和动态时,要求必须纳入远距离耦合系统中代理(或称远程代理)之间的相互作用。同样,过去的情景分析和预测通常只考虑一个耦合系统内各部分及其相互作用(Millennium Ecosystem Assessment 2005, Moss et al. 2010)。从远程耦合的角度分析有助于模拟出更加逼真的情景并得出更准确的预测结果来更好地反映当前这个远程耦合不断增加的世界。

系统综合将不同学科综合在一起对远程耦合系统中各方面的数据进行研究,这将更有助于对远程耦合的理解。例如,系统模型可以用于探索远程耦合政策方案的长期后果,因而可以从不同尺度增加正面影响并降低负面影响,并对可持续发展的方式进行评估来适应远程耦合的变化。在全球和国家层面的研究可以提供一个远程耦合的大背景,而在区域和本地层面的研究可以针对特定系统来详细了解远程耦合中的耦合系统、流、代理、原因和影响。例如,虽然在国际层面有一些关于土地利用转换的研究(Meyfroidt et al. 2010, Lambin and Meyfroidt 2011),主要是关于森林砍伐(DeFries et al. 2010),很少有将国家、区域和地方尺度的研究结果同时又连接到全球尺度上分析(Rudel 2005, Rudel et al. 2005, DeFries et al. 2010)。采取多尺度系统方法可以跟踪远程耦合的变化。研究远程耦合也可以受益于组合分析法(Young et al. 2006),这种方法为发展多学科研究提供了有用的理论基础和方法,因为没有一种方法是万能的(Verburg et al. 2008)。此外,现代通信技术(如社交网络工具)建立了一个“众包”平台(van der Velde et al. 2012),便于更具有参与性和透明性的方式进行研究和治理,从而产生积极的社会经济和环境效果。

结论

远程耦合框架提供了一个更加广泛的分析方法,它从跨地区到全球各个层面对影响可持续性的远距离社会经济和环境相互作用进行综合研究。它明确考虑了横跨发送、接收和外溢系统内同时发生环境和社会经济相互作用。作为通用的逻辑语言,远程耦合框架在各种人类和自然因素(如土地、水、气候、能源、空气、人类和生物)情况下综合了各种远距离相互作用(如贸易、物种入侵、疾病传播、生态系统服务的流动)。正如联合国秘书长高级全球可持续发展小组(2012年)和国际科学理事会(2010年)发表的报告所倡导的,远程耦合框架提供了一种将互相联系、反馈、以及社会经济和环境效益及成本进行全盘考虑的有效手段。很多远程耦合之间存在复杂的相互关系,它们无法从单独研究一种远距离相互作用中得到理解,因此远程耦合框架也有助于发现新见解。在这个远程耦合不断增加的世界,理解远程耦对实现全球可持续性具有重要意义。

致谢:感谢美国国家科学基金会、密西根州立大学、美国能源部科学办公室、和密歇根州立大学农业生物研究所的科研资助。感谢 Anthony Janetos、Harini Nagendra、Phil Robertson 和 Robert Walker 为本研究提出的宝贵意见。

参考文献(References):

- Adger, W. N., H. Eakin, and A. Winkels. 2009. Nested and teleconnected vulnerabilities to environmental change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:150-157.
- Aker, J. 2008. *Does digital divide or provide? The impact of cell phones on grain markets in Niger*. Working Paper 154, Center for Global Development,

