

# 琉球諸島周辺におけるクロマグロ産卵群の漁場形成\*1

太田 格, 福田将数, 上原初保\*2

## 1. 目的

琉球諸島周辺海域には 4-6 月頃産卵のために来遊する太平洋クロマグロ *Thunnus orientalis* (以下クロマグロとする)の漁場が形成され、県内外の延縄船が集中する。これまで沖縄県水産試験場は水産総合研究センターの委託事業として、県内に水揚げされるマグロ、カジキ類の水揚げ量のモニターとクロマグロの市場調査を実施している<sup>1)</sup>。本稿では琉球諸島周辺海域におけるクロマグロ漁業、漁場および生物特性について報告する。また、近年人工衛星により測定した海面高度データがインターネット経由で入手可能になり、冷水渦・暖水渦などの水塊特性の指標となる情報が、広域かつ即時的に把握できるようになった<sup>2,3)</sup>。そこで特に海面高度情報がクロマグロの漁場形成の指標になるかどうかを検討した。

## 2. 材料および方法

### 1) 漁獲統計の集計

県内の 4 主要市場(糸満新港, 糸満, 那覇地区, 県漁連)でのクロマグロの水揚げ量を、水試漁獲統計データベースおよび市場伝票から集計した。

### 2) 市場調査

平成 12-15 年(2000-2003 年)の 4-6 月に延縄船によって糸満水産公社(糸満新港)に水揚げされたクロマグロについて尾叉長・体重測定を行った。このとき腹腔背面に残留していた生殖腺から雌雄を判別した。また、各延縄船の船長から漁業情報(漁場位置, 操業回数, 釣数, 使用餌等)の聞き取り調査を行った。

### 3) 漁場の時空間的变化

聞き取りによって 1 航海あたり 1 つの延縄操業位置データを得た。1 航海あたり操業は複数回連

続的に行なわれたが、この間大きな移動はないと仮定した。各船各航海の CPUE (1 回操業あたりのクロマグロ漁獲尾数)を算出した。次に  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  グリッドごとに平均 CPUE を求め、漁場の時間的变化を図化した。

### 4) クロマグロ漁場と海面高度の関連解析

海面高度偏差図の人工衛星画像をコロラド大学ホームページより入手した([http://e450.colorado.edu/realtime/gsfcr\\_global-real-time\\_ssh/](http://e450.colorado.edu/realtime/gsfcr_global-real-time_ssh/))。各船各航海のクロマグロ CPUE, 漁場位置, 航海の中間日を一組のデータとし、航海の中間日から平均 3 日以内の海面高度偏差画像に、表計算ソフト(Excel2000, Microsoft)および描画ソフト(花子 Ver10, JustSystem)のマクロ<sup>4)</sup>を利用して漁場位置および CPUE をプロットした。漁場位置に、海面高度図から目視で読み取った 3 段階の海面高度カテゴリー(高:海面高度偏差 5cm 以上, 中:-5cm から 5cm, 低:-5cm 以下)を割り当て一組のデータとし、海面高度カテゴリーごとに CPUE を比較した。

### 5) 肥満度の時空間的变化

クロマグロの肥満度は下式により算出した。

$$\text{肥満度 (CF)} = \text{体重 (kg)} / \text{尾叉長 (cm)}^3 \times 10^5$$

体重は鰓と生殖腺を含む内臓を除いたものとした。肥満度の時空間的变化を把握するため、旬別雌雄別に肥満度を計算した。また  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  グリッド漁場毎に平均を求め図化した。

## 3. 結果

### 1) 漁況

1993-2003 年の沖縄県主要市場(糸満新港, 糸満, 那覇地区, 県漁連)でのクロマグロの水揚げ量は、約 20-250t で変動が大きかった(図 1)。

\*1 日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査再委託事業の一環

\*2 嘱託員

2003年の水揚げ量は約140tであり、過去2年より倍以上多く、比較的好漁であった(図1)。漁期は例年3月から7月頃。2000-2003年の糸満新港調査では、クロマグロの水揚げは4月後半から6

月までで、盛漁期は5月であった(各年合計水揚げ尾数の55-81%)。また、糸満新港で調査した各年の漁業情報によると、努力量(操業回数)は2000-2002年にかけて著しく減少し、2003年では前年並みであった(図2)。一方、CPUE(漁獲尾数/操業回数)は2001年より増加傾向が認められた(図2)。

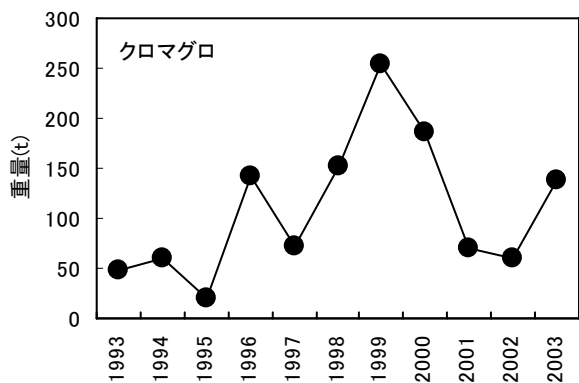


図1. 主要市場のクロマグロ漁獲量経年変化(糸満, 糸満新港, 那覇地区, 県魚連)

