

· 综 述 ·

主体建模在公共卫生领域的应用现状

邓强宇, 康 鹏综述, 张鹭鹭审校

[摘要] 主体建模(Agent-based modeling)是近年来公共卫生复杂系统问题领域的新建模方法,为解决全球性公共卫生问题带来了诸多启发。相比国外研究,国内在此方面研究和应用相对不足。为增加国内学者对该方法的了解,文章系统检索和分析了相关研究文献,从发展历程、建模软件、研究机构、应用领域等方面对主体建模在传染性疾病、慢性非传染性疾病等公共卫生领域的应用现状进行综述。

[关键词] 主体建模;公共卫生;应用;传染性疾病;慢性非传染性疾病

[中图分类号] R197.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-271X(2017)06-0611-04

[DOI] 10.3969/j.issn.1672-271X.2017.06.013

目前,公共卫生领域的研究大多还采用一些单纯因果关系的线性研究方法,其对于多因素复杂公共卫生问题的研究存在明显不足。随着计算机科学的发展,复杂性建模方法应运而生并逐渐得到广泛应用。2017年7月,《柳叶刀》刊发专家评论文章,呼吁采用复杂性建模方法来应对全球公共卫生领域的挑战,并提及主体建模(Agent-based modeling)在复杂性建模领域的重要作用,指出其能够综合多种证据,对拥有非独立、反馈、涌现等现象的复杂系统进行深入研究^[1]。主体(Agent)是具有自我适应能力,能够与环境产生交互作用的特定微观模型。主体建模是从自适应性主体的相互作用规律出发,研究复杂性、非线性、不确定性系统内在规律的一种建模方法。本文通过系统检索 pubmed、web of science、Sinomed、维普数据库中近 10 年中相关中英文文献,总结归纳了主体建模在公共卫生领域的应用现状。

1 主体建模

1.1 发展历程 主体建模起源于数学等学科的重要发现,发展于多学科复杂系统问题的模拟,目前逐渐应用于公共卫生研究领域。主体建模是一种“自底向上”的新兴建模方法。利用计算机仿真方

法,从系统中微观个体的性质、个体与环境、以及个体与个体之间的相互作用,研究宏观整体系统中无法预测的、合乎实际的涌现现象等复杂问题。虽然主体建模的创建可追溯到 20 世纪期间数学、哲学以及计算机科学的重要发现,如元胞自动机、生命游戏模型,但却是复杂系统建模三大方法的最新方法(另外两种是系统动力学建模和网络建模)。最早成功使用主体建模研究复杂系统问题的是 Reynolds 的飞鸟群体模型^[2]。后逐步应用于多种学科的研究,尤其擅长分析组织、社会、文化、政治、商业和经济的群体涌现特性。

主体建模在公共卫生领域的复杂问题研究中应用广泛。公共卫生领域较早采用主体建模研究的是美国学者 Agar 等^[3]在 2001 年开展的针对美国巴尔的摩市非裔美国人的海洛因流行规律研究。过去 5~10 年是主体建模等系统科学方法在公共卫生领域应用的迅速发展时期^[4]。该方法在从肥胖到烟草控制等公共卫生决策方面产生了极高的应用价值^[5]。目前,主体建模广泛用于公共卫生领域中的传染病流行、人群行为以及疾病扩散的建模研究,并逐步引用了 GIS 系统和社会网络信息在模型中^[6],能够开展包含一个社区或国家的全人群的超大规模仿真^[7]。因此,主体建模是一种多学科交叉的新兴研究方法。

1.2 建模软件 大部分主体建模是通过面向对象的编程软件来实现,这些软件大多具有可视化建模环境。常用的主体建模软件有 Swarm、Repast、NetLogo、AnyLogic 等。Swarm 是美国圣塔菲研究所开发的一款多主体建模软件,能提供丰富的类库,其编程采用面向对象的 C 语言^[8]。Repast 是由美国芝加哥大学研发,其建模语言为 Java,编程难度相对

基金项目: 国家自然科学基金(71774167)

作者单位: 200433 上海,海军军医大学(第二军医大学)卫生勤务学系卫生勤务学教研室

通信作者: 张鹭鹭, E-mail: zllmit@aliyun.com

引用格式: 邓强宇,康 鹏,张鹭鹭.主体建模在公共卫生领域的应用现状[J].东南国防医药,2017,19(6): 611-614.