- Washington, D.C., USA. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1093374>
- Alberti, M., H. Asbjornsen, L. A. Baker, N. Brozović, L. E. Drinkwater, S. A. Drzyzga, C. A. Jantz, J. Fragoso, D. S. Holland, T. A. Kohler, J. Liu, W. J. McConnell, H. D. G. Maschner, J. D. A. Millington, M. Monticino, G. Podestá, R. G. Pontius Jr., C. L. Redman, N. J. Reo, D. Sailor, and G. Urquhart. 2011. Research on coupled human and natural systems (CHANS): approach, challenges, and strategies. *Bulletin of the Ecological Society of America* 92:218-228. <http://dx.doi.org/10.1890/0012-9623-92.2.218>
- Altieri, M. A., and W. A. Pengue. 2005. *Roundup ready soybean in Latin America: a machine of hunger, deforestation and socio-ecological devastation*. RAP-AL, Montevideo, Uruguay. [online] URL: <http://webs.chasque.net/~rapaluy1/transgenicos/Prensa/Roundupready.html>
- Alves, B. J. R., R. M. Boddey, and S. Urquiaga. 2003. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil* 252:1-9. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024191913296>
- Alves, B. J. R., L. Zotarelli, F. M. Fernandes, J. C. Heckler, R. A. T. Macedo, R. M. Boddey, C. P. Jantalia, and S. Urquiaga. 2006. Biological nitrogen fixation and nitrogen fertilizer on the nitrogen balance of soybean, maize and cotton. [Title translated from Portuguese.] *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41:449-456. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000300011>
- Anderies, J. M., M. A. Janssen, and E. Ostrom. 2004. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society* 9(1): 18. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/>
- Ascunce, M. S., C.-C. Yang, J. Oakey, L. Calcaterra, W.-J. Wu, C.-J. Shih, J. Goudet, K. G. Ross, and D. Shoemaker. 2011. Global invasion history of the fire ant *Solenopsis invicta*. *Science* 331:1066-1068. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1198734>
- Baird, I. G. 2011. Turning land into capital, turning people into labour: primitive accumulation and the arrival of large-scale economic land concessions in the Lao People's Democratic Republic. *New Proposals: Journal of Marxism and Interdisciplinary Inquiry* 5:10-26.
- Banse, M., H. van Meijl, A. Tabeau, and G. Woltjer. 2008. Will EU biofuel policies affect global agricultural markets? *European Review of Agricultural Economics* 35:117-141. <http://dx.doi.org/10.1093/erae/jbn023>
- Batistella, M., and E. L. Bolfe. 2010. Elos de Cooperação. Pages 9-12 in M. Batistella and E. L. Bolfe, editors. *Paralelos: Corredor de Nacala*. v. 1. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, São Paulo, Brazil. [online] URL: http://www.cnpem.embrapa.br/projetos/mocambique/download/ebook_paralelos/Livro_Paralelos.html
- Bodin, Ö., and C. Prell. 2011. *Social networks and natural resource management: uncovering the social fabric of environmental governance*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511894985>
- Brainard, L., and J. H. Welch. 2012. Brazil and China: clouds on the horizon. *America's Quarterly*, 24 January. [online URL: <http://www.americasquarterly.org/node/3255>
