

基于上升性理论的高校机构间 科技合作整体效果研究

苏 芳

[摘要] 科学研究中的合作趋势越来越明显, 科研合作在广度和深度上都在拓展, 但对于机构间合作整体效果的评估仍缺少更简明、易操作、实用的方法与指标。本文基于生态经济学研究中广泛应用的上升性理论, 提出评估机构间科学合作的方法与指数, 以中国 36 所研究型大学 2000 ~ 2015 年科研合作整体效果评估为例, 进行评估模型与评估指数的实证分析, 并讨论了该评估模型与指数对于知识分析的理论与实践意义。

[关键词] 上升性理论; 知识分析; 文献计量; S 指数

[中图分类号] G644 [文献标识码] A [文章编号] 1006—012X (2016) —06—0181 (05)

[作者] 苏 芳, 副教授, 博士, 兰州理工大学经济管理学院, 甘肃兰州 730050

文献计量学作为一种定量计量工具, 在科学研究中应用广泛。经过 30 多年的发展, 我国文献计量学基本形成了研究、教育和实际应用全面发展的良好局面, 并不断取得新的进展, 已成为图书情报与科学评价领域中一个重要的分支学科。^[1]1977 年, “社会网络分析国际网络” (International Network for Social Network Analysis, INSNA) 作为社会网络分析研究领域的国际性组织宣告成立, 标志着社会网络分析进入了一个繁荣发展时期。正像社会网络分析对社会网络行动者的界定一样, 当社会网络分析应用于文献计量学领域后, 社会网络中的行动者 (节点) 就可以是文献的具体作者, 也可以是作者所在的机构。考虑到近年来机构间合作对于科研绩效的促进, 研究者在借助社会网络分析研究文献作者间的合著关系和作者合著网络结构的同时, 也将社会网络分析的相关理论引入了科研机构合作关系的研究。

社会网络分析在这一领域的应用对于大学等研究机构的科研政策制定、科研能力的评价以及科研工作发展的强化和深化产生了积极的促进作用。然而, 在机构合作方面, 当前

学术界普遍存在着重视成果数量、忽视成果质量的现状, 也缺乏机构合作对科学工作的整体效果定量评估, 没有明确评价当前或是未来的合作对科学进步的作用与发展潜力。生态学家 Ulanowicz (1980)^[2]以信息论为工具, 基于系统网络流量图, 量化了系统的效率和恢复力, 并根据这两种属性之间的损益关系, 推导了度量系统可持续的衡量标准, 开发了上升性、发展能力、恢复力和可持续性反映系统整体结构特征的指标。本文将引入上升性理论, 并利用上升性理论模型, 构建评估文献计量中机构合作的整体性效果的指数, 系统评估当前机构间科学合作的现状及未来合作对科学发展的贡献潜力。

一、上升性理论模型

上升性理论是以网络流为对象定量研究增长与发展的理论。增长通常暗含增加或扩张, 可能是空间范围的扩大、也可能是流量媒介的扩大。^[3 4]网络流量的增长可通过测量分室

数目和系统总吞吐量 T 来衡量。一般来说, 系统总吞吐量 T 更为重要。发展的含义比增长深刻一些。在这里发展的解释集中在独立于系统大小的成分, 定义为系统组织的增强。从网络流的角度看, 发展意味着各结点之间能进行清晰明确的物质、信息和能量交换。当已知事件 b_i 发生的不确定性及事件 a_j 发生时 b_i 发生的不确定性时, 事件 b 的不确定性经事件 a 改进后得到的平均相互信息 A , 可用式 (1) 表示。

$$A = K \sum_{i=0}^{n+2n+2} \sum_{j=0}^{n+2n+2} \left(\frac{T_{ij}}{T} \right) \log \left(\frac{T_{ij} T}{T_j T_i} \right) \quad (1)$$

其中, $f_{ji} = T_{ji} / T_j$ 表示由 j 室流入 i 室的量占有从 j 室流出的量的份额; $Q_j = T_j / T$, 表示所有从 j 室流出的量占系统总吞吐量 T 的份额; $Q_i = T_i / T$, 表示所有流入 i 室的量占系统总吞吐量 T 的份额。同时, K 的引入是为了标度参数的尺度, [5] 当对数底数取 2 时, K 为 1bit (比特, 信息单位); 当对数底数取自然对数时, K 为 1nat (奈特, 信息量的自然单位); 当对数底数取 10 时, K 为 1 hartley (哈特利, 信息量单位)。由于在网络流分析中, 系统总吞吐量已经用来表征网络的大小, 用 T 取代 K , [6] 将 f_{ji} 、 Q_j 及 Q_i 代入式 (1), 可得式 (2)。

$$A = T \sum_{i=0}^{n+2n+2} \sum_{j=0}^{n+2n+2} f_{ij} Q_j \log \left(\frac{f_{ij}}{Q_j} \right) \quad (2)$$

