

多目标决策方法在防台风中的应用*

许同生, 刘 茂, 关惠兴, 卢雪翠

(南开大学 城市公共安全研究中心, 天津 300071)

摘 要: 提出了一种基于不确定信息和蒙特卡罗模拟的多目标决策方法, 在投入一定的情况下, 选取最合适的台风防灾减灾措施。该方法允许决策者对不同属性指标给出相应的效用函数和属性权重区间值, 通过随机选取权重和效用函数区间内的值相乘得出结果, 并使用蒙特卡罗模拟技术对结果进行了敏感性分析。最后, 以浙江省台风灾害防灾减灾措施的比较为例, 详细讨论了该方法的应用。

关键词: 不确定信息; 蒙特卡罗模拟; 多目标决策; 台风; 浙江

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)02-0030-04

台风是一种发生频率高、影响范围广、造成损失严重的自然灾害。台风灾害在近岸表现为风、浪与风暴潮结合引起的灾害; 在内陆则主要表现为风和暴雨灾害以及由暴雨引起的洪水和诱发的滑坡、塌方及泥石流等灾害^[1-3]。我国政府非常重视应对突发公共危机事件的工作, 2007年8月《突发事件应对法》正式发布, 使台风防御应急管理进入了法制化轨道^[4]。

随着社会经济的发展和科学技术的进步, 对于台风的观测和预报能力不断加强, 各种防灾减灾措施也应运而生。由于对台风的防灾减灾措施很多, 在经济投入有限的情况下, 很难同时采取全部的措施, 只能对某些措施投入较多。因此如何选取最合适的措施或如何分配不同措施的财力投入, 确保采取的措施能发挥最大的防灾减灾作用就成了令决策者困扰的问题。

1 决策分析的基本原理及步骤

由于台风灾害的防灾减灾有多个目标, 既要保证人员的安全又要尽可能地减少社会的经济损失, 在某种意义上来说他们的目标可能是有冲突的。只有在不考虑或少考虑其他目标的情况下, 某一目标才能取得最好的结果。因此, 需要进行决策分析以帮助决策者判断^[5,6]。

传统的决策分析方法要求权重和效用以单一

值或精确值的方式输入到决策模型中。然而, 在多专家共同协作或决策者对于要决策的问题的了解不是十分深入时, 则容易出现输入的数值不当, 影响结果的可靠性。本文中使用了—种基于不确定信息的决策分析方法, 其基本思路如下: 属性指标的权重和效用函数都以区间值的形式给出, 通过定量决策者的偏好, 随机地选取权重和效用函数的区间值并相乘以求得总的效用值。在求得不同方案总的效用后, 对方案进行分级并进行敏感性分析, 从而获得最合适的方案^[7-9]。决策分析主要可以分为5个步骤。

1.1 问题的构建以及属性指标的确定

对于复杂的多目标决策问题, 使用分级结构模型来描述有许多的优势。它可以确保底层目标不被忽略, 冗余的和双重计算的情况很容易被发现, 由于底层目标的描述的十分详细, 容易找出其合理属性指标。但使用分级结构模型必须注意的是考虑问题要尽可能的全面, 其中所有的具有相似重要性的目标必须在同一层次。

1.2 方案的确定与赋值

在考虑多目标群体决策问题时, 决策者往往需要从一系列的方案中找出最有效或最佳的方案。这些方案的好坏通过一系列的属性指标来评价。方案的后果可以通过一系列的不确定值的范围来表示: $S^j = ([x_1^j, x_1^j], \dots, [x_n^j, x_n^j])$, 其中 x_i^j 和 x_i^j 是方案 S^j 在第 i 个属性上结果的上下边界。

* 收稿日期: 2008-12-17

基金项目: 十一五国家科技支撑计划(200603746006)

作者简介: 许同生(1985-), 男, 浙江乐清人, 硕士研究生, 主要从事城市公共安全研究. E-mail: xts1127@sina.com

1.3 偏好的量化与结果的分级

传统的偏好量化方法要求将权重和效用函数以精确值或唯一值的方式表示。但在实际决策过程中, 由于不同专家的偏好可能不同, 决策者往往面临两难的选择情况。通过允许决策者提供偏好的不确定值而非精确值, 可以有效的减轻决策者的压力。

