

# 1 Introduction

## 1.1 Problem Restatement

近年来全球变暖趋势愈发明显。海洋温度也在不断攀升，威胁着一些海洋生物的生存。这迫使它们离开原本的栖息地，进行大规模种群迁移。而苏格兰鲱鱼和鲭鱼就是其中之一。鲱鱼和鲭鱼作为苏格兰渔业的重要经济来源，这种迁移严重破坏了以苏格兰为基地的捕捞公司的生机。更坏的是，这对于小型捕捞公司可能是灭顶之灾。

作为苏格兰北大西洋渔业管理协会的顾问，我们面临以下问题：

1. 分析海温随时间的变化及海温对鱼类迁移轨迹的影响并做出合理预测。
2. 研究小型捕捞公司随着海水温度的变化的运营情况，其中包括效益最好、最差和最可能经过的时间。
3. 根据未来的预测，分析小渔业公司是否需要迁移公司资产及资产比例，并研究部分渔业转移至另一个国家对公司的影响。

## 1.2 Problem Analysis

首先为了研究海温随时间的变化，我们分析了 1860-2000 年 \*\*\* 的海水温度并做出拟合曲线，经验证与 2000-2020 年的海温数据基本吻合。同时根据初始海温图及鲱鱼、鲭鱼密度分布图【1】，得到两种鱼类的出现概率分别与海温的关系，经过图像拟合为正态分布。在分析鱼类迁徙的运动模型时，由于鲱鱼与鲭鱼的洄游为产卵洄游，具有路线、时间、方向较为固定的特点，所以我们在此模型中忽略鱼群季节性的洄游现象，选取每年同一时间点的整体移动轨迹最为研究对象。除此之外，鱼类具有感觉器官可感知水流的温度与方向。通过以上条件，我们建立元胞自动机模型，将研究区域划分为  $200 \times 200$  的小格。每格的鱼的数量和温度数据由原数据进行线性插值得到。根据贝叶斯公式和正态分布密度函数可以得到温度因素吸引鱼到某个格子的概率。综合边角因素，人口因素，温度因素，可知鱼到达某一格子（包括原地不动）的概率，根据这一刻的鱼类分布图和海温图，得到下一时刻鱼的分布。依此法迭代 50 次即可。然后，我们根据 1961-2019 年的海洋温度变化绘制出温度变化速率拟合曲线，并且加上可人为控制的根据年份线性变化的  $K$  值。经分析苏格兰小型捕鱼公司运营情况，我们选取其中具有代表性的 8 家公司作为研究样本，经验证其捕捞范围与初始鱼的位置分布图基本吻合。通过研究往年英国出口鲱鱼和鲭鱼的吨数和净利润，结合单条鱼的平均体重和公司的捕捞范围，我们计算出每条鱼的售价，和各个公司初始年份的净利润。在不同温度增长率（ $K$ ）下，预测出 2019-2070 年净利润下降至初始净利润的 75

## 2 Assumptions and Justifications

为了精简模型及更好的分析问题，我们进行了一些主要的假设：

1. 鲱鱼和鲭鱼种群在五十年内并不会发生显著变异，其中主要表现海水温度对其的影响不变。不失一般性，种群在短时间内并不会发生显著变异。
2. 海水温度变化足够引起两种鱼类产生大规模迁移活动，且在现有基础上将同等程度发生变化。根据以往数据分析，以目前的全球变暖的趋势足够引起鱼类迁移。因为研究范围为苏格兰及其附近海域，区域较小，则忽略人为因素、洋流因素、不同区域海水性质等因素导致海水温度增幅不一致。
3. 假设在 50 年的范围内，两种鱼生长的最适温度皆未改变，且不会因温度过高而死亡。
4. 未来 50 年对鲱鱼和鲭鱼的捕捞情况与目前一致，不发生明显变化。
5. 未来每年鲱鱼与鲭鱼的种群大致数量不变
6. 忽略鲱鱼和鲭鱼的季节性洄游现象。由于鲱鱼与鲭鱼均为产卵洄游，具有路线、方向、时间较固定的特征，随机性较小，所以在分析预测时，我们忽略其洄游现象，研究每年同一时期的整体性迁移。
7. 影响鲱鱼和鲭鱼生活的环境因素，如捕食者关系、食物来源等均以温度的形式表现出来，即温度适宜的地区相关的环境因素也更利于生存，反之亦然。
8. 鲱鱼和鲭鱼倾向于寻找更有利于自己生存的环境。由于其具有感知能力，可感知水流的温度与方向，同时可以观察周围鱼群数目。故根据逻辑 Logistic 人口增长模型，周围鱼群数目也会影响其游动趋势
9. 假设捕捞公司捕捞范围只限制在本国领海及专属经济区内，不考虑可以跨领海捕捞的情况。并且未来 50 年内各公司的渔船数目一致。

## 3 Notations

symbols	definitions
$\kappa$	parameter to measure how rapidly the ocean water temperature change occurs

## 4 Fish Migration Model

鲱鱼是东北大西洋上的一种丰富的迁徙中上层鱼类，喜群居。它以浮游动物以及许多商业上重要的鱼类种群的上层幼体和幼年为食，在生态中发挥着重要的作用。冬季时会游至深水越冬，春天时游至沿岸海域产卵。鲱鱼一般在北太平洋、北大西洋、波罗的海和南美洲西岸的浅水温带区出没，具有冷水洄游习性。历史上，鲱鱼在欧洲渔业扮演了举足轻重的角色。为了预测未来 50 年鲱鱼和鲱鱼迁移轨迹，由于鲱鱼和鲱鱼均具有季节性产卵的习性，我们忽略洄游对迁移产生的影响，研究每年同一时期整体性迁移。

### 4.1 Rate of Temperature Change

我们从美国国家航空航天局地球观测数据库（NEO）得到的 1961-2019 年的海洋温度。观察发现，海洋温度变化具有一定的周期性，且总体上有递增的趋势，我们用一次函数与三个正弦函数的和来拟合数据即

$$y = a_1 \sin(b_1 x + c_1) + a_2 \sin(b_2 x + c_2) + a_3 \sin(b_3 x + c_3) + tx + s \quad (1)$$