- Brown-Lima, C., M. Cooney, and D. Cleary. 2010. *An overview of the Brazil-China soybean trade and its strategic implications for conservation*. The Nature Conservancy, Washington, D.C., USA.
- Callaway, R. M., and W. M. Ridenour. 2004. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:436-443. [http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0436:NWISAT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0436:NWISAT]2.0.CO;2)
- Callcott, A. M. A., S. D. Porter, R. D. Weeks, L. C. Graham, S. J. Johnson, and L. E. Gilbert. 2011. Fire ant decapitating fly cooperative release programs (1994-2008): two Pseudacteon species, *P. tricuspid* and *P. curvatus*, rapidly expand across imported fire ant populations in the southeastern United States. *Journal of Insect Science* 11(19):1-25. <http://dx.doi.org/10.1673/031.011.0119>
- Carter, N. H., B. K. Shrestha, J. B. Karki, N. M. B. Pradhan, and J. Liu. 2012. Coexistence between wildlife and humans at fine spatial scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109:15360-15365.
- Chen, X., F. Lupi, L. An, R. Sheely, A. Vina, and J. G. Liu. 2012. Agent-based modeling of the effects of social norms on enrollment in payments for ecosystem services. *Ecological Modelling* 229:16-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.06.007>
- Crosby, A. W. 1986. *Ecological imperialism: the biological expansion of Europe, 900-1900*. Cambridge University Press, UK.
- Daily, G., editor. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- DeFries, R. S., T. Rudel, M. Uriarte, and M. Hansen. 2010. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience* 3:178-181. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo756>
- DesRochers, P., and H. Shimizu. 2012. *The locavore's dilemma: in praise of the 10,000-mile diet*. PublicAffairs, New York, New York, USA.
- Dreher, A., N. Gaston, and P. Martens. 2008. Measuring globalisation: gauging its consequences. Springer, New York, New York, USA. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-74069-0>
- Eakin, H., A. Winkels, and J. Sendzimir. 2009. Nested vulnerability: exploring cross-scale linkages and vulnerability teleconnections in Mexican and Vietnamese coffee systems. *Environmental Science & Policy* 12:398-412. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2008.09.003>
- Eisler, R. 2007. *Eisler's encyclopedia of environmentally hazardous priority chemicals*. Elsevier Science, Amsterdam. The Netherlands.
- Feng, H., and B. A. Babcock. 2010. Impacts of ethanol on planted acreage in market equilibrium. *American Journal of Agricultural Economics* 92:789-802. <http://dx.doi.org/10.1093/ajae/aaq023>
- Filatova, T., P. H. Verburg, D. C. Parker, and C. A. Stannard. In press. Spatial agent-based models for socio-ecological systems: challenges and prospects. *Environmental Modelling & Software*. [online] URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213000807>
- Galerani, P. R., and C. Bragantini. 2007. Transfer of tropical agricultural technologies from Brazil to African Countries. Pages 1391-1398 in *African Crop Science Conference Proceedings*. African Crop Science Society, El-Minia, Egypt.