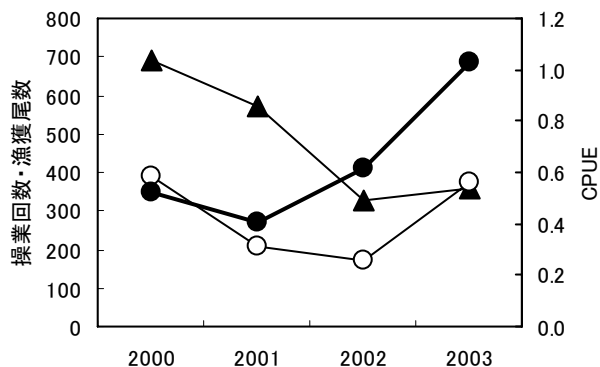


図2. 糸満新港で調査したクロマグロ漁獲尾数(○), 操業回数(▲)およびCPUE(●)の経年変化

## 2) 尾叉長組成

過去4年間(2000-2003年)の尾叉長組成を図3に示す。2002年を除く3年では、各年間で尾叉長、体重ともに有意な差は認められなかった(平均FL: 204-205cm, BW: 156-158kg)。2002年は尾叉長、体重ともに他年に比べ小さかった(FL: 199cm, BW: 144kg, 1元配置ANOVA,  $p < 0.01$ )。また、2002年を除く各年では、尾叉長、体重ともに雌雄間に有意な差が認められ、雄(FL: 207cm, BW: 161-164kg)は雌(FL: 201-203cm, BW: 150-151kg)よりも大きかった。

## 3) マグロ延縄船の操業形態

2000-2003年に糸満新港でクロマグロを水揚げした延縄船から聞き取った漁業情報から、クロマグロ漁期における延縄船の操業形態の概要について示す。漁船のサイズは8-19tで、乗組員数は1-6人(平

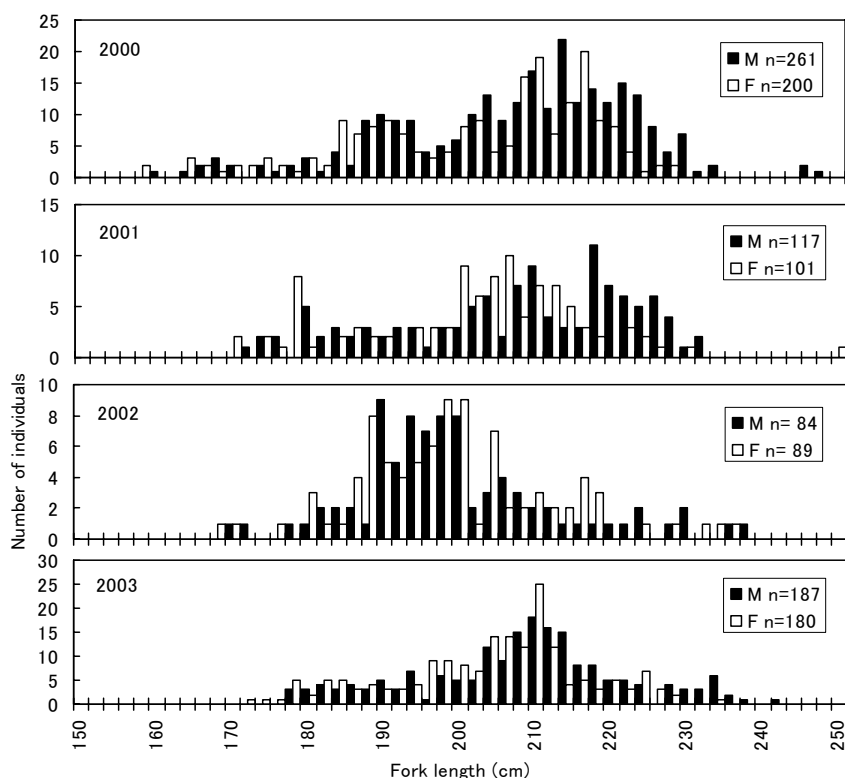


図3. クロマグロ雌雄別尾叉長組成(糸満新港) M:雄, F:雌

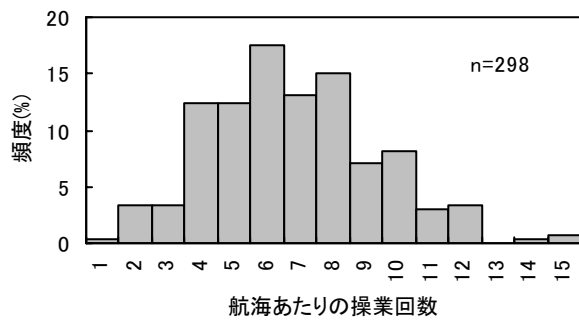


図 4. クロマグロ水揚げ延縄船の航海あたりの作業回数  
頻度分布(糸満新港)

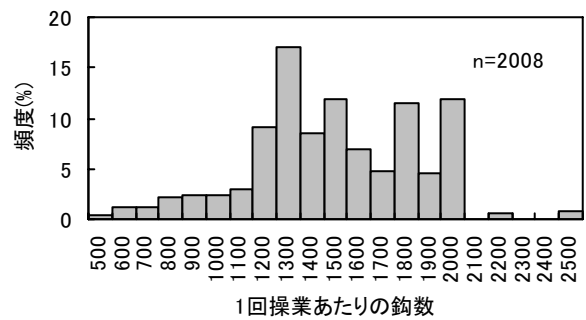


図 5. クロマグロ水揚げ延縄船の1回作業あたりの鉤数  
頻度分布(糸満新港)

