

Distributional Ecology of the Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) and Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific Ocean

March 2020 Marine Biosphere Environment 47-186605 WANG Shulan

Supervisor Professor, Shingo KIMURA

Keywords: Pacific Ocean, bigeye tuna, yellowfin tuna, long-term distribution changes, distributional ecology

1. Background and objective

The bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) are highly migratory species inhabiting tropical and subtropical oceans around the world. These tuna species have high economic values and account for almost 85% of the world total catch for main tuna species. According to the statistical data of FAO, the total global nominal catch of the bigeye tuna and yellowfin tuna has increased approximately tenfold in the past 60 years since 1950s. With this remarkable increasing rate, the bigeye tuna and yellowfin tuna have been listed on the IUCN Red List as vulnerable and near threatened species, respectively, calling for an urgent need to implement an appropriate stock management for sustainable utilization for these species. The knowledge of how long-term environmental changes affect tuna distribution can play a vital role in sustainable tuna resource management. However, most of the previous studies focus on limited spatiotemporal scales, and therefore the relationships between long-term environmental changes and distribution of these tuna species remain unexplored. This study investigates the relationships between different environmental changes and the distribution of two tuna species using long-term and wide-range fishery data sets.

2. Data and methods

Catch data of the bigeye tuna and yellowfin tuna provided by National Research Institute of Far Seas Fisheries, Japan Fisheries Research and Education Agency, was used to analyze the distribution changes of two tuna species from 1971 to 2013. The data were georeferenced in 5° grid longitude and latitude, keeping a record of monthly catch in number and weight for the bigeye tuna, yellowfin tuna and the number of hooks used in each grid. Catch per unit effort (CPUE) was calculated and a linear imputation was conducted to interpolate missing values. The areas where they have zero CPUE or lack more than half of its data during the years of analysis were removed from the data set in consideration of accuracy. Catch data of main prey species of tunas, Japanese sardine and Japanese anchovy, from 1971 to 2013 were derived from the Statistics Bureau of Japan. Global sea surface temperature (SST) data sets were derived from the Tokyo Climate Center website of Japan Meteorological Agency. These data sets are provided with a resolution of 1° longitude and 1° latitude from 1971 to 2013, and the spatial resolution of SST data were regulated to 5°. Other meteorological indices such as Nino 3.4 index were derived from the National Oceanic and Atmospheric Administration website.

Principal Component Analysis (PCA) was conducted to investigate the spatiotemporal changes of the tuna distribution and environment factors. Spearman rank correlation analysis and Mann-Whitney U Test were conducted to analyze the relationships between different environmental factors and tuna distributions.

3. Results

The PC1 score of the bigeye tuna (contribution: 23.3%) continued to increase with fluctuations from 1971 to 2013, with values changed from negative to positive in 1993. Positive eigenvectors were concentrated in the west Pacific Ocean (WPO), and negative eigenvectors were found in the east Pacific Ocean (EPO). This indicates that the distribution of the bigeye tuna shifted from EPO to WPO in 1990s. The PC1 of the bigeye tuna showed a negative and positive correlation with the catch of Japanese sardine ($r_s = -0.70$, $p < 0.01$) and the catch of Japanese anchovy ($r_s = 0.51$, $p < 0.01$) respectively. There was a significant difference in SST values of high CPUE grid cells (top 40% CPUE) between 1971-1993 (23.1°C) and 1994-2013 (25.2°C) (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$). A significant difference of SST difference was also shown between the areas with positive and negative eigenvectors in 1971-1993 and 1994-2013 ($p < 0.05$). The PC2 score (7.9%) decreased from positive to negative values from 1971 to 1985, and then shifted back to positive values in 2002. Positive eigenvector values were found in the central North Pacific Ocean (NPO), and negative values were concentrated in the eastern equatorial areas and coastal areas of WPO. This shows that the bigeye tuna gradually moved from central NPO to the eastern equatorial areas and coastal areas of WPO until the mid of 1980s and then slightly moved back to the central NPO until 2013. There is a strong correlation between the PC2 of the bigeye tuna and the PC2 of hooks ($r_s = 0.76$, $p < 0.01$).

The PC1 score (19.1%) of the yellowfin tuna fluctuated from 1971 to 1995 and then increased toward 2013. Eigenvector distributions of PC1 did not show a clear pattern of distribution changes. The PC2 score (11.6%) decreased from 1971 to 1993, and then increased toward 2013. Positive eigenvector values were concentrated in the coastal equatorial areas and eastern areas of NPO, negative eigenvector values were found in the western areas of NPO. This indicates that the yellowfin tuna in the coastal equatorial areas and eastern areas of NPO moved to the western areas of NPO from 1971 to 1990s, and then shifted back to these areas after 1990s. The PC2 of the yellowfin tuna and PC2 of hooks are positively correlated ($r_s = 0.87$, $p < 0.05$).

