

全球供应链企业的港口集聚模型与仿真

黄顺泉, 余思勤

(上海海事大学 经济管理学院, 上海 201306)

摘要: 通过建立的二级单链全球供应链模型, 运用 NetLogo 仿真平台, 计算供应链企业迁移到港口集群所需要的供应链产量规模、供应链成本、供应链利润等指标。经过反复实验, 发现港口作为全球供应链的重要节点有利于吸引供应链企业集聚, 形成港口集群。在其他变量保持不变的前提下, 通过进一步试验, 明确影响全球供应链向港口集聚的主要因素。由于全球供应链中的节点企业是动态的, 因此, 基于 Cournot 模型和 Stackelberg 模型, 运用博弈论方法, 研究集群外供应商进入全球供应链所在港口集群的经济性。

关键词: 全球供应链; 港口集群; 产业集聚; NetLogo 仿真
中图分类号: F 550.6 **文献标识码:** A

Model and Simulation for Global Supply Chain Enterprises to Migrate to Port Cluster

HUANG Shunquan, YU Siqin

(School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: A model of a single two-staged global supply chain is set up. The necessary production scale, costs, profits and other indicators are calculated for the global supply chain enterprises to migrate to port cluster based on NetLogo simulation platform. Repeated experiments indicates that the port as an important node in the global supply chain will attract supply chain enterprises to agglomerate to port cluster. And the main factors are analyzed by further tests under the premise that the other variables remain unchanged. Since enterprises in a global supply chain are dynamic, the economic issues for foreign suppliers to enter the global supply chain in the port cluster are discussed by game theory based on Cournot and Stackelberg model.

Key words: global supply chain; port cluster; Industrial Agglomeration; NetLogo simulation

全球供应链(global supply chain), 是指充分利用现代各种先进的科学技术、采取全球多个生产基地和销售网点、联合众多企业、组成全球范围的供应链, 并实现供应链企业的优势互补和集成, 以降低运输成本、企业运营成本、生产成本, 以及避免关税壁垒(在国内表现为地方保护主义), 联手面对竞争, 合理利用资源, 尽可能多地获得利润^[1]。在全球供应链环境下, 港口的功能也在悄然变化。港口日益地深入到供应链和物流的再造之中, 必须作为价值驱动链系统的一个要素, 向货主及第三方服务供应商创造价值^[2]。杨霞芳和黄君萍提出以港口为中心的全球供应链管理综合模式, 即从以配送中心为核心的供应链管理向以港口为中心的供应链管理模式的转变^[3]。

与此同时, 以海运和港口服务业为核心所形成的港口产业集群(port cluster)或海运集群(maritime cluster)的发展也方兴未艾。Peter de Langen 发现, 海运活动如航运、造船、港口和海运辅助服务, 呈现出地缘上的聚集现象, 形成多个海运集群。他研究了海运集群的优势和影响海运集群形成与发展的因素^[4]。Gabriel R. G. Benito 等运用波特的钻石模型, 研究挪威海运集群产业的特征、绩效和发展动力^[5]。刘志强和宋炳良论证了用集群理论分析港口产业的可行性, 分析了我国港口产业集群的行业状况和分布层次, 提出了构建港口产业集群网络、合理定位政府功能和完善物流网络等建议, 同时分析港口产业集群理论对上海临港新城建设的启示^[6]。吕荣胜和袁艺分析了港口产业集群带动区域经济发展的理论和现实依据, 并以环渤海区域港口群为例, 说明港口产业集群如何实现其对区域经济的带动效应^[7]。

然而, 在经济全球化的背景下, 全球供应链与港

收稿日期: 2010-10-12

基金项目: 国家教育部博士点基金(200802540002); 上海海事大学科研基金(20090121, 20110078)

第一作者: 黄顺泉(1980—), 男, 讲师, 博士生, 主要研究方向为航运与物流经济。E-mail: sqhuang@163.com

通讯作者: 余思勤(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要研究方向为交通运输经济与管理。E-mail: ysq@shmtu.edu.cn

口集群之间存在着相互促进、共同发展的共生关系. 基于临港产业的全球供应链逐渐在港口周围集聚, 形成港口集群. 因此, 研究全球供应链企业向港口集聚的经济性及其影响因素等具有重要的理论与实际意义. 笔者综合运用 NetLogo 仿真和博弈论两种方法, 研究全球供应链向港口集聚的经济效应.