式 (2) 中的 A , 即 Ulanowicz 定义的上升性。由于增长与发展在网络流量系统中可用网络的大小和组织表示, 因此, 可用上升性定量解释增长与发展。在生态系统的实例研究中, Ulanowicz (2000) [7] 发现, 上升性 A 同 Odum 关于成熟的生态系统的 24 个属性的相关性很好。这表明, 在缺乏明显干扰的情况下, 系统是按照上升性增加的方向发展的。式 (2) 进一步可以变形为:

$$A = - \sum_{i=0}^n Q_j \log Q_j - \left[- \sum_{i=0}^{n+2n+2} \sum_{j=0}^{n+2n+2} f_{ij} \log \left(f_{ij} / Q_j \right) \right] \quad (3)$$

Ulanowicz 进一步定义式 (3) 右边第一项为系统的发展能力 (C), 见式 (4)。影响发展能力 C 增长的因素是系统总吞吐量 T 和多样性 H , 多样性 H 通常采用熵指数计算, 见式 (5)。

$$C = - \sum_{j=0}^n Q_j \log Q_j \quad (4)$$

$$H = - \sum_{j=0}^n Q_j \log Q_j \quad (5)$$

系统总吞吐量 T 和多样性 H 同时也限制上升性 A 的提高。根据对数函数的凹度, C 、 A 及式 (3) 右边中括号内的部分均为非负, 说明 C 可以作为 A 的一个上限。因此, 一个系统

的演化总是朝其理论上限 C 的方向发展, 但由于各种各样的原因, 上升性和发展能力之间总存在一个差距, 这个差距称为杂项 (φ), 即:

$$\varphi = - \sum_{i=0}^{n+2n+2} \sum_{j=0}^{n+2n+2} f_{ij} Q_j \log \left(\frac{f_{ij}}{Q_j} \right) \quad (6)$$

Ulanowicz 还进一步对上升性、发展能力和系统的杂项开支等分输入、输出和中间过程等阶段进行了区分, 并探讨了如上升性、发展能力和系统的杂项开支的完整性、对称性等很多有用的性质, 同时在考虑时间维、空间维、介质维时的上升性进行了理论上的探讨, 但是在实际操作中还有许多问题有待解决, 如对空间的细化会大大增加计算量。[8]

二、基于上升性理论的机构合作效果评估模型

1. 上升性理论在文献计量机构合作评估中的适用性

对系统科学的长期观察与对自组织系统的研究, 网络分析方法适用于所有物质-能量-信息流系统, 源于这类系统在行为方式与发展动力方面具有强相似性。[9] 对以热力学、信息论、网络分析等为基础的上升性理论, 通过将系统抽象成一个网络, 从定量描述网络系统的增长与发展, 衍生一系列的描述系统行为的指标, 从宏观上刻画了系统状态。网络中增长通常暗含增长或扩张, 可能是空间范围的扩大也可能是流量媒介的扩大。上升性理论自提出以来, 被广泛应用于生态和经济系统的研究中, [10-12] 采用信息论、信息熵的方法在文献计量的研究中不断出现, [13-19] 但在国际合作、机构合作的文献计量研究中仍缺少有力的定量结果说明当时科学合作的效果如何。[20-24]

系统的效率和恢复力是整体结构特征所表现出来的根本属性。系统的上升性是全面量化系统受到的约束程度的一个指标, 是对系统的强度效应采用广延效应进行标度转化而得到, 它反映了系统的效率。从复杂性的角度来看, 反映的是系统复杂性中的有序部分。同时, 系统的增长和发展不可能无限地继续下去, 真实系统上升性的增加可能会逐渐变慢甚至降低。系统的发展能力是上升性变化的上限, 表述的是系统整体的复杂性。发展能力与上升性的差值反映了系统内部所具有的自由度和灵活性。反观科学研究的机构间合作关系, 也存在类似的特征: 长期来看, 机构合作必将促进相关学科领域的良性发展, 而机构合作的灵活与自由程度对合作

