Two-Stage Game Theoretic Framework for Evaluating COVID-19 Risk and Allocating Medical Resources

Cheng-Kuang Wu

School of Artificial Intelligence, Zhejiang Industry & Trade Vocational College, Zhejiang 325700, China
Corresponding author. Email: shapleyvalue@hotmail.com

ABSTRACT
This study presents a framework for decision-makers that integrates two game theory models aimed at determining the allocation of medical resources across all impacted districts in response to an elevated threat advisory level. The interactions among a cluster of coronavirus cases and the district response agent for the impacted area are conceptualized as a non-cooperative game, subsequently leading to the derivation of a risk value (RV) for COVID-19 for each district utilizing the mixed Nash equilibrium method. The risk value denotes the hazard, vulnerability, and consequences associated with the coronavirus outbreak in the afflicted district. Subsequently, this study employs the risk values from all districts to compute a Shapley value for each district. We equitably allocate medical resources across all districts according to their anticipated marginal contribution. The experimental findings demonstrate that the administrator can utilize this framework to quantitatively assess the COVID-19 risk value in each district, and that the proposed Shapley value method is viable for resource mobilization planning and enhancing relief efforts against COVID-19.

Keywords: *COVID-19, Medical Resource Allocation, Nash Equilibrium, Risk Value, Shapley Value*

基于博弈论早期风险评估新冠状病毒与医疗资源分配之研究

吴正光

浙江工贸职业技术学院人工智能学院, 浙江省温州市 325700，中国
吴正光. 电子邮箱：shapleyvalue@hotmail.com

摘要
本研究以新冠肺炎疫情爆发为研究对象，根据各感染地区的确诊率、收治率、治愈率和死亡率，以两阶段博弈理论模型，计算出各区域的应急医疗资源分配表。第一模型将各区域的新型冠状病毒（即 COVID-19）与受灾区域的响应指挥官之间的互动关系建构成一场非合作零和博弈，计算博弈的混合随机策略纳什均衡解，当作区域的新冠状病毒风险值（Risk value），风险值代表新冠状病毒疾病暴发对受感染地区的威胁性，脆弱性和疫情造成损失的后果。其次，将所有地区的风险值用于计算每区域的夏普利值（Shapely value）。所有区域的医疗资源均根据其预期的边际贡献进行合理分配。实验结果表明，疫情爆发的初期，全区域的总指挥官可以使用提出的架构，对每个各感染区域的新冠状病毒风险值进行量化评估，并且提出夏普利值的分配方法，可以公平地动员医疗资源给迫切需要的地区，以减缓新冠状病毒对人类的伤亡。

关鍵字： *新型冠病毒，应急医疗资源分配，纳什均衡，风险分析，夏普利值*

© The Author(s) 2025
S. Qiao et al. (eds.), *Proceedings of the 11th Annual Meeting of Risk Analysis Council of China Association for Disaster Prevention (RAC 2024)*, Advances in Economics, Business and Management Research 367,
https://doi.org/10.2991/978-94-6463-946-9_23

1. 前言

2019年新冠状病毒（COVID-19）无国界的大规模爆发，不仅迅速增加全球确诊案例，而且产生巨大的社会经济影响。由于疫情的快速暴发，购买商品和各项消费行为迅速减少，导致许多国家及区域的旅游业濒临崩溃，而企业运营成本的增加，世界各国产生巨大的经济成本压力[1]。公共卫生事件应急响应计划中，过时的规划和严格的规定过分强调疫情的属地责任，而忽略省市间互相支持应急医疗资源的功能，这些行政部门的能力无法应付这种特殊新冠状病毒肆虐的复杂情况和严峻挑战[2]。面对突如期来的新冠状病毒爆发，严重地区的专业医务人员缺乏应对新冠状病毒的知识，爆发初期医院病房封闭而拥挤，而非专业医院的工作人员可能会增加患病风险并加剧疫情，因此需要对进入医院的患者进行风险预警，并有必要快速制定有效的封锁隔离预防措施[3]。