由于题目要求水温发生足够大的变化，故在预测 2020-2070 年水温时，加上一个线性升温

$$\frac{3\kappa}{51}(x - 2019)$$

可以得到 2020-2070 的温度数据

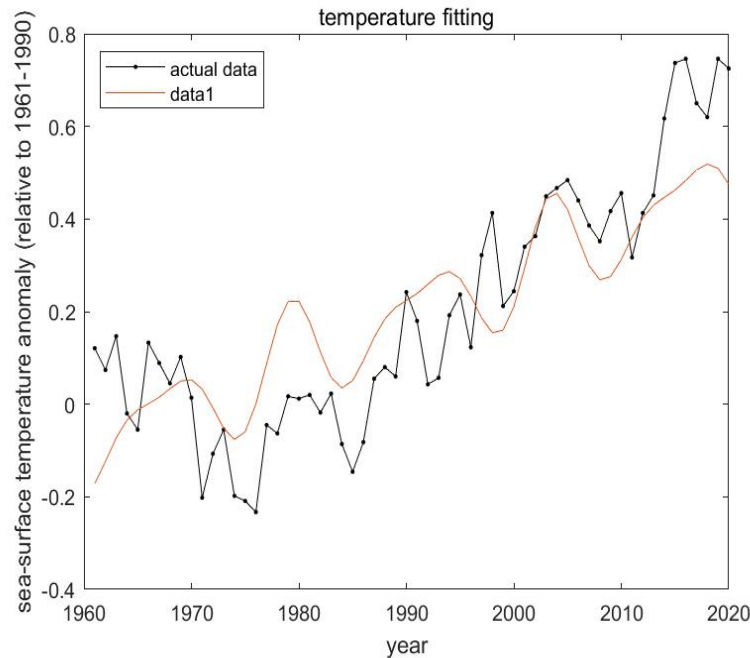


图 1: temperature fitting from 1961 to 2020

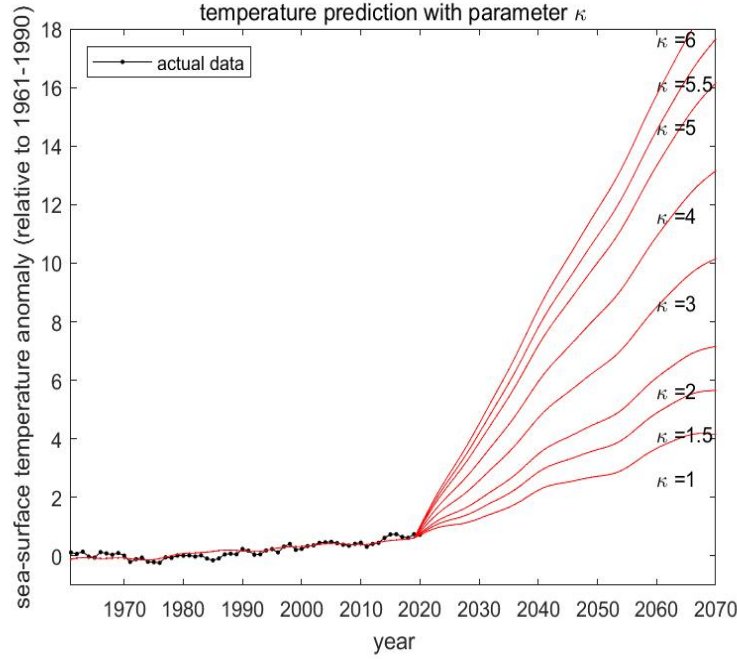


图 2: temperature prediction from 2019 to 2070

我们选取适中的  $\kappa = 3$  来研究 50 年后的鱼群分布

## 4.2 Effect of temperature on fish

我们已经假设海洋温度是影响鲱鱼和鲭鱼分布的重要因素，且研究区域的海水温度将发生同程度变化。除此之外，由于鲭鱼和鲱鱼均为中上层鱼类，所以我们不妨取海表温度作为它们活动的海水温度。

根据美国国家航空航天局地球观测数据库（NEO）数据报告，我们选取了 2019 年 10 月 \*\*\* 位置的海水温度作为分析的初始温度值，对比苏格兰海军陆战队提供的同时期的鲱鱼和鲭鱼 0 期鱼苗的分布图，用以描述鱼的密度。

据此我们可以得到 2019 年鱼与海温的散点图。观察发现他们的分布近似正态分布，我们使用正态分布函数进行拟合，得到鱼密度与水温的关系。

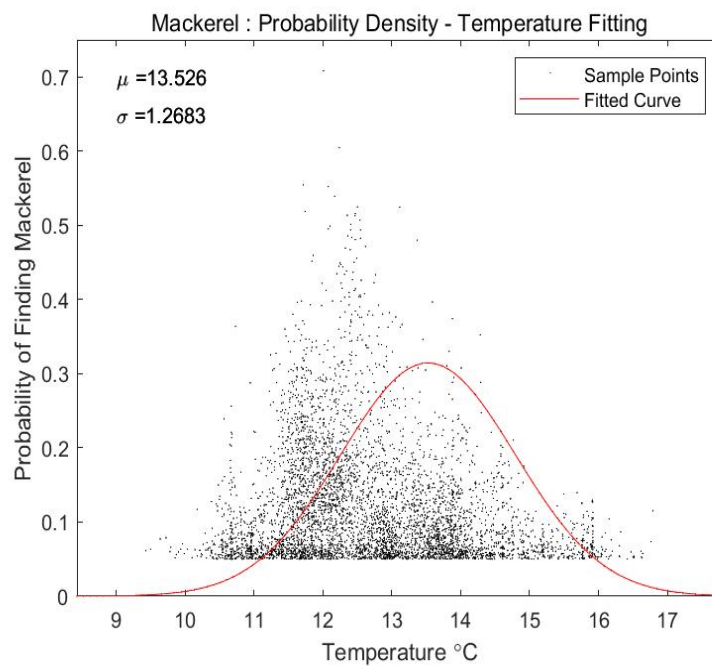


图 3: fishdensity - temperature for Mackerel

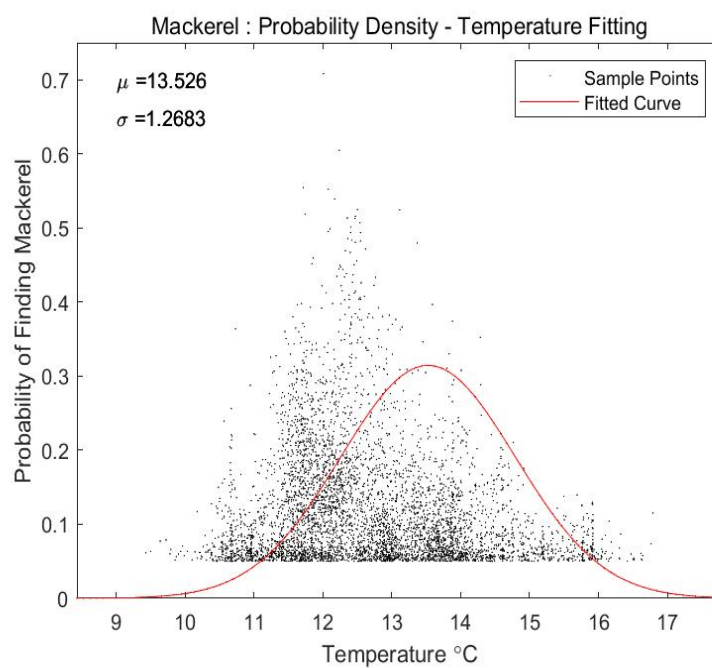


图 4: fishdensity - temperature for Mackerel

### 4.3 Cellular automation model of fish

根据假设可知，鱼拥有感知器官，能感知周围环境的温度。并且鱼类更倾向于寻找适宜生存的环境。在此模型中，我们假设所有鱼在判断运动轨迹时同时做出决策。

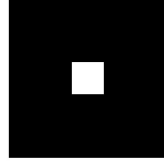
我们将  $(18^\circ W, 63^\circ N)$ ,  $(12^\circ E, 48^\circ N)$  之间的区域作为研究范围，将其划分为  $300 * 300$  的小格。根据比例尺，取中间经纬度  $3^\circ W, 55.5^\circ N$  计算：

