

# 北冰洋公海渔业权益争端的博弈分析

——基于环北极国家视角

江昊, 杨卫

(上海海洋大学 经济管理学院 上海 201306)

**摘要:**北冰洋公海尚处于冰封状态,但气候变暖、海冰加速融化使未来公海出现新渔场成为可能,其战略价值因而得到国际关注。当前,环北极国家已率先展开渔业权益争夺。为分析北冰洋公海渔业事务的国际走势,文章基于博弈论思想,构建非对称懦夫博弈模型及古诺模型来模拟和探究环北极国家在渔业利益争夺中的合作或冲突行为,研究得出:现阶段北冰洋公海渔业权益争端主要表现为渔业管理权的争夺,在该博弈中,非北冰洋沿岸国采取退让策略,沿岸国采取进攻策略,可以达到进化稳定均衡;一旦公海具备捕鱼条件,争端将演化为开发模式选择的博弈,此时,北冰洋沿岸国采取合作开发策略可以有效保护公海渔业资源,并实现国家的长期利益。

**关键词:**北冰洋公海;公海渔业资源;渔业权益;环北极国家;博弈论

中图分类号:P74

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2020)01-0075-08

## Game Analysis on the Disputes of Fisheries Rights and Interests in the Arctic Ocean: Based on the perspective of the Arctic countries

JIANG Hao, YANG Wei

(Shanghai Ocean University, College of Economics and Management, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The open sea of the Arctic Ocean is still in a frozen state, but the warming climate and the accelerated melting of sea ice make it possible to create new fisheries in the open sea in the future, and its strategic value has received international attention. At present, the Arctic countries have taken the lead in launching competition for fisheries rights. In order to analyze the international trend of the Arctic Ocean's high seas fishery affairs, this paper built an asymmetric cowardly game model and Cournot model to simulate and explore the cooperation or conflict behavior of the Arctic countries in the competition of fishery interests based on game theory. The disputes over the high seas fisheries rights in the Arctic Ocean are mainly manifested in the competition for fisheries management rights. In this game, the non-Arctic Ocean coastal countries adopt a concession strategy, and the coastal countries adopt an offensive strategy to achieve a stable and balanced evolution. Once the high seas have fishing conditions, the dispute will evolve into the game of development mode selection. At this time, the coastal development countries adopt cooperative development

strategies to effectively protect the high seas fishery resources and realize the long-term interests of the country.

**Key words:** Arctic Ocean high seas, High seas fishery resources, Fisheries rights, Arctic countries, Game theory

## 0 引言

北冰洋公海是一片冰封的海域,当前并不存在渔业活动。然而,近年来,全球气候变暖引发北极海水升温、海冰消融,一些北极鱼类为寻找适宜的生存环境开始向高纬地区洄游,如北冰洋海域已出现原本栖息在格陵兰岛及冰岛附近的鱼类种群<sup>[1]</sup>。据政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告,到21世纪中叶,整个北极海域夏季海冰都将完全融化,北冰洋公海未来将成为鱼类富集之地。此外,该海域具备良好的捕鱼作业地形条件——该海域22%的区域由山脉和大陆架构成,水深不超过2000 m。因此,北冰洋公海是一片具备开发潜力的新渔场。

在全球海洋渔业资源衰退的背景下,世界主要渔业大国纷纷把关注点转向尚未开发利用的北冰洋公海渔业。该海域在法律上允许任何国家进入,而具有前瞻意识及地缘优势的环北极国家率先围绕其展开管理权争夺;北极一直是美国和俄罗斯的战略争夺地,两国主导北冰洋公海渔业事务倾向严重,美国始终竭力将其专属经济区“禁捕”政策沿用至公海,引起国际社会的反感;双边合作下的挪威—俄罗斯渔业联合委员会甚至把管辖范围拓展到部分北冰洋公海海域,遭到丹麦及冰岛的强烈抗议;2008年北冰洋沿岸国形成联盟,单独签署《伊卢利萨特宣言》,对外宣布其领导者地位;2010年切尔西会议上,沿岸国提出其“领导者”依据;2013年华盛顿会议上,沿岸国再次向国际社会强化其北冰洋公海管理机制构建者的概念;2015年,沿岸国发表奥斯陆宣言,单方面宣布对北冰洋公海实行临时禁捕<sup>[2]</sup>。这些举动暗示着非沿岸国已被排斥在核心决策圈外;由于在渔业事务上遭到沿岸国的排挤,冰岛政府公开表示反对北极五国的行为,并指出根据《执行1982年〈联合国海洋法公约〉有关养护和管理跨界鱼类种群和高度洄游鱼类种群的规定的协定》