4. Discussion

The PC1 of the bigeye tuna showed a distribution shift from EPO to WPO from 1971 to 2013. This shift can be explained by the change of dominant prey species from Japanese sardine to Japanese anchovy during the regime shift occurred in 1990s. This distribution shift is also affected by SST, as the bigeye tuna moved to warmer waters in 1994-2013 compared with in 1971-1993. PC2 indicated that the bigeye tuna was concentrated in the eastern equatorial areas from early 1970s to 1980s and moved to the central areas of NPO after the 1990s. This is because the bigeye tuna in eastern equatorial areas, which was a good fishing ground, was the main target of Japanese longline fishery from the mid of 1970s to 1990s. After 1990s, the target species became the albacore tuna in the west and central Pacific Ocean, hence high catch areas of the bigeye tuna also shifted to central areas of NPO.

Although PC1 of the yellowfin tuna showed no clear pattern of the annual distribution changes, PC2 showed that they were mainly distributed in the coastal equatorial areas of WPO and the eastern areas of NPO in early 1970s and after 1990s. This pattern indicated that the yellowfin tuna was the main target of Japanese longline fishery in the mid of 1970s and their fishery activities were mainly held in equatorial areas of WPO which is a major fishing ground for this species. The distribution in the coastal equatorial areas in WPO increased again after 1990s due to increased hook numbers used in these areas. In conclusion, the spatiotemporal changes of CPUE of the bigeye and yellowfin tunas are affected by water temperature environment, feeding environment and social factors such as changes of longline fishery.

太平洋におけるメバチ・キハダの分布生態に関する研究

2020 年 3 月 海洋生物圏環境学分野 47-186605 王淑蘭

指導教員 教授 木村伸吾

キーワード：太平洋、メバチ、キハダ、長期分布変化、分布生態

1. 背景と目的

メバチマグロ(*Thunnus obesus*)とキハダマグロ(*Thunnus albacares*)は、世界の温帯域および熱帯域に生息している高度回遊性魚類である。両種は、世界のマグロ漁獲量の約 85% を占めるとともに、非常に高い経済価値を有している。国連食糧農業機関の統計データによると、世界のメバチとキハダの漁獲量は 1950 年から 2010 年にかけて、約 10 倍に増加している。この漁獲量の増加とともに、メバチおよびキハダはそれぞれ絶滅危惧種と準絶滅危惧種として IUCN レッドリストに掲載されており、これらの種の持続的資源管理の実施が急務になっている。長期的環境変動がマグロ類の分布に与える影響を把握することは、マグロの資源管理において重要な役割を果たすと考えられる。しかし、これまでの研究のほとんどは限られた時空間スケールに焦点を当てており、長期的な環境変動とこれらのマグロ種の分布との関係は未だ不明である。そこで本研究では、長期的および広範囲の漁業データセットを用いて、異なる環境要因とメバチおよびキハダの分布変化との関係を調査した。

2. 材料と方法

国立開発研究法人水産研究・教育機構より提供を受けた太平洋における 1971 年から 2013 年までの日本の延縄マグロ漁獲データを用いた。このデータは、緯度・経度それぞれ 5 度ごとに格子化されており、月毎のメバチ・キハダの漁獲尾数、漁獲量および使用針数が記録されている。このデータを用いて、メバチ・キハダの CPUE (catch per unit effort) を算出し、線形補間を使ってデータを補完し、資源量指数として用いた。データの精度を考慮し、過去 43 年間のうちに CPUE が全て 0 または 50% 以上欠損している格子を除いた。

また、気象庁から提供を受けた緯度 1 度と経度 1 度の格子ごとの海面水温解析データ (COBE-SST: Centennial in-situ Observation Based Estimates of variability of SST and marine meteorological variables) を用いて対象海域の水温の変動を調べた。さらに、1971 年から 2013 年までのエルニーニョなど各種気象指数 (アメリカ海洋大気庁) とキハダとメバチの主要な餌であるマイワシとカタクチイワシの漁獲量 (日本統計局) を分析に使用した。