$$\begin{aligned} Width &= 6371 * \cos(55^\circ) * 2 * \pi * \frac{30}{360 * 300} = 6.3 \\ Height &= 6371 * \sin(55^\circ) * 2 * \pi * \frac{15}{360 * 300} = 5.5 \end{aligned} \quad (2)$$

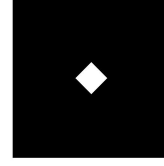
取每格边长近似为 6km。根据鲱鱼和鲭鱼的游动速度，不妨假设鱼的迁移大概每年 9km，与每格边长一致。根据数据，1968 年至 2008 年之间鲭鱼向北移动了 250 公里，向东移动了约 50 公里，计算得平均每年移动约 6km。每格的鲱鱼和鲭鱼的数量和温度数据可由原数据进行线性插值得到。当某格子中有鱼时，由于其每年活动约 6km，刚好是一格的长度，故其每年只会在周围的 9 格（包括原地）移动。



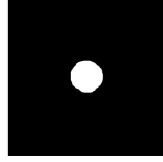
若周围 8 格（除原地）同条件下，鱼游过去的概率相同，不难想象，最终的结果是一个正方形。若只考虑鱼向编号 2468 的格子移动，且各格同条件下概率相同，最终的结果应该是一个正方形。根据实际情况，鱼扩散的结果应是一个圆形，故使鱼游向拐角（1379）的概率是同条件下 2468 格的  $\frac{\sqrt{2}-1}{2}$ ，结果即会是一个圆形。



(a) pic1.



(b) pic2.



(c) pic3.

图 5: Three situations above when fishes spread from the center

用鱼密度-海温正态分布密度函数的函数值来表明某个有鱼进入的概率，由 Bayes 公式，鱼游到第  $i$  格的概率为

$$P(i) = \frac{p_i}{\sum_{j=1:9} p_j}$$

考虑到 Logistic 人口增长模型，原本鱼数量越多的格子，鱼游去的欲望应降低。故每格的概率额外乘上  $\frac{1}{x_i+1}$ 。此外，1379 还须乘上边角因素  $\frac{\sqrt{2}-1}{2}$ 。考虑这三个因素，得到鱼游向欲望的指标，此时九个指标和并不保证为 1，故再次由 Bayes 公式进行归一化处理，得到鱼游向某格的概率。综合三种因素，使用随机数，我们就可以根据当前的鱼图、海温图，得到下一时刻鱼的分布。合理选取每年进行迭代的次数，即可模拟 2020-2070 鱼的变化。

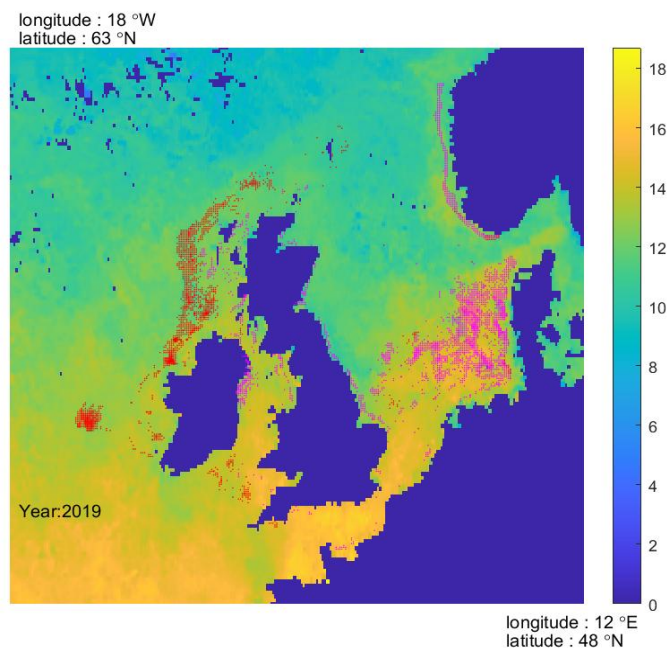


图 6: fishes in 2019

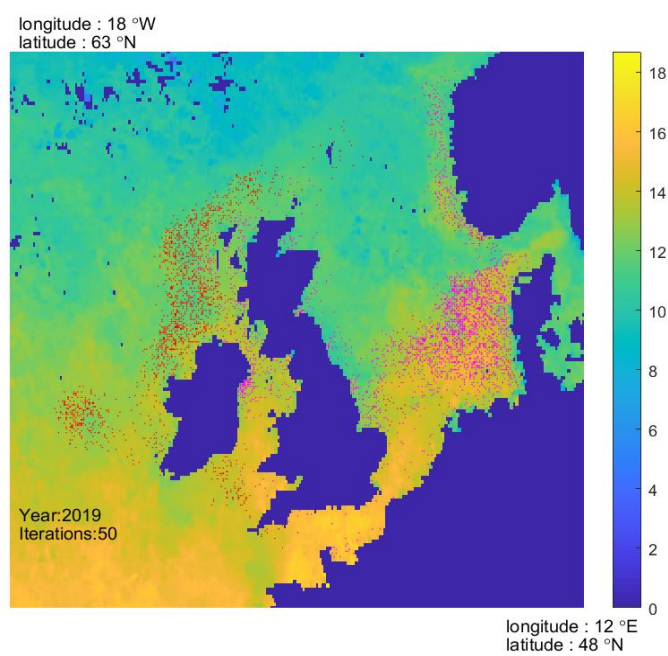


图 7: fishes in 2019 (iterate 50 times)