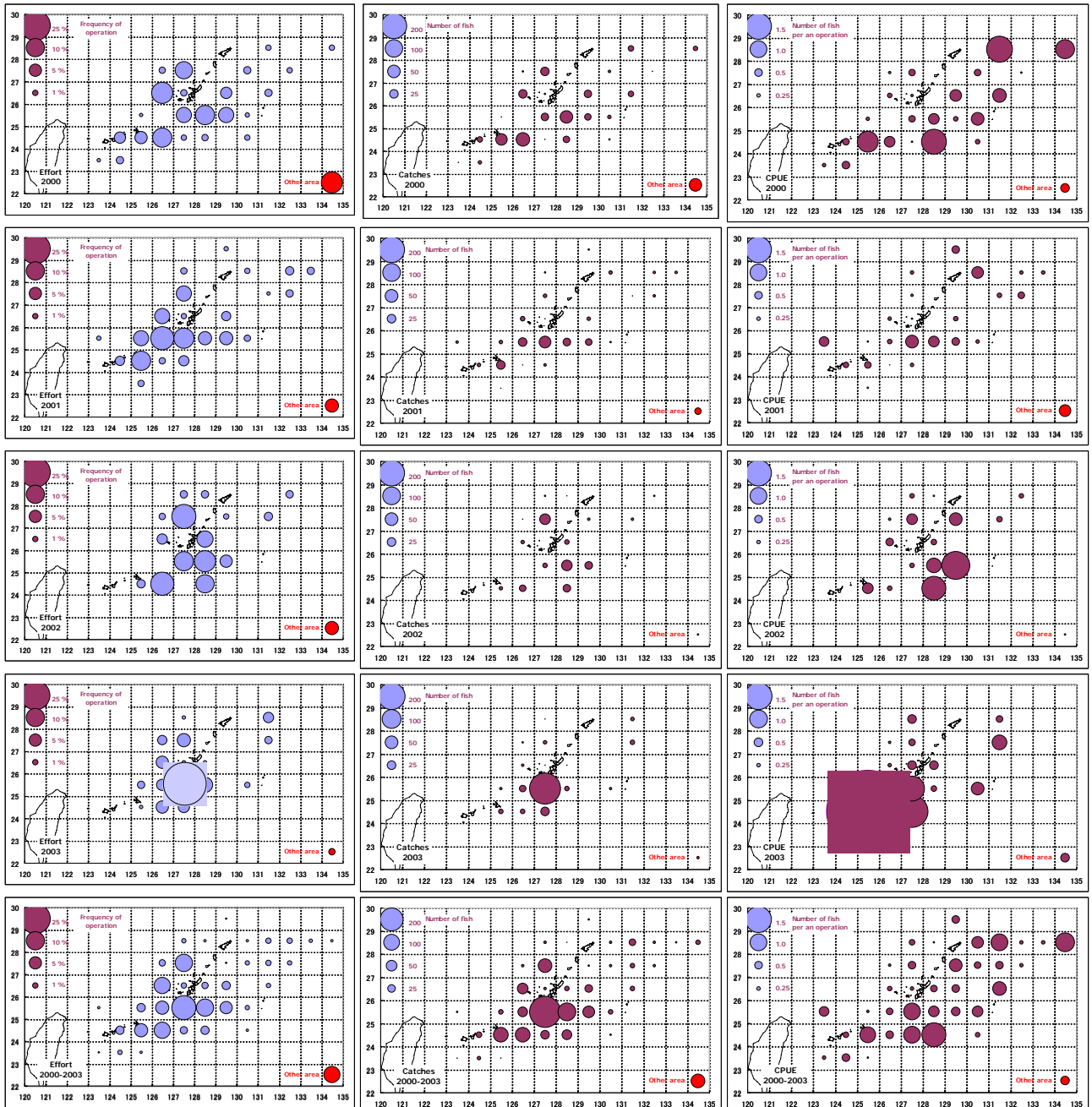


図 6. クロマグロ漁場および漁獲量分布の年変化(2000-2003年)

左列: 作業頻度%(漁獲努力量: Effort), 中列: 漁獲尾数(Catches), 右列: CPUE 各年4-6月の合計 最下段2000-2003の合計

均3.8人)であった。1航海あたりの作業回数は1-15回, 平均±SD:  $6.8 \pm 2.5$ 回であった(図4)。通常操

業は1日1回なので, 航海日数は作業回数に移動日数(約2日)を加えた日数である。1回作業あたりの

使用釣数は500-2500釣で範囲が広いが、全操業の86%は1200-2000であった(図5)。漁具仕立ての詳細(特に縄の深さ)については明らかでないが、クロマグロを対象とした延縄では漁具設置水深が比較的浅く100m以浅であるという。

#### 4) クロマグロ漁場の時空間的变化

2000-2003年に糸満新港で得られた漁業情報(n=298)から、1°×1°グリッド漁場ごとの努力量(各年の操業頻度%),漁獲尾数,CPUE(漁獲尾数/操業回数)について図6に示す。過去4年に操業した漁場は沖縄島海域を中心に北東-南西方向に広がっていた(図6左)。漁場(努力量分布)は各年で若干異なるが、沖縄南部海域(25-26N, 127-128E)での操業が特に多く、沖縄島の南または西側に多い傾向があった(図6左)。一方、CPUEは沖縄島の南ま

