

地震发生时个体应急行为规律的探索性研究

李 良, 李路云*

(西南交通大学 经济管理学院 四川 成都 610063)

摘要: 对紧急情况下个体行为的把握是应急管理的基础。个体在地震发生瞬间的行为对其**能否成功避险、能否降低身体损伤和财产损失以及在逃生受困后能否维持较长时间以等待救援等具有直接的影响**。本文采用**定性和定量**的混合研究策略探索了真实地震场景中人们的行为规律。本文首先按照扎根理论的研究程序,通过地震亲历者的深度访谈,分析了人们在紧急情况下的**情绪反应、心理过程和行为决策**,并据此构建了“地震发生瞬间人的应急行为模型”。然后对近年来地震发生瞬间的国内外视频记录信息进行搜集,通过对视频中人们的行为进行描述和编码,本文将视频中个体的动作和行为按其含义对应到“地震发生瞬间人的应急行为模型”。进而,本文通过贝叶斯网络的参数学习和精确推理获得地震发生瞬间人的应急行为的概率规律,并作为一个例子应用贝叶斯网络分析结果探究了性别对行为的影响。最后,本文针对地震灾害应急管理给出了建议。

关键词: 地震; 避险决策; 混合研究策略; 贝叶斯网

中图分类号: C93 文献标识码: A 文章编号: 1004-6062(2022)02-0148-011

DOI: 10.13587/j.cnki.jieem.2022.02.013

0 引言

地震是地球上频发的自然灾害,常引发重大灾难。2012至2019年期间全球共发生7.0级以上的地震多达125次^①。地震的发生可能瞬间造成地表破坏、房屋倒塌、人身伤亡及财产损失等原生灾害,还可能引起洪水、火灾、海啸、泥石流等次生灾害,诱发传染病、饥荒、动乱、灾后综合征等衍生灾害,严重危害到人类的生命、财产安全和心理健康。例如,2005年10月8日“巴基斯坦7.8级地震”造成了79000人遇难,65038人受伤,330万人无家可归;2008年5月12日中国四川“汶川8.0级地震”造成了69227人遇难,374643人受伤,17923人失踪,直接经济损失高达8452.15亿元;2011年3月11日“东日本9.0级大地震”造成了15894人遇难,6152人受伤,2562人失踪^②。

理解地震瞬间人们的行为规律是开展地震应急管理的基础。当前,国内外关于地震灾害管理的研究涵盖了震前预测、防御和震后救援等多个方面。这些研究反映出灾害发生时的(避险)应对策略、灾害发生后的救援资源的配置、救援计划的制定和实施都离不开对人的行为的深刻理解。然而由于数据获取的困难性,针对地震发生时个体行为的研究依然非常少。在为数不多的研究中,多采用假想的地震情境为背景展开研究,对实际地震中人的行为数据进行的研究非常缺乏^[1-2]。这种现象在其他灾害的应急管理研究中也颇为常见,例如火灾等的应急管理也多是建立在假想的情境和假设的行为规律上进行的^[3-4]。

地震发生时的紧急情境导致人们行为异常^[5]。斯坦福大学Zimbardo的研究显示,人们在面对异常外部刺激时会在

生理、认知、情绪等心理和行为层面出现异于平常的反应^[6]。面对突如其来的地震,人们特定的反应往往是决定其生存机会高低的重要因素^[7-8]。尽管人们日常可能接触过地震避险知识,但地震所造成的紧张情境仍然会让人们手足无措,不顾避险知识而采取不恰当的避险方法或盲目的出逃行为^[8-9]。实际上很多地震中的伤亡并非地震的直接结果,而是由于人们未采取理性且有效的避险措施造成的^[7]。这并非由于人们日常获得的地震避险知识不科学,而是由于避险指导更多地来源于工程角度的分析,没有将人的可能反应考虑在内,从而人们无法在紧急的情境中很好地遵循避险指导。因此,应急管理应充分尊重各类人员在险境中的行为规律。

基于以上认识,本文采集实际地震中人们的行为数据,利用定性定量混合研究策略对地震中个体的应急行为进行了探索性研究,以期寻找到人们在地震发生时的行为规律,服务地震应急管理。本文首先利用深度访谈数据,分析人们在地震紧急情况下的**情绪过程、思考过程和行为决策**,并据此构建“地震发生瞬间人的应急行为模型”。然后,搜集近年来国内外地震发生时的视频信息,通过特定的规则对视频进行描述和编码,将视频中个体的动作和行为按其含义对应到“地震发生瞬间人的应急行为模型”,进而通过贝叶斯网络的参数学习方法和推理得到与“地震发生瞬间人的应急行为模型”相对应的行为节点概率图。通过对概率图进行分析和解释从而找到地震瞬间个体的行为规律,并据此提出有效的应对策略。

收稿日期: 2019-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(7127115);教育部人文社会科学基金青年项目(12YJC630096)

通讯作者: 李路云(1992—),女,河南洛阳人;西南交通大学经济管理学院硕士研究生;研究方向: 应急管理、决策分析。

① 数据来源: 中国地震台网 <http://www.ceic.ac.cn/history>

② 数据来源: 维基百科 https://en.wikipedia.org/wiki/2011_T%C5%8Dhoku_earthquake_and_tsunami

1 地震灾害的相关研究回顾

人们在突发灾害等紧急情况下的身心状态迥异于日常情况^[10-11]。根据经典的高强度情感理论 (heightened emotionality theory) 紧急情境下个体的行为实际上是对情绪的反应^[8]。Li 等指出灾害中处于不同状态的个体会产生不同的心理及情绪反应^[12]。郭剑明等通过对火灾逃生者及失火建筑周边知情者的调查表明,火灾产生的刺激会给人带来心理压力,导致异常的心理反应,表现为惊慌、恐惧和群聚^[13]。Fang 等从社交媒体微博中提取与 2016 年武汉暴雨洪涝灾害相关的数据信息,通过词频分析发现灾害影响下与个体情绪相关的词语主要为:祈祷、哭泣、害怕、失眠和担心^[14]。此外,还有研究指出突发灾害中的负面情绪会在群体中传染^[15]。特殊的身心状态将极大影响人们的逃生行为和灾害应对决策。杨继平和郑建君的研究指出情绪对虚拟的危机决策任务的决策质量有显著影响^[16]。张云翌和杨乃定提出了一个情绪对应急决策全过程影响的概念模型^[17]。刘更才指出在地震发生瞬间,由于异常的心理状态,人们常常采取不恰当的避险方法和盲目外逃行动^[18]。

地震后的观测表明,逃生行为对地震期间人员伤亡的数量有影响^[1]。地震是一种特殊的突发灾害,具有突发性强、破坏性大、波及范围广和防御难度大的特点^[19]。尽管人们意识到灾害发生后人们的行为过程会影响避险的成效,但地震灾害中人们的行为规律的总结并不像火灾等突发事件的研究那样充分。当前对地震中人们的行为的研究大多还停留在简单总结的水平上。一项对近 2000 份关于地震的社会调查问卷的分析显示地震发生时个体常采用四种应急策略,即立即躲在床下或桌子下;跑出房外;跳出楼外;坐着不动,听天由命^[20]。另一份对 1760 位(有效 1612 位)老旧住区居民进行的地震紧急避难选择的调查发现,居民避难行为可以分为四类:为了人身安全的就近避难行为;由于周围情景识别不清而心理上犹豫不定导致的出口滞留行为;由于逃生能力弱或逃生态度消极而表现出的原地不动行为;以及返宅寻亲行为^[21]。显然在总结避难逃生行为或策略的基础上探索人们在特定突发事件下是如何选择这些策略的对于我们制定救援方案和应急策略更为重要。

由于地震发生时的数据难以获得,关于真实行为的研究多依赖于事后的问卷调查方式进行。例如 Asai 等通过对 28 个地震亲历者的采访,研究了“东日本大地震”震中区域人员震后寻求信息的行为,指出人们最关心的 5 类信息是,理解他们应该做什么;确认爱人的安全;获取信息以生存;寻求信息以恢复正常的生活;并告知自己的安全^[22]。Nakaya 等通过问卷调查研究了疏散培训演习是否会提高灾害发生时的疏散行为,运用 logistic 回归分析得到的结果支持了培训演习的作用^[23]。Parady 等运用对 2011 年“东日本大地震”和海啸幸存者的调查数据,定量评价了海堤对疏散时间的影响^[24]。