使用先前所说的元胞自动机算法，在温度不变的情况下对 2019 的鱼分布图做 50 次迭代，鱼的整体分布并未有太大改变，故改算法可以认为是合理的。



## 4.4 Clustering Analysis

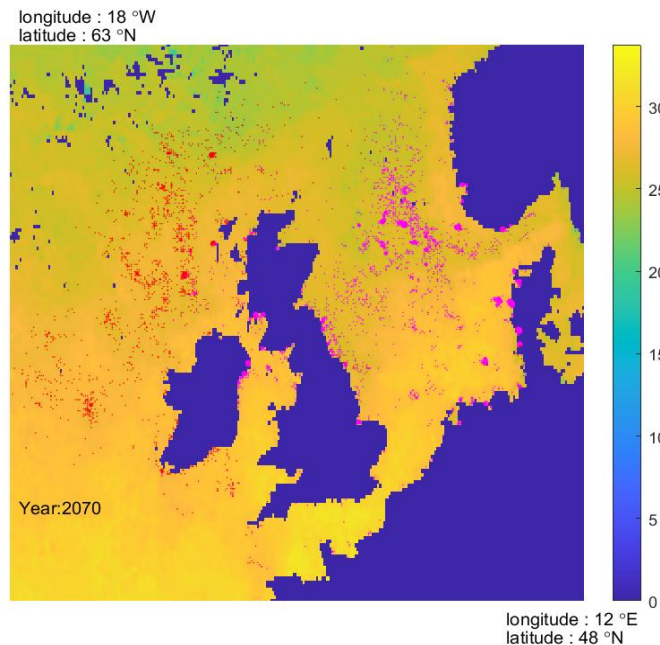


图 8: fishes in 2070 (iterate 10 times per year)

我们得到 2070 两种鱼预计的分布情况，我们采用 K-means 聚类分析来找出鱼主要分布处。

K-means 聚类分析法通过迭代求算点集的多个聚集中心，首先随机选取 K 个样本作为初始的聚类中心，然后计算剩下的每个样本与各个聚类中心之间的距离，并把它分配给距离它最近的聚类中心。聚类中心以及分配给它的样本就代表一个聚类。每分配一个样本，聚类的聚类中心会根据聚类中现有的点集被重新计算，不断重复直到满足某个终止条件。终止条件可以是没有（或最小数目）样本被重新分配给不同的聚类，此时没有（或最小数目）聚类中心再发生变化，误差平方和局部最小。我们利用 K-means 聚类分析法找出两种鱼分布的聚集中心，从而更直观地看到两个鱼群迁徙的方位趋势。

我们找出了两种鱼各自的 10 个聚点，经度为负为西经，正为东经。

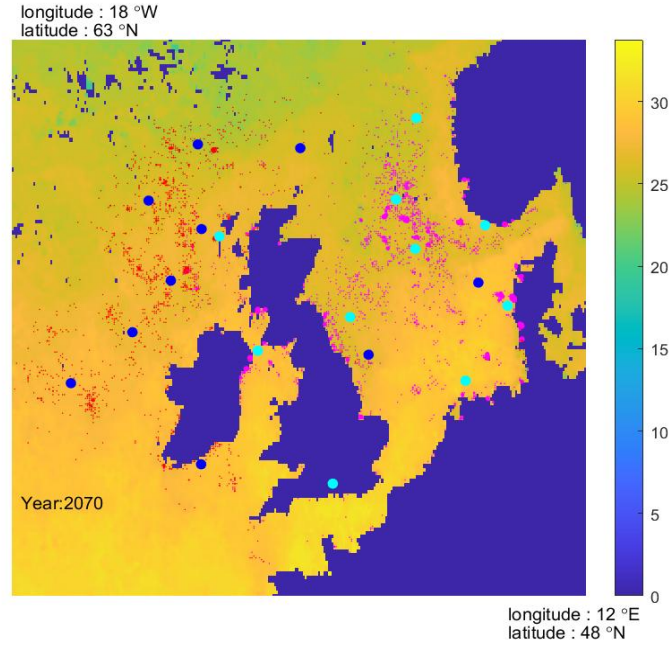


图 9: Accumulation point analysis: fishes in 2070 (iterate 10 times per year)

Mackerel		Herring	
latitude	longitude	latitude	longitude
57.33	-11.43	55.54	-0.31
59.40	-9.98	50.32	-3.00
51.53	-8.13	57.71	-7.21
54.50	0.65	60.86	3.12
53.75	-14.90	53.41	4.32
55.36	-10.97	57.94	6.95
60.24	-1.28	54.69	-5.09
56.45	6.41	55.51	7.80
60.16	-6.66	57.34	3.36
57.20	-8.35	58.61	2.00

表 1: 10 Accumulation points of Mackerel and Herring

## 5 Impact of fish migration on companies

### 5.1 Company Benefit Forecasting Model

#### 5.1.1 Company Location

根据苏格兰政府官网的渔业公司分布数据，我们选取了其中具有典型性的 8 家渔业公司，将其捕捞范围与鲱鱼、鲭鱼分布图做对比，公司的确分布在鱼聚集处，且广泛位于苏格兰各区域，情况基本吻合，可以认为选取的公司是合理的。

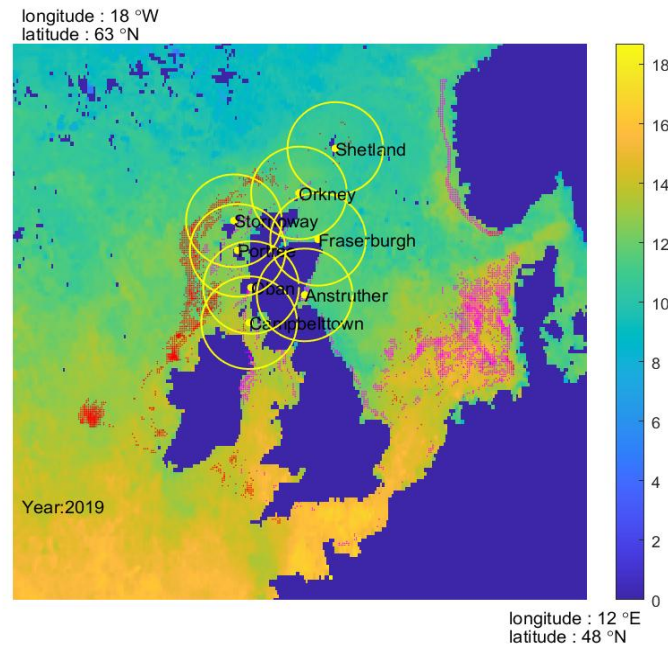


图 10: fishes and companies in 2019

#### 5.1.2 Benefit Evaluation over the next 50 years

由现有假设，研究样本公司的渔船数目在未来的 50 年内不会发生变化，且只在本国的领海及专属经济区进行捕捞。根据苏格兰海军陆战队官方网站提供的 2015-2019 年出口的鲱鱼和鲭鱼吨数和纯收益，以及鲱鱼和鲭鱼的成年时的平均体重，可计算出每条鱼的售价。