1 模型构建

假设由一家核心企业和 I 家原材料供应商构成的二级供应链上, 核心企业 A 为一家生产制造企业(供应商位于不同国家或地区), 以供应链形式在全球市场上竞争, 追求的是全球供应链整体利润的最大化. 则 A 的利润 π_0 和供应商 i 的利润 π_i 分别为

$$\pi_0 = (P_0 - F_0)Q_0 - (C_0 + \sum_{i=1}^I P_i Q_i)$$

$$\pi_i = (P_i - F_i)Q_i - (C_i + \sum_{j=1}^J P_{ij} Q_{ij})$$

式中: P_0 为 A 产品的价格; Q_0 为 A 产品的销售量; C_0 为 A 的固定生产成本(除原材料以外的所有其他生产费用); F_0 为将产品由 A 运送到用户的单位物流费用; i 为供应商 ($i = 1, 2, \dots, I$), 每家供应商提供一种原材料; P_i 为 i 为 A 提供的原材料到厂价格; Q_i 为 i 为 A 提供的原材料数量; C_i 为 i 的固定生产成本; F_i 为 i 将原材料运送到 A 的单位物流费用; P_{ij} 为 i 生产所投入原材料 j ($j = 1, 2, \dots, J$) 的到厂价格; Q_{ij} 为 i 生产所投入原材料 j 的数量.

因此, 全球供应链企业的利润总和为

$$\pi = (P_0 - F_0)Q_0 - (C_0 + \sum_{i=1}^I P_i Q_i) + \sum_{i=1}^I (P_i - F_i)Q_i - (\sum_{i=1}^I C_i + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{ij} Q_{ij}) = P_0 Q_0 - \sum_{i=0}^I F_i Q_i - \sum_{i=0}^I C_i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{ij} Q_{ij}$$

式中: $P_0 Q_0$ 表示全球供应链的总收益, 与中间节点企业的定价无关; $\sum_{i=0}^I F_i Q_i$ 表示全球供应链的物流总费用; $\sum_{i=0}^I C_i$ 表示全球供应链的固定生产成本; $\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{ij} Q_{ij}$ 表示供应商生产所投入的原材料价值总和.

该利润函数可以推广到多个链节的供应链. 从利润函数中可以看出, 在不考虑全球供应链企业合作的其他成本情况下, 如果供应链企业迁移到港口集群有利于节约物流费用, 则随着供应链产量的增加, 物流费用的节约数量也将不断增加; 当供应链节

约的物流费用大于其增加的固定生产成本时, 供应链企业就会向港口集群迁移. 这就是全球供应链与港口集群耦合发展的基本经济动力.

2 NetLogo 仿真实验

为了更加深入地研究全球供应链企业向港口集聚的经济条件及其主要影响因素, 运用 NetLogo 仿真平台, 对所建立的供应链模型进行仿真研究.

2.1 NetLogo 仿真平台概况

NetLogo 是一个对自然和社会现象仿真的可编程建模环境, 1999 年由 Uri Wilensky 发起, 在美国西北大学网络学习和计算机建模中心(CCL)负责下持续开发. NetLogo 由 Java 语言实现, 可以在 Windows, Mac, Linux 等主流平台上运行, 也可以作为 Java Applets 在浏览器中运行. NetLogo 特别适合对随时间演化的复杂系统进行建模. 建模人员能够向成百上千独立运行的“主体”(agent)发出指令, 使微观个体行为与宏观模式联系在一起, 并通过个体之间的交互涌现出宏观模式^[8].

Netlogo 模型分为三大部分: 行为者(turtles), 环境(patchs), 观察者(observer). 观察者指系统程序写作者, 可以操控 patchs 和 turtles 以及一些系统环境变量. 仿真系统由 patchs 及 turtles 所构成. patchs 相当于“底座环境”, 为网格系统, 坐标原点(0,0)在正中央. 环境会依规则在每个时间点同时反应, 可视这些时间点为一个不能移动的行为者. turtles 即是行为者(agent), 可在 patchs 的网格环境里自由移动^[9].

