

## 重回帰分析による相模湾における クロマグロ幼魚水揚量変動要因の解析

北沢 菜穂子

Factors affecting catch of young bluefin tuna *Thunnus thynnus* in Sagami Bay  
analyzed by multiple regression analysis.

Naoko KITAZAWA\*

### Abstract

Catch of young bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in Sagami Bay during August through December, has fluctuated widely every year. Factors affecting the yearly change were analyzed using multiple regression analysis. Explanatory variates were selected as follows:  $x_1$ ) catch in number of 0-year-old bluefin tuna by trolling operated in Kochi prefecture in July-August;  $x_2$ ) mean distance between Kuroshio axis and Cape Nojimasaki during late-September-late-November;  $x_3$ ) mean distance between Kuroshio axis and Cape Irosaki during late-September-late-November;  $x_4$ ) catch in weight of young bluefin tuna in Sagami Bay in August. And dependent variate ( $y$ ) was catch in weight of young bluefin tuna in Sagami Bay during September through December. Temperature records by inshore trolling sample vessels revealed that bluefin tuna was caught abundantly ( $>20$  ind./ operation) at surface temperature of 19.0-23.0°C in Sagami Bay.

Regression model:  $y=0.013x_2+0.013x_3+0.244x_4+7.226$  ( $R^2=0.95$ ,  $P<0.01$ ),

was obtained after analysis, as most applicable model in this study. This model indicates that oceanographic condition near the Sagami Bay and the catch in August were important factors to forecast the catch in Sagami Bay during September through December. The abundance of young population of Pacific Ocean seems less effective to this model. And also this model suggests that approaching Kuroshio axis to the coast affects the water temperature increase in Sagami Bay, and may cause decrease of the catch of young bluefin tuna.

### 緒 言

クロマグロ *Thunnus thynnus*は、5～7月に主に南西諸島からフィリピン東方にかけての海域を主産卵場とする(伊藤 1994)<sup>1)</sup>。また、日本海においても夏季に産卵を行っていることが明らかになっている(沖山 1974)<sup>2)</sup>。孵化後の仔稚魚は黒潮に乗って北上し、7月には20cm前後まで成長し高知県沿岸において曳縄によって漁獲される(水産庁 1994-1997, 水産庁 1998-2000)<sup>3) 4)</sup>。その後さらに太平洋岸を黒潮に乗って北上し(伊藤 1994)<sup>1)</sup>、8月には相模湾にも到達する。

相模湾においてはクロマグロ当歳魚は、8月～12月に来遊し、一本釣り、曳縄、定置網などにより漁獲される。その単価は、200円～1000円/kgの間にあり、水揚量が減少する12月には1500円/kgを超えることもあり、本種の幼魚(当歳魚)に対する沿岸の漁業者の関心は極めて高い。しかし、その水揚量は1993年から1999年の間でも

8トンから111トンまでの大きい変動を示すため、計画的な操業は極めて困難である。漁業者からも操業の効率化を図るために、その変動要因を解明し、漁況予測手法を開発することが強く求められている。

神奈川県においては従来近海クロマグロの水揚量については統計的に整備されていなかったが、月別、銘柄別のクロマグロ水揚データが1993年以降から整備され始めた。そこで、これらのデータを基に重回帰分析を行い、秋季の相模湾におけるクロマグロ幼魚水揚量の変動要因の抽出及び初期水揚量による漁期全体の水揚量の予測を試みたのでここに報告する。

### 材料と方法

相模湾における水揚量( $y$ )は、1993年から1999年まで日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査事業の一環として収集した、長井町漁協及び横須賀市大楠漁協の小型一本

