

辽河流域跨省界断面生态补偿与博弈研究

于成学^{1,2}, 张 帅³

(1. 大连民族学院 国际商学院, 大连 116600; 2. 大连理工大学
管理与经济学部, 大连 116024; 3. 中国人民大学 环境学院, 北京 100872)

摘 要:辽河流域生态补偿研究是国家“十二五”规划的重点内容之一。通过消除福利经济学的外部性来实现流域生态补偿改进,建立了辽河流域跨省界断面的生态补偿模型,选择 2004—2011 年辽河流域生态服务功能系统上游省份环境保护投入及上、下游省份的 GDP 数据,测算得到辽河流域可以通过对下游征税并对上游补贴或者谈判方法实现整体最优的补偿量范围在 32.63 亿元和 86.11 亿元之间,通过博弈分析,明确了辽河上、下游省份的纳什均衡福利份额为 60.78 亿元,为辽河流域上下游生态补偿提供参考。

关键词:生态补偿模型; 跨省界断面; 外部性; 博弈; 辽河流域

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0203-05

Research on Game and Ecological Compensation for Cross Provincial Watershed of Liaohe

YU Cheng-xue^{1,2}, ZHANG Shuai³

(1. School of Business, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China;
2. Faculty of Management and Economy, Dalian University of Technology, Dalian
116024, China; 3. School of Environment, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: Liaohe is one of the key focuses of national twelfth five-year plan for watershed of ecological compensation. An improvement model of ecological compensation for Liaohe cross provincial watershed was constructed firstly by eliminating externalities of welfare economics; secondly, the data of environmental input of upstream and the GDP of upstream and downstream from 2004 to 2011 was chosen to calculate the improvements in overall optimal amount of compensation between 3.263 billion Yuan and 8.611 billion Yuan through the method of the taxation for downstream and upstream subsidies or negotiation; lastly, the welfare of Nash equilibrium for Liaohe at 6.078 billion Yuan for Liaohe upstream and downstream was clarified in ecological compensation. Research provides a new reference foreco-compensation in Liaohe watershed.

Key words: ecological compensation model; cross provincial sections; externalities; game; Liaohe Watershed

2010 年《中国环境状况公报》指出,辽河流域总体为中度污染,各个省界断面水质较差,大辽河及其支流总体为重度污染,浑河沈阳段、太子河鞍山段以及大辽河营口段污染严重,整个流域的水环境污染状况令人堪忧,面临着严重的水资源缺乏和污染问题^[1]。辽河流域作为国家重要的新型工业基地、现代化农牧基地和农业综合发展区,对国家粮食安全、能源安全的保障作用非常突出,一直以来都是我国水资

源污染防治规划的重点流域,也是环保部生态补偿研究计划的重要组成部分。近年来,有关流域生态补偿的研究日益增多^[2-5],如陆成林^[6]提出跨行政区域合作设计,指出进一步完善省内跨市行政区域合作机制的同时,建立跨省级行政区域合作机制。范志刚^[7]选取水环境基尼系数、水环境容量行政区域分配方案、行政交界断面水质达标标准等多个指标,提出了依据水权和对全流域 GDP 的贡献度方法对辽河流域干支

收稿日期: 2013-06-05

修回日期: 2013-07-01

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“我国环渤海优化开发区域生态安全测评研究: 以辽宁沿海经济带为例”(71373035); 教育部人文社会科学项目(10YJC630358); 中央高校自主科研项目“基于跨省界断面的辽河流域共建共享生态补偿机制研究”(ZJ12RWYB010)

作者简介: 于成学(1970—),男,辽宁大连人,博士,副教授,研究方向: 生态补偿机制、生态安全评价、生态产业链耦合机制。E-mail: yuchengxue@dlut.edu.cn

通信作者: 张帅(1989—),男,山西太原人,硕士,研究方向: 环境公共物品理论、环境政策与公共财政。E-mail: zsflovezsf@ruc.edu.cn