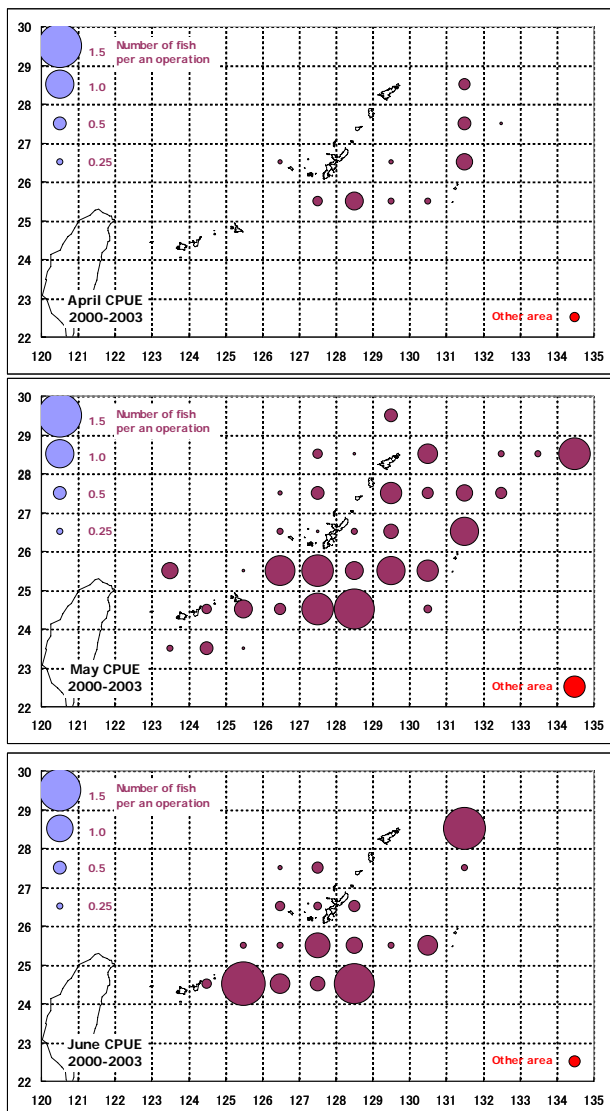


図7. クロマグロ漁場の月変化  
2000-2003年の漁場ごとの平均CPUE

たは東側で高い傾向があった(図6右)。また、クロマグロの漁場は4月に琉球諸島北東部から始まり、5月に沖縄島南部を中心に広がり、6月には沖縄島南方または八重山諸島東方へと移行する傾向が認められた(図7)。

#### 5) クロマグロ漁場と海面高度の関係

操業中間日近日の海面高度偏差図上に聞き取りした各船各航海の漁場位置およびCPUEをプロットしたところ、海面高度偏差の低い海域でCPUEが高い傾向が認められた(図8)。

各年の漁期(5-6月, データの少ない4月を除く)ごと、海面高度偏差カテゴリーごとにCPUEを比較したところ、5月において有意差が認められた。5月では、各年ともに“低”水域(CPUE平均±標準偏差:0.93±0.74)で、“中”および“高”水域(0.46±0.56および0.39±0.23)よりもCPUEが高く、有意差が認められた(2元配置ANOVA  $p < 0.01$ ) (図9A)。また、各年の5月のCPUEには有意差が認められ、2003年はいずれの年よりもCPUEが高かった。また、同一漁場において海面高度の高い場合と低い場合のCPUEを比較するために1°×1°グリッド漁場および操業時の海面高度の高低ごとに平均CPUEを比較したところ、海面高度の低い場合にCPUEが高かった(1標本のt検定,  $p < 0.05$ ) (図10)。

一方6月では、海面高度偏差カテゴリーごとのCPUEに有意差は認められなかった(2元配置ANOVA  $p = 0.07$ ) (図9B)。2003年の“高”水域で平均CPUEが高いが、データ数が少なく極端にCPUEの高かった1操業データの影響である。

#### 6) 肥満度の時空間的变化

沖縄周辺に来遊するクロマグロは産卵群として知られ、漁期後半には極度に痩せた“らっきょう”と呼ばれる個体が漁獲される。このような現象は産卵後の個体にみられると言われており、肥満度からその状況把握を試みた。各年いずれも肥満度は漁期初めの4月下旬から6月にかけて漸減し、漁期初めから0.1-0.3ほど低下した(図11)。こ

これは 200cm 個体で換算すると約 10-25kg 減少したことを意味する。肥満度は雌雄で有意差は認められなかった。また、肥満度同様に単価も漁期初めから終わりにかけて漸減し、旬平均肥満度と単価には非常に高い正の相関が認められた ( $R^2=0.93$ ,  $p<0.01$ ) (図 12)。

2000-2003 年の旬別漁場別平均肥満度の分布を

図 13 に示した。前にも述べたように、漁期の推移とともに肥満度は低下したが、時期、海域によって肥満度に違いがみられた。4 月下旬から 5 月中旬では肥満度は沖縄諸島の北東部で高く、南部で低い傾向があった。また、5 月下旬では八重山諸島周辺海域で高く、南部で低い傾向があった。(図 13)。