的效果有着非常重要的影响作用;同时,也应当注意到科学合作将受众多因素的影响,如知识生产能力、文化认同、地域空间、社会制度等,不可能无限增长下去。同样是以信息流为介质的机构合作社会网络关系,同样适用于上升性理论分析方法。

2. 模型构建与 S 指数

上升性理论与模型分析的基础是网络流量图,而常用的文献计量方法与分析软件能够很便利地得到机构合作网。假定机构合作网络上的节点为 T_{ij} ,则评估机构合作整体性效果的 S 指数计算方法如下:

$$S_A = \sum_{i=0}^{n+2n+2} \sum_{j=0} T_{ij} \log \left(\frac{T_{ij} T}{T_i T_j} \right) \quad (7)$$

$$S_C = - \sum_{i=0}^{n+2} T_{ij} \log \left(\frac{T_{ij}}{T} \right) \quad (8)$$

$$S_H = - \sum_{i=0}^{n+2} \frac{T_{ij}}{T} \log \left(\frac{T_{ij}}{T} \right) \quad (9)$$

式(7)中, S_A 为机构合作上升性, n 为合作机构数, T_{ij} 为从第 j 个机构与第 i 个合作机构间合作的文献数, T 为机构间合作的文献总量。其中, $T_j = \sum_i T_{ij}$, $T = \sum_i T_i = \sum_j T_j$ 。在缺少明显干扰的情况下,机构间科学合作是按照上升性增加的方向发展的。但任何系统都不可能无限上升,进一步定义机构间合作的发展能力 S_C 为机构间合作文献总量 T 与机构合作多样性 S_H 的乘积,它为机构科学合作的上限。而机构合作的上升性和发展能力之间总存在一个差距,可以将其定义为机构合作的潜力 S_ϕ (与 S_C 、 S_A 单位相同):

$$S_\phi = S_C - S_A \quad (10)$$

三、中国 36 所高校科研合作的整体效果评估

1. 数据来源与处理

作为创新活动主体之一的大学,尤其是研究型大学,其独特的科学技术研究及开发功能的重要性日益凸显。善于与其他学校合作的大学,一定是拥有巨大资源的学校,也一定是一个有着巨大科研潜能的学校。^[25 26]为了说明机构合作机构整体效果 S 评估指数的科学性与合理性,笔者选择本文文献 [23] 中《中国 36 所高校科技合作研究》36 所研究型大学 2000~2015 年的科研合作数据进行案例分析,以展示 S 指数的实用性与易操作性(见表 1)。

表 1 中国 36 所研究型大学

城市/省	NO.	大学名称	缩写	城市/省	NO.	大学名称	缩写
北京	1	清华大学	THU	吉林省	19	吉林大学	JLU
	2	北京大学	PKU	黑龙江省	20	哈尔滨工业大学	HIT
	3	北京师范大学	BNU	江苏省	21	南京大学	NJU
	4	中国协和医科大学	CPUMC		22	东南大学	SEU
	5	北京航空航天大学	BUAA	浙江省	23	浙江大学	ZJU
	6	中国人民大学	RMUC	安徽省	24	中国科技大学	USTC
	7	中国农业大学	CAU	福建省	25	厦门大学	XMU
	8	北京理工大学	BIT	山东省	26	山东大学	SDU
上海	9	上海交通大学	SJTU	湖北省	27	华中科技大学	HZUST
	10	复旦大学	FDU		28	武汉大学	WHU
	11	同济大学	TJUI		29	中国地质大学	CUG
	12	华东师范大学	ECNU	湖南省	30	中南大学	CSU
	13	华东理工大学	ECUST	广东省	31	中山大学	SYU
天津	14	天津大学	TJU		32	华南理工大学	SCUT
	15	南开大学	NKU	四川省	33	四川大学	SCU
重庆	16	重庆大学	CQU	陕西省	34	西安交通大学	XJTU
辽宁省	17	大连理工大学	DUT		35	西北工业大学	NWPU
	18	东北大学	NEU	甘肃省	36	兰州大学	LZU

注:据本文文献 [23] 整理。其中,序号为 29 的中国地质大学,包括其北京校区部分。

文献 [23] 利用中国期刊全文数据库 (CJFD) 中 36 所研究型大学两两合作的文章,得到机构合作的初始矩阵,并通过传统的点度中心性、中间中心性、亲近中心性等指标评估了高校独立科研能力、科研合作控制能力。同时,利用 UCINET 软件测算了合作网络的相关值,并通过合作频次和核心-边缘矩阵的分析指出,处于合作网络边缘的众多高校的科研能力有待发展与提高。但是,该研究结果并未对 36 所研究型大学科研合作的整体效果、未来合作的发展潜力情况给出明确评估结果,无法从政策层面上引导处于“边缘”与“核心”位置上的科研机构间的合作。

