

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780200

研究課題名(和文) 浮沈式生簀での養成を目標とした養殖クロマグロの遊泳行動の分析

研究課題名(英文) Measuring the swimming behaviour of a cultivated pacific bluefin tuna in a submerged aquaculture net cage

研究代表者

米山 和良 (Komeyama, Kazuyoshi)

鹿児島大学・水産学部・助教

研究者番号：30550420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、国内のクロマグロ沖合養殖を実現させるために必要不可欠な情報となる、浮沈式生簀内のクロマグロ養魚の遊泳行動を明らかにすることを目的に、行動記録計を使用して養魚の3次元遊泳行動の可視化、および、長期にわたる遊泳深度のモニタリングを行った。可視化された養魚の3次元遊泳行動から、生簀衝突に深く関与する昼夜の巡回行動を比較したところ、日中では鋭く旋回し夜間では緩やかに旋回していた。また、遊泳深度の計測値を相対エントロピーで分析し、摂餌行動や通常ではない行動を検出できた。浮沈式生簀によるクロマグロ養殖で問題となる、養魚の生簀への衝突死軽減に資する行動情報を本研究で取得できた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify three-dimensional swimming behavior and monitor long-term swimming depth of cultivated bluefin tuna in a submerged cage using the bio-logging technique in order to realize offshore bluefin aquaculture in submerged net cages in Japan. Turning behavior during the day and night was analyzed from the results of three-dimensional trajectories of the tagged tuna. Turning of tuna during the day was sharper than that during the night. We recorded swimming depth using relative entropy to detect feeding and abnormal behaviors. Offshore Bluefin tuna aquaculture has a low yield ratio due to mortality of the colliding tuna in net cages. These results will help understand tuna behavior to improve net cages and prevent fish from colliding.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：クロマグロ バイオロギング 養殖 3次元遊泳行動

1. 研究開始当初の背景

世界的に重要な水産資源であるクロマグロの大規模な回遊が明らかにされたことにより、世界的な資源管理が求められるようになった今日、マグロ消費国である日本は先導的に本資源の維持に努めなければならない。このような情勢のなか、日本ではクロマグロの増養殖に取り組み、2002年に近畿大学が世界に先駆けて本種の完全養殖に成功した。この種苗生産技術を利用した養殖施設の増設により本種の資源維持・管理がより現実的な物になるとうとしている。

クロマグロは高速遊泳することから養成には大規模な生簀を必要とする。沿岸域で行われる今日のクロマグロ養殖施設は設置場所が飽和状態なうえ水質が安定しない等の問題を抱えており、今後のクロマグロ養成場の確保に課題を残している。一方、外洋域の沖合養殖では、高い流動性により水質がクリアで安定し、大規模な生簀を設置できる点から、沖合養殖が新たな養成場として期待されている。しかし、台風通過時などの沖合の厳しい海象に耐えるためには波浪の影響が少ない10m以深にまで沈下できる浮沈式の生簀である必要がある。これまで研究代表者の研究グループは、耐潮流・耐波浪性を評価した沖合養殖施設の技術開発に取り組み成果を収めてきた。しかし、浮沈式生簀は浮沈操作により養魚の生息環境を劇的に変化させる。また、沿岸の現用生簀では強い潮流による生簀の吹き上げで養成空間が減少し、へい死する個体が確認されている。海象の厳しい沖合域では吹き上げによってさらに養成空間の減少が懸念される。このような経緯で浮沈式沖合生簀がクロマグロの養成空間として適しているかを検証する必要性が増してきた。

2. 研究の目的

本研究は国内のクロマグロ沖合養殖を実現させるために不可欠な情報となる、浮沈式生簀内の養殖クロマグロの遊泳行動を明らかにすることを目的とした。クロマグロの行動計測を通して、浮沈操作による養成空間の変化や潮流による生簀容積減少がもたらすクロマグロの行動への影響を把握し、行動学的視点から浮沈式生簀の形状と生簀の浮沈操作の方法についての具体的な提言をすることを本研究の最終目標とした。

3. 研究の方法

クロマグロの3次元遊泳経路を可視化するために、動物搭載型小型記録計を養殖クロマグロに装着し、沖合域に設置された直径30m、50mの浮沈式の円形生簀に5個体放流して3次元遊泳経路の特徴を明らかにした。

動物搭載型小型記録計を装着したクロマグロを浮沈式生簀内に放流した状態で、浮沈操作で生簀を浮沈させ、遊泳経路の変化を

指標に浮沈操作の影響を把握することを目的とした場合、この方法では計測期間が30時間程度と短いため、当初の目的を達成することが難しくなった。そこで新たに開発された、計測パラメータを遊泳深度と温度に限定することで長期間の行動計測が可能になった小型記録計を用いることで長期間の行動計測を試みた。また、浮沈操作や沖合生簀特有の劇的な養成環境の変化時、水温変化時の養魚の行動を評価するために、相対エントロピーを用いた行動分析手法の確立を行った。