釣り、曳縄、定置網の水揚量と県内の大型定置網の水揚量のうち、9月から12月までの値を用いた。クロマグロ幼魚の漁獲はほぼ12月で終了する。相模湾におけるクロマグロ当歳魚の漁獲は8月より開始されるが、8月の値は後述のように予測の説明変数とするために、除外した。これらの漁業種類における漁場は、ほとんどが相模湾内もしくはその近傍である。長井町漁協、横須賀市大楠漁協のデータは銘柄別に分けられているため、体重10kg以上の大型魚を示す「マグロ」銘柄のものは除外した。Fig.1に1993年～1999年の各年8月から12月までに神奈川県長井港、佐島港、小田原港において測定したクロマグロの体長（尾叉長）組成を示す。クロマグロの成長についてはいくつか報告があるが、行縄・藪田(1967)<sup>5)</sup>は体長組成より、1歳で51.8cmまで成長するとしている。また、1997年に高知県において行われた当歳魚の標識放流では、7月中旬に20cm前後で放流された魚群がその年の12月に約50cm前後、翌年の4月には約70cmに成長している（水産庁 2000）<sup>4)</sup>。本県漁港において秋漁期に測定を行った魚体の約90%が52cm以下であり、70cmを越える魚体の占める割合が極めて低いことから（Fig.1）、同期の漁獲物は大部分が当歳魚であると考えられる。そこで、期間中の県内の大型定置網のデータは銘柄別ではないがそのまま用いた。漁獲量の変動に影響を与える説明変数としては、次の $x_1$ から $x_4$ を選定した。

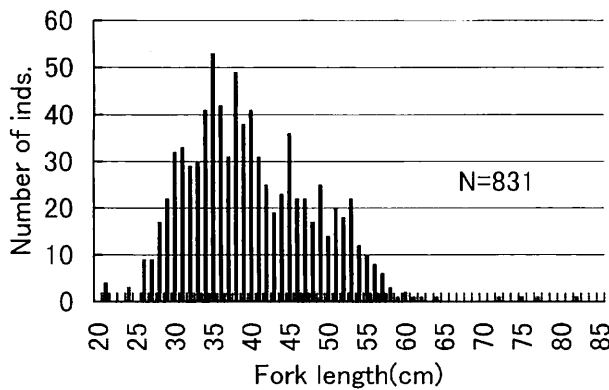


Fig.1 Length-frequency distribution of bluefin tuna caught in Sagami Bay, from August to December during 1993-1999.

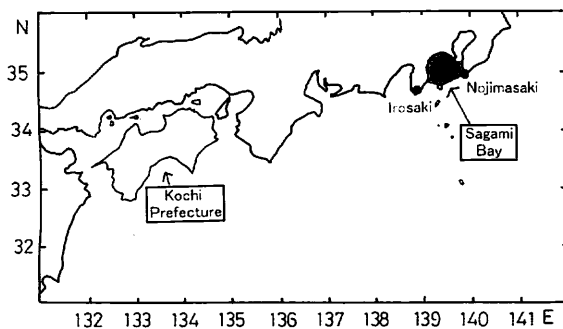


Fig.2 Map of study area.

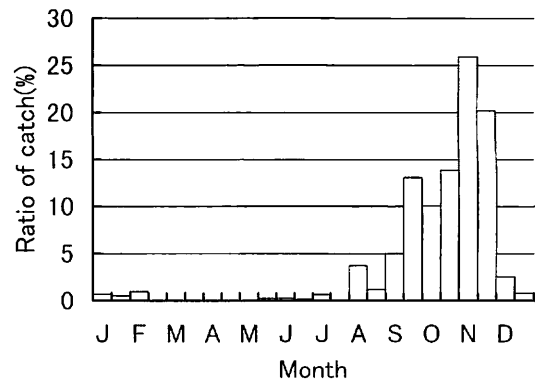


Fig.3 Annual variation in catch of young bluefin tuna in Sagami Bay, during 1993-1999.

#### 高知県における7、8月のヨコワ漁獲尾数( $x_1$ )

高知県においては太平洋沿岸の県でもっとも早く7月より曳縄で当歳魚が漁獲され始める。その漁獲量が本種の太平洋系群の当歳魚発生量のもっとも早期に得られる指標となると考えられる。そこで7、8月の漁獲量をその代表値と考え、高知県主要漁協（古満目、土佐清水、窪地、佐賀町、上の加江、宇佐、加領郷、室戸、甲浦）の7、8月のクロマグロ幼魚（ヨコワ）曳縄漁獲量（水産庁 1994-1997, 水産庁 1998-2000）<sup>3) 4)</sup>を月別の1尾あたりの平均体重（7月は100g、8月は400g）（広田、1979）<sup>6)</sup>、月別の漁獲量を月別の1尾あたりの平均体重で除して水揚尾数を算出し、説明変数とした。