流进行测算的生态补偿标准计算模型。徐大伟等^[8]运用条件价值评估法(CVM)对辽河流域居民的支付意愿(WTP)和补偿意愿(WTA)进行了探索性研究。尽管对流域生态补偿取得了可喜的成果,但仍然存在很多问题亟需解决,如现有的生态补偿理论没有对生态补偿前后福利水平变化进行分析等。因此,本文从福利经济学的角度出发,考察外部性对整个流域生态补偿的重要影响,通过生态补偿外部性模型构建,搜集辽河流域的具体数据进行测算,得到辽河流域的补贴标准、征税范围以及谈判范围;通过博弈分析,得到上下游的纳什均衡值,为辽河流域上下游生态补偿提供借鉴和参考。

1 理论基础

1.1 外部性对流域跨省界面断面生态补偿的影响

英国经济学家马歇尔最早提出了外部性(externality)的概念^[9],在不存在外部性的完全竞争市场假设下,流域上、下游作为理性经济人会追求各自效用最大化的决策,因此,流域整体是最优的。在现实中,流域是为上、下游共同拥有的一个整体,上游省份必然会对下游省份产生或正或负、或强或弱的外部性。这种广泛存在的外部性诱发了地方保护主义及对资源利用的行业垄断,引发了对资源的过度消耗,导致了资源在不同产业、不同区域的不公平分配等问题^[10]。

1.2 生态补偿理论

生态补偿理论基于“谁受益,谁补偿;谁污染,谁治理;谁保护,谁受益”的基本原则,强调环境保护者的环保成本与环保的其他受益者共同承担,以保护和可持续利用生态系统服务为目的,以经济手段为主要方式,调节相关者利益关系的制度安排^[11-12]。生态补偿理论从经济学视角出发,基于价值而非成本,考虑由于外部性存在给上游环保投入社会最优量带来的扭曲,在使生态建设和保护者得到补偿的基础上,可以分享社会最优带来的净福利。生态补偿理论是在不损害上下游利益的情况下,提高社会的整体福利水平。这种做法充分发挥了市场对资源的配置作用,增强了生态补偿制度的激励作用,考虑了社会福利水平的变化,是对传统的流域生态补偿的发展和补充。

1.3 鲁宾斯坦博弈模型

马克·鲁宾斯坦(Mark Rubinstein)用完全信息动态博弈的方法,对基本的、无限期的完全信息讨价还价过程进行了模拟,并据此建立了完全信息轮流出价讨价还价模型,也称为鲁宾斯坦模型。鲁宾斯坦把讨价还价过程视为合作博弈的过程,他以两个参与人

分割一块蛋糕为例,使这一过程模型化^[12-13]。在这个模型里,两个参与人分割一块蛋糕,参与人 1 先出价,参与人 2 可以选择接受或拒绝。如果参与人 2 接受,则博弈结束,蛋糕按参与人 1 的方案分配;如果参与人 2 拒绝,他将还价,参与人 1 可以接受或拒绝;如果参与人 1 接受,博弈结束,蛋糕按参与人 2 的方案分配;如果参与人 1 拒绝,他再出价;如此一直下去,直到一个参与人的出价被另一个参与人接受为止。因此,这属于一个无限期完美信息博弈,参与人 1 在时期 1,3,5,⋯ 出价,参与人 2 在时期 2,4,6,⋯ 出价。参与人 1 支付的贴现值是: $W_1 = \delta_1^{-1} X_t$; 参与人 2 支付的贴现值是: $W_2 = \delta_2^{-1} (1 - X_t)$; 双方在经过无限期博弈后,可能得到的纳什均衡解为: $X' = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2}$ 。

2 模型构建

首先,将流域生态服务功能系统的上游省份看成一个经济行为主体 A,下游省份看成一个经济行为主体 B,上游 A 对环保产品 x 进行消费。由于流域生态服务功能系统的自然特性,上游 A 对环保产品 x 的消费量不仅影响自己的效用水平,也会影响下游 B 的效用水平,即存在着外部性,因此两个行为主体 A、B 均关心 A 对 x 产品的消费水平。