- Giovannucci, D., and S. Ponte. 2005. Standards as a new form of social contract? Sustainability initiatives in the coffee industry. *Food Policy* 30:284-301. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2005.05.007>
- Glantz, M. H., R. W. Katz, and N. Nicholls. 1991. *Teleconnections linking worldwide climate anomalies*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GRAIN. 2012. *Who will feed China: agribusiness or its own farmers? Decisions in Beijing echo around the world*. GRAIN, Barcelona, Spain. [online] URL: <http://www.grain.org/article/entries/4546-who-will-feed-china-agribusiness-or-its-own-farmers-decisions-in-beijing-echo-around-the-world>
- Haas, P. M. 1993. Epistemic communities and the dynamics of international environmental cooperation. Pages 168-201 in V. Rittberger and P. Mayer, editors. *Regime theory and international relations*. Oxford University Press, New York, New York, USA.
- Halweil, B. 2002. *Home grown: the case for local food in a global market*. Worldwatch Institute, Washington, D.C., USA.
- He, G., X. Chen, W. Liu, S. Bearer, S. Zhou, L. Y. Cheng, H. Zhang, Z. Ouyang, and J. Liu. 2008. Distribution of economic benefits from ecotourism: a case study of Wolong Nature Reserve for giant pandas in China. *Environmental Management* 42:1017-1025. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-008-9214-3>
- Henry, A. D., and T. Dietz. 2011. Information, networks, and the complexity of trust in commons governance. *International Journal of the Commons* 5:188-212.
- Hertel, T. W., and T. Mirza. 2009. The role of trade facilitation in South Asian economic integration. Pages 12-39 in *Study on intraregional trade and investment in South Asia*. The Asian Development Bank, Manila, Philippines.
- Horan, R. D., and F. Lupi. 2005. Tradeable risk permits to prevent future introductions of invasive alien species into the Great Lakes. *Ecological Economics* 52:289-304. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.06.018>
- Hornborg, A., J. R. McNeill, and J. M. Alier. 2007. *Rethinking environmental history: world-system history and global environmental change*. Altamira Press, Walnut Creek, California, USA.
- International Council for Science. 2010. *Earth system science for global sustainability: the grand challenges*. International Council for Science, Paris, France.
- Jackson, M. O., and A. Watts. 2002. The evolution of social and economic networks. *Journal of Economic Theory* 106:265-295. <http://dx.doi.org/10.1006/jeth.2001.2903>
- Jones, P. G., and P. K. Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13:51-59. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)
- Kastner, T., K.-H. Erb, and S. Nonhebel. 2011. International wood trade and forest change: a global analysis. *Global Environmental Change* 21:947-956. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.05.003>
- Kates, R. W., W. C. Clark, R. Corell, J. M. Hall, C. C. Jaeger, I. Lowe, J. J. McCarthy, H. J. Schellnhuber, B. Bolin, N. M. Dickson, S. Faucheux, G. C. Gallopin, A. Grubler, B. Huntley, J. Jäger, N. S. Jodha, R. E. Kasperson, A. Mabogunje, P. Matson, H. Mooney, B. Moore III, T. O' Riordan, and U. Svedin. 2001. Sustainability science. *Science* 292:641-642. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1059386>
- Konar, M., C. Dalin, S. Suweis, N. Hanasaki, A. Rinaldo, and I. Rodriguez-Iturbe. 2011. Water for food: the global virtual water trade network. *Water Resources Research* 47:W05520. <http://dx.doi.org/10.1029/2010WR010307>
- Laland, K. N., K. Sterelny, J. Odling-Smee, W. Hoppitt, and T. Uller. 2011. Cause and effect in biology revisited: is Mayr's proximate-ultimate dichotomy still useful? *Science* 334:1512-1516. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1210879>
- Lambin, E. F., and P. Meyfroidt. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108:3465-3472. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Lenzen, M., D. Moran, K. Kanemoto, B. Foran, L. Lobefaro, and A. Geschke. 2012. International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 486:109-112. <http://dx.doi.org/10.1038/nature11145>
- Levitt, T. 1983. The globalization of markets. *Harvard Business Review* 61:92-102.
- Li, Q., and R. Reuveny. 2003. Economic globalization and democracy: an empirical analysis. *British Journal of Political Science* 33:29-54. <http://dx.doi.org/10.1017/S0007123403000024>
- Lima, M., M. Skutsch, and G. de Medeiros Costa. 2011. Deforestation and the social impacts of soy for biodiesel: perspectives of farmers in the South Brazilian Amazon. *Ecology and Society* 16(4):4. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04366-160404>
- Linderman, M. A., L. An, S. Bearer, G. He, Z. Ouyang, and J. Liu. 2005. Modeling the spatio-temporal dynamics and interactions of households, landscapes, and giant panda habitat. *Ecological Modelling* 183:47-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.026>
- Liu, J. 2010. China's road to sustainability. *Science* 328:50. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1186234>
- Liu, J., and J. Diamond. 2005. China's environment in a globalizing world. *Nature* 435:1179-1186. <http://dx.doi.org/10.1038/4351179a>
- Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Schneider, and W. W. Taylor. 2007b. Complexity of coupled human and natural systems. *Science* 317:1513-1516. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1144004>
- Liu, J., T. Dietz, S. R. Carpenter, C. Folke, M. Alberti, C. L. Redman, S. H. Schneider, E. Ostrom, A. N. Pell, J. Lubchenco, W. W. Taylor, Z. Ouyang, P. Deadman, T. Kratz, and W. Provencher. 2007a. Coupled human and natural systems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 36:639-649.
- Liu, J., S. Li, Z. Ouyang, C. Tam, and X. Chen. 2008. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:9477-9482. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0706436105>