	Tonnage					Value EUR'000				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Mackerel</b>	120,539	87,362	96,095	84,808	75,023	98,945	55,507	82,157	78,667	78,295
<b>Herring</b>	31,298	32,076	33,093	34,886	38,138	8,541	11,341	21,664	14,234	13,882

表 2: Tonnage and value of fishes from 2014 to 2018

$$\omega = \frac{value}{tonnage} * weight \quad (3)$$

根据公式 3, 可以计算出每单位鱼的售价。

假设小型捕鱼公司的船都是船长小于 16 米的小船, 最经济的运行速度为 6 节, 即  $11.11km/h$ , 假设渔船以该速度匀速行驶, 最远捕捞范围为  $\frac{11.11km/h * 13h}{6km/grid} \approx 24.07$  不妨假设每个公司的捕捞范围是以 25 格为半径的圆。用圈内两种鱼的数量乘以各自售价的和来估计公司的利润。根据 2020-2070 的鱼变化情况, 易求出每个公司在每一年的利润百分比 (相对于 2019 年)。

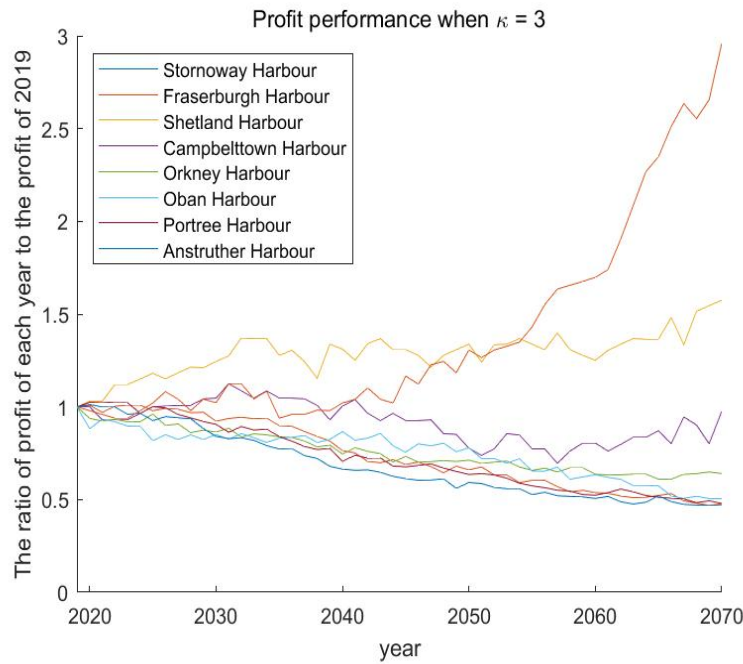
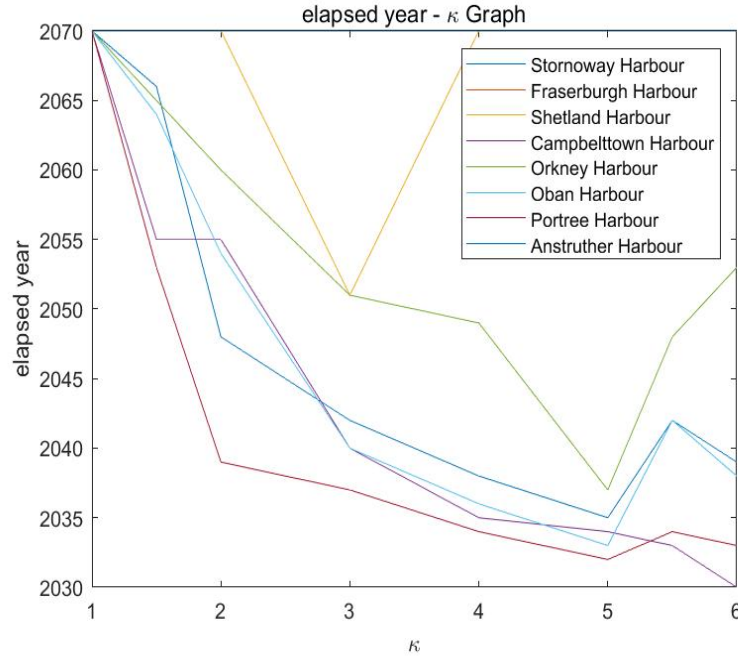


图 11: profit performance from 2019 to 2070

观察发现, 利润本身具有一定的波动, 大概在 0.8 1.2 之间, 我们选取利润下降到 0.75 的年份作为 these populations will be too far away for small fishing companies to harvest if the small fishing companies continue to operate out of their current locations. 在  $\kappa$  的不同取值下, 得到 8 个公司的 elapsed time.

图 12: elapsed year -  $\kappa$  Graph

According to figure 12, the worst case and the most likely elapsed year are about 2030 and 2037 respectively. If the rate of global warming is not so high, like the situation of  $\kappa = 1$ , fish population may not be too far away for small fishing companies. However, the population will still shrink for most companies. Although some companies may get more profit in the next fifty years, like Fraserburgh Harbour and Shetland Harbour, that's because fishes that were there in 2019 will move North while the fishes that were in the south in 2019 will move to these companies. It is believed that these fishes in 2070 will move North as well.

## 5.2 Impact of Fish Migration on Companies

鱼的迁移会公司未来的利益造成影响，我们考虑，公司可能会有以下的策略

1. Using some proportion of small fishing vessels capable of operating without landbased support for a period of time while still ensuring the freshness and high quality of the catch.
2. Relocating some or all of a fishing company's assets from a current location in a Scottish port to closer to where both fish populations are moving;
3. Execute strategy 1 and strategy 2 simultaneously.

4. Modify the ecological environment nearby to make it suitable for fish to live in order to attract more fish.
5. Stay in their current locations.

我们使用聚类分析得到 2070 最适合开公司的九个点，搬家对象可以是这十个点中任意一个。

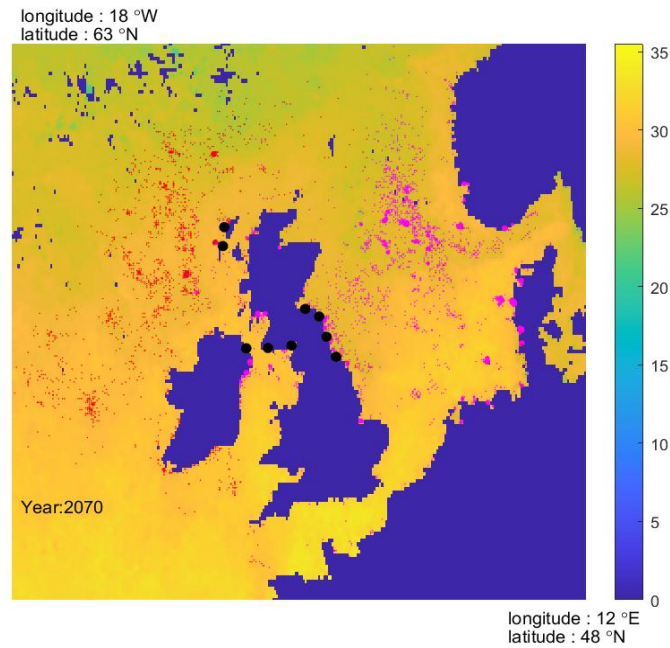


图 13: 10 New company location)