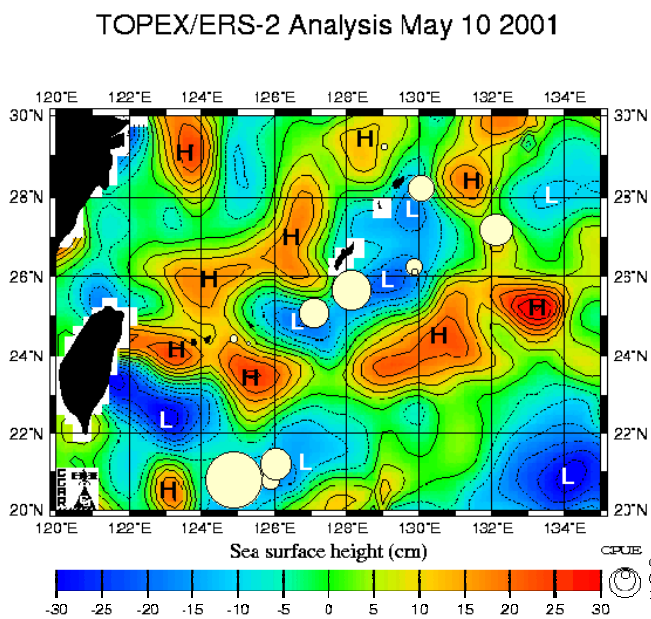


図 8. 海面高度偏差図に描画したクロマグロ CPUE 分布の一例

L: 海面高度の低い海域 (偏差 < -5cm)

H: 海面高度の高い海域 (偏差 > 5cm)

コロラド大学ホームページよりダウンロードした海面高度偏差図 (2001 年 5 月 10 日) に 2001 年 5 月 9 日-13 日に水揚げされたクロマグロ CPUE を描画

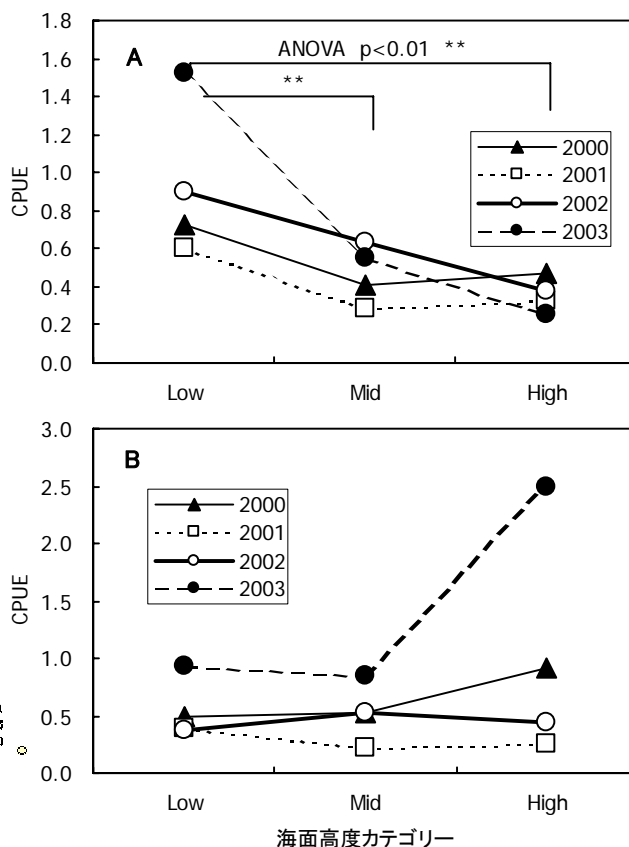


図 9. 海面高度カテゴリごとのクロマグロ CPUE 各年平均の比較

Low: 海面高度の低い海域 (偏差 < -5cm)

Mid: 海面高度偏差範囲 -5cm >, 5cm < の海域

High: 海面高度の高い海域 (偏差 > 5cm)

2000-2003 年 5 月 (A) および 6 月 (B) のデータ

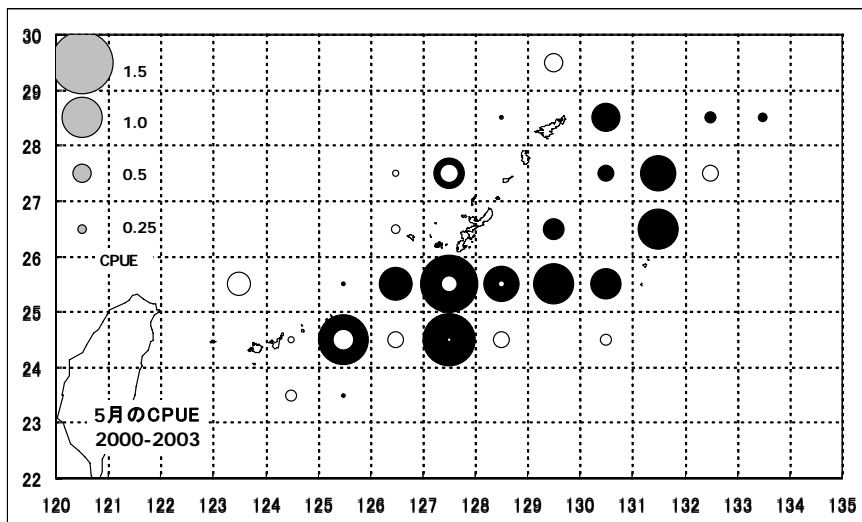


図 10. 海面高度カテゴリごとの 1° × 1° 漁場におけるクロマグロ平均 CPUE の比較

●: 海面高度低い時 (偏差 < -5cm)

