

doi:10.13582/j.cnki.1672-7835.2014.03.007

■ 哲学法律

贝叶斯主义科学方法论的解题功能及困境^①

程和祥

(南京大学 哲学系,江苏 南京 210023)

摘 要:贝叶斯主义兴起于 20 世纪 30 年代,在 90 年代得到复兴,目前已成为科学方法论的重要研究纲领。在科学推理领域,贝叶斯主义具有如下优势:能够将传统科学方法论中的重要直觉形式化;避开传统科学方法论中的困难;解决传统科学方法论中的“未解之谜”。但它也面临旧证据问题、逻辑全知问题和简单性问题以及可列可加性问题等困境。当前贝叶斯主义的研究活力主要表现在两个方面:认知科学中的贝叶斯推理和人工智能领域中的贝叶斯网络研究。

关键词:贝叶斯主义;功能;困境;认知转向;贝叶斯网络

中图分类号:B81 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-7835(2014)03-0036-05

The Solving Function and the Plight of the Bayesianism Methodology

CHENG He-xiang

(Department of Philosophy, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: The Bayesianism, which arose in the 1930s on the basis of the Bayes' theorem and revived in the 1990s, has become the important research program and the hotspot of scientific methodology. In the field of scientific reasoning, the Bayesianism has the following advantages, i. e. formalizing the important intuitions of the traditional scientific methodology, avoiding the difficulties in the traditional scientific methodology, and resolving the “mysteries” of the traditional scientific methodology. But it also has some dilemmas, such as old evidence, logical omniscience, simplicity, countable additivity, and so on. Currently, the researches on the Bayesianism study has mainly manifested in two aspects, that is the Bayesian inference in cognitive science, and the Bayesian network in artificial intelligence.

Key words: Bayesianism; function; plight; the cognitive turn; Bayesian network

贝叶斯主义源于贝叶斯定理。但直到 20 世纪 30 年代,贝叶斯主义才有了一个完整的思想框架。七八十年代后,大批哲学家开始在归纳推理和科学方法论的研究中采纳贝叶斯主义。90 年代起,贝叶斯主义作为“综合地、统一地研究归纳、确证和科学推理的最有希望的途径”开始“复兴”。国内学者朱喜安、陈巧玉的研究成果显示:1998 年仅有 6 篇 CSSCI 期刊登载贝叶斯主义方面的论文;1998-2002 年期间,每年不足 10 篇;2002 年之后,发文数量不断递增,到 2010 年发文累积量已达 377 篇^[1]。

在贝叶斯主义者之间,并不存在他们所一致认同的哲学理论,但他们所遵循的一些原则之间存在着某种“家族相似性”。基于这种“家族相似性”,我们一般将贝叶斯主义纲领的核心思想归结为如下三个

① 收稿日期:2013-12-19

作者简介:程和祥(1987-),男,湖北荆州人,博士生,主要从事科学哲学、科学逻辑研究。

方面:(1)合理信念度是一种概率函数,它的静态分布服从概率论公理;(2)信念度的动态改变遵循条件化原则;(3)可用合理信念度的函数来测度证据对假说的归纳支持,即确证关系。目前,贝叶斯主义的思想活力远远超越了统计学、经济学、政治科学、心理学和决策论这些传统地盘,在人工智能的研究中,贝叶斯网络的应用也是成果斐然。

一 贝叶斯主义科学方法论的解题功能

贝叶斯主义自诞生起,就试图对科学研究中的各种推理活动进行说明,当然,这本身也是对贝叶斯主义的检验。在霍维奇(P. Horwich)、豪森(C. Howson)和乌尔巴赫(P. Urbach)及伊尔曼(J. Earman)的专著中,对此有集中的论述。在他们看来,贝叶斯主义作为科学推理中的一个综合性理论,它的优势体现在如下三个方面^[2]:

(一) 贝叶斯主义科学方法论能够将传统方法论中的重要直觉形式化

传统科学方法论中,由假说—演绎法所得到的最直观的确证定义如下:若根据假说 H 和背景知识 K 能够演绎出后承,并且通过观察和实验可以肯定 e 的真实性,那么 e 就是对 H 的确证。这种确证定义在贝叶斯主义科学方法论下能够得到规约。假定:(1) $(H, K)_i \models (e)$; (2) $0 < P(H/K) < 1$; (3) $0 < P_i(e/K) < 1$ 。根据(1),可得到 $P_i(e/H&K) = 1$;由贝叶斯定理,可得 $P_i(H/e&K) = P_i(H/K)(P_i(e/K))$;根据(3),可得到 $P_i(H/e&K) > P_i(H/K)$ 。根据贝叶斯条件化原则, $P_{i+1}(H/K) = P_i(H/e&K)$;接下来,采用确证度的差别测度定义,那么 $d(H, e) = P_{i+1}(H/K) - P_i(H/K) = P_i(H/e&K) - P_i(H/K) > 0$ 。即 e 是 H 的证据, e 对 H 有确证。

采用上述方法,重复类似过程,可以在贝叶斯主义的框架中,将枚举归纳和消除归纳统一起来,也可以解释波普的假说证伪思想以及证伪主义方法论的很多重要论点,诸如假说检验的严酷性和特设性假说。

(二) 贝叶斯主义科学方法论能够避开传统方法论中的困难

逻辑经验主义者亨佩尔(Carl Gustav Hempel)采用经验主义概率观构建其概率说明模型,但在具体运用中,该模型面临高概率要求、说明的歧义性等一系列困境。在这一背景下,殷杰、赵雷提出了一种“贝叶斯概率说明模型”^[3](Bayesian probability explanation model,简称B—P模型)的解决方案。B—P说明模型以主观语境为基底,将主观语境因素引入到科学说明要素当中,重新确立了科学说明中说明者的主体认识论地位,将说明者关于不同语境下的相关要素的信念度引入到科学说明要素当中,为理解社会科学提供了一种新的说明模式。

另外,在贝叶斯主义框架下,可以完全回避假说—演绎法所带来的“无关合取”问题。类似地,由亨佩尔确证定义引出的渡鸦悖论也能够在此框架下得到解决。

(三) 贝叶斯主义科学方法论能够解决传统方法论中的“未解之谜”

亨佩尔的确证理论难以解释科学理论对经验假说的确证作用,为此,格莱莫尔(C. Glymour)给出了所谓的“拔靴带解释”:在贝叶斯主义框架下,若理论 T 能导出经验假说 H ,必定存在证据 e 确证理论 T ,从而确保了理论 T 确证经验假说 H 。

类似地,在贝叶斯主义的框架中,能够实现概括推理和统计推理的统一;对于统计推理中客观概率和主观概率之间的过渡问题,可以在贝叶斯主义的框架下用刘易斯(D. Lewis)的P原则予以解决;对于归纳支持与接受的分歧,以李维(I. Levi)为代表的认知决策学派,采用贝叶斯主义的框架能将其适当处理。另外,在贝叶斯主义的框架下,“全称概括语句的先验概念必定为零”、“预言与解释对假说确证的不对称性”等问题都能获得解决。

虽然不同的贝叶斯主义者假定了不同的“公理”并采用了不同的形式技巧,得出了并不令人满意的所谓的解决方案,但是贝叶斯主义科学方法论的完整框架在处理科学推理中的各种难题时,所表现出的概括力和灵活性是毋庸置疑的。

二 贝叶斯主义科学方法论的七大困境

贝叶斯主义在解决科学推理中的各种难题时,其本身也遭遇一些“疑难”的挑战。对这些疑难的研究,将促进贝叶斯主义框架的完善。就目前来看,贝叶斯主义科学方法论面临如下七大困境:

(一) 旧证据问题

在科学研究中,新的科学理论能够解释在此以前为人们所熟知的事实。但是,在贝叶斯主义的框架下,这一点将面临困境。假定在时刻(t), $P_t(e/K) = 1$;在时刻($t+1$), e 对 H 的确证度为: $d(H,e) = P_{t+1}(H/K) - P_t(H/K) = P_t(H/e\&K) - P_t(H/K) = P_t(H/K)[(1/P(e/K)) - 1]$ 。由 $P_t(e/K) = 1$,可得 $d(H,e) = 0$,故 e 对 H 的确证度应该为零。当然,这个地方我们再次面临条件化原则带来的问题。根据条件化原则, $P_{t+1}(H/K) = P_t(H/e\&K) = P_t(H/K)P_t(E/H)(P_t(e/K))$,这就要求在时刻 t 时, $P_t(H/K)$ 存在,但事实上,在时刻 t ,假说 H 并不存在,关于假说 H 的先验概率也没有意义。对于这一疑难,国内学者马文俊和熊卫基于Levi理论构造了一个动态方案^[4],试图论证旧证据对新理论具有确证作用,但该方案的合理性有待讨论。