冰岛理应享有相应权益。由于《奥斯陆宣言》缺乏效力而未得到国际认可,且非沿岸国维权意识高涨,沿岸国不得不邀请非沿岸国以及域外国家重新协商,并于2017年达成《防止中北冰洋不管制公海渔业协定》。该协定的出台名为沿岸国对其他国家参与北冰洋公海事务权利的尊重,实为沿岸国的一次让步,协定体现的不同国家的优先利益是不同的;沿岸国欲掌握主导权,因此要确保该区域内渔业资源的可持续;非沿岸国则希望通过这份协定保证其今后在可持续基础上进行新的商业捕捞谈判协定时获得谈判桌上的一席之地;而域外国家的目的是获得未来参与商讨北极事务的机会。总的来说,当前,围绕北冰洋公海渔业管理权的争夺已由环北极国家个体抢占局面向环北极国家集团对抗局面转化,而管理权争夺的最终目的是瓜分更多的渔业财产。

现有相关文献分为两类:①以北极公海渔业为研究对象的文献。这类文献集中探讨合适的渔业管理制度,如杨蕾、刘惠荣、薛飞、白佳玉等<sup>[3-6]</sup>分别分析了北冰洋公海现行的渔业管理制度;邹磊磊<sup>[7]</sup>比较分析了南北极渔业管理的异同;李芳芳<sup>[8]</sup>论证了国际合作制度对于北极公海渔业管理的必要性;谢东飏<sup>[9]</sup>研究了美国战略中的北冰洋渔业治理政策,并深入探究美国奉行这种政策的目的是,这些学者的研究使我们对当前北冰洋公海渔业的规制体系有了初步了解,但这类文献多以法学视角入手、以定性分析为主。②另有一类相关文献研究北极问题的大国博弈。如范厚明等<sup>[10]</sup>建立了北极环境治理演化博弈模型,研究相关国家治理合作行为的演化规律;汪杨骏等<sup>[11]</sup>对北极国家在北极问题上的合作与争端展开了动态博弈建模与实验仿真;李虹<sup>[12]</sup>采用能量地形模型研究了相关国家在北极航线权益博弈上将形成的格局趋势,这类文献具备出色的建模技术,但并不以北冰洋公海渔业为直接研

究对象。

针对以上问题,本研究以北冰洋公海渔业为主要研究对象,基于环北极国家视角,从经济学角度思考权益争端问题,运用定性与定量相结合的研究方法,构建博弈模型分析环北极国家在北冰洋公海渔业权益争端上将采取的行动,预测北极公海渔业事务的国际走向,以丰富北极研究相关理论,也能为我国参与北极渔业事务提供理论参考。

## 1 北冰洋公海渔业权益争端的缘由

### 1.1 北冰洋公海的“公共财产”属性

北冰洋公海渔业权益之争的根本原因在于其“公共财产”属性。北冰洋中心海域位于环北极国家专属经济区之外,其公海性质在国际上没有任何争议,按照国际法,北冰洋公海内的一切生物资源属于全人类共同财产,任何国家都有权利使用这片海域的渔业资源。在归属权上,这片海域的渔业资源属于国际公共物品。但从现实政治角度考虑,北冰洋公海渔业资源并不是严格意义上的公共物品。国际政治经济学依据国际物品是否具有“竞争性”和“排他性”将其细分为私人物品、国际协调物品、公共财产资源以及纯粹公共物品<sup>[13]</sup>,如表 1 所示。“竞争性”是指一单位的某种国际物品只能由一国使用,若由两个及两个以上国家共同使用则会产生边际成本,这些国家也将发生竞争与对抗;“排他性”强调独占性,指一种国际物品具有可以阻止他国使用该物品的性质,即某国在获得该物品的使用权后,可以将其他国家排斥在该物品的利益之外。