其次,确定上下游主体 A、B 的效用函数形式。衡量地区的效用因素有很多,由于目前 GDP 仍然是决定和影响地区人民生活水平的最主要因素,因此,本文采取 GDP 作为效用函数的替代指标。A、B 的效用函数分别为:

$$U_A(x) = GDP_A(x) = f(x) \quad (1)$$

$$U_B(x) = GDP_B(x) = g(x) \quad (2)$$

A、B 的边际效用函数分别为:

$$MU_A = \partial GDP_A / \partial x = f'(x) \quad (3)$$

$$MU_B = \partial GDP_B / \partial x = g'(x) \quad (4)$$

其中, $f(x)$ 、 $g(x)$ 为效用函数的具体表达形式,其二阶导数均小于零,满足边际效用递减规律。

再次,分别确定外部性内部化前后环保产品 x 的最优投入量。进行外部性的内部化之前,上游 A 追求自身的效用最大化 $\max U_A(x)$,要求 A 的边际效用等于零,即一阶均衡条件为:

$$MU_A = f'(x) = 0 \quad (5)$$

此时确定的环保最优投入量记为 x_A ,仅使得上游 A 实现效用最大化,并不是流域整体的环保最优投入量。

如果将上下游 A、B 看成一个行为主体,使上游 A 对下游产生的外部性内部化,那么新的行为主体追

求上下游整体效用的最大化 $\max_x U_A(x) + U_B(x)$, 要求上下游整体的边际效用等于零, 即一阶均衡条件为:

$$MU_A + MU_B = f'(x) + g'(x) = 0 \quad (6)$$

此时确定的环保最优投入量记为 x^* , 使得上下游流域整体实现效用最大化。

最后, 对外部性内部化前后的福利水平进行比较, 确定外部性改进的具体方法。由于 A、B 的效用函数 $f(x)$ 、 $g(x)$ 的二阶导数均小于零, 满足边际效用递减原理, 可知边际效用函数 $f'(x)$ 、 $g'(x)$ 均为减函数。结合 (5)(6) 式可知, 对于 $x_A \leq x \leq x^*$, 均有 $f(x)' \leq 0$, $f'(x) + g'(x) \geq 0$, 这意味着, 在外部性内部化前后两个最优投入量之间的任何环保投入量, 给上游带来的边际效用为负, 给下游带来的边际效用为正, 且下游的效用增加值要大于上游的效用损失值, 因而整体的效用水平是增加的, 如果下游能够弥补上游的全部效用损失, 那么还能够享有因为环保投入量增加所带来的福利增加, 在不损害任何人福利的情况下, 提高了福利水平, 实现了外部性改进。

由此可知, 由于上游省份 A 的环境保护活动对下游省份 B 产生的正外部性, 导致系统内个体最优与整体最优之间存在差异, 在不采取适当措施的情况下, 系统将不会自动达到最优状态。因此可以寻求一种生态补偿的改进, 使上下游均不受到损害的情况下, 提高整体的福利水平。

本文主要采用以下三种方式消除外部性的影响。

第一种是由中央政府对上游 A 进行补贴, 边际补贴率 u 等于下游的边际效用 $g'(x)$ 。补贴以后上游 A 的目标转为追求效用和补贴总和的最大化, 其一阶均衡条件则为: $f'(x) + u = f'(x) + g'(x) = 0$ 。此时上游 A 的环保投入最优量从 x_A 增加到 x^* , 实现福利最优。上游省份的边际损失由补贴弥补, 因此愿意增加环保投入量, 此时下游省份获得由环保投入增加所带来的全部净收益。上游省份并没有获得额外的收益, 福利状态没有改变, 既没有受到损失也没有得到好处。在这种情况下, 上游省份并非分享到改进后的福利, 下游省份则有夸大其利益的动机, 向中央政府谋求更多的政策优惠, 中央政府需要充当“裁判者”的身份, 不仅产生行政费用, 同时也具有行政干预的色彩, 因此这种方法仅作为理论上的参考。

第二种对下游进行征税, 同时对上游进行补贴。对下游的边际征税税率 t 不能高于下游的边际效用 $g'(x)$, 边际补贴率 u 则至少能够弥补负的上游的边际效用 $f'(x)$, 即 $t \leq g'(x)$, $u \geq f'(x)$ 。如果对上游的边际补贴率不能弥补上游的边际损失, 上游自然不