○: 海面高度高い時 (偏差 > 5cm)

2000-2003 年 5 月のデータ



#### 4. 考察

本稿では特に海面高度情報がクロマグロの漁場形成の指標になるかどうかを検討した。その結果、盛漁期である5月において、海面高度の低い海域のCPUEが他に比べ高い傾向が認められた。海面高度情報は水塊構造や流れの指標となることが知られる<sup>2,3)</sup>。また一般に、海面高度の高い水塊は暖水渦に、反対に低い水塊は冷水渦であると考えられる<sup>2,3)</sup>。よって海面高度の低い海域での高いCPUEは、冷水渦と関係があると考えられた。

一方、沖縄周辺海域における大型クロマグロの行動について、超音波テレメトリーを用いた追跡調査<sup>5)</sup>により示唆に富んだ結果が得られており、公表されたデータを用いて、海面高度との関連性を検討した。そのうちの八重山海域南方で漁獲さ

れた1個体(推定体重230kg)の移動経路を近日の海面高度偏差図に描画したものを図14に示す。この個体は2001年5月21日の放流後、ほぼ一定の速度で南下し、10日間で1000kmを超える移動をした<sup>5)</sup>。この間、追跡個体は海面高度の高い海域、低い水域を交互に横断していった(図14)。移動中に測定された各層水温<sup>5)</sup>の時系列データを図15に示す。表層(1m)水温は追跡個体が水温の高い低緯度域に徐々に南下したため、時間経過とともに高くなった。一方、深層の水温、特に200m層の水温は、海面高度の高い海域で高く、低い海域で低い傾向が認められ、その差はおよそ3°Cであった。ゆえに海面高度の高低は、実際に暖水渦や冷水渦のような水塊の特性を反映していると考えられた。さらに遊泳水深の時系列図<sup>5)</sup>から判断

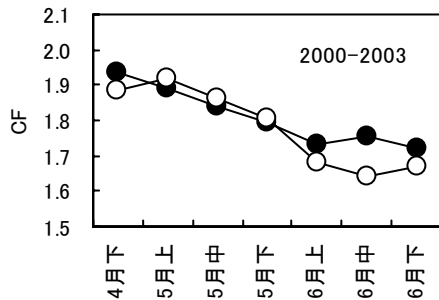


図11. 漁期中のクロマグロ肥満度(CF)の変化  
●:雄, ○:雌 2000-2003年の旬平均値

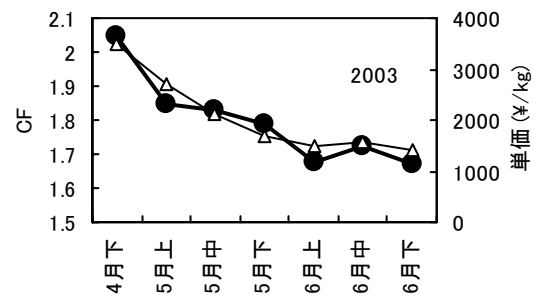


図12. 漁期中のクロマグロ肥満度(CF)と単価の変化  
●:平均肥満度, △:平均単価(2003年)