较低,包含空间库等多类库,具有可视化 Agent 编辑器,现已发展成为一个通用的主体仿真平台^[9]。NetLogo 由美国西北大学研发,完全使用 Java 语言编程,适合对复杂系统的时间演化规律进行建模仿真,其模型涉及主体、空间表达和仿真推进三个方面^[10]。AnyLogic 由俄罗斯 XJ Technologies 公司开发,是一款完整支持多方法联合建模的软件,能够全面支持离散事件建模、基于智能体建模、系统动力学建模三大建模方法,是一款高效实用的建模软件,其建模语言为 Java,可视化程度高^[11]。多样化的建模软件为主体建模解决公共卫生问题提供了坚实基础。

1.3 研究机构 主体建模在公共卫生领域的应用需要良好的系统建模基础和较强的公共卫生研究基础。美国的主要研究机构包括美国国家卫生中心、密歇根大学社会流行病和人群健康研究中心、哥伦比亚大学 Mailman 公共卫生学院、匹兹堡大学公共卫生动力学实验室、约翰霍普金斯医学院灾害事件预警与响应研究中心^[5]。除此之外,伦敦热带卫生与热带医学学院、加拿大西蒙弗雷泽大学、澳大利亚悉尼大学、英国格拉斯哥大学、剑桥大学饮食和运动研究中心也是研究主体建模在公共卫生卫生领域应用的主要研究机构^[1]。总体来讲,目前主体建模在公共卫生领域的应用主要集中在欧美发达国家。

2 应用领域

2.1 传染性疾病建模 主体建模被应用于从个体到全球流行等不同规模的疾病传播研究中。相比传统的 SIR 流行病模型,主体模型已经证明了社会网络、交通系统、地理环境、多样化个体行为对疾病传播的重要作用。主体建模能强调个体行为与社会环境之间大规模的复杂交互特征,是目前传染性疾病研究中最前沿的建模方法^[12]。Lee 等^[13]构建了 H1N1 流行中疫苗分配政策模型,来比较当疫苗供应不足时,高危个体和高危感染性儿童的不同接种优先权所导致的感染率、住院率和总体经济损失的不同。Lee 等^[14]同样发现短期的学校停课对于流感的控制往往适得其反,只有较长时间的停课才能保证长期有效的疫苗接种。Lee 等^[15]还发现大公司生成 H1N1 疫苗较多个小公司生成疫苗更有效率。Tuite 等^[16]利用主体模型研究加拿大本土居民社区中肺结核的流行情况。DePasse 等^[17]构建了主体模型研究不同流感疫苗的选择对美国疾病负担和成本效果的影响。Wares 等^[18]利用主体建模评

价了在出院透析单元中不同的感染预防策略。Siettos 等^[19]借助主体建模研究了 2014 年非洲埃博拉病毒的流行特征,并进行了趋势预测。Sanstead 等^[20]利用主体模型研究了百日咳的发病趋势。总体来讲,主体建模为传染性疾病的防控带来了新的研究思路。

2.2 慢性非传染性疾病建模 近年来,主体建模已经开始应用于慢性病、健康行为的研究^[21]。肥胖等慢性非传染性疾病是全球性新兴公共卫生问题,单一的干预措施往往很难达到控制效果,需要饮食、运动、健康服务等多方面的综合治理。目前的研究大多还停留在单因素、短期、个体水平、线性的研究,对复杂性研究不足,但公共卫生领域的研究者应该给政策制定者和实施者提供考虑了社会实际特性的综合的强有力的证据。虽然个体水平的随机对照研究相对直接,但其不可能随机出整个人群水平的干预措施,如国家含糖饮料税收水平、体育锻炼基础设施的覆盖、空间建筑的规划、公共交通的改进等对人群肥胖的影响。Yang 等^[22]构建主体模型研究社会和建筑环境对个人步行行为的影响以及个人运动量与疾病风险的关系,同时研究了个体之间的交互反馈作用,如个人步行数量随着他人步行数量的增加而增加。Auchincloss 等^[23]构建主体模型研究人群食物偏好、食物价格、收入水平对健康食物消费的影响,证明除了收入水平以外,对于健康食物的偏好和廉价食物的可获得性同样影响健康食物消费。该模型有利于研究数据缺乏时社会因素对健康的影响。Giabbanelli 等^[24]提出采用主体模型来研究针对人群食物行为的公共政策。Hennessy 等^[25]构建了主体模型研究儿童肥胖问题的干预措施。由此可见,主体建模在慢性非传染性疾病的因素分析中也应用广泛。