为了弥补真实数据的不足,较多研究运用计算机模拟来对灾害紧急逃生行为和应急决策进行分析。近年来这类研究所构建的模型倾向于考虑越来越多的因素,例如, Liu 等开发了一个用于人群仿真的原型系统,考虑了情绪及情绪传染对个体行为的影响^[25]。Zhang 等基于低密度群体组织模式,

提出了一种改进的双层社会力模型来模拟和再现地震疏散中群体聚集过程^[26]。Li 等运用元胞自动机模型模拟不同室内人员的动态行为和建筑尺寸之间的关系,通过对建筑物倒塌过程的有限元模拟、乘员疏散模拟、伤亡事故发生时间与空间同步的耦合,对建筑物在地震作用下带来的人员伤亡进行评估^[1]。Karashimah 和 Ohgai 运用仿真分析指出灾害发生后用户可以通过交互活动减少人的痛苦^[27]。实际上,人们也意识到模型的建立较多地依赖了人们的假设,假设的合理性需要真实数据的检验。

综上所述,当前文献中仅依赖虚拟情境研究决策行为和仅基于计算机模拟研究假设的行为存在着不足,急需要用真实情境中的真实行为来为这些研究建立事实基础。同时地震避险行为的研究不能仅停留在对行为进行简单总结和归类的状态,需要进一步探索行为的演变规律和影响因素。

2 研究设计与方法

本文的研究目标是通过真实地震情境下人们行为的系统梳理,总结出不同地震情境下人们的行为规律。首先,不像一般管理情境,关于大型地震中人的行为规律的理论是非常缺乏的。Glaser 和 Strauss 开创扎根理论研究方法时正是看到了理论在某些时候是缺乏的,可以从数据中归纳理论^[28]。扎根理论的归纳并不是数据的简单汇总,数据既提供扎根理论的概念、范畴,也相互印证。如果新收集到的数据与扎根理论不一致,研究不能达到理论饱和,需要做出进一步的调整和数据收集^[29-30]。正是基于对理论缺乏的理解和扎根理论自身的特点,本文在探究地震发生时人们的行为时,首先采用了扎根理论的研究方法。

考虑到直接实时观察地震发生时人们行为的困难性,故以地震亲历者对地震发生时其行为和心理过程的回忆访谈,以及国内外地震发生时的各种影像记录为研究数据。其中,大地震的经历对大部分人而言都是终生难忘的,甚至无法忘记,并且本文在收集数据后还针对访谈对象进行了核实,为数据质量提供了保障。而通过影像记录分析个体在地震等灾害中的行为是一种新兴的定性研究方法,主要采用演绎和归纳相结合的方式对视频中个体的行为进行编码,该方法避免了地震发生后进行问卷调查等研究方法中的一些潜在问题,为研究人员提供了一种系统的方法来分析地震震动瞬间及紧随其后个体真实的行为反应^[31]。

其次,在复杂的决策环境下,个体往往要面对很多相互影响的因素,很难直接估算不同行为决策在不确定环境下的概率分布^[32]。但是,当确定了决策变量之间的因果关系时,可将其表示成贝叶斯网络拓扑结构,通过参数学习的方法对训练集数据进行学习,从而确定各个决策变量的条件概率以及各变量关系强弱^[33-34]。地震当中的个体面临的环境是复杂多变的,个体的行为模式受到多种因素的影响,目前还未有成熟的地震行为理论,这使得结构方程等方法无法满足对行为规律进行定量探索的要求。因此,第二个研究中,以质性研究获得的模型和视频信息记录编码数据为基础,采用贝叶斯网络分析方法从概率的角度进一步探究地震中个体的行为规律。此外,当有新的数据出现时,依然可以利用贝叶斯原理将新增数据纳入已建立好的贝叶斯网络进行推理,大大提高了数据的使用效益和以往研究的价值。

因此本文采用定性与定量相结合的混合研究策略进行了两个阶段的研究,首先是针对访谈数据进行的质性研究,按照扎根理论的研究过程,提炼出“地震发生瞬间人们的应急行为模型”;其次是针对影像记录数据,通过对视频进行编码,利用统计分析和贝叶斯网络分析方法对质性研究获得的“地震发生瞬间人们的应急行为模型”进行量化分析^[28,31]。

3 研究 1:地震亲历者访谈资料质性分析

3.1 深度访谈数据的获得

本文采用理论抽样方法先后对 51 位地震亲历者进行了深度访谈。访谈问题主要包括受访者的个人信息、地震信息、以及受访者亲历地震时按照时间顺序的心理和行为活动。在访谈前,所有受访者都阅读了知情同意书并签字确认同意参加此次访谈。为了减少受访者由于回忆灾难而带来的负面影响,在访谈结束时研究小组采取了多种措施帮助他们进行心理调整,而且每位受访者都得到了价值 100 元人民币礼物作为补偿。

在受访者中,男性 27 人,女性 24 人;年龄最大为 60 岁,最小为 20 岁;职业包括农民、超市营业员、村干部、公务员、医生、护士、工厂工人、矿场工人、学生和教师。其中 6 人在经历地震前参加过相关培训。受访者所讲述的地震情境包括“汶川地震”38 例,“雅安地震”12 例,“唐山地震”1 例,“甘肃民乐地震”1 例,其中一位经历过汶川和雅安两次地震。依照距震中心的距离不同,地震发生时受访者感觉到轻微晃动的有 11 例,强烈晃动的有 24 例,剧烈晃动、房屋倒塌的有 16 例。

深度访谈过程中主要是引导受访者回忆和陈述地震发生时自己的各种活动,当受访者回忆的活动不连续或细节信息不清楚时进一步引导受访者思考具体的细节。每位受访者访谈的时间约为 30 分钟。整个研究过程的数据收集和资

料分析过程是交织进行的。每一次访谈结束之后,研究者会及时对访谈录音进行誊写,并会对访谈资料进行初步的分析。

我们部分研究人员参加了汶川地震及芦山地震救灾和灾后重建,对地震震中的幸存者印象深刻。起初主要从汶川地震震中区的居民中抽取了 11 名访谈对象,随着对这 11 名受访者访谈资料的分析,我们发现地震的强度会影响震发时人们的行为。于是依照距离震中区的距离梯度抽取了 10 名访谈对象,他们来自四川不同地区以及其他省份,当访谈进行到第 21 位受访者时,作者发现数据编码所呈现出的主要类别已经比较清楚和稳定。作者根据理论抽样的原则围绕地震强度不同、地震发生时所处地点不同、地震发生时是否与其他人在一起、是否有避险知识或地震经验等主要类别又抽取了 30 名受访者增加各种主要类别的数据。新增数据没有改变原编码结构,各类受访者的访谈内容开始出现大量的类似信息,在本研究主题下不再有新信息出现,质性分析进入理论饱和阶段,研究停止增加访谈对象。

本文采用了不同研究者分别完成模型构建的全过程,然后再对研究成果进行综合的研究过程,从而保证了研究的效度(validity)。最后的研究结论反馈给了每位受访者,并得到他们的认同,从而保证了研究的可确认性(Confirmability)。

3.2 深度访谈数据的分析

利用 Atlas.ti 质性分析软件对访谈资料进行编码分析,以地震发生前后及地震发生过程中个体的心理过程和行为过程两条主线对访谈资料进行分析和模型建构。通过资料分析,对心理和行为的意义单元进行提取,根据 Strauss 和 Corbin 的建议,以及 Gibbs, Taylor 和 Lewins 所提出的编码范式,对材料进行了不同层次和阶段的编码(编码示例如表 1 所示)^[29-30]。编码之间的逻辑显示了一个“七阶段三循环”的人类在地震发生时的应急行为模型,如图 1 所示。

表 1 编码示例
Table 1 Coding examples

访谈数据	开放式编码	主题编码	主要类别
当时感觉房子晃了一下,意识到地震了,	发现周围有变化	外界环境变化	感觉刺激
起床到窗边看情况,	查看情况	收集信息	识别情境
感觉到地震不严重,	地震不严重	判断是否危险	是否安全
回去穿衣服,穿完衣服去上班。	穿衣服、上班去	正常行为	恢复日常行为