偏好的量化包括量化决策者的每一个属性指标的效用函数和权重。量化的过程可以借助决策支持系统^[5]实现。在量化了决策者的不同偏好后, 各方案的效用值可以由多属性效用叠加模型进行计算, 其基本形式如下:

$$u^l(S^j) = \sum_{i=1}^n k_i^l u_i^l(x_i^j), \quad (1)$$

式中: $k_i^l \in [k_i^L, k_i^U]$ 为第 i 个属性指标 X_i 的权重; $u_i^l(g)$ 为效用函数范围 $[u_i^L(g), u_i^U(g)]$ 中的一个效用函数; $x_i^j \in [x_i^L, x_i^U]$ 为方案 S^j 在第 i 个属性上的赋值结果。通过计算属性指标权重和效用函数概率密度, 可以确定模拟过程中取区间内某数的频率; 也就是按照计算出的概率密度函数随机产生属性指标权重及效用函数, 把两者相乘就得到总的效用函数; 最后根据总效用函数值的大小对这些方案进行排序, 可以得出基于总效用值的方案分级。

而各方案的最佳情况的确定是根据计算其期望值所得的。期望值是通过计算每一个方案被分配到每一级别的可能性乘以质心函数所得到的。当设定的模拟次数完成后, 系统计算每一个方案的期望值 $E(S^j)$ 。

方案的期望值计算表达式如下:

$$E(S^j) = \sum_{k=1}^s p_k^j f(k), \quad (2)$$

式中: p_k^j 为方案 S^j 被分到 k 等级的可能性, $p_k^j = \frac{y_k^j}{M}$; y_k^j 为在 M 次模拟中方案 S^j 被分到 k 等级的次数, $j = 1, \dots, s$; $f(k) = \frac{\sum_{r=k}^s \frac{1}{r}}{\sum_{r=1}^s \frac{1}{r}}$ 为质心函数, $f(k)$ 基本的要

求为必须是非负的、经标准化的值, 其值不随 k 值增大而增大。在标准化后取 $f(1) = 1$, 这样便于和其他的方案期望值比较^[10]。 $E(S^j)$ 属于 $[0, 1]$ 之间。满足该要求的函数有线性函数 $f(k) = \frac{s-k}{s-1}$, 反函数

$$f(k) = \frac{1}{k}, \text{ 和质心函数 } f(k) = \frac{\sum_{r=k}^s \frac{1}{r}}{\sum_{r=1}^s \frac{1}{r}}.$$

图 1 显示了线性函数、反函数以及质心函数在等级划分中的区别。线性函数比较重视普通的等级, 反函数和质心函数关注最优的等级。相对于质心函数而言, 反函数将值更均匀的分布在最差的等级中。因此, 反函数的集合对于最差的等级不敏感。

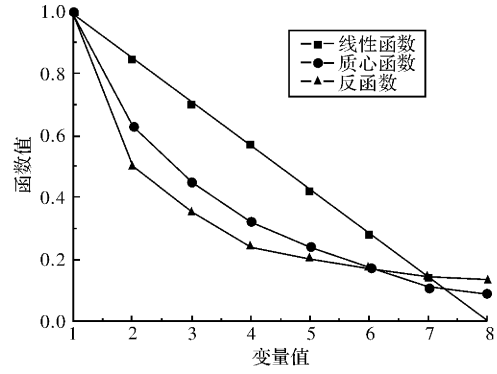


图 1 不同函数的分级标准比较示意图

1.4 敏感性分析

敏感性分析是一种通过模拟对结果进行检验的手段, 通过这种分析可以帮助决策者更加深入的理解该问题, 为可能需要进行的再讨论过程寻找起点。敏感性分析主要是属性指标发散程度的计算。

属性指标发散程度所反映的是那些决策者在进行再讨论时可以优先改动的属性指标, 通过修改这些指标可以有效地提高讨论的效率, 以达到尽快获得一个一致结果的目的。其定义如下:

$$ADI_i = \max_{j=1, \dots, s} \{u_i^{\max} - u_i^{\min}\}, \quad (3)$$

式中: $u_i^{\max} = \max_m \{k_{mi}^R u_{mi}^R\}$; $u_i^{\min} = \max_m \{k_{mi}^L u_{mi}^L\}$ 。属性指标发散程度是反映各个属性不精确性的表达方式, 它考虑随机产生的效用函数和权重两个方面的作用。在决策的过程中, 往往很难通过一次决策就得到一致认可的结论或是所得的结果可能不够可靠。此时, 决策者可以通过修正属性指标的范围以减小发散程度指标, 从而再次开始决策分析的过程, 如此反复直到得到最佳的结果。