世界卫生组织专家发现，我国经由公共权力实施的大规模城市和地区封锁，这种联防联控的防御方法具有高度的覆盖范围和有效性，防止病毒扩散到其他地区乃至全球的成功措施，提供独特良好的典范[5]。各国政府机构缺乏合理决策的具体措施，并且没有应用数学模型来分析攻击者（新冠状病毒）和防御者（响应指挥官）之间的互动行为。新冠状病毒感染肺炎疫情工作指导小组或疾病预防控制中心（CDC）应该拥有一个工具来测量新冠状病毒的强度以及各受灾区域响应医疗资源的抵抗能力。本研究提出一种可调适的资源分配表。这是一个两阶段的博弈模型，在新冠状病毒爆发期间，可以快速计算出各受灾区域的应急医疗资源配置数量。

博弈论提供决策者优化行动的分析工具，在非合作博弈中，每个玩家都自利地试图以最少成本，利用现有资源，优化他们的决策，在非合作博弈中取得最大报酬。纳什均衡（Nash Equilibrium）是非合作博弈的解决方法，使得博弈中的每个玩家都满意博弈后的结果[4]。合作博弈提供玩家分配资源的解决方法，夏普利值算法在满足三个公平性的前提下，为所有玩家提供公平及合理的资源分配算法。它可以确保在多个玩家合作博弈中，每个玩家可以获得最大边际效用。

本研究提出的模型不只用于评估受灾地区（或省）的风险值，还可部署应急响应的医疗资源。结合两个博弈论模型，将它制定成一个两阶段、整合式的博弈模型，在第一阶段中，新冠状病毒和应急响指挥官之间的四个影响因子（即确诊率、收治率、治愈率和死亡率）的相互作用被建模并分析为一非合作零和博弈，接着针对于每个感染区域的病毒威胁、防御弱点及疫情爆发的后果三个风险因素，计算出混合策略纳什均衡的期望报酬值，当作各地区的新冠状病毒风险值（RV）。第二阶段中，在各区域的所有响应指挥官（response agent）之间，建构一场资源共享的合作博弈。夏普利值是合作博弈的解决方法，它可以基于各个区域的平均边际贡献下，得到一个可行的应急医疗资源分配数量表。最后，新冠病毒感染肺炎疫情工作领导小组对所有受影响地区的现有医疗资源进行协调一致的紧急动员与分配，以提高新冠状病毒患者的生存率。

2. 两阶段博弈模型

图1概述本研究两阶段博弈优化医疗资源分配。第一阶段计算各区域新冠状病毒风险值，第二阶段生成所有区域的应急医疗资源分配数量表。

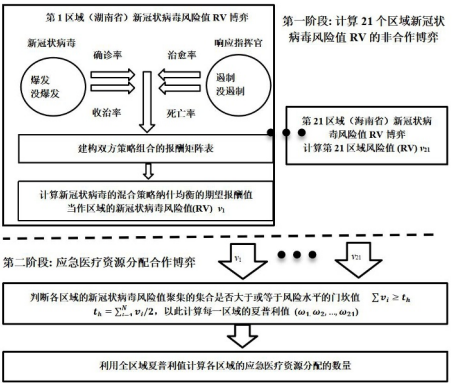

图1 计算21个区域的新冠状病毒风险值及生成各区域的应急医疗资源分配数量表

以我国为例，第一阶段模型的四个步骤：

1.从湖北省到海南省，根据国家及各地通报截至2020年2月1日开放数据报告[14]，即人口数、确诊数、疑似数、治愈数和死亡数，以及国际卫生设施指南（IHFG）[9]、经济合作与发展组织（OECD）[13]的病床人口比例数据，计算出每区的收治数（如表1）。

2.根据开放数据，如表1，计算每个地区的确诊率、收治率、治愈率和死亡率，如表2，然后针对双方策略组合的报酬，计算每区的报酬矩阵（payoff matrix），如表3。