伴随地震的突然发生,地震引起的外部环境的变化对人产生刺激,如不同程度的晃动、物品掉落、巨响、房屋倒塌、人员吵闹声等引起人们的注意。

第一个阶段:感觉刺激。地震发生瞬间,人们普遍能够感知到周围环境发生的变化。人们往往会感到头晕,身体摇晃或者看到桌子、吊灯等物品的摇摆。当地震强烈时,人们还会看到天花板掉落、房屋倒塌,听到各种响声等。

第二个阶段:与知识经验比较。受访者面对地震带来的环境变化会进行一系列分析判断,推测其原因。这个过程与受访者的经验有密切的联系,例如两位有地震经验的受访者马上判断出地震发生了,其他人则经过了明显的用经验和知识分析外界现象的信息处理过程。

第三个阶段和第一个循环:判断是否危险。在确定地震发生后,个体会判断自身是否面临着危险。若没有感觉到危

险,个体会继续先前的活动,本文称为“恢复日常行为”,或者当其他人在场时,也可能会跟随他人的行为,本文称为“从众行为”。判断危险是一个循环过程,当个体认为有需要时则会判断是否存在危险,特别是当有新情况发生时(新刺激)更是如此。

第四个阶段和第二个循环:应对决策。在这一阶段,人们会判断是否做出决策,从而采取具体应对行为。有时人们很难一时作出决策,因而采取继续观望、收集信息等行为,并进行分析判断,同时会采取站稳、靠墙等“缓冲行为”以减少可能的危险。作出应对决策是一个循环过程,随着各种情境的演变,必要时又会作出新的决策。

第五个阶段:应对行为。应对行为是决策的结果。人们大多会采取逃跑或者躲避的行为来“保护自身安全”。也有的人会采取“保护财产”的行为,带上自己的手机、钱包或者

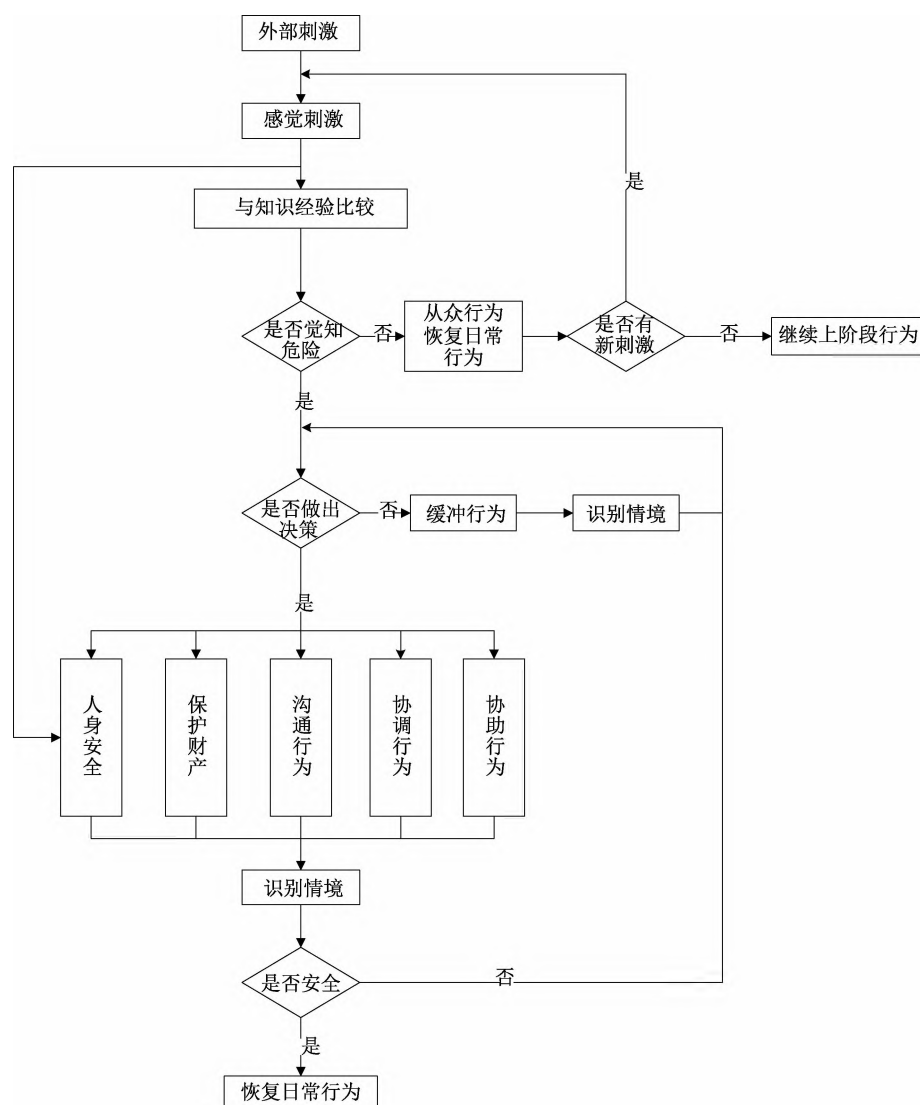


图1 地震发生瞬间人的应急行为模型

Figure 1 Model of individual emergency behavior during earthquakes

关掉灯等。在人口密集的学校或者其他公共场所,往往会有某些人采取“协调行为”,协调人们的逃生活活动。人们之间也会出现相互拉着或者搀扶的“协助行为”。此外,多个人在一起时,一般会伴随分享信息的“沟通行为”。

第六个阶段和第三个循环:行动后再次识别情景。在采取应对行为后,个体会再次获取周围环境信息,在必要时返回阶段四重新进行应对决策。这个过程可能会是一个持续的循环过程,以应对地震带来的持续影响。

第七阶段:恢复日常行为。地震结束后,人们确定没有危险的情况下,会逐渐恢复日常行为。在强地震发生后,人们在确定自己安全的情况下开始寻找亲人、寻找财产、帮助他人等行为。

4 研究2:地震场景影像记录分析

4.1 地震场景视频数据的获得

在 YouTube、Vimeo 和优酷网上,通过“世界三大地震带上地震高发国家的名称+地震”“全球近期发生的大地震名称+地震”“地震视频拍摄现场”3 种形式的关键词搜索地震场景视频,关键词如,“印度地震”“日本 311 地震”“地震视

频拍摄现场”等,经收集整理,最终获得原始视频 900 条。视频主要来自地震现场网友的(摄)相机或手机拍摄、公共场所或室内的摄像头拍摄、新闻报道和电视台或会议活动录制现场的影像记录等。针对原始视频包含不清晰、不完整和重复内容等问题,对其进行了筛选和整理。具体而言:

- (1) 将由多个视频片段合成的视频进行分割;
- (2) 剔除画质差,无法判别个体行为的视频;
- (3) 剔除重复视频;
- (4) 保留涵盖震前和震后连续行为的视频;
- (5) 剔除个体行为不连续的视频。

经上述处理后获得来自 16 个国家的 312 条有效视频。其中,69 条视频来自中国,243 条视频来自其他国家。将所得的有效视频按照“国家+城市+时间+编号”规则命名。

作者及研究助手认真观看每一段视频,进而提取基本信息、震前信息和震后信息三类信息。基本信息包括国家、城市、拍摄设备、对象的性别和年龄段。震前信息包括震前整体活动描述、个体的活动以及活动的具体场景和位置。震后描述包括地震的强度描述、地震发生瞬间及之后每一秒钟个体的动作、表情和语言等信息。地震强度以悬挂物、

摆放的物品或者摄像头晃动的程度以及是否出现坍塌等分为轻微晃动、强烈晃动、剧烈晃动三个级别。其中,轻微晃动是指镜头内出现轻微晃动的情况,强烈晃动是指出现物品散落或柜子倒地的情况,剧烈晃动是指出现柜子瞬间倒地、墙壁掉落或房子坍塌的情况。有些视频记录了多个可以明确区分的个体或群体行为,本研究将其单独记录,因此共提取出 659 条行为记录信息。其中,记录男性视频 411 条,女性 248 条。