愿意增加环保投入, 这种补贴没有任何意义, 同样如果对下游的边际征税税率高于下游的边际效用, 下游也不愿意接受环保投入的增加。这种方法弥补了第一种方法的不足, 使下游丧失夸大自己利益的动机, 因为上游额外增加环保投入量对下游没有好处, 下游必须通过纳税来弥补上游付出的边际损失, 相当于通过财政的横向转移支付对上游增加环保投入带来的净收益在上下游之间进行分配, 进而消除了外部性, 在不损害上、下游利益的基础上实现社会福利水平的提高。财政的横向转移支付程度取决于中央政府的调控倾向, 使得中央政府在改善社会福利的同时还保留了一定的政策灵活性。

第三种方法是上下游进行谈判, 上游除了弥补下游增加环保投入带来的边际损失外, 双方对上游增加环保投入产生的净收益进行分配。这样上游不仅仅愿意增加环保投入, 也能享受到环保投入增加所带来的整体福利水平的提高, 从环保投入中得到净价值, 完全满足科斯定理在现实中的应用, 通过自由协商的方法实现净收益的分配, 进而消除外部性, 实现社会福利水平的提高。谈判的结果将取决于双方的谈判技巧和僵持能力, 也取决于上下游的合作情况。相对于第二种方法, 这种方法中上、下游更多地参与到利益分配的过程当中, 更多地体现了双方的实力和意志。两种方法均可实现外部性改进, 至于选择哪种方法, 则需要依具体实例测算结果而定, 一般以交易费用低者为宜。

3 实例分析

3.1 辽河流域概况

辽河位于东经 $117^{\circ}00'$ — $125^{\circ}30'$, 北纬 $40^{\circ}30'$ — $45^{\circ}10'$ 之间, 是中国东北南部最大的河流, 中国七大河流之一。辽河发源于河北省境内七老图山脉的光头山, 流经河北、内蒙古、吉林和辽宁 4 个省区, 涉及 15 个市(地、州), 46 个县(县级市、区、旗), 全长 1 345 km, 流域面积达 22.11 万 km^2 [14]。辽河上游分为东辽河和西辽河, 东辽河发源于吉林省, 西辽河发源于河北省, 东西辽河在辽宁福德店汇合始称辽河。东辽河流域主要位于吉林省内, 西辽河流域主要位于内蒙古自治区东北部。本文将吉林省及内蒙古自治区内的东西辽河所涉地市统称辽河上游, 将辽宁省内辽河干流及其支流所涉地市统称辽河下游。

3.2 数据获取与测算

首先, 本文对 2004—2011 年辽河流域生态服务功能系统上游省份环境保护投入及上、下游省份的 GDP 数据进行回归分析, 确定上游省份 GDP_A 、下游

省份 GDP_B 关于上游省份生态环境保护投入 x 的具体函数关系,以确定上、下游生态补偿外部性福利改进前后的效用情况。主要变量包括上游省份 GDP_A 、下游省份 GDP_B 与上游省份生态环境保护投入 x ,其中上游省份生态环境保护投入 x 用当年各项环保投资额加总而得(表 1)。

表 1 辽河流域上下游省份的环保投入与 GDP 亿元

年份	上游省份生态环境 保护投入	上游省份 GDP _A	下游省份 GDP _B
2004	54.99	5050.46	60002.54
2005	59.03	6163.08	6672.00
2006	72.96	7515.82	7860.85
2007	79.90	9066.82	9251.15
2008	86.82	11375.81	11023.49
2009	114.85	14185.86	13461.57
2010	147.25	17019.00	15212.49
2011	159.92	20339.58	18457.27

注:数据来源于国务院发展研究中心信息网宏观经济数据库。

具体函数关系如下:

$$GDP_A = f(x) = -0.3934x^2 + 199.142x - 4.807 \times 10^3 \quad (R^2 = 0.9822) \quad (7)$$

$$GDP_B = g(x) = -0.2492x^2 + 163.283x - 2.155 \times 10^3 \quad (R^2 = 0.9742) \quad (8)$$