2.3 其他公共卫生问题建模 除传染性疾病和慢性非传染性疾病的建模研究以外,主体建模在其他公共卫生问题研究上也应用广泛。Barbrook-Johnson 等^[26]研究了舆情传播对于公共卫生危机中人群行为的影响。Megidido 等^[27]采用主体建模分析了印度癫痫治疗中公费支出所产生的健康和经济效益。Keyes 等^[28]构建主体模型研究了纽约市饮酒税的实施对于人群暴力和谋杀发生率的影响。Guclu 等^[29]利用主体模型研究了灾害对于人群初级卫生保健可及性的影响。Grebaut 等^[30]利用主体模型研究了嗜睡病的防控策略。Ernecoff 等^[31]利用主体模型研究了高级卫生保健计划对于人群健康行为的改变。Blok 等^[32]借助主体建模研究了减少

人群健康食物消费不平等的干预策略。An 等^[33]利用主体模型研究了炎症与肿瘤之间的关系。Zhang 等^[34]借用主体模型研究了城区成年人中不健康饮食习惯的不同干预策略。Demarest 等^[35]构建了空间-时间主体模型研究发展中国家乡村地区水资源和健康的关系。主体建模逐渐应用于人群健康行为、卫生经济、卫生保健等公共卫生其他方面。

3 结 语

计算机建模和系统科学是超越传统的定量和定性研究的新兴科研手段。主体建模作为复杂性科学系统建模中新兴的建模方法,能够为传染性疾病、慢性非传染性疾病等公共卫生领域的复杂问题提供创新性研究思路。政府应增加对主体建模方法研究公共卫生问题项目的支持。研究者应该熟练掌握主体建模方法,进一步丰富和发展其在公共卫生领域的应用,并促进公众认识到这种方法对于公共卫生学科的诸多益处,为公共卫生问题的防控提供新的应对方案。最终,主体建模有望提供有力的“仿真实验室”,为不同类型的公共卫生实践项目、科学研究、政策制定提供传统方法不能提供的有力证据。

【参考文献】

- [1] Rutter H, Savona N, Glonti K, *et al.* The need for a complex systems model of evidence for public health[J]. *Lancet*, 2017, doi: org/10.1016/S0140-6736(17)31267-9.
- [2] CW R. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model[J]. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 1987, 21: 25-34.
- [3] Agar M, Reisinger HS. Using trend theory to explain heroin use trend[J]. *J Psychoactive Drugs*, 2001, 33(3): 203-211.
- [4] Lich KH, Ginexi EM, Osgood ND. A call to address complexity in prevention science research [J]. *Prev Sci*, 2013, 14: 279-289.
- [5] Maglio PP, Mabry PL. Agent-based models and systems science approaches to public health[J]. *Am J Prev Med*, 2011, 40(3): 392-394.
- [6] Delre SA, Jager W, Bijmolt THA, *et al.* Will it spread or not? The effects of social influences and network topology on innovation diffusion[J]. *J Product Man*, 2010, 27: 267-282.
- [7] Cajka JC, Cooley PC, Wheaton WD. Attribute assignment to a synthetic population in support of agent-based disease modeling [J]. *Methods Rep RTI Press*, 2010, 19(1009): 1-14.
- [8] 赵爱华. 基于 Swarm 的地震灾后救援系统仿真[D]. 中国地质大学(北京), 2009.
- [9] 蒋慧超, 韦兆文. 基于 Repast 平台的多 Agent 仿真建模研究[J]. *计算机技术与发展*, 2008, 18(11): 250-253.
- [10] 赵春晓, 钟 宁, 郝 莹. 基于 NetLogo 平台的 HIV 治疗模型[J]. *计算机科学*, 2008, 135(14): 283-284.
- [11] Lee S, Son YJ, Jin J. An Integrated Human Decision Making Model for Evacuation Scenarios under a BDI Framework[J]. *Acm Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 2010, 20(4): 1-24.
- [12] JM E. Modelling to contain pandemics [J]. *Nature*, 2009, 460: 687.
- [13] Lee BY, Brown ST, Korch GW, *et al.* A computer simulation of vaccine prioritization, allocation, and rationing during the 2009 H1N1 influenza pandemic [J]. *Vaccine*, 2010, 28(31): 4875-4879.
- [14] Lee BY, Brown ST, Cooley P, *et al.* Simulating school closure strategies to mitigate an influenza epidemic[J]. *J Public Health Man Practice*, 2010, 16: 252-261.
- [15] Lee BY, Brown ST, Cooley P, *et al.* A Computer Simulation of Employee Vaccination to Mitigate an Influenza Epidemic [J]. *Ame J Preventive Med*, 2010, 38(3): 247-257.
- [16] Tuite AR, Gallant V, Randell E, *et al.* Stochastic agent-based modeling of tuberculosis in Canadian Indigenous communities [J]. *BMC Public Health*, 2017, 17(1): 73.
- [17] DePasse JV, Smith KJ, Raviotta JM, *et al.* Does Choice of Influenza Vaccine Type Change Disease Burden and Cost-Effectiveness in the United States? An Agent-Based Modeling Study[J]. *Am J Epidemiol*, 2017, 185(9): 822-831.
- [18] Wares JR, Lawson B, Shemin D, *et al.* Evaluating Infection Prevention Strategies in Out-Patient Dialysis Units Using Agent-Based Modeling[J]. *Plos One*, 2016, 11(5): 1-13.
- [19] Siettos C, Anastassopoulou C, Russo L, *et al.* Modeling the 2014 Ebola Virus Epidemic-Agent-Based Simulations, Temporal Analysis and Future Predictions for Liberia and Sierra Leone [J]. *PLoS Curr*, 2015, 7: 1-12.
- [20] Sanstead E, Kenyon C, Rowley S, *et al.* Understanding Trends in Pertussis Incidence: An Agent-Based Model Approach [J]. *Am J Public Health*, 2015, 105(9): 42-47.
- [21] Gorman DM, Mezic J, Mezic I, *et al.* Agent-based modeling of drinking behavior: a preliminary model and potential applications to theory and practice [J]. *Am J Public Health*, 2006, 96: 2055-2060.
- [22] Yang Y, Roux AVD, Auchincloss AH, *et al.* A spatial agent-based model for the simulation of adults' daily walking within a city[J]. *Am J Prev Med*, 2011, 40: 353-361.
- [23] Auchincloss AH, Riolo R, Brown DG, *et al.* An agent-based model of income inequalities in diet in the context of residential