研究者根据心理和行为学理论以及地震访谈的信息,把

所获得的动作进行了筛选和归类,获得**感觉刺激、与经验知识比较、识别情景、缓冲行为、从众行为和五类应对行为(人身安全行为、保护财产行为、沟通行为、协助行为、沟通行为)**,共包含 22 类动作。视频中同一动作在不同情境下可能具有不同含义,研究者对此进行了区别。例如,同样是抬头的动作,在地震发生瞬间和地震发生一段时间后的含义不同,前者是一种感觉信息的动作,记为“抬头¹”,而后者表示一种搜索信息的动作,记为“抬头²”。具体动作编码和行为归类如表 2 所示。

表 2 动作的归类
Table 2 Classification of actions

行为名称	所含动作	含义
感觉刺激	低头 ¹ /抬头 ¹ 、察觉、转头、耸肩、止步/停车	感觉到有变化
与知识经验比较	呆愣、踱步、张望	感觉信息后的思考过程
识别情景	抬头 ² /低头 ² 、观望/凝视	获取信息的过程
缓冲行为	站稳/抓/扶/靠/贴/抱 ¹ 、弯腰/蹲/爬/跪/躺/趴、护头	为了之后的行为做出的准备动作
从众行为	跟随	跟随众人的行为
恢复日常行为	-	感觉到安全后的日常行为
人身安全行为	逃跑/走、钻/躲/藏	感觉危险时的自我保护
保护财产行为	关(电视、电脑等)/拿/收拾	保护财产安全,如关上电脑
协调行为	引导/指挥/示意	协调大家逃生或躲避的行为
协助行为	拉/搀/安抚/抱 ² /接/保护、呼唤/唤醒	帮助他人的行为
沟通行为	交谈、肢体警示等	与他人沟通、分享信息的行为

在最初的编码过程中,两位研究助手分别对相同的视频进行编码。按照地震发生的时间顺序,在每一秒钟编写动作代码。如果一个动作持续了几秒钟,就会记录这个动作的开始和结束时间。每位助手在编写了 30 条视频记录后,发现这两位助手使用了不同的词语来编码具有相同含义的动作。经过深入讨论,我们制定了统一的编码系统来定义同种含义的动作词语。随后,两名助手对所有样本进行编码,编码一致性达到 95%。通过讨论,这些不一致的编码最后达成了一致。

另外,表 2 列出的动作涵盖了绝大多数视频中人们的动作,但也存在一些动作不同于上述动作类型,对此类动作按照其情境进行分析,将其划分到某一行为类型中。如视频 Japan_Tokyo_2011.3.11_003 中,人物 A 在地震发生时正抱着孩子在餐桌旁坐着,突然强烈震动,周围的餐具、灯具等纷纷掉落,她依然微笑着对小孩说话并用手轻拍小孩的背(小孩在哭)。根据情境判断此时她的微笑不是表达高兴的心情而是想通过微笑告诉孩子不要害怕,因此将此动作归类到协助行为中。再如视频 Peru_Null_2007.8.15_003 中,记录的是宗教活动的画面,地震发生后,人物 B 站在教堂前面观看大厅情况时曾反复观看背后上方的一处,根据情境推测人物 B 的右后方有一件重要的物品,因此将其动作归类为保护财产的行为。人物 C 在地震后和另一个人将放有圣母玛利亚的桌子抬到另一个位置,这属于保护财产安全的行为,接着人物 C 在桌旁跪下,他低头跪着似乎在祷告,可以将其视为寻求心理安全的行为,因此把该行为归类为人身安全行为。

4.2 地震场景视频数据的分析

4.2.1 贝叶斯网构建

贝叶斯网又称信度网络,是基于概率推理的图形化网络。该图由表示随机变量的节点和表示变量间依赖关系的

箭头构成,变量之间的量化关系通过节点的概率分布表来刻画。节点在图中被表示成一个圈,箭头由父节点(parent)指向子节点(child),可表示成 $P(X|parent(X))$ ^①。贝叶斯网络图中不存在回路,因此是一个有向无环图(directed acyclic graph, DAG)。

根据 4.1 的编码过程,地震发生时人们的各种行为都归类为感觉信息、与知识经验比较、缓冲行为、从众行为、识别情景、人身安全行为、保护财产行为、沟通行为、协调行为和协助行为,将其作为节点变量,连同外部刺激信息共同构成贝叶斯网的各个节点。质性分析获得的“地震发生瞬间人的应急行为模型”构成了贝叶斯网络结构的重要先验信息,模型中的判断框代表的是一个心理活动过程,由于视频数据中心理过程难以考察,因此贝叶斯网络结构中直接将行为节点之间按照图 1 的结构连接起来,根据阶段次序确定箭头指向,即由上一阶段指向下一阶段,并消除了模型中的环^②,构建如图 2 所示的贝叶斯网络结构。这样处理并不影响行为之间的逻辑关系,因此很好地利用了贝叶斯网结构的先验信息^[35-36]。

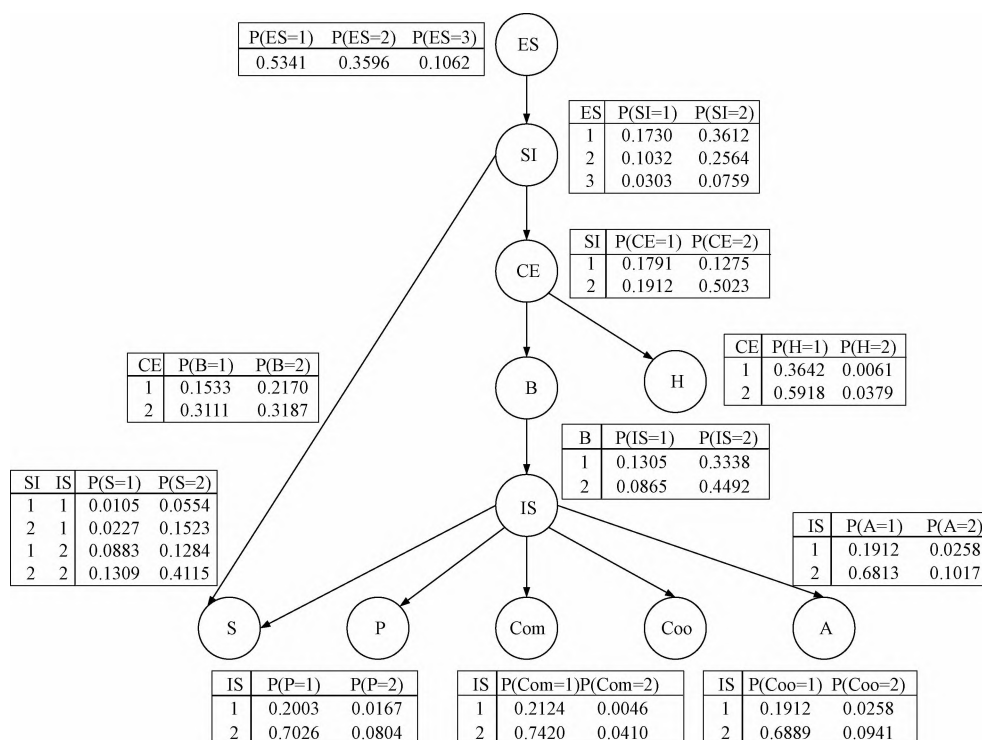
4.2.2 贝叶斯网参数学习及推理

(1) 基本原理

贝叶斯网参数学习是在确定了节点变量之间的因果

① 假设节点变量为 X ,其父节点表示为 $Parent(X)$ 。

② 在先验信息中,有三个循环,这与贝叶斯网的有向无环图的要求不一致,为此需要消除环。第一个循环从是否有新刺激转回到行为模型的第一步。循环的条件是有新的刺激发生,这个条件与模型的第一个变量相同,如果把每一个新刺激都作为行为的起点,即有新的外部刺激时重新开始这个行为过程,那么这个循环可以消除。第二个循环由“是否做出决策”、“缓冲行为”、“识别情境”构成,我们把这个局部的循环合并为一个节点,即缓冲行为,从而消除这个循环。第三个循环从识别情境判断出不安全转到是否做出下一步决策,这是采取避险等行为后进一步根据情境因素做出的判断的行为,如果在此我们不考察采取避险等行为之后的行为,那么这个循环也就消除了。