<b>latitude</b>	54.78	54.56	58.06	55.09	54.86	54.79	55.85	57.55	55.64
<b>longitude</b>	-5.76	-1.05	-6.91	-1.55	-3.39	-4.62	-2.67	-6.95	-1.94

表 3: 10 New companies location

### 5.2.1 Company Strategy Evaluation Factors

对每个策略考虑其成本与收益

#### Strategy 1

由于公司在 2019 年正常捕捞，假设其渔船数与 2019 年的获利成正比。又由于升级渔船的费用与渔船的数量成正比，故假设升级渔船的成本为 2019 年获利的  $\alpha\%$ 。假设渔船升级后可捕捞的海域面积翻倍，即捕捞半径扩大  $\sqrt{2}$  倍，但由于出海成本增加，每条鱼的利润为原来的  $\beta\%$ 。升级后的获利用扩大后范围内的鱼的获利来衡量。



**Strategy 2**

搬迁的成本同样与渔船数量成正比，又由于搬迁成本与搬迁距离有关，假设搬迁的成本是 2019 年获利的  $\gamma\%$ ，每移动一格即约 6km。搬迁的收益用搬迁后地点捕捞范围内鱼的获利衡量，同时由于其他公司可能有同样决策产生竞争，故可捕捞鱼的数目为原来的  $\delta\%$ 。我们可以适用聚类分析得到 2070 年最适合开渔场的 10 个地点，假设搬迁会前往考虑上述成本与收益后最优的地点。

**Strategy 3**

即同时考虑 Strategy 1 and Strategy 2 的成本与收益

**Strategy 4**

由于改造生态环境的成本与鱼的数量成线性关系，故假设改造成本为 2019 年获利的  $\zeta\%$  倍。假设改造后的生态环境可以使鱼的数量高  $\epsilon\%$

**Strategy 5**

若上述策略收益均没有原本 2070 年收益高，则选择 Stay

**Other Factors**

考虑到渔船储物空间有限，假设 2019 年各渔船捕捞接近饱和，若未升级渔船，渔船捕捞获利不能超过 2019 年获利的  $a$  倍。但若升级了渔船，假设可以使渔船空间扩大到  $b$  倍

**5.2.2 Company Decisions**

反复测试后，使用以下参数结果较好。

$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\zeta$	$\epsilon$	$a$	$b$
20	90	0.2	80	1	10	1.2	1.8

表 4: Test Parameters set 1

Companies	Stornoway	Fraserburgh	Shetland	Campbeltown	Orkney	Oban	Portree	Anstruther
Strategy	3	5	1	3	3	3	3	5

表 5: Company Decisions with parameters set 1

**5.3 Territorial Sea Effects**

按照国际规定，游到其他国家的领土的鱼是不能被苏格兰的渔船捕捞的。因此，我们应该根据这条规定调整我们的模型，重新进行决策。我们将苏格兰周边国家的领海边界标记出来，对于进入其他国家领海的鱼，在后面的计算中我们不再将其记入数内。这会导致我们上

述决策模型中苏格兰海岸边各点捕捞范围内的鱼数的改变，由于上述三种策略的成本与利润的计算都需使用到这个数据，因此，最终根据模型计算出的最佳策略可能会有所改变。

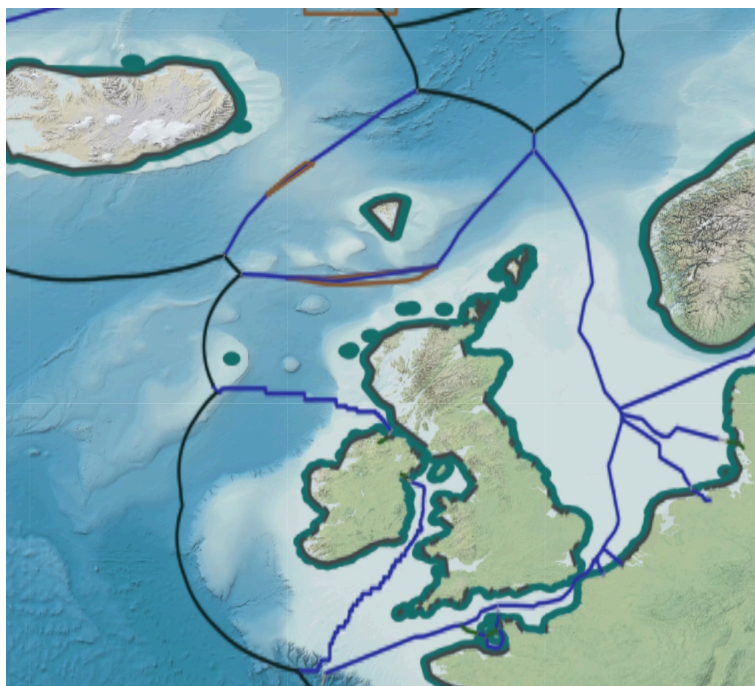


图 14: Territorial waters and exclusive economic zones of neighboring countries

## 6 Sensitivity Analysis

### 6.1 Impact of iteration times on Fish Migration

在先前的 Fish Migration Model( $\kappa = 3$ ) 中，每年迭代次数为 10。现在用每年迭代次数 3 与 24 模拟 2070 年的鱼群分布，使用聚点分析对比两幅图。



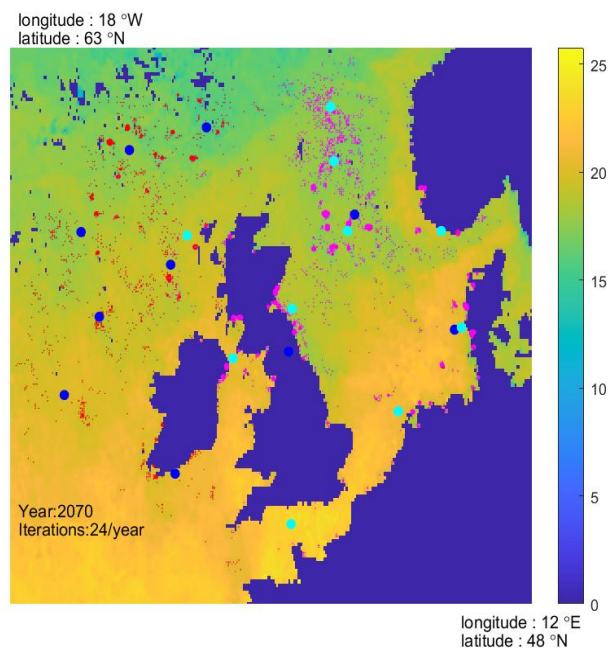


图 15: Accumulation point analysis: fishes in 2070 (iterate 24 times per year)