4. 研究成果

遊泳方位と遊泳速度から移動経路を推定するデッドレコニング法(Dead Reckoning Technique)により、クロマグロの3次元遊泳経路を可視化し、30m生簀、50m生簀内の遊泳経路の特徴を明らかにした(図1)。取得された3次元遊泳経路から、遊泳速度と旋回行動を昼夜で比較してクロマグロ養殖で主な斃死原因となる行動を推定した。実験個体は昼夜共におおよそ巡航速度で遊泳していたが、夜間に突進遊泳が頻繁に確認される一方で、夜間では日中よりも緩やかな旋回行動を示した。昼夜の行動の違いは、暗環境下でのクロマグロ幼魚の網の視認性に依存するものと考えられた。衝突死は夜間に頻発することから、夜間に潮流による底網の吹き上げによる養成空間の減少や急激な冷水塊の浸入等が養魚の異常行動を誘発し、視覚の効かない夜間で旋回ができず、壁網や他個体、さらには吹き上がった生簀網と衝突していることが本研究結果から予想された。衝突死を改善する適切な夜間照明環境を作りだすことで衝突による斃死を低減できる可能性を示唆した。また、沈子や亀甲網などを用いて、生簀網の吹き上げを減少させる生簀の設計が必要であることがうかがえた。

遊泳深度と摂餌行動を10ヶ月間と長期にわたってデータを取得できる新たに開発された行動記録計を用いて、浮沈式生簀内のクロマグロ幼魚の行動計測を行った。非常に残念であるが、この新たに開発された行動記録計に、開発段階における不具合が見つかり、長期間計測された個体を回収したものの、これらのデータ回収が叶わなかったことから浮沈操作等の影響を把握することができなかった。しかし、1ヶ月以内に回収された行動記録計(計測期間中に生簀網に衝突死し回収された養魚)については、データ回収が可能であったことから、本記録に基づいて成果をまとめた。

本行動計測手法は3次元遊泳経路と比較して長期間の計測が可能になった一方で、取得できる行動推定パラメータが少ない計測手法であるため、取得された行動情報から真の行動を推定することが難しい。そこで情報量(相対エントロピー)を用いた行動評価手法を用いて、遊泳深度の行動情報のみから通常

遊泳と通常ではない遊泳の分離を試みたところ、情報量から通常遊泳と通常ではない遊泳に分離することが可能になった。また、通常ではない遊泳から摂餌行動の検出も可能になった。さらに、沖合生簀特有の現象である、強い潮汐流による養成空間の減少等の環境変異に対する反応行動（通常ではない遊泳）を、情報量を用いた行動分析によって可視化することに成功した（本研究成果は現在執筆中であり、近く学術雑誌に投稿する予定）。

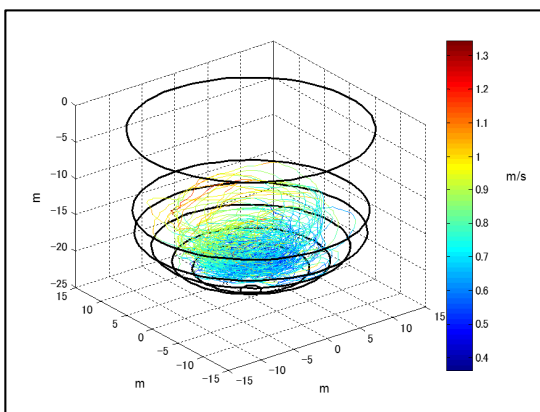


図1 可視化された浮沈式生簀内を遊泳するクロマグロ幼魚の3次元経路



写真1 遊泳深度と温度を長期間記録可能な小型記録計をクロマグロ幼魚の腹腔内に装着する様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. **K. Komeyama**, K. Anraku, M. Kadota, H. Sueshige, Measureing the three-dimensional position of a tagged fish in a tank using acoustic telemetry, *Contributions on the Theory of Fishing Gears and Related Marine System*, 8, pp.171-180 (2013年). (査読有り)
2. **K. Komeyama**, M. Kadota, S. Torisawa, T. Takagi, Three-dimensional trajectories of cultivated Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in an aquaculture net cage, *Aquaculture*

Environment Interactions, 4, pp.81-90 (2013年). (査読有り)

3. M. Kadota, **K. Komeyama**, S. Furukawa, R. Kawabe, Analysis of the Vertical Movement of Pacific Bluefin Tunas as non-Levy Random Walk, *Fisheries Engineering*, 50, pp.7-17 (2013年). (査読有り)
4. 門田実, **米山和良**, 鳥澤真介, 高木力, 電子標識を用いた高度回遊性魚類の生態研究の現状- 「確率解析を応用した魚類行動モデル」, 月刊海洋, 45, pp.127-132 (2013年). (査読無し)
5. M. Kadota, E. J. White, S. Torisawa, **K. Komeyama**, T. Takagi, Employing Relative Entropy Techniques for Assessing Modifications in Animal Behavior, *PLoS ONE*, 6, pp.e28241-(2011年). (査読有り)
6. 米山和良, 門田実, 鳥澤真介, 高木力, 激動のマグロ産業の行く末「マグロは生簀の中をどのように泳いでいるのか」, 月刊養殖・緑書房, pp.54-57 (2011). (査読無し)