注: 图中各节点旁边的概率为各节点的联合概率分布; b. ES (外部刺激 external stimulus)、SI (感觉信息 sensory information)、CE (与知识经验比较 compare with experience)、B (缓冲行为 buffering behavior)、H (从众行为 herd behavior)、IS (识别情境 identify situation)、S (人身安全 protect safety)、P (保护财产 protect property)、Com (沟通行为 communication)、Co (协调行为 coordination)、A (协助行为 assistant)

图 2 地震发生瞬间个体的应急行为为贝叶斯网络模型

Figure 2 Bayesian network model of individual emergency behavior during earthquakes

关系后,将其表示成贝叶斯网络拓扑结构,通过参数学习的方法对训练集数据进行学习,从而确定各个决策变量的条件概率以及各变量关系的强弱^[33]。参数学习的方法有两种:最大似然估计和贝叶斯方法。前者,将未知参数看作是固定的值,参数的最优值通过最大化样本概率获得,而且在计算时完全基于样本数据,不需要先验概率,最大似然估计的原理如下:

假设总体 X 是离散型随机变量^① 样本 X_1, X_2, \dots, X_n 对应的观测值为 x_1, x_2, \dots, x_n , 样本集合 $D = \{X_1, \dots, X_n\}$, 未知参数为 θ , 则总体 X 的分布律可表示为:

$$p(x; \theta) = P(X = x) \quad (1)$$

离散型总体样本的似然函数可表示为:

$$L(D; \theta) = P(D | \theta) = \prod_{k=1}^n p(x_k | \theta) \quad (2)$$

式(2)中, $L(D; \theta)$ 就是样本集合 D 下的似然函数。对未知参数 θ 的求解,实际上就是寻找能够使得 $L(D; \theta)$ 最大的 $\hat{\theta}$ 值,即:

$$L(D; \hat{\theta}) = \max_{\theta \in \Theta} \{L(D; \theta)\} \quad (3)$$

式中, Θ 为参数空间。

贝叶斯方法则假设未知参数是服从某种先验概率分布的随机变量,这一点是与最大似然估计最大的不同^[37]。在原理上,对样本的学习,实际上就是由先验概率计算出后验概率的过程。根据先验概率分布的不同,贝叶斯估计可分为众数型贝叶斯估计、中位数型贝叶斯估计和期望型贝叶斯估计。在这里不再赘述。

虽然最大似然估计和贝叶斯估计在方法上本质是不同

的,但是两者的结果通常很接近。而且最大似然估计具有明显的优势:其一,在操作上技术更加简单,计算复杂度低;其二,对先验信息的依赖程度低;其三,当样本数目增加时,收敛性质会更好^[38]。因此,本文采用最大似然估计进行参数学习。

在贝叶斯网络结构中,对于给定的节点,除了该节点的父节点和子节点外,其他节点与该节点之间均存在着条件独立的关系。那么贝叶斯网络中复杂的联合概率分布可以通过这种条件独立性进行拆分,最终表示成相对简单的概率乘积,从而降低了基于网络概率推断的难度。贝叶斯网络的联合概率分布可以表示为,

$$\begin{aligned} P(X_1, X_2, \dots, X_m) &= P(X_1) P(X_2 | X_1) \dots \\ &= \prod_{m=1}^m P(X_m | X_1, X_2, \dots, X_{m-1}) \\ &= \prod_{i=1}^m P(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) \\ &= \prod_{i=1}^m P(X_i | \text{Parents}(X_i)) \end{aligned} \quad (4)$$

为了加快推理速度,提高计算精度,降低计算复杂度,不少学者设计了不同的推理算法,其中联结树推理算法是当下普遍使用的精确推理算法之一;该算法的主要思想是将贝叶斯网络转化为一棵无向树,让已知信息在树上进行传递,从而推理出贝叶斯网络中变量的概率分布^[39]。这种算法结合了信念传播和与积算法的效率,以及变量消解过程的通用性,不仅能够计算查询中的后验概率分布,还能够计算所有

① 通过数据处理后,本文研究的变量实际上均为离散型随机变量。

其他未被观察的变量的后验概率分布^[33]。

(2) 操作步骤

研究 2 应用基于软件 Matlab 的贝叶斯网络工具箱 (Bayes Net Toolbox, BNT) 进行参数学习和推理^[34], 操作步骤如下。

第一步, 对各个节点变量进行取值。外部刺激节点根据地震强度分为轻微晃动、强烈晃动和剧烈晃动三种程度, 分别用 1、2、3 来进行编码。其他节点包括感觉刺激、与知识经验比较、缓冲行为、从众行为、识别情境、人身安全行为、保护财产行为、沟通行为、协调行为、协助行为, 均用 1(表示未发生)和 2(表示发生)进行编码。数据合计 659 条。

第二步, 以视频信息记录编码后的 659 条样本数据为贝叶斯参数学习的训练集, 利用最大似然估计算法进行参数学习得到各个节点的条件概率分布 (Conditional Probability Distribution, CPD)。

第三步, 采用联结树算法进行精确推理^[34], 得到各组父子节点的联合分布概率 (Joint Probability Distributions, JPD), 单个节点的边缘概率 (Marginal Probability Distributions, MPD)。

4.2.3 结果分析与讨论

对贝叶斯参数学习及推理结果进行整理得到图 2 所示的“地震发生瞬间个体的应急行为贝叶斯网络模型”。其中, 图 2 中除描述了各节点的网络结构之外, 还包含外部刺激的 MPD 和其他父子节点的 JPD 共 11 个分布表。具体而言, 两个节点间以单向箭头连接, 代表节点之间的相互关系。如由 ES 指向 SI 的箭头, 表示 ES 是 SI 的父节点, 而 SI 是 ES 的子节点。除去开始的节点 ES 为 MPD 外, 其余各节点旁边的概率为 JPD。以 SI 节点为例, $P(SI = 1 | ES = 1) = 0.1730$, 表示地震发生时轻微晃动且个体感受到刺激的概率为 0.1730, 其他概率的含义类同。此外, 通过贝叶斯公式^①, 联合分布可以很方便地转换为条件概率分布, 还可以根据贝叶斯网中节点间信息传递的规律计算任意节点间的条件概率。例如我们可以根据贝叶斯网络推理计算地震等级对缓冲行为的影响。下面结合贝叶斯网络参数学习及推理的结果做以下分析。

首先, 对于外部刺激这一节点, 轻微晃动发生的概率是 0.5341, 强烈的是 0.3596, 而剧烈的是 0.1062。这表明所统计的大部分地震的强度处于轻微晃动或强烈晃动的级别。其次, 在接收到外部刺激后, 人们普遍能够通过感觉来察觉到周围情况的变化 ($P(SI = 2 | ES) > P(SI = 1 | ES)$) 且地震强度越大, 人们越容易觉察到周围的变化 ($P(SI = 2 | ES = 1) = 0.6762$, $P(SI = 2 | ES = 2) = 0.7130$, $P(SI = 2 | ES = 3) = 0.7147$)。在一些特殊情况, 例如处于睡眠状态, 人们感受到外部环境变化的可能性会降低。但若群体中存在一些对外部变化非常敏感的人, 当他们迅速发出警告信息时, 可以提高人群整体的反应速度。

接着, 当人们感觉到了外部环境变化, 不少个体会直接作出保护自身安全的躲避行为 ($P(R = 2 | SI = 2) = 0.7785$), 如迅速躲到桌子下面, 双手抱头等。还有一部分个体则会产生一个思考的过程, 利用经验和知识来对当前情境进行分析 ($P(CE = 2 | SI = 2) = 0.7243$)。而且感觉到外部刺激提高了人们进行与知识经验比较的可能性 ($P(CE = 2 | SI = 1) = 0.4185$)。