#### 9月下旬から11月下旬における野島崎( $x_2$ )、石廊崎( $x_3$ )からの黒潮流軸距離

Fig.2に相模湾周辺海域図を示す。相模湾の東水道（大島と房総半島の間）及び西水道（大島と伊豆半島の間）からの黒潮の位置がクロマグロ漁況との間に関連性があると考え、説明変数( $x_2, x_3$ )とした。黒潮流軸距離は、クロマグロ幼魚年間水揚量の約88%が漁獲される9月下旬～11月下旬の値を平均した（Fig.3）。資料は2週間に一度海上保安庁水路部が発行する海洋速報<sup>7)</sup>を用いた。

#### 神奈川県における8月の水揚量( $x_4$ )

初漁期の水揚量と盛漁期の水揚量との間に関連があると考え、これを説明変数とした( $x_4$ )。相模湾での漁期全体（8月～12月）に占める8月の水揚量は調査期間中で0.03～28.67%、平均で約12.18%であった。

以上の $x_1$ から $x_4$ を説明変数、 $y$ を目的変数として重回帰分析を行った。ただし、 $x_1, x_4, y$ については、それぞれの値の対数を用いた。説明変数選択は、ステップワイズ法により、変数を一つずつ増加させ、もっとも有用な組を採択する方法を用いた。また、重回帰モデルのあてはまりの評価には、AIC（赤池情報量基準）を用いた。

また、相模湾における小型曳縄船の操業1回あたりの漁獲量と操業時の漁場の表面水温の関係を調べた。資料は1993年から1999年の標本船調査野帳に基づいた。なお標本船調査とは、長井町漁協、横須賀市大楠漁協、小田

Table 1 Catch and factors.

Year	y (kg)*	x <sub>1</sub> (inds.)*	x <sub>2</sub> (mile)	x <sub>3</sub> (mile)	x <sub>4</sub> (kg)*
1993	9.77	8.83	58.0	79.0	2.69
1994	9.09	11.15	43.0	44.0	3.66
1995	11.28	9.40	34.0	69.0	10.37
1996	10.66	10.41	85.5	79.0	4.70
1997	10.26	9.95	66.0	77.0	5.47
1998	11.36	11.01	47.0	117.0	8.57
1999	8.97	10.79	35.5	77.5	0.69

\*:logarithm

Table 2 Correlation matrix among catch and factors.

	y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>
x <sub>1</sub>	0.041	-	-	-	-
x <sub>2</sub>	0.030	0.018	-	-	-
x <sub>3</sub>	0.349	0.023	0.017	-	-
x <sub>4</sub>	0.814	0.016	0.018	0.100	-

原市漁協、みうら漁協松輪支所に所属する6名のカツオマグロ漁業者に7月から12月までの間、日々の漁場水温、漁場位置、漁獲物の種類、漁獲量を記録してもらうものである。

結果

目的変数及び説明変数の実数をTable 1に、各パラメータの相関行列をTable 2に示した。x<sub>1</sub>からx<sub>4</sub>までの説明変数間には相関性はみられず、多重共線性の問題はなかった。

変数増加法での計算過程をTable 3に示した。Step1では、5つの説明変数の内、yとの単相関係数が高最も高いx<sub>4</sub>が採択された。Step2においては、x<sub>4</sub>を除く4つの説明変数の内、偏回帰係数のF値が2を超え、かつ、もともと回帰式の自由度調整済決定係数(R<sup>2</sup>)が大きくなるx<sub>3</sub>を採択した。このようにして、説明変数を増加させていき、自由度調整済決定係数が最大、AICが最小、かつ有意水準の高い説明変数の組み合わせを求めた。その結果、Step3において、自由度調整済決定係数が最大となり、分散分析ではF(3,3:0.01)=29.46<41.02と、1%水準で帰無仮説が棄却された。Step4においてはAICが最小となり、分散分析ではF(4,2:0.05)=19.25<27.55と、5%水準で帰無仮説が棄却された。しかしStep4とStep3を比較すると、自由度調整済決定係数とAICの値が同程度であったため、説明変数の数がより少ないStep3において得られた次式を採択した。

$$y = 7.226 + 0.013x_2 + 0.013x_3 + 0.244x_4 (R^2 = 0.952)$$

分散分析の結果、1%水準で帰無仮説が棄却された

ことより、x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>, x<sub>4</sub>の説明変数の組はyを説明するのに有効であり、これらの要因が秋季の相模湾のクロマグロ幼魚水揚量に係わっていると考えられた。