表 1 国际物品分类

物品性质	竞争性	非竞争性
排他性	私人物品	国际协调物品
非排他性	公共财产	纯粹公共物品

在厘清这些概念后,不难将北冰洋公海渔业资源界定为“公共财产”。首先,这种渔业资源具有“非排他性”,任何有资金、技术、捕捞能力的国家都有资格在这片海域进行渔业作业,但任何国家都无法排斥别国在此处的捕捞权利。其次,这种渔业资源同时具有“竞争性”,公海渔业资源有限,一国捕

捞量的增加意味着他国捕捞量的减少,这些国家为争夺渔业利益势必进行竞争与对抗。因此,北冰洋公海渔业的“公共财产”属性是权益争夺的根本原因。

### 1.2 缺乏区域渔业管理组织

区域渔业管理组织的缺失是环北极各国在北冰洋公海渔业权益冲突的另一诱因。在世界公海渔业管理实践中,区域渔业组织能有效协调沿海国的渔业利益。如挪威—俄罗斯联合委员会的成立极大缓和了相关国家在挪威海以及巴伦支海等海域的渔业冲突;地球另一端南极渔业也设有南极海洋生物资源养护委员会这类组织进行统一管理以防止或解决国家间的渔业矛盾,而北冰洋公海却因常年冰封而成为渔业管理组织的盲区。

事实上,北冰洋公海渔业管理有一定的组织基础,如北极理事会(AC)、东北大西洋渔业委员会(NEAFC)、西北大西洋组织(NAFO)等,但这些组织在北冰洋公海渔业管理上均存在较大局限。AC是当前北极国家讨论北极事务最重要的政府间论坛,但该组织不具备区域渔业管理组织的功能和权威,且从未涉及北极渔业管理,北极高官会议也曾表态不希望其关注北极渔业;NAFO的管辖范围只涉及北冰洋边缘海;NEAFC涉及北冰洋公海,但其涉及管辖的范围仅占整个北冰洋公海海域的 8%,且该组织规定涉及面过于狭窄,也不具强制性。

根据全球公海渔业管理案例,依托区域渔业组织进行管理是可行之策,但着眼于北冰洋公海,现有渔业管理组织都不具备管理北冰洋公海渔业的能力,若是建立一个新的区域渔业组织,需考虑高昂的成本因素并需征得环北极国家的同意,可行性不高,因此,在短期内通过形成一个成熟的权威性渔业组织进行管理,几乎无法实现。而环北极国家基于沿岸国身份必然对北冰洋公海渔业有着利益诉求,在权威区域渔业组织缺位的情况下,国家间的利益碰撞得不到调和必将引发冲突。

## 2 北冰洋公海渔业权益争端的博弈分析

### 2.1 渔业管理权争夺的博弈分析

北冰洋公海渔业权益争端缘于其“公共财产”属性及区域管理组织缺位,当前环北极国家对公海

展开渔业管理权争夺已呈现出集团对抗的局面,冲突焦点在于北冰洋沿岸国与非沿岸国的对峙,但也涉及第三方国家的参与,具体来说:沿岸国意图主导渔业管理权,不仅极力反对域外国家的参与,还在一定程度上将非沿岸国排斥在核心决策层之外;非沿岸国认为自己拥有北极公海渔业事务参与决策权但遭到沿岸国的排斥,这些国家并不排斥域外国家介入北极事务;而非北极国家被“边缘化”,但他们仍努力寻找契机,试图参与公海渔业的管理。利益集团间渔业管理权的争夺本质是一个相互博弈的过程,域外国家没有地缘优势而不具备高话语权,因此环北极国家是这场博弈的主要参与方。本小节以环北极国家为研究对象,以非北冰洋沿岸国与北冰洋沿岸国为参与博弈的两方,构建博弈模型,研究相关利益集团在北冰洋公海渔业管理权争夺中的行为。