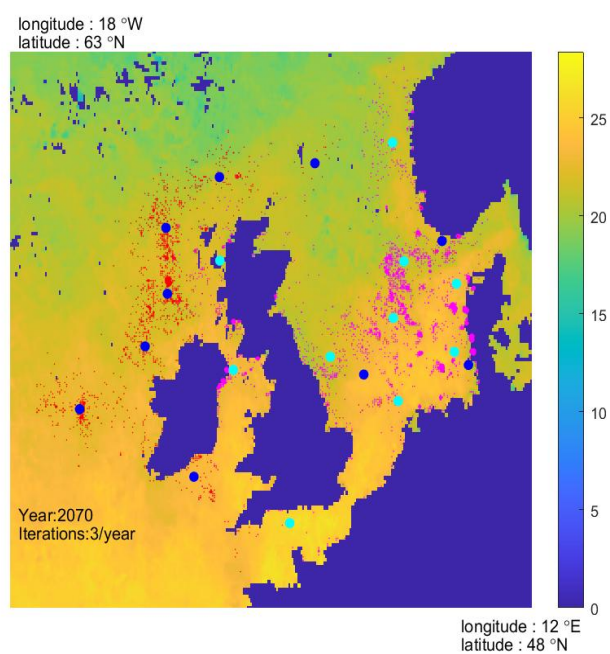


图 16: Accumulation point analysis: fishes in 2070 (iterate 3 times per year)

与 figure 9, figure 6对比. 24 次迭代的结果相比于 10 次整体有向北移动, 但趋势未变。但 3 次迭代的结果相比于 10 次整体向南, 与 2019 年接近, 我们认为次数较少的迭代并不能

很好的描述结果。考虑到模型整体与趋势有关，可以认为当 iteration times 足够大时，Fish Migration Model is non-sensitive to iteration times. 且根据 figure 7, 模型下本身迭代 50 次就会有少许移动，可以认为迭代 10 次是合理的结果。

## 6.2 Impact of $\kappa$ on Fish Migration

figure 12 中已经分析了 elapsed year 与  $\kappa$  的关系, 但没分析过 Fish Migration Model 与  $\kappa$  的关系。

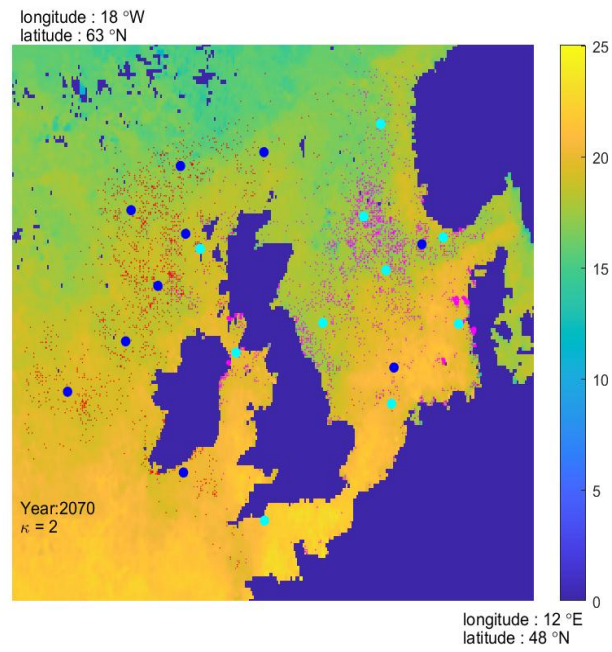


图 17: Accumulation point analysis: fishes in 2070 ( $\kappa = 2$ )

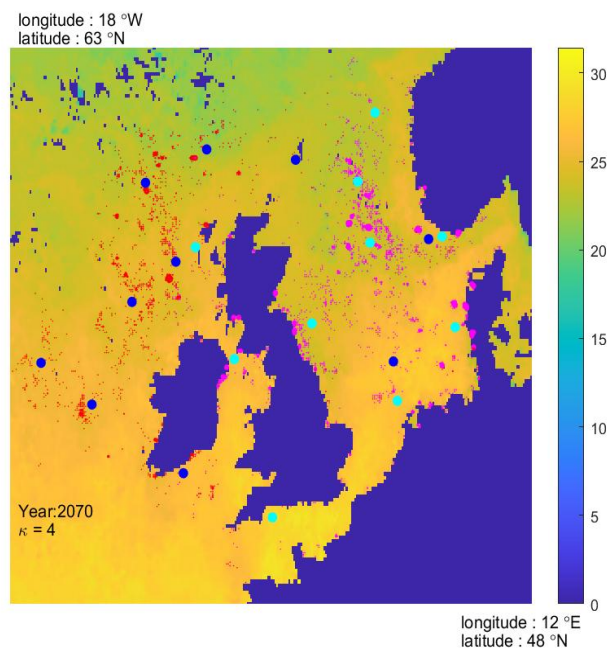


图 18: Accumulation point analysis: fishes in 2070 ( $\kappa = 4$ )

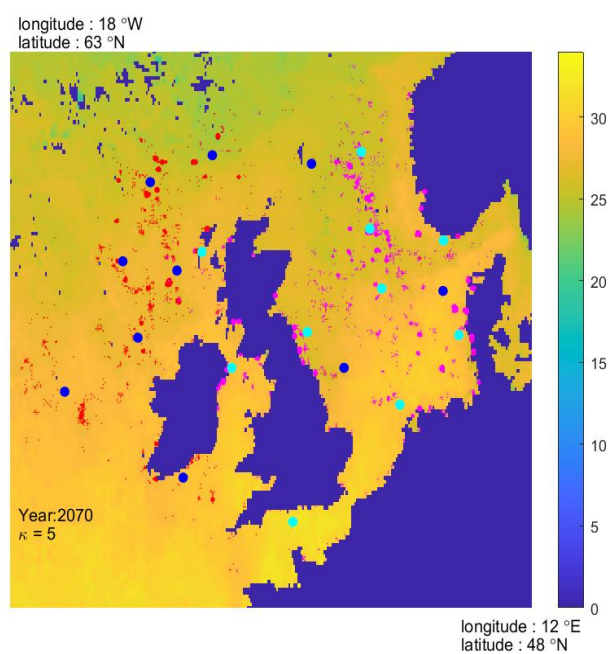


图 19: Accumulation point analysis: fishes in 2070 ( $\kappa = 5$ )

figure 17,18,19, 分别是  $\kappa = 2, 4, 5$  的情况。与 figure 9 比较,  $\kappa$  的变化对结果并未造成太大影响, so Fish Migration Model is non-sensitive to  $\kappa$