(二) 逻辑全知问题

在概率论公理系统中,如果 T 是一个逻辑真理,对它的合理信念度必须为1。但是在实际的认知活动中,如下情形是经常发生的:人们在时刻 t 并没有认识到 T 是逻辑真理,直到时刻($t+1$),人们有了新的知识,即 T 是逻辑真理。也就是说,贝叶斯主义所要求的概率论公理中,蕴涵的逻辑全知者假定不符合认知实际。实际的认知活动中,认知主体只具有有限理性,并不知道所有的逻辑真理。但是,一个理性主体能够对信念加以扩张,排除和事实不相符的错误信念。也就是说,“理性主体是这样一些主体,他们能够持久分析他们的信念集,使得信念和现实世界中的事实尽可能吻合。理性主体试图排除那些不能够准确反映他们所处情境中的真实情况的信念,同时也试图通过增加他们信念的逻辑后承来扩充信念集。这个连续不断的分析过程也称为理性探究^{[5]86}”。鉴于认知理性的有限性和历时性,盖博、杰弗里和尼尼罗托试图建立一个贝叶斯主义的认知学习框架。

(三) 简单性问题^[6]

杰弗里斯(Jeffreys)认为:越简单的假说,所赋予的先验概率越大。但波普尔指出,这种简单性假设与概率公理并不一致;随后,福斯特(Forster)和索伯(Sober)又指出,杰弗里斯的简单性假设只不过是一种“特设方法”。如直线: $L_1:y = mx + c$ 与抛物线 $L_2:y = nx^2 + mx + c$,根据简单性假设,如果只集中在假说的函数形式上,从直觉来看, L_1 比 L_2 简单,因为 L_2 中需要确定的参数更多,因而 L_1 应分配更高的先验概率。但是,存在着这样一种情况:当 $n=0$ 时,若 L_1 为真,那么 L_2 一定为真。即 L_1 逻辑上蕴涵 L_2 。根据概率论的公理,逻辑上越强的命题,概率应该越小。这时 L_1 不能比 L_2 具有更大的先验概率。显然,这个要求与简单性假设导出的结论并不一致。在索伯(Elliott Sober)看来,简单性问题作为一个陷阱,是贝叶斯主义的“阿基里斯的脚后跟”^[7]。正因为如此,豪森并不认可将简单性作为一条筛选理论的重要指导原则。但豪森的这种“粗暴”处理方式,并不能令人满意。

(四) 虚拟条件句的概率

鉴于“真”和“本有”是不可说也说不清的,故科学理论所立足的前提一般是一些理想化的假定。一个科学定律的真实含义往往是:在某一或某些理想化的条件下,事物各种属性之间存在着某种关系。因此,如果一个通常的定律是 L ,那么,严格的表达应该是:如果 C ,则 L 成立,其中“如果…则”是一种虚拟条件句, C 是理想化条件。考虑到理想化的因素后,萨夫(Michael J. Shafer)认为,虚拟条件句 $C > L$ 的先验概率 $P_t(C > L)$ 必须有有意义的定义。刘易斯假定:虚拟条件句 $C > L$ 的概率等于 L 相对 C 的条件概率,除非 C 的绝对概率为0。也就是说,把 $P_t(C > L)$ 定义为 $P_t(L/C)$,但刘易斯本人及其他人都指出,这个定义是不合适的。萨夫则表明,目前的所有改良方案都存在各种各样的问题。

(五) 主观性问题

贝叶斯主义的主观性主要反映在先验概率的分配上。每个科学家作为理性主体,对一个科学假说的主观概率可以给出不同的先验分布,只要这种分布服从概率论公理就行。而先验概率直接影响假说

的后验概率和确证度,这样,科学家们基于相同的证据,可以对科学假说的确证度作出不同的评价。对此,萨尔蒙、凯伯格(H. E. Kyburg)和格莱莫尔等人表示不满和质疑。