3.每个区域分析新冠状病毒（即COVID-19）与响应代理之间的互动行为，将其建模为非合作、零和博弈（即RV game）。

4.从报酬矩阵计算混合随机策略纳什均衡的期望报酬值，这值作为该区域的新冠状病毒风险值(RV) v_i。

第二阶段模型的四个步骤如下：

1.在爆发新冠状病毒 21 个区域之间建构一场应急医疗资源分配的合作博弈。

2.计算所有区域新冠状病毒风险值总和的一半，当作全区域威胁的风险水平门坎值 t_h，判断所有区域的新冠状病毒风险值聚集的可能集合是否大于或等于风险水平门坎值，利用这条件计算各区域的夏普利值。

3.获得全区域夏普利值集合，以利于计算各区域的应急医疗资源分配的数量。

4.疫情工作领导小组根据应急医疗资源分配的数量，命令每个区域响应指挥官互相支援，疫情较轻区域的应急医疗资源会被重新分配到疫情严重的区域，以实现总体上联防联控的合作目标。

表 1 2020 年 2 月 1 日我国 22 区的人口数及 COVID-19 疾病的确诊 、死亡、治愈病例、医院病床数和隔离病床数[9][13]

省/区/市	人口数(万)	确诊病例	死亡病例	治愈病例	医院病床	隔离病床
湖北省	5917	9074	215	294	256798	2568
湖南省	6899	463	8	0	299417	2994
江西省	4648	333	10	0	201723	2017
安徽省	6324	340	5	0	274462	2745
江苏省	8051	236	6	0	349413	3494
上海市	2424	177	10	0	105202	1052
浙江省	5737	661	23	0	248986	2490
福建省	3941	159	0	0	171039	1710
广东省	11346	604	12	0	492416	4924
广西自治区	4926	111	2	0	213788	2138
云南省	4830	99	2	0	209622	2096
山东省	10047	225	5	0	436040	4360
四川省	8341	231	3	1	361999	3620
河南省	9605	493	4	2	416857	4169
北京市	2154	183	9	1	93484	935
河北省	7556	104	3	1	327930	3279
山西省	3718	56	1	0	161361	1614
陕西省	3864	116	0	0	167698	1677
重庆市	3102	262	3	1	134627	1346
辽宁省	4359	64	1	0	189181	1892
黑龙江	3773	95	0	2	163748	1637
海南省	934	63	1	1	40536	405

2.1. 新冠状病毒风险值 （RV） 博弈

本研究数据撷取时间为 2020 年 2 月 1 日，仅考虑在 32 个省/区/市的早期暴发阶段确诊病例数超过 56 的 22 个受灾区域[14]。第一个博弈模型将各省/区/市的区域中「新冠状病毒」和「应急响应指挥官」的互动行为，建构一场非合作零和博弈，并计算新冠状病毒风险值。本研究假设有两个玩家，玩家一是「区域内新冠状病毒」，它是发生事件者；玩家二是「区域内的应急响应指挥官」，它是处理事件者。本模型计算新冠状病毒风险值（RV）,以评估每个区域中病毒的威胁、防御的弱点和疫情造成的损失。在每场静态非合作博弈中，两个玩家只能同时选择一种策略，玩家一是新冠状病毒，具有高度传染性（易于传播），持续不断地在人与人之间传播[6]，玩家一有两个选择：疫情爆发或没有疫情爆发。玩家一的策略集：$\{u_1, u_2\} = \{$爆发，无爆发$\}$。玩家二是响应指挥官，负责计划、指挥和控制区域中的医疗资源（例如，医生、护士、医务人员、负压设备、测试套件和病床）。在此博弈中，响应指挥官会派遣医疗资源遏制新冠状病毒病例的发生，他/她可以选择是否遏制新冠状病毒的传播。玩家二的策略集： $\{d_1, d_2\} = \{$遏制，无遏制$\}$。下面定义新冠状病毒的威胁、防御的弱点和疫情爆发的后果，以及对应的四个风险因素。