### 2.1.1 模型选择

基于上文,可以引入懦夫博弈(chicken model)模型来分析环北极国家的北冰洋公海渔业权益博弈行为。懦夫博弈理论由美国学者 Thomas C. Schelling<sup>[14]</sup>提出并用于分析金门事件及古巴导弹危机,改变了人们对冲突及合作的原始理解。懦夫博弈描述了这样一种情形:甲、乙两车迎面相会于一条单行道,两车都将面临“前进”与“后退”两种选择,基于不同选择可能发生以下不同结果:①两车互不相让,则两败俱伤,两车都面临较大损失;②一方前进,另一方退让,则前进方收益大于后退方;③两车都选择退让,则两车不存在收益也不存在损失。

在北冰洋公海渔业权益问题上,非沿岸国与沿岸国将面临“争夺”与“退让”两种选择,“争夺”策略即争取渔业管理权,该策略可以获取高额收益但也可能遭受巨大损失;“退让”策略即放弃争取,这种策略对于环北极国家来说就意味着损失,此处与经典懦夫模型不同,原因在于每个环北极国家都认为自己理应享有北冰洋公海渔业权益,放弃争夺等同于自身利益被他国抢占。此外,由于沿岸国包括美国、俄罗斯等超级大国,而非沿岸国成员国都是小国,因此博弈双方若发生冲突,非沿岸国的损失显

然高于沿岸国,这种情况即为非对称条件下的懦夫博弈。

### 2.1.2 模型构建

假设博弈方 A 为非北冰洋沿岸国组成的同盟,博弈方 B 为北冰洋沿岸国组成的同盟。构建收益矩阵,如表 2 所示:两方都选择争夺,A、B 收益为  $-x_1, -x_2$ ; A 争夺、B 退让,收益分别为  $y_1, -y_2$ ; A 退让、B 争夺,收益分别为  $-y_1, y_2$ ; 两方都退让,则 A、B 收益为  $-y_1, -y_2$ 。其中,  $x_2 > x_1 > y_2 > y_1 > 0$ 。

表 2 环北极国家的收益矩阵

博弈方 A	博弈方 B	
	争夺	退让
争夺	$(-x_1, -x_2)$	$(y_1, -y_2)$
退让	$(-y_1, y_2)$	$(-y_1, -y_2)$

运用划线法分析博弈双方的均衡策略得出,该博弈存在两个纯策略均衡,即(争夺,退让)和(退让,争夺)。但在这两个均衡解中,博弈双方的策略是完全对立的,为进一步分析问题,需要求出该博弈的混合策略均衡。

### 2.1.3 混合策略均衡求解

设博弈方 A 选择争夺的概率为  $p_1$ , 博弈方 B 选择争夺的概率为  $p_2$ 。此时,A 选择争夺策略的期望收益为  $E_1$ ; A 选择退让策略的期望收益为  $U_1$ ; B 选择争夺策略下的期望收益为  $E_2$ , B 选择退让策略的期望收益为  $U_2$ 。

$$E_1 = -x_1 p_2 + y_1 (1 - p_2)$$

$$U_1 = -y_1 p_2 + (-y_1) (1 - p_2)$$

令  $E_1 = U_1$ , 得

$$p_2 = 2y_1 / (x_1 + y_1)$$

$$1 - p_2 = (x_1 - y_1) / (x_1 + y_1)$$

同理,令  $E_2 = U_2$ , 得

$$p_1 = 2y_2 / (x_2 + y_2)$$

$$1 - p_1 = (x_2 - y_2) / (x_2 + y_2)$$

当  $E_1 = U_1$ , 且  $E_2 = U_2$  时, 双方博弈达到混合策略均衡状态。此时, 任何一方改变策略都无法提高自己的期望值, 在这种均衡状态下, 双方发生冲突的概率为  $4y_1 y_2 / (x_1 + y_1)(x_2 + y_2)$ 。

2.1.4 进化稳定策略分析

上述分析基于博弈双方都是完全理性的,但实际上北冰洋沿岸国与非北冰洋沿岸国是有限理性的,且双方的决策会根据博弈局势的改变发生动态变化。因此,传统的博弈论的运用在此处遇到“瓶颈”,需引入进化博弈论深入分析。进化博弈论起源于生物进化理论,Smith 在其论文《动物冲动的逻辑》中提出,生物行为的分析方法可以用来模拟博弈均衡解的动态实现过程。进化博弈论认为,博弈局势与参与人行为相互依赖,并且参与人的理性是根据博弈局势的变化而不断进化的<sup>[15]</sup>。此外,复制动态是进化博弈的主要分析框架,该机制描述了有限理性博弈方策略的动态调整。因此,将复制动态进化模型引入本案例求解。