- Liu, J., W. McConnell, and T. Baerwald, organizers. 2011. Symposium on "Telecoupling of Human and Natural Systems" at the meeting of the American Association for the Advancement of Science. [online] URL: <http://aaas.confex.com/aaas/2011/webprogram/Session2889.html>
- Liu, J., and W. Yang. 2012. Water sustainability for China and beyond. *Science* 337:649-650. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1219471>
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas, and M. D. Poorter. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the Global Invasive Species Database. Invasive Species Specialist Group (ISSG), Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), Auckland, New Zealand. [online] URL: http://www.issg.org/database/species/reference_files/100English.pdf
- Macedo, M. N., R. S. DeFries, D. C. Morton, C. M. Stickler, G. L. Galford, and Y. E. Shimabukuro. 2012. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109:1341-1346. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1111374109>
- MacMillan, T. 2012. Food security: eating globally. *Nature* 486:30-31. <http://dx.doi.org/10.1038/486030a>
- Margolis, M., J. F. Shogren, and C. Fischer. 2005. How trade politics affect invasive species control. *Ecological Economics* 52:305-313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.07.017>
- Markin, G. P., J. Oneal, and H. Collins. 1974. Effects of mirex on the general ant fauna of a treated area in Louisiana. *Environmental Entomology* 3:895-898.
- Martinelli, L. A., R. Naylor, P. M. Vitousek, and P. Moutinho. 2010. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2:431-438. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2010.09.008>
- Meyfroidt, P., T. K. Rudel, and E. F. Lambin. 2010. Forest transitions, trade, and the global displacement of land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107:20917-20922. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1014773107>
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, D.C., USA.
- Milstien, J. B., M. Kaddar, and M. P. Kieny. 2006. The impact of globalization on vaccine development and availability. *Health Affairs* 25:1061-1069. <http://dx.doi.org/10.1377/hlthaff.25.4.1061>
- Minchin, T. J. 2009. 'It knocked this city to its knees': the closure of Pillowtex Mills in Kannapolis, North Carolina and the decline of the US textile industry. *Labor History* 50:287-311. <http://dx.doi.org/10.1080/00236560903020906>
- Moran, E. F. 2010. *Environmental social science: human-environment interactions and sustainability*. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, USA.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant, and T. J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747-756. <http://dx.doi.org/10.1038/nature08823>
- National Research Council. 2012. *Ecosystem services: charting a path to sustainability*. National Academies, Washington, D.C., USA.
- National Science Foundation Advisory Committee for Environmental Research and Education. 2009. *Transitions and tipping points in complex environmental systems: a report*. National Science Foundation, Arlington, Virginia, USA.
- Nelson, G. C. 2005. Drivers of ecosystem change: summary chapter. Pages 73-76 in R. Hassan, R. Scholes, and N. Ash, editors. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Island Press, Washington, D.C. USA.
- Nentwig, W. 2007. Pathways in animal invasions. Pages 11-27 in W. Nentwig, editor. *Biological invasions*. Springer, Berlin, Germany. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2_2
- Niu, H. 2010. Emerging global partnership: Brazil and China. *Revista Brasileira De Política Internacional* 53:183-192. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-73292010000300011>
- Ostrom, E. 2005. *Understanding institutional diversity*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Ostrom, E. 2011. Background on the institutional analysis and development framework. *Policy Studies Journal* 39:7-27. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-0072.2010.00394.x>
- Perfecto, I., R. A. Rice, R. Greenberg, and M. E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46:598-608. <http://dx.doi.org/10.2307/1312989>
- Reid, W. V., D. Chen, L. Goldfarb, H. Hackmann, Y. T. Lee, K. Mokhele, E. Ostrom, K. Raivio, J. Rockström, H. Schellnhuber, and A. Whyte. 2010. Earth system science for global sustainability: grand challenges. *Science* 330:916-917. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1196263>
- Rice, R. A. and J. Ward. 1996. *Coffee, conservation, and commerce in the western hemisphere: how individuals and institutions can promote ecologically sound farming and forest management in northern Latin America*. Smithsonian Migratory Bird Center, Washington, D.C., USA.
- Rudel, T. K. 2005. Tropical forests: regional paths of destruction and regeneration in the late twentieth century. Columbia University Press, New York, New York, USA.
- Rudel, T. K., O. T. Coomes, E. Moran, F. Achard, A. Angelsen, J. Xu, and E. Lambin. 2005. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change* 15:23-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.11.001>
- Rudel, T. K., L. Schneider, M. Uriarte, B. L. Turner II, R. DeFries, D. Lawrence, J. Geoghegan, S. Hecht, A. Ickowitz, E. F. Lambin, T. Birkenholtz, S. Baptista, and R. Grau. 2009. Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970-2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:20675-20680. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0812540106>
- Seto, K. C., A. Reenberg, C. G. Boone, M. Fragkias, D. Haase, T. Langanke, P. Marcotullio, D. K. Munroe, B. Olah, and D. Simon. 2012. Urban land teleconnections and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109:7687-7692. <http://dx.doi.org/>