得られた重回帰式から求めた計算値と実際の水揚量をFig.4に示した。1995、1998年のような好漁年において残差が比較的大きいものの、よいあてはまりを示した。

説明変数の水揚量の変動に対する寄与の大きさをみるために標準化した偏回帰係数の絶対値を比較したところ、x<sub>2</sub>x<sub>3</sub>:x<sub>3</sub>:x<sub>4</sub>=0.247:0.293:0.843となり、x<sub>4</sub>, x<sub>3</sub>, の順で、yに対する影響が大きいと考えられた。

小型曳縄船の1回の操業あたりの漁獲量と漁場表面水温の関係をFig.5に示した。表面水温16.0~27.0℃の範囲で漁獲されていたが、20尾を超える多獲操業は、表面水温19.0~23.0℃の間にみられた。

Table 3 Calculation process by multiple regression analysis.

	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	A <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	F value	AIC
Step1				0.262	8.849	0.777	21.89**	12.604
Step2			0.015	0.23	7.816	0.877	22.43**	8.861
Step3		0.013	0.013	0.244	7.226	0.952	41.02**	2.214
Step4	-0.089	0.012	0.014	0.24	8.159	0.947	27.55*	2.190

\*:P<0.05 level of significance.

\*\* : P<0.01 level of significance.

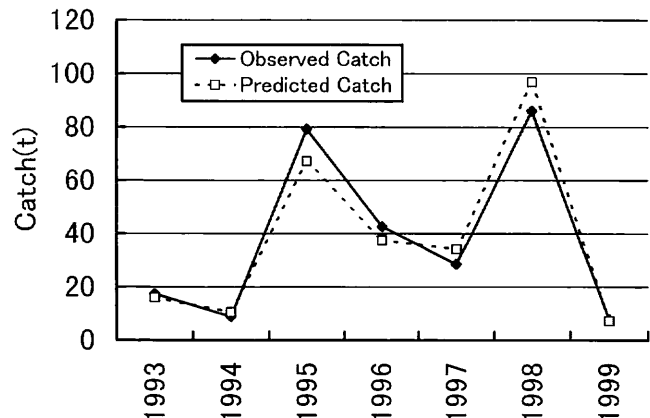


Fig.4 Time series of observed and predicted catches of young bluefin tuna in Sagami Bay from September to December. (◆ observed catch, □ predicted catch)

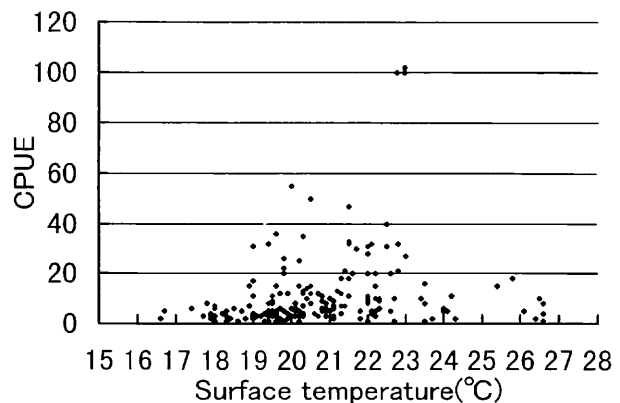


Fig.5 Catch number per unit of effort and sea surface temperature at catch in Sagami Bay during 1993-1999, based on the records by inshore trolling sample vessels.

### 考 察

クロマグロの漁況予測は、いくつかの水産試験場において行われている。長崎県では重回帰分析によるクロマグロ幼魚の漁獲量変動要因の解析を行い、高知県の幼魚漁獲量、対馬暖流の勢力が漁獲量の増加要因となると推察した(松村 1989)<sup>8)</sup>。高知県沿岸で7、8月に放流されたクロマグロ当歳魚が、11月に相模湾において再捕された(水産庁 2000)<sup>4)</sup>ことから、両海域において漁獲される当歳魚の間には何らかの関連があると考えられる。しかし、高知県の7、8月のヨコワ水揚尾数( $x_1$ )は、最適と考えられたStep3においては採択されなかった。また、相模湾の秋季の水揚量の変動に最も大きく関わっていると考えられたのは、神奈川県8月の水揚量( $x_5$ )、ついで野島崎及び石廊崎からの黒潮流軸距離 $x_3$ 、 $x_4$ )であった。特に神奈川県8月の水揚量と9~12月の神奈川県水揚量との間の単相関係数をみても、0.814と高かった。したがって、相模湾におけるクロマグロ当歳魚の水揚量は太平洋系群全体の発生量にはほとんど影響を受けず、周辺海域の海況及び漁期初めの漁獲量に強く支配されていると考えられた。