病毒威胁（确诊率）：人口密度和城市化是影响疾病传播的两个主要因素， 在人口稠密的地区，疾病的传播变得较为容易[7]，人口愈多的地区，确诊病例数也会较多，新冠状病毒（玩家一）应获得更大的收益或报酬，而响应指挥官（玩家二）必须支付更高的医疗服务费用及成本，来应对这些威胁。p_i表示第 i 区的人口数（千分之一）； e_i指第 i 区已确诊的新冠状病毒病例数（如表 1）。第 i 区域的确诊率δ_i定义为

$$\delta_i = \frac{e_i}{p_i} \tag{1}$$

防御弱点（收治率）：当区域人口数越多，所需的医疗资源就越多。我国最初爆发新冠状病毒的死亡率约为 15%，但这一估计值不准确，因为在早期阶段，已确诊的病例大都属于病情较严重的病例。实际上，许多轻度和无症状的患者可能未及时接受诊断或治疗，就无法计算出新冠状病毒的实际确诊率[8]。因此，这种诊断延迟很容易导致社区感染更加快速，并暴露出医疗系统的防御弱点。假设 O 表示 21 个地区中可用于治疗新冠状病毒病人的病床（已配备负压设备）数量；$O = \{o_1, o_2, \ldots, o_{22}\}$; o_i 表示我国第 i 区域可用的病床数量。国际卫生设施指南（IHFG）建议：医院设施应每 100 床过夜住院病床（IPU）需提供至少一床 N 级负压隔离病床[9]；经济合作与发展组织（OECD）的数据也指出，我国每 1000 人拥有 4.34 张病床[13]。由于无法找到每一地区可用的病床及负压隔离病床数量，因此根据 IHFG 和 OECD 的信息，推算出各区域的病床及负压隔离病床数量（如表 1），以第 1 区域（湖北省）为例，地区的可用负压隔离病床数量为

$$o_1 = \frac{\text{第 1 区域可用的病床数量}}{100} = \frac{59170 \times 4.34}{100} \approx 2568$$

第 i 个地区确诊病例μ_i的收治率定义为

$$\mu_i = \frac{e_i}{o_i} \tag{2}$$

疫情后果（治愈率和死亡率）：每个地区内都有许多新冠状病毒藉由人传人的方式使疫情扩大。医疗资源为患者提供有效的疾病控制和治疗，以提

高病患治愈率。在此，r_i表示在第 i 区中治愈的病例数。第 i 区的治愈率 c_i 定义为

$$c_i = \frac{r_i}{e_i} \tag{3}$$

此外，d_i表示第 i 区死亡的人数。 定义第 i 区的死亡率:

$$m_i = \frac{di}{e_i} \tag{4}$$

在表 1 中，某些区域的治愈的病例数和死亡数为零，由于无法通过公式（3）和（4）计算各区域的死亡率和治愈率，因此，本研究假定这些地区的死亡率和治愈率设置为最低的 0.005 及治愈率 0.003。

表 2 2020 年 2 月 1 日我国 22 区的 COVID-19 疾病的确诊率、死亡率、治愈率和收治率

省/区/市	确诊率	死亡率	治愈率	收治率
湖北省	0.1534	0.0237	0.0324	3.5335
湖南省	0.0067	0.0173	0.0030	0.1546
江西省	0.0072	0.0300	0.0030	0.1651
安徽省	0.0054	0.0147	0.0030	0.1239
江苏省	0.0029	0.0254	0.0030	0.0675
上海市	0.0073	0.0565	0.0030	0.1682
浙江省	0.0115	0.0348	0.0030	0.2655
福建省	0.0040	0.0050	0.0030	0.0930
广东省	0.0053	0.0199	0.0030	0.1227
广西自治区	0.0023	0.0180	0.0030	0.0519
云南省	0.0020	0.0202	0.0030	0.0472
山东省	0.0022	0.0222	0.0030	0.0516
四川省	0.0028	0.0130	0.0043	0.0638
河南省	0.0051	0.0081	0.0041	0.1183
北京市	0.0085	0.0492	0.0055	0.1958
河北省	0.0014	0.0288	0.0096	0.0317
山西省	0.0015	0.0179	0.0030	0.0347
陕西省	0.0030	0.0050	0.0030	0.0692
重庆市	0.0084	0.0115	0.0038	0.1946
辽宁省	0.0015	0.0156	0.0030	0.0338
黑龙江省	0.0025	0.0050	0.0211	0.0580
海南省	0.0067	0.0159	0.0159	0.1554