假设博弈方 A 中选择争夺策略的国家比例为  $a$ ,博弈方 B 中选择争夺策略的国家比例为  $b$ 。此时,博弈方 A 选择争夺策略的期望收益为  $E_{11}$ ,选择退让策略的期望收益为  $U_{11}$ ,平均期望收益为  $u_1$ 。

$$E_{11} = -x_1b + y_1(1 - b)$$

$$U_{11} = -Xb + (-y_1)(-b)$$

$$U_1 = aE_{11} + (1 - a)$$

$$U_{11} = -(x_1 + y_1)ab + 2y_1a - y_1$$

进而得出博弈方 A 的复制动态方程

$$F(a) = a(E_{11} - u_1) = a(1 - a)[2y_1 - (x_1 + y_1)b]$$

同理可得博弈方 B 的复制动态方程

$$F(b) = b(1 - b)[2y_2 - (x_2 + y_2)a]$$

对于  $F(a)$ ,进化稳定策略解必须同时满足

$$F(a) = 0 \text{ 及 } F'(a) < 0$$

符合条件的解为:当  $b = 2y_1/(x_1 + y_1)$  时,所有  $a$  都处于稳定状态,但无进化稳定策略解;当  $b < 2y_1/(x_1 + y_1)$  时, $a_1 = 0$  为进化稳定策略解;当  $b > 2y_1/(x_1 + y_1)$  时, $a_2 = 1$  为进化稳定策略解。

对于  $F(b)$ ,同理可得符合条件的解:当  $a = 2y_2/(x_2 + y_2)$  时,所有  $b$  都处于稳定状态,但无进化稳定策略解;当  $a < 2y_2/(x_2 + y_2)$  时, $b_1 = 0$  为进化稳定策略;当  $a > 2y_2/(x_2 + y_2)$  时, $b_2 = 1$  为进化稳定策略。根据求解  $F(a)$  与  $F(b)$ ,作图分析博弈群体的复制动态及稳定性(图 1)。

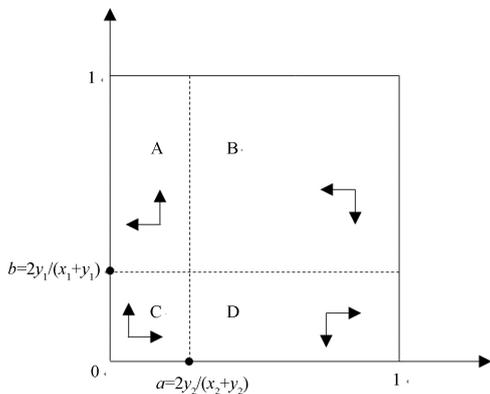


图 1 环北极国家博弈群体动态及复制稳定性

根据图 1 中的箭头指向,该博弈存在两个进化稳定策略,即  $a_2 = 1, b_1 = 0$  和  $a_1 = 0, b_2 = 1$ 。当  $a$  与  $b$  的取值落在图中的 A 区域时,结果将收敛至  $a_1 = 0, b_2 = 1$ ,即非北洋沿岸国采取退让,北冰洋沿岸国采取进攻;当落在 D 区域时,结果将收敛至  $a_2 = 1, b_1 = 0$ ,即非北洋沿岸国采取进攻,北冰洋沿岸国采取退让;当落在 B 或 C 区域时,结果将收敛至  $a = 2y_2/(x_2 + y_2), b = 2y_1/(x_1 + y_1)$ ,这种混合策略均衡并不稳定,最终会向 A 或 D 区域转化。

通过以上复制动态及进化策略分析,再根据北冰洋沿岸国已经采取争夺策略的现实情况,可见, $a$  与  $b$  的取值落在图中的 A 区域,因此,在环北极国家北冰洋公海渔业管理权争夺的长期博弈中,非北冰洋沿岸国采取退让策略,北冰洋沿岸国采取争夺策略是该博弈的进化稳定解。