在经历分析思考过程后, 个体一般会产生两种行为: 从众行为和缓冲行为。就第一种行为而言, 与知识经验比较的过程增加了个体从众发生的概率 ($P(H = 1 | CE = 1) = 0.9836$, $P(H = 1 | CE = 2) = 0.9398$)。这表明群体行为在一定程度上能够干扰甚至左右个体的思考过程。然而, 人们无论是否有思考过程都可能会表现出缓冲行为, 以保护自身安全 ($P(B = 2 | CE = 1) = 0.5861$, $P(B = 2 | CE = 2) = 0.5060$)。进一步推理分析发现地震强度越大人们越容易表现出缓冲行为 ($P(B = 2 | ES = 1) = 0.1654$, $P(B = 2 | ES = 2) = 0.2904$, $P(B = 2 | ES = 3) = 0.5442$)。缓冲行为更像是一种应激性的本能反应或条件反射。而且, 缓冲行为的同时人们倾向于对外界情境进行判断并做出下一步行动决策 ($P(IS = 1 | B = 2) = 0.1615$, $P(IS = 2 | B = 2) = 0.8385$)。

识别情景后的决策结果一般包括五种行为, 即采取措施保护自己的人身安全和财产安全, 当处于群体中时可能会有协助或协调其他人的逃生行为, 并伴随一些沟通行为。采取协调行为的人员常常是具有相应工作职责的人员, 例如商场中的售货员或保安, 公共场所的治安维护人员等。其中, 保护人身安全是人们普遍选择的一个行为 ($P(S = 2) = 0.7476$)。尽管其他四种应对行为发生的概率很小, 但我们在这些行为发生的条件下, 识别情境发生的概率却很高, 表明四种应对行为的发生与识别情境行为的发生具有一定关系。

以上分析从定量的结果揭示了地震中人们的行为规律。在接收到外部刺激后, 人们普遍能够觉察到变化。为了得到变化产生的原因, 会产生与知识经验比较的心理过程。在这个阶段, 通过缓冲行为观望并为识别情境做准备。最后, 根据以上分析和判断并做出决策。

4.3 贝叶斯网络模型的应用示例

贝叶斯网络推断技术的应用, 不仅可以通过已有的“证据信息”进行推断, 而且当有新的研究数据或变量产生时, 依然可以根据已有的贝叶斯网络结构和参数信息, 推断新变量与其他变量之间的关系^[33-34]。例如, 在本文收集的视频数据中, 还包含了性别、年龄和国家等人口统计变量。这些变量可以融入已经建立的网络中, 进一步的探究人口统计变量对各阶段行为的影响。

本文以性别为例, 加入节点变量性别 (字母表示 Gender), 男性编码为 1 (411 条数据), 女性编码为 2 (248 条数据)。采用 4.2.2 节中操作步骤中第二步和第三步的方法进行参数学习和推理, 并结合 Z 检验的方法, 探究性别对各个行为节点的影响。表 3 统计了给定性别条件下各行为节点发生的概率。例如, $Gender = 1$, $G_j = 2$ 对应的概率值为 0.7129, 即 $P(G_j = 2 | Gender = 1) = 0.7129$ 。

首先, 男性产生感觉信息的概率大于未产生感觉信息的概率, 而女性则不同; 且给定性别条件下男性产生感觉信息

$$\textcircled{1} P(A_i | B) = \frac{P(A_i) P(B | A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i) P(B | A_i)} \quad P(A_i, B) = P(A_i) P(B | A_i)$$

其中, $P(A_i | B)$ 是在事件 B 发生的情况下 A_i 发生的条件概率; $P(A_i)$ 是事件 A_i 的先验概率或条件概率; $P(A_i, B)$ 是事件 A_i 与 B 同时发生的联合概率。

A_1, \dots, A_n 为完备事件组, 即 $\cup_{i=1}^n A_i = \Omega$, $A_i A_j = \emptyset$, $P(A_i) > 0$

的概率显著高于女性($Z = 23.422$ $p = 0.000$)。在一定程度上说明,男性比女性对地震所带来的外来刺激更加敏感。其次,性别影响了个体与知识经验比较的行为,男性条件下发生的概率显著高于女性($Z = 28.648$ $p = 0.000$),男性在地震状况下发生理性思考的可能性要大于女性。

表 3 性别对各阶段行为的影响

Table 3 The influence of gender on behavior at each stage

发生的概率	Gender=1	Gender=2	Z	P(双侧)
SI=2	0.7129	0.6613	23.422	0.000
CE=2	0.6545	0.5887	28.648	0.000
H=2	0.0438	0.0444	-0.620	0.536
B=2	0.5134	0.5726	-25.340	0.000
IS=2	0.7056	0.8297	-60.454	0.000
S=2	0.5276	0.4906	17.989	0.000
P=2	0.0925	0.1048	-8.649	0.000
Com=2	0.0511	0.0363	15.998	0.000
Coo=2	0.1387	0.0887	35.167	0.000
A=2	0.0827	0.2016	-67.903	0.000

接着,性别对从众行为和缓冲行为的影响是不一致的。不管是男性还是女性,从众行为发生的概率不高,且差异不大($Z = -0.620$ $p = 0.536$);而女性条件下缓冲行为出现的概率显著高于男性($Z = -25.340$ $p = 0.000$)。另外,当由缓冲行为进入识别情境时,女性发生识别情境概率高于男性($0.3029 > 0.2160$)。并且女性条件下出现识别情境的概率显著高于男性($Z = -60.454$ $p = 0.000$)。女性群体在地震中,比较倾向于采取观望的态度看事态的发展,而男性则倾向于做出决定。

在分析性别对五种决策行为的影响时发现:男性条件下保护人身安全行为、沟通行为和协调行为发生的概率显著高于女性($Z = 17.989$ $p = 0.000$; $Z = 15.998$ $p = 0.000$; $Z = 35.167$ $p = 0.000$);而女性在保护财产安全和协助行为上显著高于男性($Z = -8.649$ $p = 0.000$; $Z = -67.903$ $p = 0.000$)。回顾视频发现,女性在视频记录中保护财产行为大部分是取回自己的背包等私人财物,协助行为发生时多为帮助身边或者怀中的孩子逃离;而男性在视频记录中,除保护自身安全外,沟通行为和协调行为的服务对象多为他人。

研究发现性别基本上对每一个阶段的行为均有显著的影响,总体上男性在地震中表现得更为果断,而女性则显得犹豫,这可能是由于男性与女性的角色不同而产生的。

以上展示了性别对地震应急行为的影响,采用同样的方法可以分析多种环境因素(时间、位置、所处环境等)、个体因素(年龄、国别等)、群体因素(群体规模、群体类型等)对地震应急行为的影响,一方面可以探索这些变量对地震应急行为的影响规律,另一方面也可以将结果应用到地震灾害的预防、培训、救援等方面。

5 结论与建议

本文采用定性和定量相结合的方法,对个体在地震发生时的行为进行了探索性研究。研究发现个体在感知到地震引起的外界环境变化时会进行信息的分析处理即与知识经验做比较、危险性的判断、应对的决策、应对的行为以及采取应对行为后持续进行情境识别和信息搜索,直至确认安全恢

复日常行为,整个行为过程可以划分为七个阶段,其中包括三个循环。人们在地震中的应对行为主要包括“人身安全行为”“保护财产”“协调的行为”“协助行为”和“沟通行为”。利用贝叶斯网络模型对视频记录地震中个体行为的信息进行了定量分析,计算了各种行为发生的条件概率或联合概率,分析了人们的行为规律,并应用建立的“地震发生瞬间个体的应急行为贝叶斯网络模型”探究了性别对各个阶段行为的影响。模型获得的结果为采用计算机模拟方法研究地震疏散或地震救援等问题提供了重要的基本参数。利用模型可以分析多种人们关心的因素对地震应急行为的影响。同时也可以利用模型来对地震发生瞬间个体的状态及行为进行双向推测。这意味,当获知个体所处状态时,依靠该模型能够通过正向推理预测个体下一阶段不同行为发生概率;或者通过反向推理获得个体上一阶段各行为发生的概率。救援人员可以应用这一信息采取更加适合的救援方法和手段,进而增加个体的生还机会。

根据人们行为规律本文提出如下建议与措施以改善地震中人们的应对行为,降低人们受伤害的风险。

第一,不同地震强度下,人们感觉到刺激的概率是不一致的。在一定程度上,越早察觉到周围变化,人们越能及时做出合适的决策,为救援赢得时间。可以结合现代科学技术,如地震体验馆、虚拟现实等对个体进行培训,从而加强个体对外部变化的感知能力,进而增强人们对地震的识别能力。