根据国家及各地通报开放数据报告[14]，于 2020 年 2 月 1 日，我国 22 区共有 14,006 例确诊病例。在这场博弈中，新冠状病毒疾病的确诊病例数，死亡数和治愈数，以及每个受影响地区的人口， 请参阅表 1。本研究使用 Excel 软件将表 1 的数据计算四个因素，如表 2，该表显示有关我国各区域的确诊率、死亡率，治愈率和收治率的数据。

在非合作博弈中，玩家一（新冠状病毒）是攻击者，它有 2 个策略；而玩家二（响应指挥官）防御者，也有 2 个策略，它们之间的策略互动会形成一个 2×2 风险值博弈的报酬矩阵（如表 3）。由于本研究是零和博弈，因此防御者的损失就是攻击者的获得。本研究设定攻击者的报酬是正值，而防御者的报酬为负值。在报酬矩阵中，玩家一会尽可能将自己得到的报酬总合最大化；相反地，玩家二会尽可能将玩家一得到的报酬总合最小化。攻击者（玩家一）得到的报酬是来自防御者（玩家二）无法有效降低人员的伤亡，这意味着防御者需要花愈多的成本来提供患者的医疗服务，防御者失去的报酬也就愈多，攻击者得到的报酬也愈多。

表 3 第 i 区域风险值 RV 博弈的报酬矩阵

	响应指挥官	
新冠状病毒	遏制(d_1)	无遏制 (d_2)
爆发(u_1)	$\delta_i m_i(1-\mu_i)(1-c_i)$, $-(\delta_i m_i(1-\mu_i)(1-c_i))$	$\delta_i m_i$,$-(\delta_i m_i)$
无爆发 (u_2)	$(1-\mu_i)(1-c_i)$,$-(1-\mu_i)(1-c_i)$	0, 0

假设玩家二（响应指挥官）和玩家一（新冠状病毒）都是自利的，当玩家一随机引起疾病爆发并且玩家二随机化遏制策略时，他们将尝试最大化其自身的效用（报酬）。本研究发现，报酬矩阵内的值（即表 3）始终为$\delta_i m_i > \mu_i c_i > \delta_i m_i(1-\mu_i)(1-c_i)$或$\mu_i c_i > \delta_i m_i > \delta_i m_i(1-\mu_i)(1-c_i)$，显示此风险博弈矩阵没有纯策略纳什均衡（N.E.）。如果这博弈没有纯策略纳什均衡解，则必有一对最优混合策略纳什均衡解(p, q)存在于博弈中 [10]。 玩家一和玩家二分别采用混合策略 p 和 q 时，可以计算出玩家一的期望报酬值（expected payoff）。玩家一（新冠状病毒）采取的策略为 $\{u_1, u_2\}$，则混合策略纳什均衡概率组合为$p = \{p(u_1), p(u_2)\}$，玩家二（响应指挥官）采取策略为 $\{d_1, d_2\}$，则混合策略纳什均衡概率组合为$q = \{q(d_1), q(d_2)\}$。