1.5 蒙特卡罗模拟技术的应用

由于效用值的计算是通过随机选取区间内的效用函数和权重计算所得的, 因此可以借助蒙特卡罗模拟技术来求得各方案的期望值和属性指标发散程度。蒙特卡罗模拟的次数将影响结果的质量。模拟次数越大, 对输出分布的特性刻画及参数估计越精确, 模拟次数大于某个值时, 得到的方案期望值已趋于稳定了。在实际模拟中, 根据

问题的性质与要求的精度，通过试算可确定适宜的模拟次数。

2 实例应用

浙江省地处亚热带，受到东西风带天气系统的交替影响；有着绵长曲折的海岸线，东临大洋，深受太平洋西行台风的影响；近年来，随着环境恶化，国民经济迅速增长，人口密度不断加大，台风灾害造成的损失也越来越大。因此，采取最合理的防灾减灾措施是十分必要的。但由于防灾减灾措施众多，选择何种措施以及何种措施效果最佳便成了决策者要解决的难题。

由于台风的防灾减灾涉及经济和社会两大方面，属于多目标的决策问题。现对上文中的多目标决策分析方法进行评估。

2.1 问题的构建以及属性指标的确定

通过目标层次分析，我们设定了两大目标分别为：社会影响和经济影响。社会影响主要考虑灾害死亡人数和救灾活动的成效。经济影响可分为直接影响和间接影响，其中直接影响主要体现在灾害造成的直接经济损失和灾后重建的投入；间接影响主要体现在社会生产活动的破坏和不利的间接经济损失。各个属性的取值范围区间，可由专家们各自定制一个范围，将范围进行叠加后协商选取最差情况和最好情况。其中，死亡人数、灾后重建花费和灾中财产损失可以通过值在效用函数中求出效用范围，而救灾活动成效和无形损失难以定量只能给出效用范围。表 1 为各个属性指标的取值范围。

表 1 各个属性指标的取值范围

属性指标 X_i	范围 ^[11]	
	最差情况	最好情况
死亡人数 X_1 /个	30	0
救灾活动的成效 X_2	0	1
直接经济损失 X_3 /亿元	45	30
间接经济损失 X_4 /亿元	1	0
灾后重建花费 X_5 /亿元	60	40

2.2 方案的确定与赋值

由于防灾减灾的措施众多，本文难以全面涉及，仅选取了使用频率最高的了 5 个可供选择的决策方案。其中，提高气象观测水平、完善台风灾害预测和预报系统属于国家统一管理，因此各个方案中都涉及该措施。各方案分别为：方案 1 (S1)，加强防御风暴潮的海堤工程建设；方案 2

(S2)，普及灾害知识，增强防灾、减灾意识以及加强撤离的演练；方案 3(S3)，合理安排沿海的开发建设，对新开发地区要进行灾害评估；方案 4 (S4)，提高建筑物抗灾建设标准，加强建筑物的抗灾；方案 5(S5)，积极发展保险事业，提高灾后生产自救能力。表 2 为各方案在各属性指标上的取值范围。

表 2 各方案在各属性指标上的取值范围

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
方案 1	[20, 30]	[0.2, 0.25]	[30, 40]	[0.1, 0.15]	[58, 60]
方案 2	[25, 30]	[0.4, 0.45]	[38, 42]	[0.4, 0.45]	[50, 55]
方案 3	[25, 30]	[0.1, 0.15]	[35, 40]	[0, 0]	[60, 60]
方案 4	[15, 30]	[0.3, 0.35]	[30, 38]	[0.3, 0.35]	[55, 58]
方案 5	[30, 30]	[0, 0]	[45, 45]	[0, 0]	[40, 50]

2.3 偏好的量化与结果的分级

决策者偏好的量化可以通过决策支持系统进行记录。主要包括对权重和效用函数的量化。通过蒙特卡罗模拟所得的各方案总的效用与分级结果如表 3 所示。

表 3 各方案总的效用与分级结果

	总的效用	等级
方案 1	0.254 9	3
方案 2	0.283 5	2
方案 3	0.199 3	4
方案 4	0.301 4	1
方案 5	0.136 7	5

2.4 敏感性分析

确定模拟次数 M 分别为 5 000、10 000 和 15 000 次；通过蒙特卡罗模拟后，计算基于期望值的方案分级以及属性指标发散程度。其结果如表 4 所示。