第二,从众行为在一定程度上与知识经验有关。这意味着地震当中人们的从众行为并非完全盲目的,他们也要通过思考和判断,但现实中从众的结果经常导致更大的危害,例如踩踏事件、阻塞救援、集体被困等。回顾本文研究1中的访谈,发现地震中人们在与知识经验进行比较时,通常会搜寻关于地震的一些记忆与当前情形进行比较。而这些储备的知识大多是不确定、不准确和不完整的,导致信息匹配出现误差,个体的从众行为往往是在认知和判断模棱两可的情况下发生的,这大大增加了误判的概率。因此,在地震培训中增加从众决策的培训,从而增大出逃成功的几率。在建筑物标识、信息广播等方面考虑从众的影响。

第三,地震中的人们倾向于通过缓冲行为来观望以便为之后的行为做准备,比如站稳、靠墙、躺下。此时,人们在进行暂时性的安全防护的同时也在寻找出逃时机。但是,慌乱的情绪等往往会误导人的判断,而在地震中的人即便是做过相关培训,也很难做到临危不乱。这个时候就需要有醒目易懂标识来对人们进行引导,如安全出口的位置所在地以及当前位置的距离、地震强度警报、常见的防护手段等。而且,建筑物避震标识的设计应当满足个体的行为反应模式,这意味着这些标识应当具有系统性和连通性,以适应不同阶段的行为规律,进而有效辅助个体自我保护及出逃。

第四,在地震发生时,人身安全行为是发生频率最高的决策,这表明个体自救意识是十分强的。然而仅仅有保护自身安全的意识而不了解避震措施,不懂得如何实施,仍然会使个体失去生还的机会。例如,地震发生瞬间的跳楼、跳窗等行为;抑或是被埋在废墟之下后,大吼大叫等,这些不恰当的行为不仅不能保护个体自身,反而会使个体丧失获得营救的最佳机会。因此,有必要加强教育,定期开展地震避险培

训,使人们了解和掌握正确恰当的安全保护措施。

第五,保护财产、沟通行为、协调行为和协助行为的发生与进行识别情境具有一定关系。通过对人进行情境识别的培训可以提高以上四种行为的发生,从而增强震时公共财产保护的意识和提高人群聚集处疏散成功的概率。

第六,性别会影响地震中个体的行为。男性表现地更为果断,而女性则显得犹豫。在未来的地震教育和培训中应当充分考虑男性和女性各自的特点。例如涉及疏散指挥的工作时,应当充分发挥男性的作用,提高疏散效率。

根据以上分析,研究者认为以下两个问题是未来值得进一步分析研究的:

(1) 思想活动对个体行为决策的影响的深入研究

在视频中我们只分析了能够观察到的因素对行为的影响,但不能了解个体当时的思想活动(这也是无法克服的一点),而这思想活动对其行为是会产生影响的。

(2) 地震中群体行为特点分析的研究

本文只研究了地震时个体的行为特点,但在视频记录中,研究者发现在地震中,学校、医院等人群密集区群体行为也呈现一定的规律性,个体是组成群体的基本单位,群体行为研究能够帮助学者深入分析影响个体行为产生的因素。

参 考 文 献

- [1] Li S, Yu X, Zhang Y, et al. A numerical simulation strategy on occupant evacuation behaviors and casualty prediction in a building during earthquakes [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018, 490: 1238-1250.
- [2] 季珏,高晓路,徐匆匆,等.基于疏散行为的震灾避难场所服务效率评价[J].*地理科学进展*, 2017, 36(8): 965-973.
Ji J, Gao X L, Xu C C, et al. Evaluating method on service quality of seismic emergency shelters based on evacuation behaviors [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(8): 965-973.
- [3] Helbing D, Farkas I, Vicsek T. Simulating dynamical features of escape panic [J]. *Nature*, 2000, 407(6803): 487-490.
- [4] Tan L, Hu M, Lin H. Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency [J]. *Information Sciences*, 2015, 295: 53-66.
- [5] Mileti D S, Nigg J M. *Earthquakes and Human Behavior* [J]. *Earthquake Spectra*, 1984, 1(1): 89-106.
- [6] Zimbardo P. *Psychology and Life* [M]. (12th edition). Boston, MA: Scott, Foresman and Co. 1985.
- [7] Bernardini G, Lovreglio R, Quagliarini E. Proposing behavior-oriented strategies for earthquake emergency evacuation: a behavioral data analysis from New Zealand, Italy and Japan [J]. *Safety science*, 2019, 116: 295-309.
- [8] Lin J, Zhu R, Li N, et al. How occupants respond to building emergencies: a systematic review of behavioral characteristics and behavioral theories [J]. *Safety science*, 2020, 122: 104540.
- [9] 苏幼坡,王子平.地震时灾民心理反应与避震行为选择分析 [A]. 第五届全国地震工程会议论文集 [C]. 北京:地震出版社, 1998: 293-298.
Su Y P, Wang Z P. Analysis of the psychological response and seismic behavior choice of the victims during the earthquake [A]. The 5th China National Conference on Earthquake Engineering [C]. Beijing: Seismological Press, 1998: 293-298.
- [10] Goltz J D, Bourque L B. Earthquakes and human behavior: A sociological perspective [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 21: 251-265.
- [11] Prati G, Catufi V, Pietrantonio L. Emotional and behavioural reactions to tremors of the Umbria-Marche earthquake [J]. *Disasters*, 2012, 36(3): 439-451.
- [12] Li X, Wang Z, Gao C, et al. Reasoning human emotional responses from large-scale social and public media [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2017, 310: 182-193.
- [13] 郭剑明,李英辉,杜红兵.火灾中人的心理状态及行为特点的研究 [J]. *中国安全生产科学技术*, 2007, 3(3): 35-38.
Wu J M, Li Y H, Du H B. Study of psychological and behavior characteristics of individuals during fire accident [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2007, 3(3): 35-38.
- [14] Fang J, Hu J, Shi X, et al. Assessing disaster impacts and response using social media data in China: A case study of 2016 Wuhan rainstorm [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2019, 34: 275-282.
- [15] 朱华桂.突发灾害情境下灾民恐慌行为及影响因素分析 [J]. *学海*, 2012(5): 90-96.
Zhu H G. Analysis on panic behavior and influencing factors of disaster victims in the sudden disaster [J]. *Academia Bimestrie*, 2012(5): 90-96.
- [16] 杨继平,郝建君.情绪对危机决策质量的影响 [J]. *心理学报*, 2009, 41(6): 481-491.
Yang J P, Zheng J J. The effect of emotion on the quality of crisis decision-making [J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2009, 41(6): 481-491.
- [17] 张云翌,杨乃定.决策者情绪对应急决策的影响研究:一个理论框架 [J]. *情报杂志*, 2015, 34(10): 65-70.
Zhang Y Y, Yang N D. Mechanism study on how decision-maker's emotion affects the emergency decision-making: A theoretical framework [J]. *Journal of Intelligence*, 2015(10): 65-70.
- [18] 刘更才.城市地震时人的心理反应与应急对策 [J]. *灾害学*, 2001, 16(4): 72-76.
Liu G C. Human psychological and behavior response in case of an earthquake in city and emergency measures [J]. *Journal of Catastrophology*, 16(4): 72-76.
- [19] 李良.大型自然灾害紧急救援伦理决策行为研究 [M]. 成都:西南交通大学出版社, 2017.
Li L. Research on Ethical Decision-making Behaviors in Emergency Rescue of Large-scale Natural Disasters [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2017.
- [20] 董惠娟,李小军,杜满庆,等.地震灾害心理伤害的相关问题研究 [J]. *自然灾害学报*, 2007, 16(1): 153-158.
Dong H J, Li X J, Du M Q, et al. Study on problems related to earthquake disaster-caused psychological traumas [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(1): 153-158.
- [21] 王江波,苟爱萍.老旧住区居民地震紧急避难空间选择与行为特征分析 [J]. *人文地理*, 2016, 31(2): 68-73.
Wang J B, Gou A P. Analysis of the characteristics of emergency refuge space choice and behavior of residents in old residential district [J]. *Human Geography*, 2016, 31(2): 68-73.
- [22] Asai D, Sagata Y, Asano Y. On-site information seeking behaviors in earthquake and tsunami [C]. CHI'13 Extended Abstracts on

