

CFDを用いたクロマグロの流体力解析

田村優美子*・高木 力**

*近畿大学大学院農学研究科水産学専攻

**近畿大学農学部水産学科

CFD Analysis for Fluid Dynamics of Bluefin Tuna

*Yumiko Tamura and **Tsutomu Takagi

**Program in Fisheries Science, Graduate school of Agriculture, Kinki University.*

3327-204 Naka-machi NARA 631-8505, Japan.

***Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kinki University*

Synopsis

The morphology of bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) contributes greatly to high-speed swimming with oscillating the fin at high frequency so called thunniform mode. The form of the body, fusiform, result in small resistance force because the pressure drag is less than that of a bluff body shape. The main propulsion and the lift force are produced by the caudal fin and the pectoral fins, respectively. However the fluid dynamic characteristics of bluefin tuna are not clarified accurately. In this study, the fluid dynamics of bluefin tuna such as drag and lift force and velocity fields around the body were evaluated by using CFD (computational fluid dynamics) analysis.

The drag and lift forces are 79.2% (0.076 N) and 129% (0.124 N) of the submerged weight, respectively and the momentum to the gravity centre is 0, if the flow speed amounts 2.6BL/s (0.75m/s) with a 0 degree angle of attack. We show pressure on body surface on a figure. There is no vortex and turbulent flow around the body because of its fusiform.

緒言

流体抵抗が小さい紡錘形の魚体を持つクロマグロ(*Thunnus orientalis*)はthunniformと呼ばれる遊泳形態に分類される[1]。主に魚体の後方を振動させるthunniformは摩擦抵抗が非常に小さく、最も効率的な遊泳形態と考えられている[2]。尾鰭を振動させて大きな推進力を発生することで高速遊泳を可能とし、その遊泳能力は非常に優れている。

クロマグロは鰻が非常に小さいため体密度が海水密度よりも大きく、負の浮力を有する魚類である[3]。そのため、持続的に遊泳することで胸鰭を中心とした遊泳器官により揚力を獲得していると

考えられる[4]。しかし、クロマグロの遊泳メカニズムや形態の遊泳機能といった物理的側面からのアプローチはほとんど行われておらず、遊泳時の抗力や揚力などに関する流体力特性は明らかにされていない。流体力や推進力の解明は遊泳能力の把握を可能とし、本種の行動生態を解明するのに重要な普遍的情報を提供する。クロマグロの形態は成長するにつれて著しく変化し、これに伴い遊泳能力も大きく変化すると考えられる。そのため30日令以降の幼魚期に多発する衝突死はこの時期の形態的特徴が一因となっている可能性もある[5]。そこで、本研究では成長に伴って変化するクロマグロの形態的特徴を調べ、本種に作用する流体力についてCFD解析(Computational Fluid

Dynamics)を用いて把握した。

CFD解析は非常に高度なコンピュータ解析技術である。水槽実験や風洞実験に比べ対象物まわりの流れ現象を詳細に把握できることなどから、自動車や航空機の設計・開発などの工業分野で広く利用されている。その技術を生物である魚に応用し、遊泳時の流体力特性を調べた。

方法

物体周囲の細かな流れ構造や圧力分布を評価するCFD解析には、対象物の正確な形状の情報とその3次元モデリングが極めて重要となる。本研究ではクロマグロの正確に測定するために3次元デジタルライザVIVID910(KONICA・MINOLTA製)を用いた。

実験には和歌山県串本大島の近畿大学水産研究所大島実験場で種苗生産された養殖クロマグロ3個体(全長5.7, 9.0, 12.9cm)と和歌山県串本町沖で採捕されたクロマグロ3個体(全長22.5, 34.0, 60.5cm), 計6個体を用いた。3次元形状測定を行うためには、魚体の変形を防ぐことが必要となる。口から脊椎にそって堅い串を刺し、胸鰭を最大に開きピンで固定した。この状態で上顎に釣針をかけ三脚に吊し冷凍室で凍らせた後、3次元デジタルライザで6方向から魚体表面形状を測定した(Fig. 1)。



Fig. 1 3次元デジタルライザを用いたクロマグロの魚体形状測定

これらの面データを貼り合わせ各個体9,000~75,000の表面ポリゴンメッシュとしてクロマグロ魚体の3次元測定データを読み取った。その3次元形状データをCADソフトウェアMagics(Material製)で細部修正して、3次元魚体形状モデルを作製した。

CFD解析ソフトウェアSCRYU/Tetra(CRADLE製)内でクロマグロ全長34.0cmの魚体モデルの周りに解析領域(1.7m×0.8m×0.8m)を設置した後、流体が解析領域内を流入面から流出面へ流速2.6BL/s(0.75m/s)で流れるよう解析条件を設定した(Fig. 2)。

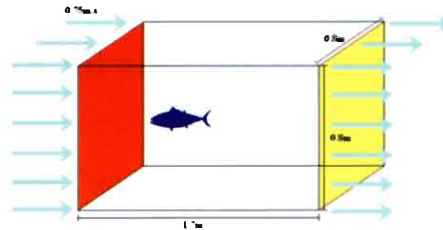


Fig. 2 CFD解析ソフトウェアSCRYU/Tetraでクロマグロ魚体モデルの周りに設置した解析領域(1.7m×0.8m×0.8m)と設定した解析条件。赤い面が流入面、黄色い面が流出面を示す。