其次,根据(7)、(8)两式分别对 x 求导数,分别得到上、下游省份关于环保投入量的边际净价值 MU_A 与 MU_B ,解得

$$MU_A = f'(x) = -0.7868x + 199.142 \quad (9)$$

$$MU_B = g'(x) = -0.4984x + 163.283 \quad (10)$$

再次,令 $MU_A = 0$,解出对于上游 A 的最优生态环境保护投入量 $x_A = 25.31$ 亿元,令 $MU_A + MU_B = 0$,解出对于整体外部性最优的上游省份生态环境保护投入量 $x^* = 28.19$ 亿元。即如果不对上游省份进行补贴,上游省份会将其生态环境保护投入定在 25.31 亿元,但这个投入水平并不是最优点,最优点应是 28.19 亿元。

最后,确定生态补偿标准。可以通过对上游补贴同时对下游征税或谈判的方式进行外部性改进。如果对下游征税,边际征税额不应高于下游的边际收益率,总的征税额则不能超过 $\int_{x_A}^{x^*} g'(x) dx$,经计算可知,总的征税额不应高于 86.11 亿元;但是至少要高于上游省份的补贴额,才能弥补上游省份的损失,具体来说,至少要超过 $\int_{x_A}^{x^*} f'(x) dx$,经计算得 32.63 亿元。如果征税额为 32.63 亿元并全部补贴给上游省份,则上游省份在这项活动中福利水平既没有变好也没有变差,全部的社会净福利由下游省份获得。如果

征税额为 86.11 亿元并全部补贴给上游省份,则上游省份获得了全部的社会净福利。

考虑到发放补贴和征税本身会带来管理上的成本,结合辽河流域上、下游之间已经具备的良好合作关系,亦可通过谈判的方式实现辽河流域的生态补偿。为使流域整体最优,上下游可在 32.63 亿元和 86.11 亿元之间选择合适的补偿量,具体的数目双方可通过谈判达成一致。

3.3 上下游生态补偿博弈分析

首先,对讨价还价模型做微小的改变,使之能够应用于上下游生态补偿谈判。原模型是以一块蛋糕作为整体来考虑的,本文把利益相关双方所出的最低价 a 与所出的最高价 b 这一 $[a, b]$ 区间作为整体来考虑,即 $[32.63, 86.11]$ 区间范围。经过谈判,双方会在价格 M 处成交,而 M 一定处在 a 与 b 之间。其中,上游分得的社会福利为(亿元):

$$M' = \frac{1 - \delta_2(b-a)}{1 - \delta_1\delta_2} \quad (11)$$

最终谈判的成交价格为(亿元):

$$M = 32.63 + \frac{1 - \delta_2(b-a)}{1 - \delta_1\delta_2} \quad (12)$$

由于辽河的上下游已建立了良好的合作关系,因此可采用外部性改进后的鲁宾斯坦模型对谈判过程进行模拟,计算出辽河流域最合适的生态补偿量,把 $86.11 - 32.63 = 53.48$ 亿元社会净福利在两地合理分配。

为了便于博弈分析,对模型做出基本假设:

假设 1:谈判双方均是理性的经济人,即总是以追求各自分配到的社会净福利最大化为目标;

假设 2:谈判存在时间成本,辽河上游和下游谈判的贴现因子分别为 δ_A 和 δ_B ,且 $\delta \in (0, 1]$;

假设 3:双方可讨价还价无限期;