2.2 渔业资源开发模式选择的博弈分析

环北极国家抢占渔业管理权的目的是瓜分更多的渔业资源,北冰洋公海渔业权益争端最终将演化为渔业资源的争夺。当前,北冰洋公海处于“冻结”状态,北极五国就该海域的渔业问题已达成临时禁捕共识,但这并不意味着未来人类不会涉足北冰洋公海进行渔业捕捞。在全球渔业资源不断衰退,而北冰洋公海渔场逐渐成形的将来,为满足人类的渔业需要,新渔场必将成为开发的重点。

基于上文,一旦确定未来北冰洋公海渔业开发的主体国家,进一步探讨这些国家未来将如何开发北极公海渔业资源,每个国家都将面对两种策略:竞争开发及合作开发。与其他国际公共资源的博

弈相同,决策的选择首先基于国家私利的考量,一些国家如挪威,渔业是他们的生计产业及支柱性产业,气候变暖可能导致其专属经济区的鱼类向北冰洋洄游,因此,这类国家必然对公海渔业有更多的利益诉求;另一些国家如美国,渔业的地位并不凸显,这类国家更倾向少捕捞甚至不捕捞,但其他国家选择捕捞也将影响其捕捞意愿。不同国家的不同利益碰撞将使这些国家就公海渔业如何开发进行博弈。与其他国际公共资源博弈的不同之处在于,北冰洋沿岸国决策的作出还必须基于北冰洋公海渔业资源的保护,这是因为北极生态极为脆弱,有限的渔业资源实在经不起过度捕捞。

### 2.2.1 模型选择

许多学者运用经济模型来分析可再生资源的开发问题,以“囚徒困境”为理论基础的模型是一种常用工具,这种模型很好地解释了公共资源发生悲剧的主要原因,但如上文所述,北冰洋公海渔业博弈不只是一般的国际公共资源博弈,其强调渔业资源保护,因此,用“囚徒困境”进行分析具有较大局限性。而考虑了人类捕捞行为对渔业资源影响的古诺寡头垄断博弈则提供了一种新思路,古诺模型是纳什均衡的最早版本,它描述了市场上销售同质商品的存在竞争关系的两个寡头厂商如何相互博弈,最终产生一个介于竞争均衡与垄断均衡之间的产量决策。Okuguchi<sup>[16]</sup>最早将古诺模型运用到公海的商业捕鱼上,但他只讨论了仅存在两个国家的情形,而古诺模型的结论能推广到多个寡头厂商中,Szidarovszky<sup>[17]</sup>则利用该模型探讨了多个国家的公海商业捕鱼。本节采用古诺寡头垄断博弈模型。根据上文,北冰洋公海渔业的开发权名为全球共有,实为具备地缘优势且掌握管理权的北冰洋国支配,假定北冰洋沿岸国在北冰洋公海捕捞的鱼不仅在国内销售,也销往世界各国,则北冰洋沿岸国形成国际垄断。

### 2.2.2 基本假设及参数解释

为了便于研究,本模型基于以下假设:

(1)北冰洋公海鱼类生长函数满足经典Logistic模型。

(2)北冰洋沿岸国的捕捞函数满足柯布-道格拉

斯生产函数,则每个国家的捕捞成本为: $C_i(F) + \alpha_i q_i^2/T$ 。

式中: $C_i(F)$ 为*i*国的固定捕捞成本, $\alpha_i q_i^2/T$ 为*i*国的可变捕捞成本, $\alpha_i$ 为*i*国的捕捞能力, $q_i$ 为*i*国的捕捞量, $T$ 为鱼群的总数量,即国家的捕捞成本不仅取决于其捕捞能力,还与北冰洋公海鱼群的总数量相关。

(3)令

为鱼的销售价格, $\beta$ 为捕捞量对鱼销售价格的影响系数, $\pi_i$ 为*i*国的销售利润, $r$ 为公海鱼群生长率, $T^*$ 为可持续发展下的最大可捕捞量( $T^* < T$ )。

### 2.2.3 模型构建

在这个模型中,每个北冰洋沿岸国将有两种行动策略:竞争开发及合作开发。在竞争开发模式下,每个国家的利润为

$$\pi_i = [p - \beta(\sum_{j=1}^n q_j)] q_i - C_i(F) - \alpha_i \frac{q_i^2}{T},$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