漁獲データを用いて主成分分析を行い、過去 43 年間のメバチとキハダの空間分布変化を調べた。正規分布に従わない漁獲データとこれらの海洋環境データを用いて、スピアマンの順位相関分析とマンホイットニーの U 検定を行い、キハダとメバチの分布変化と環境変動の相関を調べた。計算は全ては統計ソフト R (3.6.1) を用いて行い、分布図は GMT (5.4.4) を用いて作成した。

3. 結果

メバチの PC1 スコア (寄与率: 23.3% は、1971 年から 2013 年まで変動しながら増加し、1993 年に負から正の値に転換した。正の固有ベクトル値は太平洋西部に集中し、負の値は太平

洋東部に集中した。つまり、メバチの分布は 1990 年代に太平洋東部から西部へシフトしたことを示している。メバチの PC1 スコアはマイワシ漁獲量と負の相関を示し ($r_s = -0.70, p < 0.01$)、カタクチイワシの漁獲量と正の相関を示した ($r_s = 0.51, p < 0.01$)。1971-1993 と 1994-2013 うちに、CPUE の高い海域 (上位 40% の CPUE を持つ格子) の SST 値 (23.1°C 、 25.2°C) は有意な差が認められた (マンホイットニーの U 検定, $p < 0.05$)。固有ベクトルの高い海域を Area1 として選定し、固有ベクトルの低い海域を Area2 として選定した。1971-1993 と 1994-2013 で、Area1 と Area2 の SST の差に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。PC2 スコア (7.9%) は 1971 年から 1985 年にかけて正の値から負の値に減少し、2002 年付近で正の値に戻った。正の固有ベクトルは北太平洋中部に集中し、負の固有ベクトルは太平洋東部熱帯域と太平洋西部沿岸域に集中した。これは、メバチの分布が 1980 年代までは太平洋東部熱帯域と太平洋西部沿岸域に集中しており、その後北太平洋中部へと分布が変化したことを表している。メバチの PC2 スコアと使用針数の PC2 スコアには正の相関が認められた ($r_s = 0.76, p < 0.01$)。

キハダの PC1 スコア (19.1%) は、1971 年から 1995 年まで横ばいに推移し、その後 2013 年にかけて増加した。固有ベクトルの空間分布にはっきりとしたパターンは認められなかった。PC2 スコア (11.6%) は 1971 年から 1993 年にかけて減少し、その後 2013 年にかけて増加した。正の固有ベクトルは赤道沿岸域と北太平洋東部に集中し、負の固有ベクトルは北太平洋西部に集中した。これは、1971 年から 1993 年にかけて、赤道沿岸域と北太平洋東部に分布するキハダが徐々に北太平洋西部に移動し、その後分布を戻したことを表している。キハダの PC2 スコアと使用針数の PC2 スコアは正の相関を示した ($r_s = 0.87, p < 0.05$)。

4. 考察

メバチの PC1 が示した太平洋東部から太平洋西部への分布シフトは、1990 年代に発生したレジームシフトにより、メバチがマイワシからカタクチイワシへ主要な餌を変更したことに起因していると考えられる。また、この分布変動は SST の影響も同時に受けていると考えられる。1971 年から 1993 年までの SST 値と比べると、1994 年から 2013 年までの間にメバチは高水温の海域に移動した。PC2 が示した 1970 年代初頭から 1980 年代までの東太平洋熱帯域への分布変動と 1990 年代以降の北太平洋中部への分布変動は、主要漁獲対象種の変更と使用針数の変化を反映しているものと考えられる。1971 年半ばから 1980 年代までは、メバチが主要漁獲対象種であり、メバチ好漁場である東部赤道域での使用針数が増加したため CPUE が増加した。1990 年代に入ると、東部赤道域におけるメバチのほとんどは巻き網で漁獲され、延縄漁業は主に中西部太平洋でビンナガを主要対象種に切り替えて漁業活動を行なった。その結果、延縄による東部赤道域でのメバチ CPUE は減少し、北太平洋中部での CPUE が増加した。

キハダの PC1 からははっきりとしたパターンは見られなかった。PC2 は、キハダが 1970 年代初頭および 1990 年代以降に主に赤道沿岸域と北太平洋東部で分布したことを表した。これは、1970 年代半ば以前にキハダが主要漁獲対象種であり、キハダの資源量の高い西部赤道沿岸域を主要な漁場として漁業活動を行っていたことを示した。また、延縄漁業が 1990 年代以降に主要漁場を中西太平洋へと移した結果、キハダの CPUE も増加した。以上のように、メバチとキハダ CPUE の時空間変化は、水温環境、餌料環境と延縄漁業など社会的な変化の影響を受けていると考えられる。