2.2 构建虚拟世界和实验控件

实验的虚拟世界由 32×32 的二维网格构成, 原点在中心位置, 中间部分为海洋, 两边为陆地(左边为 A 大陆, 右边为 B 大陆), 海洋将大陆分隔成相互独立的两个部分. 并且世界是有界的(拓扑类型为盒子), 在水平和垂直方向上都不能回绕.

使用 NetLogo 软件进行仿真实验生产首先需要制作一些条件控件. 本实验共设计了“setup”和“go”2 个按钮以及 8 个滑动条. setup 为一次性按钮, 用于模型的初始化; go 为永久性按钮(右下角有 2 个箭头), 用于运行模型. 滑动条调节变量值. 各变量的具体含意及取值详见表 1.

2.3 模型初始化

模型初始化主要用于建立虚拟世界, 并对相关变量赋值. 具体步骤如下:

表1 变量含意及取值
Tab.1 Meaning and value of the variables

变量含意	取值范围	单位增量	默认值
虚拟世界中的海洋宽度/km	2~32	1	10
供应商数量/个	1~100	1	20
供应商生产每一单位产品所需最大可变成本/元	0.1~50	0.1	15.0
每一单位最终产品对同一种原材料的最大需求量/件	1~20	1	8
每个企业最大固定成本/元	100~10 000	100	5 000
每个原材料单位运输距离的海运运价/(元·km ⁻¹ ·件 ⁻¹)	0.01~0.10	0.01	0.02
每个原材料单位运输距离的陆上运价(元·km ⁻¹ ·件 ⁻¹)	0.01~0.50	0.01	0.10
企业迁移新增的固定成本比例/%	1~100	1	70

第一步,将海洋着色为蓝色,陆地着色为黄色,每块分别代表一个国家(或地区).

第二步,在海洋的两边各随机产生一个港口,设置为白色,海洋左边为港口A,右边为港口B,并计算出两个港口之间的海上距离.

第三步,在陆地上随机分布一定数量的供应商,设置其形状为“三角形”,着绿色,同时随机产生每一单位最终产品对同一种原材料的需求量(取值在1到每一单位最终产品对同一种原材料的最大需求量之间),以及供应商生产每一单位原材料所需的可变成本(取值在零到供应商生产每一单位产品所需的最大可变成本之间).

第四步,在陆地上随机产生一家核心企业,设置其形状为“星形”,着红色.

第五步,在零到每个企业最大的固定成本之间,为每家企业随机产生的相应固定成本.

模型初始化结果如图1所示

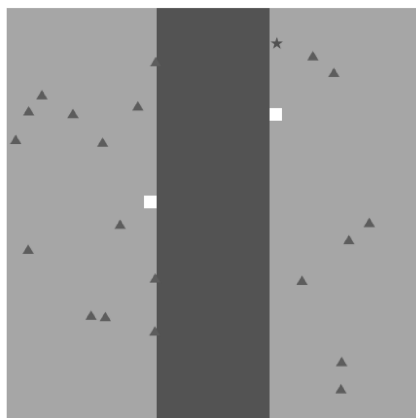


图1 初始化的虚拟世界

Fig.1 Initialization of the virtual world

2.4 模型的运行机制

根据上述建立的理论模型以及初始化虚拟世界的各种可能情况,得到仿真模型的基本运行机制(如图2所示).该仿真实验对理论模型进行了适当的调整,具体包括两个方面:第一,将物流费用简化为运输费用;第二,直接用可变成本表示供应商生产所投入的原材料价值总和.这些调整并不影响模型本身的合理性及其企图实现的目标.

