

放散虫 *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel) の仮足の引張力

吉野 隆*, 松岡 篤

東洋大学理工学部 〒350-8585 川越市鯨井 2100

tyoshino@toyo.jp

Drag Force of Axial Projection of Radiolarian *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel)

Takashi Yoshino, Atsushi Matsuoka

Toyo University, Kujirai 2100 Kawagoe 350-8585

Abstract: We estimated the drag force of axial projection of radiolarian *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel). The estimated value is 4.74×10^{-10} N.

Keywords: drag force, axial projection, radiolarian

はじめに

放散虫 *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel) の生態を記録した動画データを元にして、この個体が仮足 (axial projection) を縮めたときの力の大きさを推定した。放散虫は化石データが豊富であるために地球史の編纂に大きく寄与しているが、その生態や進化の戦略については不明な点が多い。放散虫の形は捕食の方法の違いによって4つに大別できる。そこで、「放散虫の進化は捕食時に発生する水の抗力 (粘性抵抗) を最小化する形状への最適化の過程である」という仮説を導入する。この仮説を検証するためには、さまざまな放散虫について、捕食時に発生する抗力を計算する必要がある。本研究はその手法を確立することを目的としている。

本研究で対象にした *E. hexastichum* はほぼ軸対称な形状をしており、対称軸の位置にある仮足を伸縮させることで捕食を行っていると考えられている。使用した動画データには、仮足の先端が容器の壁に固定されてしまい、仮足を縮めたときに胴体部が移動する現象が記録されている。このデータを用いて、以下の手続きを行った。A. 固定点からの距離と動画のコマ数から仮足を縮めたときの速度を見積もる。B. 静止画像から個体の形状を抽出する。C. 流速が A で求めた速度であるような一様流のなかに B で求めた形状の障害物を設置したときに障害物にはたらく粘性抵抗 (抗力) を数値計算により求める。このようにして求められた抗力の大きさは仮足を縮めたときの引張力の大きさに等しくなる。以下では、手続き A から C について説明する。

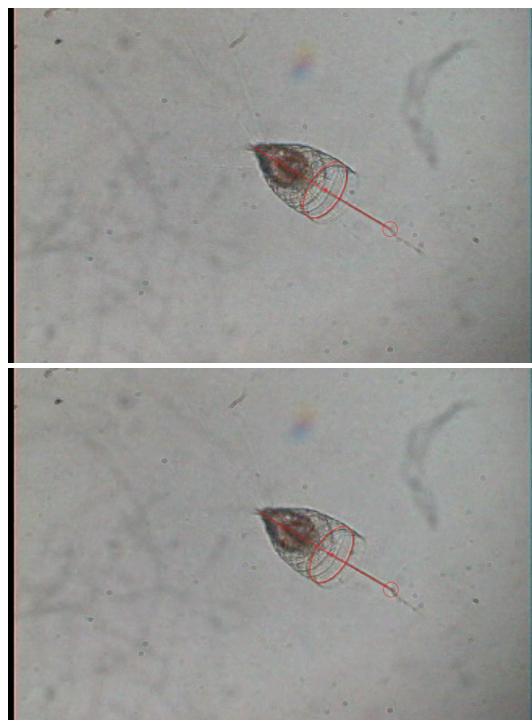


図 1: 画像データから得られた個体の移動。時間間隔は 2 フレーム (1/15 秒)。

仮足を縮めた時の移動速度の推定

図 1 に仮足を縮めたときの個体の移動を示した．頂刺と仮足を除く骨格部分の全長が約 $160\ \mu\text{m}$ であることから，図 1 に示した楕円形の長軸の長さが $93\ \mu\text{m}$ と推定できる．この楕円形が深さ方向に傾いた円形断面の投影であるとみなす．短軸の長さから個体の深さ方向の傾きを見積もり，3 次元空間における移動距離を導出した．この値を移動時間（フレーム数/30 秒）で割ることによって，平均速度を $5.76\times 10^{-5}\ \text{m/s}$ と推定した．レイノルズ数はおよそ 5×10^{-5} となり，低レイノルズ数流れであることがわかる．低レイノルズ数流れにおいては，一定の力で引かれた物体は短い時間で終端速度に達することが知られている．この性質を以下の解析でも用いている．