为简化问题,假设每个国家的捕捞能力 $\alpha_i$ 都相同,则对其求 $q_i$ 一阶导得

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = p - \beta \sum_{j=1, j \neq i}^n q_j - 2\beta q_i - \frac{2\alpha q_i}{T} = 0,$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

解得

$$q_i^* = \frac{p - \beta(q_1 + \dots + q_{i-1} + q_{i+1} + \dots + q_n)}{2(\beta + \frac{\alpha}{T})},$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

该捕捞量为竞争策略下,*i*国实现利润最大化的均衡,那么捕捞量该策略下北冰洋沿岸国的总捕捞量为Q。

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i^* = \frac{np}{(n+1)\beta + \frac{2\alpha}{T}}$$

在合作开发模式下,环北极国家的总利润为

$$\pi'_i = (p - \beta \sum_{i=1}^n q_i)(\sum_{i=1}^n q_i) - \sum_{i=1}^n C_i(F) - \frac{\alpha}{T} \sum_{i=1}^n q_i^2,$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

同样对其求 $q_i$ 一阶偏导得

$$\frac{\partial \pi'_i}{\partial q_i} = p - 2\beta \sum_{j=1}^n q_j - \frac{2\alpha q_i}{T} = 0,$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

解得

$$q'_i = \frac{p - 2\beta(q_1 + \dots + q_{i-1} + q_{i+1} + \dots + q_n)}{2(\beta + \frac{\alpha}{T})},$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

该捕捞量为合作策略下,  $i$  国实现利润最大化的均衡捕捞量, 那么该策略下北冰洋沿岸国的总捕捞量为  $Q'$ 。

$$Q' = \sum_{i=1}^n q'_i = \frac{np}{2n\beta + \frac{2\alpha}{T}}$$

比较  $Q$  和  $Q'$ ,  $n=5$ , 显然  $Q > Q'$ , 即北冰洋沿岸国采取竞争策略的均衡总捕捞量高于合作策略下的均衡总捕捞量。但是基于北冰洋公海渔业资源的有限性, 北冰洋沿岸国开发的同时必须考虑渔业资源的可持续发展, 因此, 仅根据总捕捞量的高低无法判断何种策略更利于北冰洋公海渔业资源的保护。此处, 我们可以用非线性动力学可以用来分析鱼群的动态演化规律。

引入非线性动力系统

$$T(t+1) = T(t)(1 + r - \frac{r}{T^*}T(t)) - Q(t)$$

其中,  $T(t+1)$  为  $t+1$  时刻鱼群总数量,  $T(t)$  为  $t$  时刻鱼群总数量,  $Q(t)$  为  $Q_1$  或  $Q_2$ 。

令  $T(t+1) = T(t)$ , 则

$$r - \frac{r}{T^*}T(t) = \frac{np}{2n\beta T(t) + 2\alpha}$$

$$r - \frac{r}{T^*}T(t) = \frac{np}{(n+1)\beta T(t) + 2\alpha}$$

$$\text{令 } \Phi(t) = \frac{np}{2n\beta T(t) + 2\alpha},$$

$\phi(t) = \frac{np}{(n+1)\beta T(t) + 2\alpha}, \varphi(t) = \frac{r - rt}{T^*}$ , 画出函数曲线, 如图 2 所示。

容易发现:  $\Phi(t)$  与  $\varphi(t)$  没有交点, 即两者不存在平衡点, 表明北冰洋沿岸国竞争性的捕捞将导致北冰洋公海鱼群数量减少甚至消失; 而  $\Phi(t)$  与  $\phi(t)$  至少存在一个交点, 即两者能够达到平衡, 表明合作捕捞策略可以使北冰洋公海鱼群达到动态平衡, 从而避免灭绝。