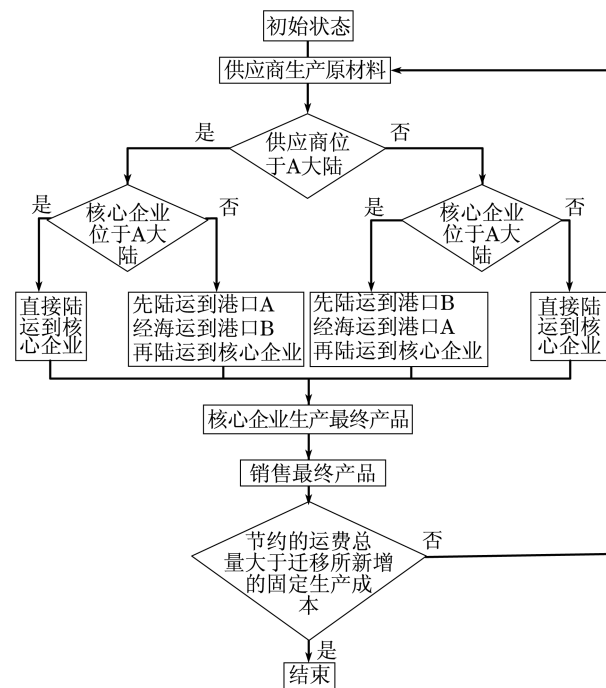


图2 模型的运行机制

Fig.2 Model mechanism

利用该模型可以计算出各种初始状态下核心企业迁移到港口集群A或港口集群B,以及所有供应链企业都迁移到港口集群所需要达到的供应链产量规模.同时,还可以通过监视器显示出各供应商到核心企业的陆上运输距离,所有企业的固定成本总和、所有供应商生产所投入的原材料价值总和、供应链的总运费、核心企业迁移到港口A或B时的供应链总运费、供应链企业的总成本、供应链总利润等指标,并且通过绘图表示出仿真过程中供应链总利润的变化情况,以及所有供应链企业都迁移到港口集群所节约的供应链总运费变化和新增的固定成本之间的关系.计算供应链总利润时涉及的最终产品价格是随机产生的,取值介于最终产品的单位可变成本和2倍平均成本之间.

2.5 仿真实验结果

对8个变量分别取10个值各实验30次,共计2 400次,并对实验结果统计处理分析.

仿真结果表明,港口作为全球供应链的重要节点,有利于吸引供应链企业集聚,形成港口集群.当然,也并非所有的全球供应链都会向港口集聚,一些供应链更多地倾向于在其核心企业的周围形成产业集群.在 2 400 次实验中,共有 2 252 次结果出现了全球供应链向港口集聚的情况,占实验总次数的 93.8%.但对于集聚的地点是港口 A 还是 B 并没有明显的差异,主要取决于供应链企业在虚拟世界中的分布状况.

为研究各个变量对实验结果的影响,在其他变量保持不变的前提下(采用默认值),通过进一步试验,比较分析其中某变量变动与实验结果之间的关系.具体结论如下:

第一,供应商数量较少,特别是只有一两家时,供应链企业难以向港口集聚.不仅未进入港口集群次数比重较大(大于 20%左右),且平均所需供应链最终产品规模多数都大于供应商数量较大的情况,如图 3 所示.同样,当每单位最终产品对同一种原材料需求量较小时,形成港口集群平均所需的供应链最终产品规模也较大,详见图 4.这主要是由于随着供应商数量或每单位最终产品对同一种原材料需要量的增加,全球供应链对港口的依赖性也更强.

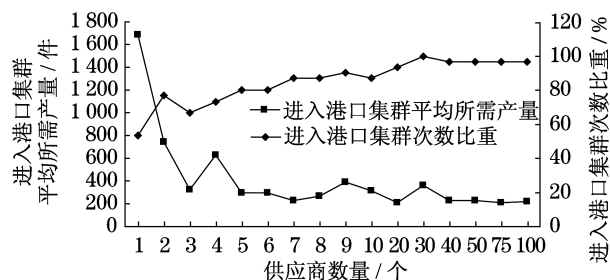


图 3 供应商数量与进入港口集群平均所需产量的关系

Fig.3 Relationship between number of suppliers and the necessary production scale for entering the port cluster

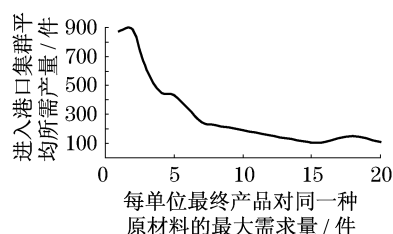


图 4 单位原材料需求量与进入港口集群平均所需产量的关系

Fig.4 Relationship between unit demand for raw materials and the necessary production scale for entering the port cluster

第二,随着各企业固定成本及往港口集群迁移

时所需新增的固定成本比例的增加,全球供应链进入港口集群平均所需产量也相应增加.详见图 5,6.