野島崎、石廊崎からの黒潮流軸距離の偏回帰係数が正の数であることは、黒潮の接近は水揚量の減少要因となっていることを示すと考えられた。岩田(1979)<sup>9)</sup>は、黒潮の接近に伴い高温水が相模湾内に流入すると報告している。また湾内での小型曳縄船では表面水温16~27℃の広い範囲で漁獲されるが、特に19.0~23.0℃の範囲においてCPUEが高い傾向にある。1999年のように黒潮が接岸した年は、三崎の水温は9月で25℃前後、10月で22~25℃、11月で18~22℃と、平年値より1~3度高めで推移し(1999 神奈川県)<sup>10)</sup>、同年の9~12月の水揚量は約8トンと1993~1999年の間でも最低となっている。これらから、黒潮の接岸に伴い、湾内がクロマグロ幼魚の来遊に適した水温帯よりも高水温になることにより、水揚量が減少する可能性が示唆された。

本研究で得られた重回帰式は、自由度調整済決定係数が0.952と、水揚量の変動をよく説明していた。説明変数となる3つの外部要因のうち、単回帰係数が0.814と高い神奈川県8月の水揚量データ( $x_4$ )は9月中旬には入手可能であり、また、野島崎、石廊崎の黒潮流軸距離( $x_2, x_3$ )についても、近似的に8月下旬から9月上旬の黒潮流軸距離を適用することで代替できる。本研究では9~11月の海面水温動向予測より黒潮流路予測の方が予測の妥当性が高いと考えられたため、黒潮流軸距離を説明要因として用いた。従って、盛漁期に入る9月下旬以前に、その年の秋季のクロマグロ幼魚水揚量を予測する

ことが可能であると考えられる。

今回、重回帰分析に用いたデータ数は7年分と少ないため、今後もクロマグロの水揚データの収集を続け、本法の精度を検証していく必要がある。

また、本研究は秋漁期全体の水揚量の変動を、黒潮上流域や初漁期の漁況や相模湾周辺海域での黒潮流軸距離、漁場水温といった視点から大まかにとらえたものであるが、今後日別・旬別といった短期間における漁獲量や漁場位置の変動と黒潮分枝流の湾内への流入状況等の関係を解析することにより、漁場形成と海況との関連を精査していく必要がある。

### 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、中央水産研究所生物生態研究室の木村量博士には英文のご校閲を賜りました。神奈川県水産総合研究所栽培技術部の相澤康主任研究員には、統計学的方法についてご指導いただきました。同所資源環境部の高梨理恵子氏には作図にご協力いただきました。また、長井町漁協、横須賀市大楠漁協、小田原市漁協、みうら漁協松輪支所所属の沿岸カツオマグロ漁業者の方々には、貴重な操業データを提供していただきました。厚くお礼申し上げます。

### 引用文献

- 1) 伊藤幸智(1994): 太平洋のクロマグロ資源、月刊海洋Vol.26, No.9, 1994, 575-578
- 2) 沖山宗雄(1974): 日本海におけるクロマグロの後期仔魚の出現、日水研報, 25, 89-97
- 3) 水産庁(1994-1997): 平成5~8年度日本周辺クロマグロ調査委託事業報告書
- 4) 水産庁(1998-2000): 平成9~11年度日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査委託事業報告書
- 5) 行縄茂理・藪田洋一(1967): クロマグロ *Thynnus thynnus*(Linnaeus)の年令と成長について、南水研報, 25, 1-18
- 6) 広田仁志(1979): 南海海区ブロック会議-外海漁業研究会ならびに「200カイリ水域内漁業資源調査」打ち合わせ会議議事要録, 22-49、
- 7) 海上保安庁水路部(1993-1999): 海洋速報
- 8) 松村靖治(1989): 対馬沿岸におけるクロマグロ幼魚の漁獲量変動要因の重回帰分析による解析、日本水産学会誌, 55(10)、1703-1706
- 9) 岩田静夫(1979): 相模湾の急潮について、相模湾資源環境調査報告書, 35-40
- 10) 神奈川県(1999): 漁海況月報 433-435号