〔学会発表〕(計 14 件)

1. Minoru Kadota, **Kazuyoshi Komeyama**, Ryo Kawabe, The vertical movement of Pacific bluefin tunas as non-levy random walk, 1st International Conference on Fish Telemetry, 2011年6月(北海道).
2. **Kazuyoshi Komeyama**, Minoru Kadota, Shinsuke Torisawa, Tsutomu Takagi, Shigeru Asaumi, Tsugihiko Kobayashi, Three dimensional trajectories of cultivated Pacific bluefin tuna in an aquaculture net cage (Poster), 1st International Conference on Fish Telemetry, 2011年6月(北海道).
3. **米山和良**, クロマグロ養魚からみた浮沈式生簀 - 行動計測による行動様式の可視化 -, 近畿大学グローバルCOEプログラム 平成23年度シンポジウム クロマグロ沖合型養殖施設の開発ー最適なクロマグロ養殖施設を目指してー, 2011年7月(東京).
4. **Kazuyoshi Komeyama**, Katsuya Suzuki, Shinsuke Torisawa, Tsutomu Takagi, Yasushi Mitsunaga, Takeshi Yamane, The occurrence of common carp *Cyprinus carpio* near a set-net at lakeshore, Japan Society for the Promotion of Science Asian Core Program "Minimizing negative impacts to improve coastal fisheries in Southeast Asia: Its measures and control", 2011年11月(フィリピン).
5. **米山和良**, 門田実, 鳥澤真介, 森本真人, 高木力, 尾方栄太, 浅海茂, 小

林次彦, クロマグロ沖合養殖施設の研究開発'11-II 生簀内の養殖クロマグロの3次元遊泳経路, 平成24年度日本水産学会春季大会, 2012年3月(東京).

6. 門田 実, 鳥澤眞介, 高木 力, **米山和良**, クロマグロ沖合養殖施設の研究開発'11-III 相対エントロピーを用いた新しい行動評価手法の提案, 平成24年日本水産学会春季大会, 2012年3月(東京).
7. **米山和良**, 門田実, 藤岡紘, 安樂和彦, 近藤了太郎, 田中一成, 谷和博, 鳥澤眞介, 高木力, 養殖クロマグロ幼魚の特異行動, 平成24年度日本水産学会秋季大会, 2012年9月(山口).
8. **米山和良**, 門田 実, 鳥澤眞介, 森本真人, 高木 力, 藤岡 紘, 近藤了太郎, 安樂和彦, 浅海 茂, 小林次彦, クロマグロ沖合養殖施設の研究開発'12-II 情報量を用いた養殖クロマグロの行動評価, 平成25年度日本水産学会春季大会, 2013年3月(東京).
9. 門田 実, 鳥澤眞介, **米山和良**, 高木力, 確率解析を用いた新しい行動モデルの提案, 平成25年度日本水産学会春季大会, 2013年3月(東京).
10. **米山和良**, 近藤了太郎, 藤岡紘, 門田実, 安樂和彦, 鳥澤眞介, 高木力, アーカイバルタグを用いた幼魚期における養殖クロマグロの異常行動検出の試み, 平成25年度日本水産工学会学術講演会, 2013年5月(北海道).
11. 森本真人, **米山和良**, 門田 実, 鳥澤眞介, 高木 力, 浅海 茂, 生簀内における養殖クロマグロの行動解析, 日本水産学会秋季大会, 2013年9月(三重).
12. **Kazuyoshi Komeyama**, Kazuhiko Anraku, Minoru Kadota, Hiroyuki Sueshige, Measuring the three-dimensional position of a tagged fish in a tank using acoustic telemetry, 11th International Workshop Methods for the Development and Evaluation of Maritime Technologies, 2013年10月(ドイツ).
13. 田中一成, **米山和良**, 高木力, 鳥澤眞介, 森本真人, 安樂和彦, 生簀内における養殖クロマグロの巡回行動の分析, 日本水産増殖学会, 2013年10月(鹿児島).
14. **米山和良**, 末重博之, 平田悠斗, 安樂和彦, 尾上敏幸, 加世堂照男, 大型水槽における超音波テレメトリーを用いた魚類の3次元行動計測, 平成26年度日本水産学会春季大会, 2014年3月(北海道).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

米山 和良 (KOMEYAMA KAZUYOSHI)

鹿児島大学・水産学部・助教

研究者番号: 30550420