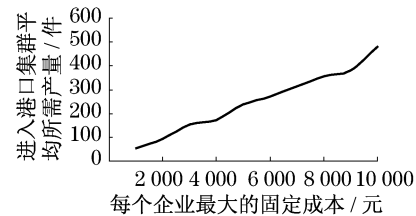


图 5 固定成本与进入港口集群平均所需产量的关系

Fig.5 Relationship between fixed costs and the necessary production scale for entering the port cluster

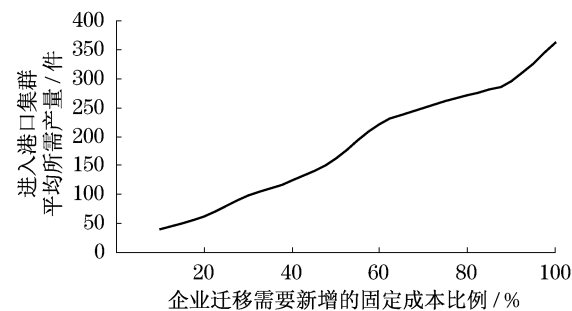


图 6 固定成本重置比例与进入港口集群平均所需产量的关系

Fig.6 Relationship between reset proportion of fixed costs and the necessary production scale for entering the port cluster

第三,全球供应链进入港口集群平均所需产量随着每件原材料单位运输距离陆上运价的提高而减少,但每件原材料单位运输距离海上运价的变化并没有出现类似的现象,详见图 7 和图 8.这说明,全球供应链企业进入港口集群节约的陆上运费比海上运费明显.这一方面是因为海上运价相对较低,另一方面是因为在设定的虚拟世界中原本就不是所有的供应商都需要经过海上运输.

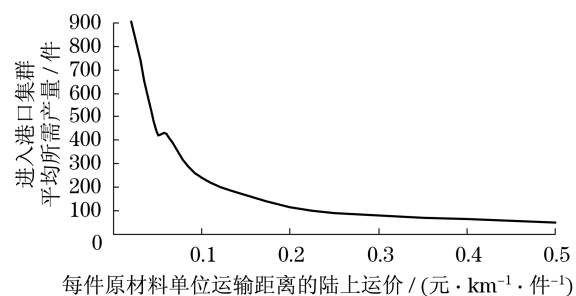


图 7 陆上运价与进入港口集群平均所需产量的关系

Fig.7 Relationship between land freight rate and the necessary production scale for entering the port cluster

第四,海洋宽度、供应商生产每一单位产品所需的最大可变成本的调整,对实验结果没有明显影响.

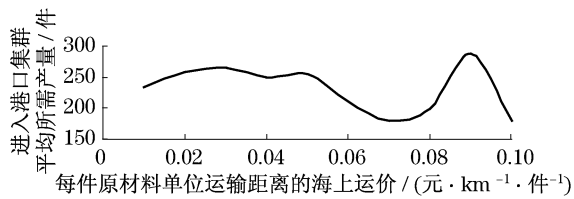


图8 海上运价与进入港口集群平均所需产量的关系
Fig.8 Relationship between sea freight rate and the necessary production scale for entering the port cluster

上述模型和仿真结论是建立在供应商固定不变的前提下的.然而,在全球供应链的营运过程中,节点企业的构成是动态的,核心企业可能增加或减少对某个供应商的原材料需求数量,甚至从其供应链中新增或删除某家供应商企业.因此,有必要进一步研究位于港口集群中的全球供应链核心企业是否具备吸引集群外供应商向其所在港口集群集聚的经济动力.

3 全球供应链企业进一步向港口集聚模型

当全球供应链企业已经位于某个港口集群内时,集群外的供应商如果要为这样的核心企业提供原材料,就需要与集群内现有的供应商竞争.集群内外供应商的竞争包括两种情况,一是二者都已为同一全球供应链上的核心企业提供原材料,只是与该企业的距离不同;二是起初只有集群内的供应商为核心企业提供原材料,而后集群外的供应商也加入.这两种情况可以分别运用博弈论中的 Cournot 模型和 Stackelberg 模型进行分析.