表 4 蒙特卡罗模拟的结果

	模拟 5 000 次		模拟 10 000 次		模拟 15 000 次	
	基于期望值的方案分级	属性指标发散程度	基于期望值的方案分级	属性指标发散程度	基于期望值的方案分级	属性指标发散程度
方案 1	3	0.429	3	0.430	3	0.431
方案 2	1	0.799	1	0.803	1	0.804
方案 3	4	0.000	4	0.000	4	0.000
方案 4	1	0.495	1	0.496	1	0.496
方案 5	5	0.000	5	0.000	5	0.000

2.5 结果与讨论

从表 3 可以看出方案 4 的总的效用值是最大的，推荐等级为 1。经过蒙特卡罗模拟的敏感性检验后，我们可以从表 4 中看出方案 2 和方案 4 的分

级是相同的, 通过比较它们的属性指标发散程度, 我们可以发现方案 4 的属性指标发散程度小于方案 2, 即方案 4 比方案 2 更加稳定更加可靠。因此, 方案 4 作为推荐等级 1 是可靠的。

3 结论

对于防台风灾害措施的选择决策分析是一个十分复杂的系统工程问题, 特别是作为减少台风损失的重要环节, 决策的优劣决定着防灾减灾的效果大小。提出了一种基于不确定值和蒙特卡罗模拟的多目标决策方法, 并应用该方法对浙江省防灾减灾措施进行了比较。通过对结果分析我们可以发现, 在浙江省随着经济水平的不断提高, 加强防灾减灾工程的建设 and 群众的防灾减灾教育是最有效的减灾措施。通过该方法可以为台风防灾减灾措施选取提供一种全新的模式, 为如何合理选则台风防灾减灾措施的提供了参考。

参考文献:

- [1] 吕振平, 姚月伟. 浙江省台风灾害及应急机制建设[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 69-71.
- [2] 孟菲, 康建成, 李卫江, 等. 50 年来上海市台风灾害分析及预评估[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 71-76.
- [3] 张斌, 陈海燕, 顾俊强. 基于 GIS 的台风灾害评估系统设计开发[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 47-50.
- [4] 邓玉梅, 董增川. 我国台风防御应急管理对策[J]. 水文, 2008, 28(2): 80-83.
- [5] 关惠兴, 刘茂, 赵庆香. 基于多专家决策方法的氨气泄漏应急决策[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2007, 40(6): 28-33.
- [6] A. Mateos, A. Jimenez, S. Ríos - Insua. Monte Carlo simulation techniques for group decision making with incomplete information [J]. European Journal of Operational Research, 2006 (174): 1842-1864.
- [7] Antonio Jimenez, Sixto Ríos - Insua, Alfonso Mateos. A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments [J]. Decision Support Systems, 2003, (36): 65-79.
- [8] Antonio Jiménez, Sixto Ríos - Insua, Alfonso Mateos. Ageneric multi - attribute analysis system [J]. Computers & Operations Research, 2006, (3): 1081-1101.
- [9] Antonio Jiménez, Alfonso Mateos, Sixto Ríos - Insua, Luis Carlos Rodríguez. Contracting cleaning services in a European public underground transportation company with the aid of a DSS [J]. Decision Support Systems, 2007, (43): 1485-1498.
- [10] Risto Lahdelma, Pekka Salminen. SMAA - 2: Stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. [J]. Operations Research, 2001, 49(3): 444-454.
- [11] 石蓉蓉, 雷媛, 王东法. 1949~2006 年影响浙江热带气旋灾情分析及评估研究[C]//中国气象学会 2007 年年会天气预报预警和影响评估技术分会场论文集. 2007.

Application of Multi-objective Decision Method in Typhoon Disaster Prevention

Xu Tongsheng, Liu Mao, Guan Huixing and Lu Xuecui

(Center for Urban Public Safety Research, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: A multi-objective decision method based on uncertain information and Monte Carlo simulation is put forward. This method allows policy makers valuate different attributes with appropriate utility function and weight interval. The result is got by multiplying randomly selected weight value and utility function within the range. Then the sensitivity of the result is analyzed by using Monte Carlo simulation technology. Finally, disaster prevention and mitigation measures of Zhejiang province are compared as an example and the method application is discussed in detail.

Key words: uncertain information; Monte Carlo simulation; multi-objective decision; typhoon; Zhejiang province