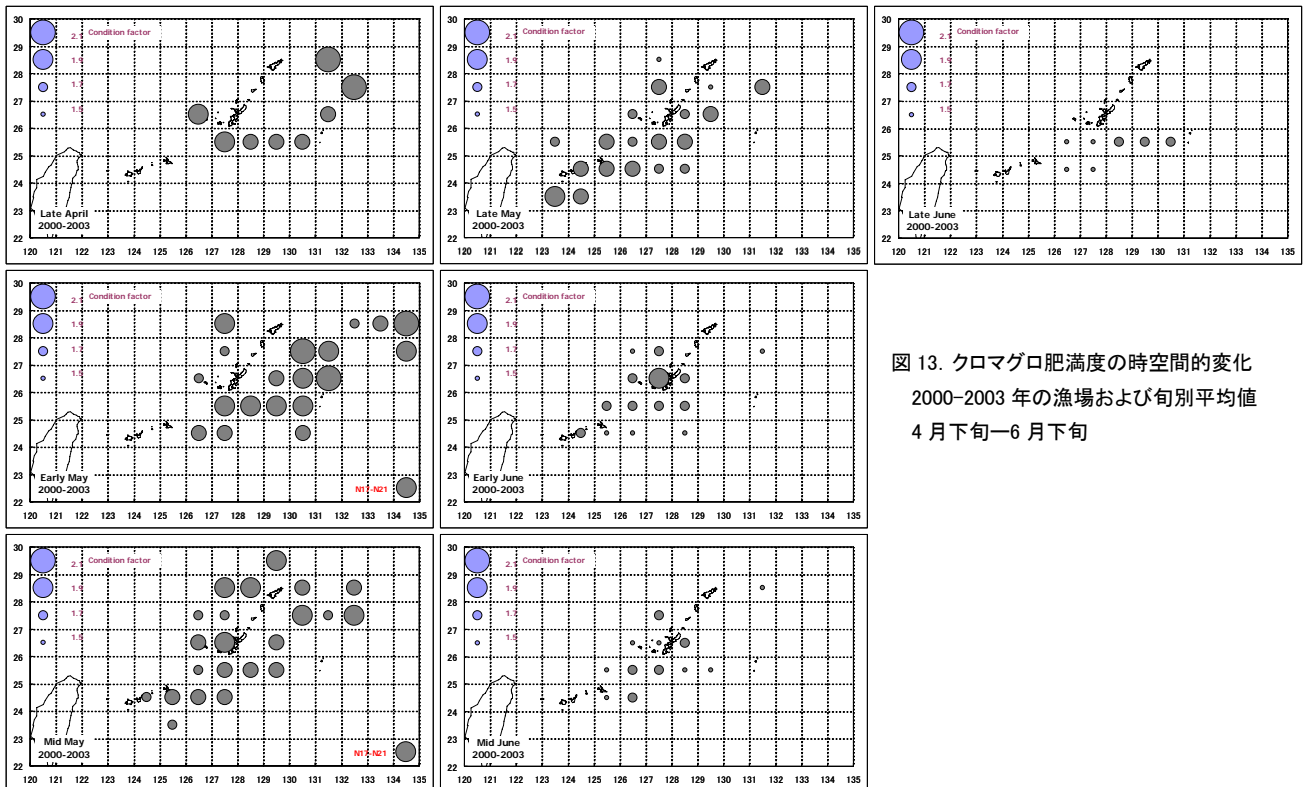


図13. クロマグロ肥満度の時空間的变化  
2000-2003年の漁場および旬別平均値  
4月下旬-6月下旬

すると、海面高度の低い水域では、高い海域よりも、遊泳水深が浅い傾向があるようだった。海面高度の高い海域（5月21日、25日）では水深100mを超えた潜水行動が頻繁に認められたが、低い海域（5月23日、26日）では100m以浅に分布することが多いようだった。これに関する遊泳水深データの詳しい解析は行なわれておらず推測の域を出ないが、クロマグロの鉛直分布と水温鉛直構造には何らかの関係があると考えられる。マグロ類は特異の熱交換器を備え、体温保持および体温調節能力に優れていることが知られている<sup>6-10</sup>。特に大型クロマグロは断熱性に優れ<sup>9-11</sup>、極域や水深1000m以上の深海<sup>12</sup>など低水温環境に分布を拡大できるが、主に温帯の表層に分布すると考えられる<sup>10,13</sup>。沖縄周辺海域はクロマグロの主な産卵場として知られ、成熟個体が産卵のために回遊すると考えられている<sup>13</sup>。従って沖縄周辺海域は通常の分布域よりも水温が高い。熱帯海域に分布するマグロ類は主にキハダ、メバチであり、両種は低水温だけでなく高水温に対しても体温調節能力が高く、その際には熱交換器の熱交換率を著しく

変化させる<sup>7,8</sup>。メバチが低水温に対して体温保持および調節を行なう場合、冷たい深層では体温を保持するよう、反対に表層では暖かい環境から熱を吸収し、体温を早く回復させるよう熱交換率を著しく変化させる<sup>7</sup>。また、キハダでは高水温の表層において熱交換率を減少させ体温の過度な上昇を防いでいる<sup>8</sup>。一方、クロマグロでは熱交換率はあまり変化せず、発熱速度が大きく、成長に伴い断熱性を増大させることで低水温に適応している<sup>10,11</sup>。さらに、成長に伴い断熱性が増大するのに対し、発熱速度を減少させることで過度な体温上昇を防ぎ温帯水域へ適応していると考えられている<sup>11</sup>。しかし、断熱性が高いクロマグロは産卵場である高水温環境には適応しにくいと考えられ、産卵場では生来の表層に分布する性質と高水温による制限との兼ね合いにより、鉛直分布は暖水渦で比較的深く広くなり、反対に冷水渦で浅く狭くなると考えられた。一般に沖縄周辺海域におけるクロマグロを対象にした延縄は特に漁具設置深度が浅い（水深50m程度）と言われている。ゆえに海面高度の低い海域すなわち冷水渦でCPUEが高くなる要因は、クロマグロの遊泳深度と漁具深度が一致する確率が高まったことによると考えられた。

しかし、漁期後半の6月における海面高度とCPUEには明瞭な関係が認められなかった。その理由は明らかでないが、産卵の終わりとともに変化する移動性などの行動の変化に関するかもしれ

### TOPEX/ERS-2 Analysis May 25 2001

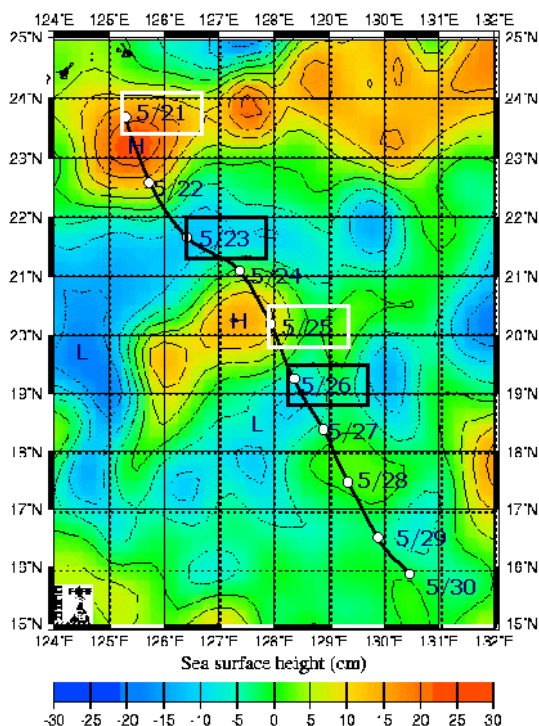


図 14. 海面高度偏差図に描画したクロマグロの移動経路  
クロマグロの移動経路データは、超音波発信機追跡調査による(水産庁・遠洋水産研究所, 2002)。  
H: 海面高度高い海域, L: 海面高度低い海域