假设 4:双方信息完全,上游先出价,然后轮流出价,直到达成最终结果。

根据鲁宾斯坦定理中的纳什均衡原理,上游最终获得的社会净福利份额比例 M 等于上游最终获得的生态补偿,即对下游征税的额度。

假设 $\delta_A = \delta_B = 0.9$,代入式(12)中,得 $M = 60.78$ 亿元。

3.4 讨论

依据以上算例分析,本文从以下 3 个方面进行讨论。

(1) 贴现因子(δ)。贴现因子由上下游参加谈判的耐心程度所决定,经济学上的耐心有两层含义,包括心理承受能力和经济承受能力。心理承受能力和

经济承受能力共同决定着参与人的耐心,谈判中越有耐心,讨价还价中越处于有利地位。

(2) 先动优势与后动优势。在讨价还价的谈判中,先出价的一方和后出价的一方有着各自的优势,即所谓的“先动优势”和“后动优势”,这两种优势的发挥取决于前面提到的耐心优势。假定 $\delta_A = \delta_B$, 当 $\delta_A = \delta_B = \delta < 1$, $M' = 1/(1+\delta) > 0.5$, 即先出价参与人的份额总是大于后出价参与人的份额,始终处于有利的位置,也就是说,在双方都没有足够耐心的情况下,先出价的总是处于有利位置。然而,在双方都有足够耐心的情况下,即当 $\delta_A = \delta_B = \delta = 1$ 时,后出价的一方占据了有利位置。这是因为参与人最后出价时,将拒绝任何自己不能得到整个份额的出价,一直等到博弈的最后阶段得到整个份额为止。本文在分析中,假设的是上游先出价。因此,一般情况下,上游会获得较大的生态福利;如果下游想获得较大份额,则应争取先出价或者有较强的耐心优势。

(3) “尽快接受”原则。由于贴现因子的作用,参与人在本期所得的份额 M 和下期所得同样份额的 M 在价值上是不相等的,下期的 M 经过贴现只能等于本期的 $M\delta_M$,要小于本期的 M 。因此,参与人均应尽快接受对方合理的报价,否则,即使在下期谈判中获得相同甚至更多的份额也只能小于本期的份额。

4 结论

本文从外部性原理的视角出发,应用鲁宾斯坦讨价还价博弈模型分析了整个辽河流域生态补偿问题影响,对生态补偿机制的经济学分析,提出了上下游进行谈判,上游除了弥补下游增加环保投入带来的边际损失外,双方对上游增加环保投入产生的净收益进行分配的生态补偿方法。

通过对辽河流域上、下游省份生态环境保护投入与 GDP 的函数关系的估计,得到辽河流域上、下游省份对生态环境保护投入的边际效用 $f'(x)$ 、 $g'(x)$, 计算出了最优的上游省份生态环境保护投入水平,并提出了可行的流域生态补偿方案,即对下游征税的同时对上游进行补贴、上下游省份在 [32.63, 86.11] 亿元的区间范围通过谈判来达成共识;通过讨价还价谈判博弈分析,提出了上下游的生态补偿额度与博弈过

程,确定了谈判的成最终交价格 M , 当上下游贴现因子均为 0.9 时, $M = 60.78$ 亿元。

通过上述分析使得上游省份将其生态环境保护投入增加到外部性最优水平,下游省份按照上游省份增加生态环境保护投入的边际受损率对上游省份进行补偿,以实现辽河流域上、下游各种利益的最大化,进而使辽河流域整体生态环境实现最优状态。

参考文献:

- [1] 辽宁省水利厅. 辽宁省水资源 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2006.
- [2] 王亮. 基于生态足迹变化的盐城丹顶鹤自然保护区生态补偿定量研究 [J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 272-275, 280.
- [3] 张燕, 张洪. 以生态补偿实现水土资源开发的帕累托最优 [J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 109-113.
- [4] 宋利君, 张燕. 漓江流域生态系统的可持续发展研究 [J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 190-195.
- [5] 高照良, 吴暘, 郭亚军. 新疆维吾尔自治区水土保持补偿费收费方法和标准 [J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 275-280.
- [6] 陆成林. 辽河流域水环境保护政府投资现状及政策建议 [J]. 地方财政研究, 2011(3): 40-44.
- [7] 范志刚. 辽河流域生态补偿标准的测算与分配模式研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [8] 徐大伟, 常亮, 侯铁珊, 等. 基于 WTP 和 WTA 的流域生态补偿标准测算: 以辽河为例 [J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1-4.
- [9] Alfred Marshall. Economics Principle [M]. Beijing: The Commercial Press, 1964.
- [10] 中国大百科全书总《经济学》编辑委员会. 中国大百科全书·经济学 II [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1988.
- [11] Buchanan, James M, Stubblebine W C. Externality [J]. Economica, 1962, 29(116): 371-384.
- [12] 石声萍. 经济外部性问题研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2004.
- [13] Muthoo A. A bargaining model based on the commitment tactics [J]. Journal of Economic Theory, 1996, 69(1): 134-152.
- [14] 党连文. 辽河流域水资源综合规划概要 [J]. 中国水利, 2011(23): 101-104.