3.1 Cournot 模型

假设企业 m 为核心企业 A 现有的原材料供应商之一,位于港口集群内部(假定 m 为 A 提供原材料不存在物流费用).另有一家企业 n 也生产与 m 同质的产品,生产技术和规模与 m 没有差异,同样为 A 提供原材料.但 n 原先位于 A 所在的港口集群外,向 A 提供原材料时需要支付额外的物流费用.

A 对该原材料的逆需求函数为

$$P = a - b(Q_m + Q_n)$$

式中: a 为 A 的产品市场需求总量, b 为需求弹性, a , b 均为大于零的常数; P 为 A 购买的原材料价格; Q_m 为 m 为 A 提供的原材料数量; Q_n 为 n 为 A 提供的原材料数量; C_m 为 m 的单位生产成本; C_n 为 n 的

单位生产成本; F_n 为 n 将原材料运送到 A 的单位物流费用; π_m 为 m 的利润; π_n 为 n 的利润.则

$$\pi_m = [a - b(Q_m + Q_n)]Q_m - C_m Q_m$$

$$\pi_n = [a - b(Q_m + Q_n)]Q_n - C_n Q_n - F_n Q_n$$

求解该 Cournot 模型,可得其纳什均衡解

$$Q_m = (a + C_n - 2C_m + F_n)/3b$$

$$Q_n = (a + C_m - 2C_n - 2F_n)/3b$$

$$\pi_m = (a + C_n - 2C_m + F_n)^2/9b$$

$$\pi_n = (a + C_m - 2C_n - 2F_n)^2/9b$$

比较 π_m 和 π_n 可以看出,如果 m 的单位生产成本与 n 相同($C_m = C_n$),则 n 的最大化利润明显小于 m ($\pi_m > \pi_n$).这是由 n 向 A 提供原材料时的物流费用所造成的.因此, n 必然向 A 所在的港口集群集聚.

同理可得, n 进入港口集群后的古诺(Cournot)-纳什均衡解为

$$Q'_m = (a + C_n - 2C_m)/3b$$

$$Q'_n = (a + C_m - 2C_n)/3b$$

$$\pi'_m = (a + C_n - 2C_m)^2/9b$$

$$\pi'_n = (a + C_m - 2C_n)^2/9b$$

显然, $\pi'_n > \pi_n$, 即 n 进入港口集群后可以获得更高的均衡利润水平.

3.2 Stackelberg 模型

上述 Cournot 模型假定 n 与 m 同时进入市场,为 A 提供原材料,形成寡头竞争的市场结构.但实际上也存在 m 和 n 以不同时间先后进入市场的情况,即占位企业供应商 m 已经按照供应量水平 Q_m ($Q_m \geq 0$) 安排生产,跟随企业供应商 n 在此基础上确定自己的最优化产量 Q_n ($Q_n \geq 0$).因此,这是一个动态博弈的 Stackelberg 模型.

跟随企业供应商 n 的利润函数为

$$\pi_n = [a - b(Q_m + Q_n)]Q_n - C_n Q_n - F_n Q_n$$

其最优化的 1 阶条件为

$$Q_n = (a - bQ_m - C_n - F_n)/2b$$

由于 m 预测到 n 将根据 $(a - bQ_m - C_n - F_n)/2b$ 选择产量 Q_n ,因此, m 的利润函数为

$$\pi_m = \{a - b[Q_m + (a - bQ_m - C_n - F_n)/2b]\} \cdot$$

$$Q_m - C_m Q_m$$

求解该 Stackelberg 模型,可得其子博弈精炼纳什均衡解为

$$Q_m = (a + C_n - 2C_m + F_n)/2b$$

$$Q_n = (a - 3C_n + 2C_m - 3F_n)/4b$$

$$\pi_m = (a + C_n - 2C_m + F_n)^2/8b$$

$$\pi_n = (a - 3C_n + 2C_m - 3F_n)^2/16b$$

比较上述两个模型的结果可以看出,占位企业

m 在 Stackelberg 博弈中的利润大于其在 Cournot 博弈中的利润,而跟随企业 n 的利润则下降了. n 与 m 的利润差距在 Stackelberg 模型中表现得更加明显, n 并没有因为获得 m 的产量信息而处于优势,相反,变得更加不利. 这无疑将导致 n 向 A 所在港口集群集聚的动力进一步加强.