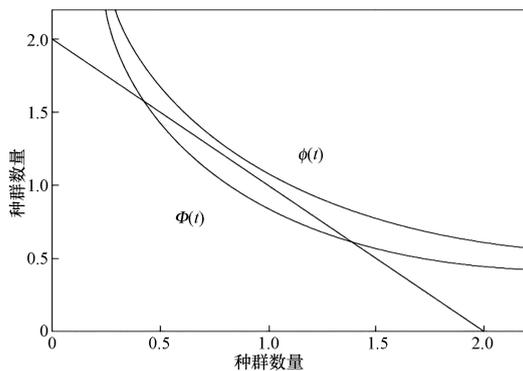


图 2 合作与竞争策略下的鱼类演化模式

综合以上分析得出: 在短期, 竞争策略优于合作策略, 竞争策略将使北冰洋沿岸国获得更多的北冰洋公海渔获量。但是鉴于渔业资源的有限性及北极生态系统的脆弱性, 竞争策略在长期将导致公海渔业资源的枯竭, 而合作策略能有效保护公海渔业资源, 并实现北冰洋沿岸国家的长远利益。

### 3 结论

本研究通过构建博弈模型分析环北极国家在北冰洋公海渔业权益争端中的行为决策, 并对该区域渔业发展态势作出预测。研究表明: 一旦北冰洋公海具备商业化捕鱼条件, 争端将转化为渔业开发模式选择的博弈。在该博弈中, 竞争开发策略在短期将使沿岸国获得更多的渔获量, 但在长期将导致公海渔业资源的枯竭, 甚至破坏北极生态环境。而合作开发模式能有效保护北冰洋公海渔业资源, 并实现北冰洋沿岸国家的长远利益。

本研究结果丰富了北极渔业的相关理论研究, 并为相关政策的制定、渔业权益维护提供理论参考, 也为国际社会如何保护北冰洋公海渔业资源提供借鉴。另外, 在利用模型研究环北极国家的渔业权益争端中, 本研究是建立在一些抽象因素上的初步研究, 相关国家在博弈上更具体动态的行为需要数据支持, 有待进一步研究。

### 参考文献

[1] 焦敏, 陈新军, 高郭平. 北极海域渔业资源开发现状及对策[J]. 极地研究, 2015, 27(2): 219-227.  
 [2] 邹磊磊, 密晨曦. 北极渔业及渔业管理之现状及展望[J]. 太平洋学报, 2016, 24(3): 85-93.

- [3] 杨蕾. 北极公海渔业管理制度研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [4] 刘惠荣, 陈奕彤, 董跃. 北极环境治理的法律路径分析与展望[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2011(2): 1-4.
- [5] 薛飞. 论北极公海渔业资源保护制度的构建[D]. 合肥: 安徽大学, 2017.
- [6] 白佳玉, 庄丽. 北冰洋核心区公海渔业资源共同治理问题研究[J]. 国际展望, 2017, 9(3): 135-152.
- [7] 邹磊磊. 南北极渔业管理机制的对比研究及中国极地渔业政策[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [8] 李芳芳. 论北冰洋公海渔业管理国际合作制度的构建[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- [9] 谢东颺. 美国北极战略中北冰洋渔业治理政策探析[J]. 法制博览, 2017(5): 259.
- [10] 范厚明, 李筱璇, 刘益迎, 等. 北极环境治理响应复杂网络演化博弈仿真研究[J]. 管理评论, 2017, 29(2): 26-34.
- [11] 汪杨骏, 张韧, 钱龙霞, 等. 北极海冰消融情景下环北极国家利益争端的动态博弈建模技术[J]. 极地研究, 2016, 28(2): 257-266.
- [12] 李虹. 北极航线权益博弈能量地形仿真研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [13] 严双伍, 李默. 北极争端的症结及其解决路径: 公共物品的视角[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2009, 62(6): 830-836.
- [14] THOMAS C. SCHELLING. The Strategy of Conflict[J]. *Sciences*, 1960, 43(4): 3-8.
- [15] SMITH J M, PRICE G R. The Logic of Animal Conflict[J]. 1973, 246(5427): 15-18.
- [16] OKUGUCHI K, SZIDAROVSKY F. CHANGES IN DEMAND FUNCTION IN COURNOT OLIGOPOLY[J]. 2005, 10(3): 371-378.
- [17] SZIDAROVSKY F, OKUGUCHI K. An Oligopoly Model of Commercial Fishing[J]. *Seoul Journal of Economics*, 1998, 11(1): 321-330.