### 6.3 Impact of test parameters $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta, \epsilon, a, b$ on Company Strategy Model

将  $\alpha$  提升至 0.5, 只有 Shetland Harbour 的 Strategy 从 1 变为 3.  $\alpha$  降低至 0.1, 只有 Oban Harbour 的决策从 3 变为 1. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $\alpha$ . 将  $\beta$  提升至 1 或降至 0.8, 公司决策不变, 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $\beta$ . 将  $\gamma$  提升至 0.5, 或降低至 0.11, 公司决策不变, 降低至 0.10, 只有 Shetland Harbour 的 Strategy 从 1 变为 3. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $\gamma$ . 将  $\delta$  提升至 0.9, 只有 Shetland Harbour Strategy 从 1 变为 3, 将  $\delta$  降至 0.7, 公司决策不变. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $\delta$ . 将  $\zeta$  提升至 0.5 或降低至 0, 公司决策不变. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $\zeta$ . 将  $\epsilon$  在 0 0.1 变化, 公司决策不变. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $\epsilon$ .  $a$  在 1 1.4 变化, 公司决策不变. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $a$ .  $b$  在 1.4 2 变化, 公司决策不变. 可以认为 company strategy model is non-sensitive to  $b$ .

## 7 Model Evaluation and Future Discussion

### 7.1 Evaluation of models

众所周知, 全球变暖与所有人的生活息息相关, 许多现象和数据都可以显现全球变暖的影响。所以在建立整个模型的过程中, 我们充分分析海洋温度现有数据, 研究鲱鱼和鲭鱼的生活习性, 并查询苏格兰渔业相关信息, 建立了如下模型: 鱼类元胞自动机模型, 公司效益预测模型, 公司决策模型。并且根据模型, 我们成功预测了未来 50 年鱼类的迁徙方向, 小型捕捞公司因此受到的影响, 以及对其公司决策给出了建议。同时, 为了更好地分析问题, 我们做出了合理假设, 随后也验证了模型的正确性和灵敏度, 为预测结果的合理性做出诠释。在建立元胞自动机模型中, 我们考虑到鱼类做移动决策时的随机性, 所以通过分析温度、人口因素、边角因素, 给出了其移动至周围九格的概率, 并不断迭代, 最终得到预测结果。当然, 由于受到时间和资源的限制, 我们的建模过程中存在着一些不足: 1. 我们的海洋温度预测模拟是根据现有数据做出拟合, 没有找到合适的现有模型或算法用来拟合预测, 所以可能存在一定的误差。2. 在研究鱼随温度变化的分布中, 当温度变化率过大时, 由于元胞自动机模型自身缺陷, 在迭代次数不够的情况下, 鱼反而未能及时作出决策停留在原地, 可能会导致预测结果不佳。3. 我们的公司决策模型中, 为了精简模型, 我们根据数据作出估计, 人为规定了公司搬迁和升级渔船的成本, 以及升级渔船对半径的影响。若改变这些参数, 模型结果将会产生较大改变。

## 7.2 Further discussion

在模型建立之初我们给出了很多假设，但事实上，鱼类迁移和公司决策受到很多因素的影响，并且可能会产生更多的结果。比如人类对鱼类捕捞数量以及国家渔业政策的改变，其余物种对鲱鱼和鲭鱼物种迁移的影响，以及捕捞公司决策时可考虑增减渔船数目等。我们在这个题目中只探讨了鲱鱼和鲭鱼的迁移，根据现有信息，60% 的海洋生物都受到海洋温度的影响，可能为正反馈或负反馈。若是我们可以得知其余海洋生物对温度的敏感度，我们或许可以通过已建立的鱼类迁移预测模型来模拟未来其余物种的迁移分布。与此同时，通过研究更多地带更多生物的迁移倾向，我们公司决策模型将可以为更多渔民和公司提供更合理的建议。

## 8 An Article to the magazine

Our future is in our hands 海洋，对于世界上的很多人来说，是他们赖以生存的家园。它影响了人们的生活方式，塑造了人们的身份，维持人们的正常生活，甚至一定程度上，决定了人类的未来。在地球上占比 71% 的海洋，却以超乎我们想象的速度变化着。经研究数据表明，海洋温度近年来的上升幅度也印证着全球变暖的趋势。在过去的 50 年里，海洋吸收了由空气、陆地和融冰存储的绝大多数热量和排放的二氧化碳。这导致了海洋温度发生了大幅度的升高。高达 60% 的海洋生物对此产生了正面或负面的反馈。苏格兰鲱鱼和鲭鱼就因此进行了大规模的种群迁徙。鲱鱼和鲭鱼作为对温度较为敏感的物种，偏好较低的海水温度。根据现有研究，它们十年内向北发生了近 40 公里的移动。假如全球变暖的趋势没有得到缓解，这将严重影响到依靠海洋稳定性为生的渔民和企业。不幸的是，这两种鱼类恰恰是苏格兰渔业的重要支柱。对于苏格兰渔民来说，这无异于灭顶之灾。对于一部分渔民来说，最快十年，这两种鱼类就将消失在他们的渔网之中。但是跟着鱼类向北移动，也需要巨大的魄力和资金支持。停留或者移动？这将成为困扰渔民的一道难题。而以下建议或许会对渔民的选择做出重大帮助：1. 生活在苏格兰较南海岸的渔民，最好尽快北上。因为随着海洋温度的逐渐升高，这些渔民将最早受到影响。虽然有部分偏好温度较高的鱼类会随之向南移动，但从整体趋势上看，近半个世纪全球海洋初级生产量下降 6%。这代表着食物网中依赖的初级生产已呈现下降趋势，这势必影响着渔业的产量。2. 生活在苏格兰较北海岸的渔民，虽然在短时间内并不面临捕获量大幅减少的问题。但从长远来看，鲱鱼和鲭鱼的向北移动会导致一部分数量超出本国的领海和专属经济区，虽然总数量可能并不会减少，但无疑会影响渔民本身的捕获量。面对这个问题，我们建议渔民升级渔船的装备，比如动力装置或制冷装置，这为扩大捕捞范围和延长保鲜时间提供了保障。随着研究的深入，我们不难发现，人类的活动改变着海洋，海洋也以更深刻的方式影响着人类。无论是渔船的升级，亦或是捕捞范围的改变，归根结底都是因为人类自身的活动。而为了应对我们现有的全球变暖的挑战，构建一个可持续和温暖

健康的未来，我们需要作出自己的努力。减少二氧化碳排放，保护绿色植物，尊重大自然的生存规律……我们的未来掌握在我们手中。

## Appendix