形状の抽出

静止画像をもとに個体の形状を 7 次式で近似した．図 2 にその結果を示す．静止画像の背景を除いたのちに Morphological Binarize と呼ばれる二値化を行い，最も外側にある点の座標を抽出した．さらに，その座標を 1 次から 9 次までの多項式で近似し，その形を個体の形状と比較した．境界の形状を過不足なく表す式として 7 次式を選んだ．図からも明らかなように，*E. hexastichum* は完全な軸対称ではない．殻孔の配置も軸対称ではないため，以下の計算結果はあくまでも軸対称と近似した場合の推定値となる．

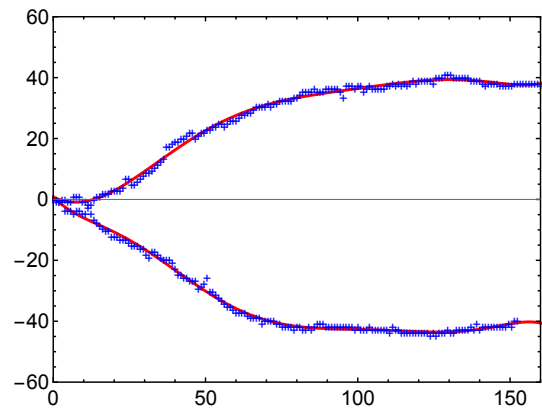


図 2: 近似した境界の形状．マーク：画像データ．実線：近似曲線．

引張力(抗力)の数値計算

仮足の引張力を計算するために，ビデオデータから読み取った速度 $5.76\times 10^{-5}\ \text{m/s}$ を流速とする一様流のなかに軸対称の障害物を置き，障害物にはたらく抗力をコンピュータ・シミュレーションにより求めた．計算には OpenFOAM を用いた．得られた近似式を 50 区間に分割して折れ線近似してメッシュを生成した．メッシュ形状は計算結果に影響する．そのため，円形断面すなわち球の周りの流れのシミュレーションを行い，理論値と計算値がほぼ一致することを確認したあとで，今回の計算を実行した．非定常の粘性流を計算するソルバ pimpleFoam を用いて，初期状態から定常状態に達する過程において抗力の変化を求めた．低レイノルズ数流れであるため，抗力は指数関数的に減衰し一定値に近づく．ある程度減衰が終了したところで，定常状態における抗力の大きさを推定した．得られた結果の例を図 3 に示す．流体は右から左に流れている．色は横方向の流れ方の違いを表している．図では，障害物の形がわかるように計算領域の一部のみを示している．結果は，図 2 の上側の曲線を採用した場合で $4.45\times 10^{-10}\ \text{N}$ ，下側の曲線を採用した場合で $5.03\times 10^{-10}\ \text{N}$ であった．単純平均を行えば，引張力の推定値は $4.74\times 10^{-10}\ \text{N}$ となる．

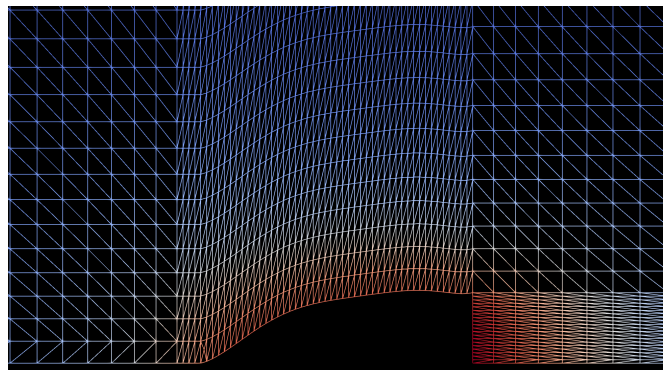


図 3: 計算例．