对于这种质疑,强硬的贝叶斯主义者积极回应^[2],更多的贝叶斯主义者在保留贝叶斯主义的基本框架的基础上,重新开拓了新的研究路径:一条路径号称逻辑贝叶斯主义,以杰恩斯(Edwin Jaynes)为代表,他们试图用一些逻辑原则来约束先验概率的分配,因而逐渐倒向凯恩斯(John Maynard Keynes)、卡尔纳普的逻辑主义;另一条被称为经验贝叶斯主义,由范·弗拉森和乔伊斯(J. M. Joyce)开创,他们以经验为准绳来衡量人们的信念状态的合理性和信念度改变的合理性。有别于这两条路径,西蒙尼提出了柔和的贝叶斯主义。此外,激进主义者则完全抛开主观贝叶斯主义的概率框架,从多个方向进行摸索,如信念函数理论、“似然”函数理论和波普尔函数理论等。

(六) 测度敏感性问题

在上文中,我们将确证度定义为后验概率与先验概率之差。但是,菲特尔森(Branden Fitelson)^[8]指出,不同的贝叶斯主义者实际上采用了不同的测度函数。他主要讨论了如下四种测度函数:

$$d(H, E/K) = P(H/E\&K) - P(H/K)$$

$$r(H, E/K) = \log P(H/E\&K) - \log P(H/K)$$

$$l(H, E/K) = \log P(E/H\&K) - \log P(E/\neg H\&K)$$

$$\tau(H, E/K) = P(H\&E\&K) \cdot P(K) - P(H\&K) \cdot P(E\&K) = P(K)P(E\&K)d(H, E/K)$$

菲特尔森证明,根据以上测度函数计算出来的确证度并不相等,而贝叶斯主义者针对各种问题所提供的解决方案又依赖于所选择的测度函数。那么,如何评估测度函数?哪一种测度函数最合理^[9]?更进一步地,那些解决方案真的是解决方案吗?

(七) 可列可加性问题

可列可加性在证明概率统计中的那些收敛定理时,具有十分重要的意义。但是,如果我们承认可列可加性,那么我们不得不对可数无穷的后果进行不均匀的概率指派。在德·菲耐蒂看来,这种指派有违概率指派的一致性条件,“我们应该基于逻辑上的一致性,给予每一种可数无穷的可能后果以同等的概率”^[10]。也就是说,对可数无穷序列中的每个后果,我们应该指派概率值 0。但是,德·菲耐蒂的逻辑贝叶斯主义无法处理“杜宾问题”^[10]。

三 贝叶斯主义科学方法论的当前研究趋势

贝叶斯主义作为当前的研究热点,在如下两个方面得到了进一步的研究:一方面,它在科学推理中得到了进一步的深入研究;另一方面,它的思想活力超越传统的科学哲学和科学推理领域,渗透到各个方面,尤其是人工智能领域。

(一) 贝叶斯推理的认知研究

由于主观贝叶斯主义将概率解释为私人的合理信念度,这非常契合认知科学把推理看做认知心理过程的观点。认知心理学主要讨论人们对不确定事件进行判断和推理时如何使用概率。针对这个问题,认知心理学家吉仁泽(Gigerenzer)和霍夫拉格(Hoffrage, 1995)将频率主义与贝叶斯主义整合为一体,提出了频率格式的贝叶斯推理模型,即用频率格式代替概率格式来对问题进行信息表征,进而改进贝叶斯推理方法^[11]。

同时,以认知心理学家图文斯基为代表,他们基于假说-支持-概率的思路,尝试在外延逻辑中引入内涵因素,提出了基于主观概率的支持理论和非外延归纳推理理论^[12]。

(二) 贝叶斯网络

在人工智能(AI)的研究中,Judea Pearl^[13]根据主观贝叶斯主义构建贝叶斯网络(BN),分别对树型网络和多树型网络提出了消息传递算法。1988年,Judea Pearl建立了贝叶斯网络基础理论体系^{[14]116-131}。1995年,微软公司的Heckerman写出了比较系统的BN理论技术性介绍文章,标志着BN理论已成为一门系统的理论。与其它的人工智能技术相比,贝叶斯网络模型把图形理论的表达和计算