10.1073/pnas.1117622109

- Swinton, S. M., B. A. Babcock, L. K. James, and V. Bandaru. 2011. Higher US crop prices trigger little area expansion so marginal land for biofuel crops is limited. *Energy Policy* 39:5254-5258. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.039>
- Turner, B. L., II, R. E. Kasperson, P. A. Matson, J. J. McCarthy, R. W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, J. X. Kasperson, A. Luers, M. L. Martello, C. Polsky, A. Pulsipher, and A. Schiller. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100:8074-8079. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2012. *World urbanization prospects: the 2011 revision*. United Nations, New York, New York, USA. [online] URL: <http://esa.un.org/unup/CD-ROM/Urban-Rural-Population.htm>
- United Nations Environment Programme. 2011. *Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. [online] URL: http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger_final_dec_2011/Green%20EconomyReport_Final_Dec2011.pdf
- United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability. 2012. *Resilient people, resilient planet: a future worth choosing*. United Nations, New York, New York, USA.
- United Nations Statistics Division. 2012. *UNcomtrade: United Nations Commodity Trade Statistics Database*. Statistics Division, United Nations, New York, New York, USA. [online] URL: <http://comtrade.un.org/db>
- United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. 2010. *Production, supply and distribution online (PSD)*. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. [online] URL: <http://www.fas.usda.gov/psdonline>
- Vander Meer, R. K., T. Slowik, and H. Thorvilson. 2002. Semiochemicals released by electrically stimulated red imported fire ants, *Solenopsis invicta*. *Journal of Chemical Ecology* 28:2585-2600. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021448522147>
- van der Velde, M., L. See, and S. Fritz. 2012. Conservation: citizens add to satellite forest maps. *Nature* 490:342. <http://dx.doi.org/10.1038/490342a>
- Van Kooten, G. C., H. W. Nelson, and I. Vertinsky. 2005. Certification of sustainable forest management practices: a global perspective on why countries certify. *Forest Policy and Economics* 7:857-867. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2004.04.003>
- Verburg, P. H., B. Eickhout, and H. van Meijl. 2008. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *Annals of Regional Science* 42:57-77. <http://dx.doi.org/10.1007/s00168-007-0136-4>
- Vinson, S. 1997. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): spread, biology, and impact. *American Entomologist* 43:23-39.
- Walker, B., C. S. Holling, S. R. Carpenter, and A. Kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9(2): 5. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>
- Westphal, M. I., M. Browne, K. MacKinnon, and I. Noble. 2008. The link between international trade and the global distribution of invasive alien species. *Biological Invasions* 10:391-398. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-007-9138-5>
- Young, O. R., E. F. Lambin, F. Alcock, H. Haberl, S. I. Karlsson, W. J. McConnell, T. Myint, C. Pahl-Wostl, C. Polsky, P. S. Ramakrishnan, H. Schroeder, M. Scouvar, and P. H. Verburg. 2006. A portfolio approach to analyzing complex human-environment interactions: institutions and land change. *Ecology and Society* 11(2): 31. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art31/>
- Zhang, Z., and Z. Liu. 2009. China's soybean demand and supply: current situation and projection for the next 10 years. *Soybean Science and Technology* 2009:16-21. [Titles translated from Chinese.]
- Zhu, C., and G. Feng. 2003. *Case studies of policies and management of the green for grain programme in China*. [Title translated from Chinese.] Science Press, Beijing, China.
- Zhu, C., R. Taylor, and G. Feng. 2004. *China's wood market, trade and the environment*. Science Press USA, Monmouth Junction, New Jersey, USA.