- segregation[J]. Am J Prev Med, 2010, 40(3): 303-311.
- [24] Giabbanelli PJ, Crutzen R. Using Agent-Based Models to Develop Public Policy about Food Behaviours: Future Directions and Recommendations[J]. Comput Math Methods Med, 2017, 1-12.
- [25] Hennessy E, Ornstein JT, Economos CD, *et al.* Designing an Agent-Based Model for Childhood Obesity Interventions: A Case Study of Child Obesity180[J]. Prev Chronic Dis, 2016, 13: 4.
- [26] Barbrook-Johnson P, Badham J, Gilbert N. Uses of Agent-Based Modeling for Health Communication: the TELL ME Case Study [J]. Health Commun, 2017, 32(8): 939-944.
- [27] Megiddo I, Colson A, Chisholm D, *et al.* Health and economic benefits of public financing of epilepsy treatment in India: An agent-based simulation model [J]. Epilepsia, 2016, 57(3): 464-474.
- [28] Keyes KM, Tracy M, Cerda M. Agent-Based Model of Alcohol Taxation Effects on Violence and Homicide in New York City[J]. Alcoh Clin Exper Res, 2016, 40: 282.
- [29] Guclu H, Kumar S, Galloway D, *et al.* An Agent-Based Model for Addressing the Impact of a Disaster on Access to Primary Care Services[J]. Disaster Med Public Health Prep, 2016, 10(3): 386-393.
- [30] Grebaut P, Girardin K, Federico V, *et al.* Simulating the elimination of sleeping sickness with an agent-based model[J]. Parasite, 2016, 23: 63.
- [31] Ernecoff NC, Keane CR, Albert SM. Health behavior change in advance care planning: an agent-based model[J]. BMC Public Health, 2016, 16: 193.
- [32] Blok DJ, Vlas SJ, Bakker R, *et al.* Reducing Income Inequalities in Food Consumption: Explorations With an Agent-Based Model[J]. Am J Prev Med, 2015, 49(4): 605-613.
- [33] An G, Kulkarni S. An agent-based modeling framework linking inflammation and cancer using evolutionary principles: description of a generative hierarchy for the hallmarks of cancer and developing a bridge between mechanism and epidemiological data[J]. Math Biosci, 2015, 260: 16-24.
- [34] Zhang D, Giabbanelli PJ, Arah OA, *et al.* Impact of different policies on unhealthy dietary behaviors in an urban adult population: an agent-based simulation model [J]. Am J Public Health, 2014, 104(7): 1217-1222.
- [35] Demarest J, Pagsuyoin S, Learmonth G, *et al.* Development of a Spatial and Temporal Agent-Based Model for Studying Water and Health Relationships: The Case Study of Two Villages in Limpopo, South Africa [J]. J Artif Soc Soc Simul, 2013, 16(4): 1-12.

(收稿日期:2017-07-04; 修回日期:2017-08-21)

(本文编辑:刘玉巧)