根据表 3 的 2×2 报酬矩阵，每项混合策略的报酬将彼此相等[4]，通过遵循此规则可以找到混合策略纳什均衡，也就是玩家选择一种混合策略，无论对手如何，该策略都会给他或她带来相同的平均收益 。由于每个玩家采用混合策略纳什均衡策略，因此将 v_i 定义为第 i 个区的新冠状病毒风险值 RV 值，如下所示：

$$v_i = \sum_{j=1}^{2} \sum_{k=1}^{2} p(u_j) q(d_k) \pi_1(u_j, d_k) \tag{5}$$

$$\Rightarrow v_i = \frac{\delta_i m_i(1-\mu_i)(1-\sigma_i)}{(1-\delta_i m_i)(1-\mu_i)(1-\sigma_i)+\delta_i m_i} \tag{6}$$

2.2 应急医疗资源分配合作博弈

本研究假定我国新冠状病毒爆发时，各区域中发生新冠状病毒的风险值会互相影响，所以每区域的应急响应指挥官会形成一个资源共享与互助的情境，这情境设定为一场合作博弈。本研究以各区域的新冠状病毒风险值，建构一场合作的投票博弈。一个法案需要投票人半数同意通过才可成立，本研究亦是以此概念，计算所有新冠状病毒风险值的多数门坎值（即所有总值的一半），再计算每一个风险值和其它区域风险值组合的总值。如果有部份区域风险值的组合总值大于等于多数门坎值，就形成一个成功结盟（winning coalition）[4]。本研究根据这合作博弈的解决方法，计算每一区域中发生多起新冠状病毒肺炎病例的重要指标（power index），

这个重要指标就是夏普利值（Shapley value）[12]，以下解释如何计算。

在合作博弈中，利己的玩家合作以形成特定的结盟（coalition），没有玩家脱离这结盟，会得到更好的报酬，也就是脱离结盟报酬较低[12]。合作博弈定义 y: $V \rightarrow R^+$是一对一的特征函数，函数的变量 $V = \{v_1, v_2,\ldots,v_k\}, k \in n$，$y(0) = 0$，$v$ 是一个正实数或零，当新冠状病毒袭击全国时，调动应急医疗资源会以所有区域风险值的多数门坎值 t_h 为考虑依据，如果每一区域风险值和其它区域的风险值的组合总值大于或等于多数的门坎值 t_h 时，就会到达一个风险水平（level）h，判断式如下：

$$h\ if \quad \sum_{k=1}^{n} v_k \geq t_h,\ t_h = \frac{\sum_{i=1}^{N} v_i}{2}. \tag{7}$$

依据风险水平可以计算出每个区域的新冠状病毒风险值对于其它区域的风险值的相对重要性。因此，可以计算第 i 区域发生多起新冠状病毒的夏普利值。

$$\omega_i = \sum_{c \subset V} \frac{(c-1)!(n-c)!}{n!}\ ,n \in 1,2,\ldots,31\,. \tag{8}$$

夏普利值可代表一个地区的新冠状病毒疾病爆发强度，本研究利用夏普利值来计算各区域应急响应医疗资源的分配数量。定义：第 i 个区域重新配置第 l 种类的医疗资源数量为：

$$z_{i,l} = \omega_i \times O_{all,l} \tag{9}$$

$o_{all,l}$ 在所有区域中的第 l 类医疗资源（例如供氧机设备）总数量，第 i 个区域重新配置第 l 种类的医疗资源数$z_{i,l}$ 是第 i 个区域的夏普利值$\omega(i)$，与全区域的第 l 种类的医疗资源总数量$O_{all,l}$ 的乘积；$l \in$ 1,2,3,4,5,6（即配备负压装置的医生，护士，医护人员，设备，检测试剂盒和病床）。最终，得到各区域所需各种类应急响应医疗资源的数量，以此为重新配置并调动全区应急响应医疗资源。