能力与概率理论有机地结合在一起,因而在处理不确定性问题上具有许多优势。随着研究的深入,贝叶斯网络逐渐成为人工智能、模式识别、机器学习和数据采掘等领域处理不确定性问题的一种重要方法和工具。

从数学层面来看,贝叶斯网络是一个加权的有向图,是对马尔科夫链的扩展。从认识论的层面看,贝叶斯网络摆脱了马尔科夫链的线性约束。因此,贝叶斯网络的应用突破了人工智能领域,已经渗透到各个学科分支。目前来看,主要有两个新动向:一是利用贝叶斯网络推理理论和博弈论的数学方法,或构建处理“信息融合”^{[15]-[17]}问题的博弈融合模型,或为指挥和控制中心构建决策支持工具^[18],或对专用无线网络中的协作与资源共享进行优化^[19];另一个新动向由国内学者孙思首创,即将贝叶斯网络应用于科学哲学研究,构建“基于贝叶斯网络方法的说明者信念度相关性模型”^[20],解决科学说明的相关性问题。

参考文献:

- [1] 朱喜安,陈巧玉.我国贝叶斯研究进展的计量分析[J].统计与决策,2012(13):35-38.
- [2] 胡志强.科学推理:从贝叶斯主义的观点看[J].自然辩证法通讯,2005(1):37-45.
- [3] 殷杰,赵雷.基于语境论的贝叶斯概率说明模型探析[J].山西大学学报(哲学社会科学版),2013(4):1-7.
- [4] 马文俊,熊卫.旧证据问题:一种动态的消解方案[J].逻辑学研究,2011(2):81-92.
- [5] Moreno A. Modelling Rational Inquiry In Non-Ideal Agents[D]. Phd. Dissertation, Universitat Politècnica De Catalunya, 2000.
- [6] 任晓明,黄闪闪.贝叶斯推理的逻辑与认知问题[J].浙江大学学报(人文社会科学版),2012(4):106-113.
- [7] Elliott Sober. Instrumentalism, Parsimony, and the Akaike Framework[J]. Philosophy of Science, 2002(69):S112-S123.
- [8] Fitelson, Branden. The Plurality of Bayesian Measures of Confirmation and the Problem of Measure Sensitivity[J]. Philosophy of Science. 1999(66):362-378.
- [9] Valeriano Iranzo, Ignacio Martínez de Lejarza. On Ratio Measures of Confirmation—Critical Remarks on Zalabardo's Argument for the Likelihood-Ratio Measure[J]. Journal for General Philosophy of Science, 2013(44):193-200.
- [10] 胡浩.纯粹逻辑的贝叶斯主义及其哲学效应[J].世界哲学,2012(2):89-98.
- [11] Gigerenzer G, Hoffrage U. How to Improve Bayesian Reasoning Without Instruction: Frequency Formats[J]. Psychological Review, 1995(4):684-704.
- [12] Tversky A, Derek J K. Support Theory: A Nonextensional Representation of Subjective Probability[J]. Psychological Review, 1994(4):547-567.
- [13] Pearl J. Reverend Bayes on inference engines: A distributed hierarchical approach[C]// In AAAI-82. Pittsburgh. 1982: 133-136.
- [14] Pearl J. Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference[M]. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1988.
- [15] 周志强,张晓燕.基于贝叶斯网络的博弈融合态势评估方法[J].计算机与数字工程,2008(10):17-144.
- [16] 崔海霞,韦岗.基于贝叶斯网络的博弈融合建模[J].传感器与微系统,2009(2):60-65.
- [17] 于继江,廉飞宇.一种基于贝叶斯网络和博弈论的信息融合模型[J].江西师范大学学报(自然科学版),2010(2):133-137.
- [18] Joel Brynielsson. Using AI and games for decision support in command and control[J]. Decision Support Systems, 2007(43):1454-1463.
- [19] Giorgio Quer et al. Using Game Theory and Bayesian Networks to Optimize Cooperation in Ad Hoc Wireless Networks [C]//2012 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2012(6):10-15.
- [20] 孙思.基于贝叶斯网络方法的说明者信念度相关性模型——科学说明相关性问题的一个解决方案[J].自然辩证法通讯,2010(1):1-7.