同理可得 n 进入港口集群后的子博弈精炼纳什均衡解为

$$\begin{aligned} Q'_m &= (a + C_n - 2C_m)/2b \\ Q'_n &= (a - 3C_n + 2C_m)/4b \\ \pi'_m &= (a + C_n - 2C_m)^2/8b \\ \pi'_n &= (a - 3C_n + 2C_m)^2/16b \end{aligned}$$

由此可以看出, n 进入港口集群后, 占位企业 m 在 Stackelberg 博弈中的利润虽然大于其在 Cournot 博弈中的利润,但是与 n 入港口集群之前相比,则降低了;而跟随企业 n 在 Stackelberg 博弈中的利润虽然小于其在 Cournot 博弈中的利润,但是与进入港口集群之前相比,则提高了.

综上所述, n 无论是与 m 进行 Cournot 博弈还是 Stackelberg 博弈,进入核心企业 A 所在的港口集群都是有利的.

4 结论

(1) 在其他影响因素不变的情况下,当供应链产量达到一定规模,使得全球供应链节约的物流费用大于其增加的固定生产成本时,供应链企业便具备了向港口集群迁移的经济动力.

(2) 在影响全球供应链企业向港口集聚的诸多因素中,随着供应商数量或每单位最终产品对同一种原材料需要量的增加,全球供应链对港口的依赖性提高,供应链企业更倾向于向港口集聚;而随着各个企业固定成本及其往港口集群迁移时所需要新增的固定成本比例的提高,全球供应链进入港口集群的难度也相应增加. 另外,原材料陆上运价的上涨将进一步推动供应链企业向港口集中,以降低物流成本.

(3) 当集群外供应商与集群内供应商相互竞争,并为同一家已经位于某个港口集群内的全球供应链核心企业提供原材料时,集群外的供应商进入供应链核心企业所在港口集群是有利的.

参考文献:

- [1] Feernstra R. Integration of trade and disintegration of production in the global economy [J]. Journal of Economic Perspectives, 1998, 12(4): 31.
- [2] Robinson R. Ports as elements in value-driven chain systems; the new paradigm [J]. Maritime Policy & Management, 2002, 29(3): 241.
- [3] 杨霞芳, 黄君萍. 以供应链思想发展港口物流[J]. 交通企业管理, 2007(3): 52.
YANG Xiafang, HUANG Junping. Development of port logistics with supply chain thinking[J]. Traffic Enterprise Management, 2007(3): 52.
- [4] Langen P. Clustering and performance; the case of maritime clustering in the Netherlands [J]. Maritime Policy & Management, 2002, 29(3): 209.
- [5] Gabriel R G Benito, Eivind Berger, Mortendela Forest, et al. A cluster analysis of the maritime sector in norway [J]. International Journal of Transport Management, 2003, 1(4): 203.
- [6] 刘志强, 宋炳良. 港口与产业集群[J]. 上海海事大学学报, 2004, 25(4): 22.
LIU Zhiqiang, SONG Binliang. Port and industry clustering[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2004, 25(4): 22.
- [7] 吕荣胜, 袁艺. 港口产业集群对区域经济的带动效应[J]. 大连海事大学学报: 社会科学版, 2006, 5(3): 47.
LV Rongsheng, YUAN Yi. Effects on the regional economy from port cluster [J]. Journal of Dalian Maritime University: Social Sciences, 2006, 5(3): 47.
- [8] Wilensky U. NetLogo. 4. 1 user manual [R]. Evanston: Northwestern University. Center for Connected Learning and Computer-based Modeling, 1999.
- [9] 张炳, 毕军, 袁增伟, 等. 基于 Agent 的区域排污权交易仿真与分析[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(20): 5651.
ZHANG Bin, BI Jun, YUAN Zengwei, et al. Agent-based simulation and analysis of regional emission trading system [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(20): 5651.