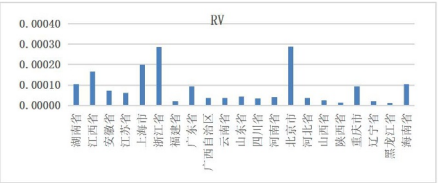

图 2 21 个受影响地区（从湖南省到海南省）风险值

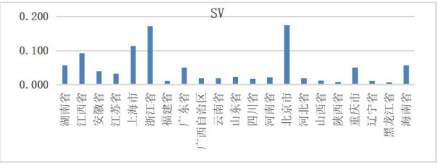

图 3 21 个受影响地区（从湖南省到海南省）夏普利值

3.实验结果

本模型基于我国的新冠状病毒疾病暴发数据进行实验，湖北省是封锁区域，不列本模型的计算区域。本实验仅实作 2020 年 2 月 1 日有 56 例以上病例的受影响地区，如表 2。第一阶段计算 21 个受影响地区（从湖南省到海南省）的风险值（RV），第二阶段计算各区域的夏普利值（Shapley value），进而部署医疗资源。假设新冠状病毒感染肺炎疫情工作领导小组将在 21 个受影响的地区（从湖南省到海南省）部署 21 个响应指挥官，并提供对紧应急响应医疗资源集中管理和调配（如图 1 所示），表 2 显示我国每个区域中 COVID-19 疾病的确诊率、收治率、治愈率和死亡率的信息。在第一阶段的非合作博弈中，新冠状病毒与每个地区的响应领导之间的相互作用而产生风险值。通过方程式（1-4）和表 3 对每个地区的零和风险博弈的收益矩阵进行建模。最后，使用方程式（6）计算受影响地区的 21 个风险值，如图 2 所示。

表 4 21 个受影响地区（从湖南省到海南省）资源分配表

省/区/市	医生	护士	设备	医务人员
湖南省	564	1129	1693	2821
江西省	915	1830	2745	4575
安徽省	388	777	1165	1941
江苏省	321	642	962	1604
上海市	1131	2261	3392	5654
浙江省	1717	3434	5150	8584
福建省	103	206	309	516
广东省	497	994	1491	2486
广西自治区	189	379	568	947
云南省	188	377	565	942
山东省	222	445	667	1112
四川省	179	358	536	894
河南省	212	425	637	1062
北京市	1746	3493	5239	8732
河北省	189	377	566	943
山西省	125	250	375	625
陕西省	77	154	231	385
重庆市	498	995	1493	2488
辽宁省	110	219	329	548
黑龙江省	64	129	193	322
海南省	564	1128	1692	2820
Total	10000	20000	30000	50000

在第二阶段合作博弈中，使用 21 个风险值（RV）来计算每个受影响地区的夏普利值。给定 21 个风险值，通过方程式（7）计算多数门坎值（即 t_h）为 0.000896。根据门坎值，使用公式（8）计算出受影响地区的 21 个夏普利值（SV）。请参见图 3。在疫情爆发初期，假定可用的地区医疗资源无法满足 21 个受影响地区发生的所有紧急情况的要求。实验假设可用医疗资源总数（例如，医生= 10000，护士 = 20000，设备= 30000，医务人员= 50000），如表 4 所示。每个受影响的地区都使用公式（9）计算分配医疗资源数。图 4 和表 4 显示在新冠状病毒早期爆

发（2020 年 2 月 1 日）所有受影响地区的最终医疗资源部署数据。

如图 4 所示，决策者可以将风险值较低的区域医疗资源调用给风险值较高的区域，以控制疫情的扩散。鉴于医疗资源数量有限，决策者可以将从风险值较低的 13 个区域（即安徽省、江苏省、福建省、广西自治区、云南省、山东省、四川省、河南省、河北省、山西省、陕西省、辽宁省和黑龙江省）重新分配资源給风险值较高的八个区域（即湖南省，江西省，上海市，浙江省，广东省，北京市，重庆市和海南省）。

本研究提出的方法可以在 COVID-19 爆发时，为新冠肺炎疫区优先分配有限的医疗资源。各疫区的应急管理人员可以使用此模型来评估新冠状病毒对各疫区的威胁，并找出哪些地区风险较高，它为决策者提供各疫区的风险值，来评估各疫区受到新冠病毒攻击的严重度，并且公平地为各疫区部署医疗资源（例如：医生，护士，设备和医务人员）。