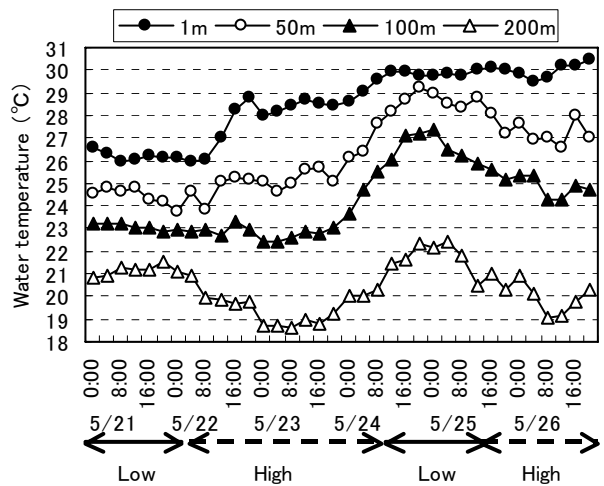


図 15. クロマグロの移動経路上の各層水温  
水温: 水深 1m, 50m, 100m, 200m  
図下の矢印は海面高度カテゴリー(図 14 に対応)  
水温データはクロマグロ追跡中の XBT データ(水産庁・遠洋水産研究所, 2002)。

ない。漁期の移行とともに肥満度は著しく減少し、これは産卵が次第に終わっていくことに関係すると思われる。また、肥満度の時空間分布には漁期の移行とともに変化が認められた。肥満度は漁期始めには沖縄島北東部で高く、5月下旬には南西部で高い傾向があった。また沖縄島南部では相対的に肥満度が低く、また漁期後半まで漁獲があることから、この海域を中心に産卵が行なわれている可能性がある。クロマグロ産卵群は主に北半球温帯域から沖縄周辺海域へ回遊してくると考えられている<sup>13)</sup>。漁業者によると、クロマグロ産卵群には南西から入ってくる群もあるのではないかといい。また大型クロマグロの一部はニュージーランド近海など南半球に分布することが知られている<sup>13)</sup>。肥満度が成熟、産卵の生理状態を反映するならば、このような肥満度の時空間分布は、南北2産卵群の産卵場への加入状況を反映しているのかもしれない。

まぐろ延縄漁業の効率化の観点において、海面高度情報はクロマグロ好漁場の推定に有効であることが分かった。また、肥満度は単価と高い正の相関が認められるので、肥満度の時空間分布の情報は単価の高い個体を漁獲するために有用な情報になりうる。さらに、海面高度データはインターネットを通じて誰もが入手可能であり、水塊の鉛直構造をよく反映している。ゆえに海面高度情報は他の外洋性生物に対しても漁場の指標として利用できる可能性がある。

## 文 献

- 1) 遠洋水産研究所. 平成14年度日本周辺高度回遊性魚類資源調査委託事業報告書. 2003; 279pp.
- 2) 鹿熊信一郎, 森永健司. 沖縄近海における中規模渦の動向. 平成11年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2001; 52-56.
- 3) 鹿熊信一郎. 沖縄島南方の中規模渦と湧昇現象. 平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2002; 82-84.
- 4) 鹿熊信一郎. 表計算・描画ソフトによる流速のベクトル図化. 平成10年度沖縄県水産試験場事業報告

書. 2000; 67-68.

- 5) 水産庁・遠洋水産研究所. 照洋丸一次航海クロマグロ産卵親魚生態調査報告書. 2002; 56pp.
- 6) Carey FG, Teal JM. Heat conservation in tuna fish muscle. *Zoology*. 1996; 56: 1464-1469.
- 7) Holland KN, Sibert JR. Physiological thermoregulation in bigeye tuna, *Thunnus obesus*. *Env. Biol. Fish.* 1994; 40, 319-327.
- 8) Dizon AE, Brill RW. Thermoregulation in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Physiol. Zool.* 1979; 52: 581-593.
- 9) Carey FG, Lawson KD. Temperature regulation in free-swimming bluefin tuna. *Comp. Biochem. Physiol.* 1972; 44A: 375-392.
- 10) Kitagawa T, Nakata H, Kimura S, Tsuji S. Thermoconservation mechanisms inferred from peritoneal cavity temperature in free-swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2001; 220: 253-263.
- 11) 北川貴士, 木村伸吾, 中田英昭, 山田陽巳. 体温保持機構からみたクロマグロの温帯水域への適応. 日本動物学会シンポジウム「マイクロ計測による新しい海洋生物学」要旨. 2003
- 12) Block BA, Dewar H, Blackwell SB, Williams TD, Prince ED, Farwell CJ, Boustany A, Teo SLH, Seitz A, Walli A, Fudge D. Migratory movements, depth preference, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science*. 2001; 293: 1310-1314.
- 13) 伊藤智幸. 新たなクロマグロ回遊図の構築. 「海流と生物資源」(杉本隆成編) 成山堂, 東京. 2004; 254-261.