- Human Factors in Computing Systems. ACM ,2013: 1881-1886.
- [23] Nakaya N , Nemoto H , Yi C , et al. Effect of tsunami drill experience on evacuation behavior after the onset of the Great East Japan Earthquake [J]. International journal of disaster risk reduction ,2018 ,28: 206-213.
- [24] Parady G T , Hato E. Accounting for spatial correlation in tsunami evacuation destination choice: a case study of the Great East Japan Earthquake [J]. Natural Hazards ,2016 ,84(2) : 797-807.
- [25] Liu T T , Liu Z , Ma M , et al. An Information Perception-Based Emotion Contagion Model for Fire Evacuation [J]. 3D Research , 2017 ,8(1) : 1-16.
- [26] Zhang H , Liu H , Qin X , et al. Modified two-layer social force model for emergency earthquake evacuation [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications ,2018 ,492: 1107-1119.
- [27] Karashima K , Ohgai A. An evacuation simulator for exploring mutual assistance activities in neighborhood communities for earthquake disaster mitigation [J]. International Review for Spatial Planning & Sustainable Development ,2018 ,6(1) : 18-31.
- [28] Glaser B G , Strauss A L. The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research [M]. Chicago , IL: Aldine Pub. Co. ,1967.
- [29] Denzin N K , Lincoln Y S. Handbook of qualitative research [M]. Thousand Oaks , CA: Sage Publications ,1994: 273-285.
- [30] Strauss A L , Corbin J M. Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques [M]. Newbury Park , CA: Sage Publications ,1990.
- [31] Lambie E , Wilson T M , Johnston D M , et al. Human behaviour during and immediately following earthquake shaking: developing a methodological approach for analysing video footage [J]. Natural Hazards ,2016 ,80(1) : 249-283.
- [32] 叶跃祥 , 糜仲春 , 王宏宇 等. 基于贝叶斯网络的不确定环境下多属性决策方法 [J]. 系统工程理论与实践 ,2007 ,27(4) : 107-113.
- Ye Y X , Mi Z C , Wang H Y , et al. A Bayesian-networks-based method for multiple attributes decision-making under uncertainty [J]. Systems Engineering-Theory and Practice ,2007 ,27(4) : 107-113.
- [33] Bellot D. Learning Probabilistic Graphical Models in R [M]. Birmingham: Packt Publishing Ltd ,2016.
- [34] Murphy K P. The bayes net toolbox for Matlab [J]. Computing Science and Statistics ,2001 ,33.
- [35] 詹原瑞 , 谢秋平 , 李雪. 贝叶斯网络在因果图中的应用 [J]. 管理工程学报 ,2003 ,17(2) : 118-121.
- Zhan Y R , Xie Q P , Li X. The application of Bayesian network in causal map [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management ,2003 ,17(2) : 118-121.
- [36] 裘江南 , 刘丽丽 , 董磊磊. 基于贝叶斯网络的突发事件链建模方法与应用 [J]. 系统工程学报 ,2012 ,27(6) : 739-750.
- Qiu J N , Liu L L , Dong L L. Modeling method and application of emergent event chain based on Bayesian network [J]. Journal of Systems Engineering ,2012 ,27(6) : 739-750.
- [37] Weller J I. Least squares , genomic selection in animals: maximum likelihood , and Bayesian parameter estimation [M]. New York: John Wiley & Sons , Inc. ,2016: 21-29.
- [38] Webb A R , Copsey K D. Statistical pattern recognition [M]. (3rd edition) . New York: John Wiley & Sons Inc ,2011.
- [39] Guo H , Hsu W. A survey of algorithms for real-time Bayesian network inference [A]. AAAI Technical Report [C]. 2002.

Exploratory research on the patterns of individual emergency behaviors during earthquakes

LI Liang , LI Luyun*

(School of Economics and Management , Southwest Jiaotong University , Chengdu 610063 , China)

Abstract: Knowledge about individual behaviors in earthquake emergencies serves as the basis of emergency management. At present , the earthquake disaster management literatures published at home and abroad cover some important issues , like pre-earthquake prediction , disaster prevention , and post-earthquake relief. These studies reveal that the effective implementation of coping strategies at the time of disasters , the allocation of rescue resources and the implementation of the rescue plans after disasters are inseparable from a deep understanding of human behaviors. In fact , many earthquake casualties are not directly resulted from the earthquake , but from individuals' failure to take rational and effective measures to avert hazards. Instead of any error in the knowledge acquired in daily life , the reason lies in the fact that the hazard avoidance guidance adopted is mainly from the perspective of engineering analysis , without taking people's responses and behaviors into account , which leads to individuals' failure to follow the hazard avoidance guidance in emergencies. Therefore , emergency management should fully consider behavioral patterns of individuals in dangerous situations. However , due to difficulties in data acquisition during disasters , studies on individual behaviors in the event of an earthquake are still very rare. Intended to fill this gap , this paper studies individuals' immediate responses/behaviors to earthquakes and explores the patterns and characteristics of such behaviors , applying a qualitative and quantitative mixed research strategy , in which a two-step study was conducted on people's behaviors in real seismic scenes.

The first step is a qualitative analysis of interview data. In-depth interviews were conducted with 51 earthquake survivors by the theoretical sampling method and according to the procedure of grounded theory. The interview data were qualitatively studied , and the grounded theory of individual behaviors during earthquakes was developed , that is , a "seven-stage-three-cycle" model of individual emergency behaviors during earthquakes. The first stage of the model of individual emergency behaviors following earthquakes is stimuli

perception. The second stage of the model is comparing the current situation with experience and knowledge. The third stage and the first cycle involve judgment on whether it is dangerous. The fourth stage and the second cycle are making decisions. The fifth stage is coping behavior. The sixth stage and the third cycle are identifying situation after action. The seventh stage of the model is resuming normal behaviors. There are mainly five kinds of coping behaviors, i. e. self-protection, property protection, communication, coordination and assistance. In addition, in earthquake emergencies, even if the coping behavior has been taken, the individual would continue to identify the situation and search for information, while safety is not confirmed, and return to the decision-making stage when necessary to judge and select the response behavior again until safety is confirmed and the normal behaviors are restored.

The second step aims to extend the first one by quantifying the “seven-stage-three-cycle” model. Videos of real seismic scenes at home and aboard were collected, and were described and coded by the specific rules. Meanwhile, individual actions and behaviors are sorted to the “seven-stage-three-cycle” model according to their meanings. Next, a “Bayesian network model of individual emergency behaviors during earthquakes” was built with the structure of the “seven-stage-three-cycle” model as the prior belief. The video data were analyzed by means of parameter learning and Bayesian network inference, from which the conditional (joint) probability distribution tables of individual behaviors were generated. Conclusions are drawn as follows, through the analysis on this Bayesian network. First, for different levels of earthquake intensity, the probability of individuals’ stimuli perception is different; Second, people’s herding behavior is related to their experience and knowledge; Third, individuals in earthquakes tend to wait and see while using buffering behavior such as standing firm, leaning against walls, and lying down in preparation for later actions; Fourth, when an earthquake occurs, the probability of individuals choosing to engage in self-protection is the highest compared to other coping behaviors, which shows that people’s self-saving consciousness is very strong; Fifth, the occurrence of property-protection, communication, coordination and assistance behaviors respectively has a certain relationship with the situation identification; Sixth, different gender tends to have different behavior pattern in earthquakes, that is, men are more decisive in the earthquake, while women are hesitant. Furthermore, our “Bayesian network model of individual emergency behavior during earthquakes” is also applicable to analysis on lots of other factors that people concerned about in earthquakes.

Human factors are non-ignorable in the earthquake drills. The individual behavior patterns found in this paper can be used to make more effective coping strategies to reduce risk in earthquake disasters. The results of Bayesian network model in this paper provide important basic parameters for the studies of earthquake evacuation or earthquake rescue based on computer simulation and others. The model can also be applied to make bi-direction prediction of the state and behavior of individuals immediately following earthquakes.

Key words: Earthquake; Decisions of averting hazards; Mixed research strategy; Bayesian network

Received Date: 2019-02-28

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (71271115) and the Humanities and Social Sciences Youth Project of MOE China (12YJC630096).

* Corresponding author