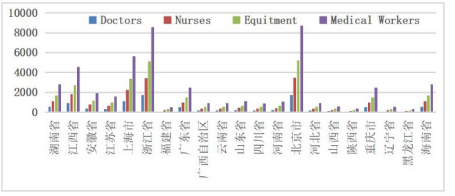

图 4 21 个受影响地区（从湖南省到海南省）21 个受影响地区（从湖南省到海南省）资源分配

4. 结论

本研究提出两阶段博弈理论模型部署医疗资源（例如医生，护士，设备和医务人员）。第一阶段非合作博弈模型，经由混合纳什均衡找到新冠状病毒疫区的风险值，并计算所有区域风险值的多数门坎值。第二阶段合作博弈模型，根据多数门坎值及受影响区域的所有风险值，计算每个受影响区域的夏普利值。最后，利用夏普利值计算整个受影响区域中所有医疗资源分配表。实验结果显示提出的方法可以优先安排医疗资源的部署，尤其是对于医疗保健和相关资源需求激增的情况。

参考文献

[1] What Are Epidemics, Pandemics, and Outbreaks? Retrieved Feb. 24, 2020, from https://www.webmd.com/cold-and-flu/what-are-epidemics-pandemics-outbreaks.

[2] Duan, zhan jiang," Nine Comments and suggestions against Coronaviruses Epidemic", Retrieved Feb. 14, 2020, from https://news.sina.cn/gn/2020-02-13/detail-iimxyqvz2577662.d.html.

[3] Zhu, Y., Chen, L., Ji, H., Xi, M., Fang, Y., & Li, Y. (2020). The Risk and Prevention of Novel Coronavirus Pneumonia Infections Among Inpatients in Psychiatric Hospitals. Neuroscience Bulletin, 1-4.

[4] Dixit A., Skeath S. 2007.Games of Strategy, pp.574. W. W. Norton & Company.

[5] Kai Kupferschmidt, Jon Cohen, "China's aggressive measures have slowed the coronavirus. They may not work in other countries", Retrieved Mar. 2, 2020, from https://www.sciencemag.org/news/2020/03/china-s-aggressive-measures-have-slowed-coronavirus-they-may-not-work-other-countries?fbclid=IwAR3mzUvArfzqNsqPmMlynuGF5Mh32xN3RIi-ctAB_qrWJC2t6STVZqzKLzc.

[6] How COVID-19 Spreads, Retrieved Feb. 10, 2020, from https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prepare/transmission.html

[7] Why Population Matters to Infectious diseases and HIV/AID, Retrieved Mar. 10, 2020, from https://pai.org/wp-content/uploads/2012/02/PAI-1293-DISEASE_compressed.pdf.

[8] Xu, Z., Li, S., Tian, S., Li, H., & Kong, L. Q. (2020). Full spectrum of COVID-19 severity still being depicted. The Lancet.

[9] International Health Facility Guidelines, Retrieved Mar. 14, 2020, from http://healthfacilityguidelines.com/ViewPDF/ViewIndexPDF/iHFG_part_d_isolation_rooms

[10] Lemke, C. E. and Howson J. T. (1964). Equilibrium Points of Bimatrix Games, SIAM J. Applied Math., 12: 413–423.

[11] Davis, M. D. (1997). Game Theory: A Nontechnical Introduction, Dover Publications.

[12] Shapley L.S. and Shubik M. 1954. A method for evaluating the distribution of power in a committee system. The American Political Science Review, 48(3):787–792.

[13] OEDC Hospital beds, https://data.oecd.org/healtheqt/hospital-beds.htm.

[14] 2019-nCoV 新冠状病毒 2019-2-01 至今国家、省、市三级每日统计数据, Retrieved Feb. 22, 2020, https://github.com/canghailan/Wuhan-2019-nCoV.

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.