解析領域を分割するメッシュサイズを八分木で設定しこれに基づき表面メッシュ分割、さらに体積メッシュ分割を行うことで領域内を個々のテトラメッシュに分割した(Fig. 3)。

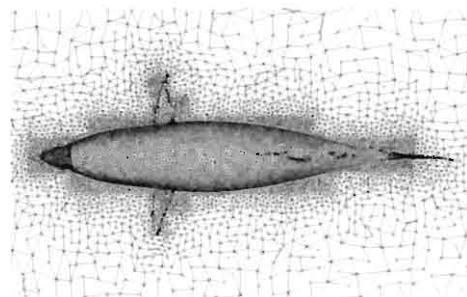


Fig. 3 体積メッシュに分割された解析領域

本計算ではAndersonら(2001)の報告から魚体表面上の境界層を2.1mmに設定した[6]。

CFDによりこのメッシュそれぞれに対して有限体積法により流体の支配方程式であるNavier-Stokes方程式を解くことで、クロマグロ周辺の流況と魚体表面の圧力分布を詳細に算出した。

結果および考察

3次元デジタルライザで胸鰭と尾鰭の各面積比(鰭の面積/魚体の総面積)を計測したところ、尾鰭・胸鰭ともに成長に伴って面積比は減少する傾向となった(Fig. 1)。

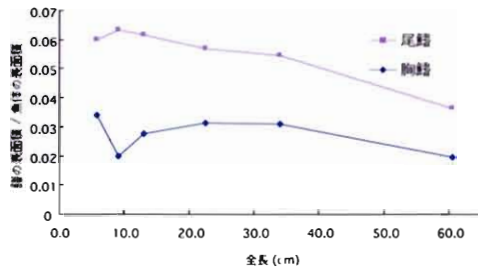


Fig. 4 非接触3次元測定機 (VIVID 910) で測定した尾鰭と胸鰭の面積比 (鰭の表面積/魚体の総表面積)

また、全長9.0、12.9cmの胸鰭の面積比は相対的に小さく、尾鰭のそれは相対的に大きくなっていった。この全長9.0cmのクロマグロは衝突多発早期の35日令であることから、衝突の発生に鰭の面積が関与している可能性が挙げられる。

CFD解析の結果、流速2.6BL/s時の全長34.0cmクロマグロの魚体周辺の流況を算出したところ魚体表面上に流れの剥離はほとんど観察されず、渦や乱流も認められなかった。クロマグロの体表面の圧力分布は吻端周辺の圧力が最大となり、胸鰭の上表面の圧力が最小となっている (Fig. 5)。

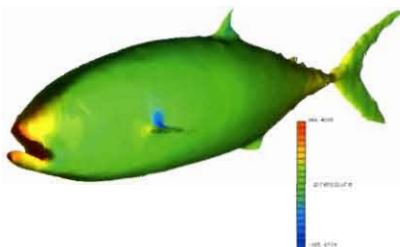


Fig. 5 流速0.75m/sで全長34.0cmクロマグロの魚体モデルに作用する圧力分布

胸鰭の下表面は上表面よりも圧力が大きいことから胸鰭に鉛直上向きの力が発生していると考えられ、胸鰭は揚力獲得の役割を担っている可能性が示された。算出された迎角(流向と体軸のなす角度)0°の魚体に作用する抗力と揚力は、全長34.0cmではそれぞれ水中重量の79.2%(0.076 N)と129%(0.124 N)だった。これにより、全長34.0cmのクロマグロが2.6BL/sで遊泳する場合、迎角0°で自重を支持するだけの揚力を獲得できることが示唆された。

今後、このようなバイオメカニクス的手法の展開により得られた結果とバイオテレメトリ技術を用い得られたフィールド・データを比較することで、魚類の遊泳能力や遊泳戦略の解明を目指す。

謝辞

本研究を遂行するにあたり近畿大学農学部水産学科漁業生産システム研究室の山根 猛教授、光永 靖講師には適切な御指導を賜りました。謹んで感謝の意を表します。

また、本研究は21世紀COEプログラム「クロマグロ等の魚類養殖産業支援型研究拠点」の研究の一部によったことを付記するとともに、本プログラム遂行にあたりご協力いただいた関係者各位に深謝いたします。

参考文献

- [1]塚本勝巳：遊泳生理，魚類生理学，板沢靖男・羽生治編，恒星社厚生閣，(1991)，pp.539-584
- [2]Webb, P.W. : Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. Bull. Fish. Res. Bd Can. 190 (1975), pp.1-159.
- [3]Weihs, D.: Mechanically efficient swimming techniques for fish with negative buoyancy. J. Marine Res., 31 (1973), pp.194-209.
- [4]Magnuson, J.J.: Locomotion by scombrid fishes: Hydromechanics, morphology, and behaviour. In Fish Physiology, vol.9 (ed. W.S. Hoar and D.J. Randall), (1978), pp.240-313. New York: Academic Press.
- [5]Miyashita, S., Sawada, Y., Hattori, N., Nakatsukasa, H., Okada, T., Murata, O., Kumai, H.: Mortality of Bluefin Tuna *Thunnus thynnus* Due to Trauma Caused by Collision During Growout Culture. Journal of the World Aquaculture Society, Vol.31, No.4, (2000). pp.632-639
- [6]Anderson, E.J., McGillis, W.R., Grosenbaugh, M.A. : The Boundary Layer of Swimming Fish, J. Exp. Biol., 204, (2001), pp.81-102