2. 机构合作整体效果 S 指数测算与分析

基于本文建立的机构合作整体效果模型,利用文献 [23] 中得到的机构合作矩阵,可以测算 36 所研究型大学机构合作整体效果 S 指数。得到 S_A 、 S_C 、 S_ϕ 分别为: 1031.27 篇 hartley, 10728.7 篇 hartley, 9697.41 篇 hartley。毋庸置疑,合作能够更好地促进科技的发展。文献 [23] 中指出,中国高校间缺乏合作,2000~2015 年,36 所研究型大学合作的科技论文总量 (T) 仅为 4024 篇,合作最频次最高的仅为 81 次。^[27]而依据本文的研究结果来看,36 所高校间的合作潜力巨大,表征的机构间合作整体效果 S_A 仅为机构间合作发展能力上升 S_C 的 10%,机构间合作的潜力空间仍很大,机构合作科技发展的作用尚未完全发挥,应当继续鼓励和强化机构间的科技

合作,提升创新体系能力。

四、结论与对策

随着科学的不断分化、综合以及在大科学时代科学日新月异的发展,科学合作日渐成为科学研究的主流,并大大促进了科学技术的发展。党的十八大、十八届三中全会反复强调科技资源整合及协同创新的重要作用,广大的科研工作者与科研机构肩负重任,而评估、监测科研机构间的合作效果的意义也显得尤为重要。

从本文的研究结论来看,当前的科学研究与管理、文献计量分析中尚缺少能够明确评估机构间合作整体效果的实用、易操作的指标,而基于上升性理论提出的机构间合作效果评估S指数,在一定程度上推进了该方面的研究进展。从对中国36所研究型大学2000~2015年机构合作整体效果评估的案例来分析, S指数较好地量化了机构间合作的整体效果与未来机构合作的潜力。为了加强高校机构间技术合作与交流,应从以下几个方面强化合作机制。

1. 建立健全管理体制

高校科技合作与交流的核心,就是相对完善的管理制度体系,这主要包括国家层面、区域层面的指导性文件以及高校合作交流的科研资助计划项目、资金、知识产权等一系列管理办法。而建立健全管理体制,是一项非常复杂的系统工程,需要统筹规划,并确实考虑与有关法律条款的衔接与配套。

2. 完善资源保障制度

高校科技合作与交流发挥作用的基础在于完善的资源保障,高校合作与交流中资源保障的内容是不断变化与发展的,它不仅包括实体资源,也包括无形的信息资源。为了加强高校合作交流,完善的数据管理系统是必不可少的。这不仅包括科研合作所需的基础设施、实验设备、科研基金和专门技术人才,而且在信息资源方面,应建立高校之间的信息共享机制,保障信息流通的高效与流畅。

3. 建立专业化的管理队伍

要真正实现高校合作的良性运转,就必须建立起一支专业化、具有科研与管理双重能力的管理队伍。因为高校科技合作与交流是一项非常复杂的工作,这就要求管理队伍的业

务能力相对较高,并且熟悉高校合作与交流的相关政策、交流途径以及合作规则。

4. 建立完善的公共服务平台

如果可以建立跨学校、跨部门、跨机构的科技合作与信息交流平台,那么高校获取最新、最前沿的合作信息就有了非常便利的途径和渠道。同时,依托信息平台可以为高校有针对性地提供专业技术人员培训及中介服务,从而实现高效机构之间合作的高效与稳定。

对于更深入的研究工作,可以通过定期评估与监测研究机构合作的发展状况,深入研究考察、分析科学合作活动的规律,在完善当前的文献计量方法体系的同时,可以作为制定引导机构合作政策强有力的科学支撑,促进区域内、跨区域及国际间的科技合作创新,提高科技合作强度,提升国家创新体系能力。

参考文献:

- [1] 张志强,冷伏海,刘清,高峰,邓勇,张树良. 知识分析及其应用发展趋势研究[J]. 情报科学, 2010, (07): 1100-1107.
- [2] [3] Ulanowicz R E. An Hypothesis on the Development of Natural Communities [J]. Journal of Theoretical Biology, 1980, (85): 223-245.
- [4] Ulanowicz R E. Growth and Development, Biosystems Phenomenology [M]. New York: Springer-Verlag, 1986. 45-48.
- [5] Ulanowicz R E, Sally J. Goerner, et al. Quantifying Sustainability: Resilience, Efficiency and the Return of Information Theory [J]. Ecological Complexity, 2009, (06): 27-36.
- [6] [8] 黄茹莉,徐中民. 上升性理论简介[J]. 开发研究, 2008, (01): 83-85.
- [7] Ulanowicz R E. Toward the Measurement of Ecological Integrity [M]. Washington DC: Island Press, 2000. 99-113.
- [9] Gunter, P. A. Y. From Being to Becoming [M]. San Francisco: W. H. Freeman, 1980. 65-75.
- [10] Templet P H. Energy, Diversity and Development in Economic Systems: An Empirical Analysis [J]. Ecology Economics, 1999, 30 (02): 223-233.

- [11] Zhongmin Xu, Cheng G D, Chen D J, et al. Development Capacity and Sustainable Development of China [J]. Ecology Economics, 2002, 40 (03): 369-378.
- [12] 黄茄莉, 徐中民, 王康. 甘州区社会经济系统水循环研究 [J]. 水利学报, 2010, (09): 1114-1120.
- [13] 周兆经. 最大熵原理在情报检索中的应用 [J]. 情报学刊, 1993, (01): 37-38.
- [14] 雷会珠, 陈桂荣, 姚立会. 科研情报中的信息熵 [J]. 中国农学通报, 2007, (09): 586-589.
- [15] 余贵华, 徐宝祥, 郑荣. 关于信息和熵基本性质的辨析及哲学思考 [J]. 情报科学, 2009, (05): 770-773.
- [16] 蒋永福. 熵与“文献熵”——关于文献信息系统的熵理论思考 [J]. 情报学刊, 1989, (05): 77-79.
- [17] 王晖. 基于熵值法的国内高等师范院校档案学研究论文分析 [J]. 湖北师范学院学报(哲学社会科学版), 2011, (01): 138-140.
- [18] 蒋永福. 文献熵及其控制浅论 [J]. 图书馆理论与实践, 1990, (01): 16-19.
- [19] 雷会珠, 陈桂荣, 琚彤军. 信息熵在竞争情报计量分析中的应用 [J]. 情报杂志, 2008, (05): 73-75.
- [20] 陈悦, 刘则渊, 姜照华, 隆连堂. 各地区知识生产合作的定量分析 [J]. 科学学研究, 2005, (S1): 68-71.
- [21] 唐霞, 张志强, 王金平, 王勤花. 基于文献计量的国际河流水资源研究发展态势 [J]. 水资源与水工程学报, 2013, (02): 124-128.
- [22] 郭永正. 学科层面国际合作结构的中印比较 [J]. 科学学与科学技术管理, 2013, (02): 70-79.
- [23] Arunachalam S, Gunasekaran S. Diabetes Research in India and China Today: From Literature-based Mapping to Health-care Policy [J]. Current Science, 2002, 82 (09): 1086-1097.
- [24] He T W. International Scientific Collaboration of China with the G7 Countries [J]. Scientometrics, 2009, 80 (03): 573-584.
- [25] 刘则渊, 陈悦. 科学知识图谱 [M]. 北京: 人民出版社, 2007. 125-128.
- [26] 尚海洋, 张志强. 国际山区发展政策与制度热点分析 [J]. 世界科技研究与发展, 2011, (04): 679-682.
- [27] 孙志茹, 张志强. 文献计量法在战略情报研究中的应用分析 [J]. 情报理论与实践, 2008, (05): 706-710.

The Cooperation Effect of Inter-agency in Scientific Based on Ascendancy Formula

SU Fang

(School of Economics and Management, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: With the development of scientific cooperation and enhancement of depth and breadth on cooperation, the assessment on overall effect of inter-agency cooperation is still lack of more concise, operable, practical methods and indicators. Based on the “ascendancy formula” which is widely used in ecological economics, the article proposes methods and index to evaluate scientific cooperation. By the evaluation of scientific collaboration for 36 research universities in 2000-2015, the research conducts empirical analysis on evaluation model and evaluation index, and proposes practical significance of these model and index on knowledge-analysis.

Key Words: ascendancy formula; knowledge analysis; bibliometrics; s-Index

责任编辑: 陈明