シェルエイト艇のオールに働く流体力について

正員 茂 里 一 紘* 正員 土 井 康 明*
中 嶋 長 己**

Hydrodynamic Analysis of the Forces Generated by the Oar of Shell Eight Rowing Boat

by Kazu-hiro Mori, *Member* Yasuaki Doi, *Member*
Hisaki Nakashima

Summary

The rowing of shell eight boat is studied hydrodynamically focussing on the forces generated by the oar blade. The speed and the rowing motion are analyzed by an image processing technique to provide the motion of the blade and the resultant velocity and the incident angle of the flow to the blade. The steady force acting on the blade is measured which is used for the estimation of the force generated by the blade by assuming that the rowing motion is quasi steady. Discussions are made to understand the mechanism of generation of the hydrodynamic forces by the oar blade. The steady drag coefficients by the blade are much affected by the angle of the incident flow to the blade surface and the resultant velocity; the maximum values appear when the angle of attack is between 40° and 140° . Free-surface effects are noticeable on the drag coefficients. The paths of the blade show that the blade moves mainly in the lateral direction to the still water and not so much in the longitudinal direction. The lateral motion generates the thrust. The angle of the incident flow to the blade delicately affects the thrust. The estimated thrust shows that the thrust changes during one stroke very much; high thrust is generated around the catch and the finish but it is minimum at the middle, while the efficiency is maximum around the middle. Three assumed patterns of rowing are simulated by estimating their thrusts and discussions are made for more efficient rowing techniques.

1. 緒 言

漕艇競技の花形であるシェルエイト競技は、8人の漕手と1人の舵手で2000ないし1000メートルを漕ぐ速さを競う競技である。ポリマーの使用とリガー（オールの支点部を支える金具）の移動は禁じられているが、形状や漕法については、艇の重量とブレードの厚さ以外に制限はない。

シェルエイト競技は伝統的競技であるため、その漕法についても多くの貴重な経験的知識や技術的蓄えがある。その一方で、他のスポーツがそうであるように、シェルエイト競技においても、技術向上のための科学的な面からの研究も多くなされている。そうした研究は、経験的な知識や技術に科学的根拠を与えるとともに、経験にとらわれない新しい技術の開発も可能にする。合理的な練習方法を考え

る上でも意義がある。

文献1)では公式競技中のビデオ画像から艇の速度や加速度を計測し、レース中の効果的な力の配分について論じている。また文献2)ではローイングタンクで推力の計測を実施している。いずれも計測された力や速度をもとに、生理学や体育学の観点から、効果的なレース展開について検討している。

流体力学的な観点からの研究としては、船型に関する研究が多い³⁾⁴⁾。オール/ブレードの動きを解析し、推進効率を調べたものとして鈴木⁵⁾の研究がある。

艇はブレードの発生する推力と漕手の体重移動によって進む。漕手の体重移動は実際には重要な要素であるが、ブレードによる推力発生が第一義的である。したがってそのメカニズムを流体力学的に明らかにすることはまず必要なことであろう。推力発生のメカニズムが明らかにされることは、より効果的な漕法や新しいオール/ブレード形状を考える上でも役に立つ。

* 広島大学工学部

** 広島大学工学系大学院

本報では、実艇の速度とオールの動きの計測結果をもとに、ブレードが推力を発生するメカニズムを流体力学的に明らかにする。流体力学的にはブレードによる流体運動は、非定常翼運動による剝離現象や非線形自由表面現象に関連する複雑な運動である。ブレードの動きとともに非定常な艇体運動もからんでくる。本研究では、第一報という意味で、準定常問題として扱う。すなわち、一様流中におかれたブレードに働く流体力を計測し、それをもとに、画像解析によってえられた艇速とブレードの動きから1ストローク中の推力の変化や効率を算定する。そして算定された結果をもとに、合理的な漕法について考察する。

2. ブレードに働く定常流体力の計測

計測に用いたブレード形状を Fig. 1 に示す。ブレードは広島大学漕艇部で使用しているもので、寸法は実寸である。ブレードの投影面積 S は 0.0938 m^2 である。ブレードには 35 mm のオールの柄に相当する部分（断面形状はほぼ円形）がついている。このブレードを回流水槽中に、ブレード軸を水面に平行に設置し、迎角を $0^\circ \sim 180^\circ$ 、没水深度を 0.1 m , 0.2 m , 0.3 m と変化させて流体力を計測する。迎角 α および没水深度 d の定義は Fig. 2 中に示す。計測には容量 50 Kgf の三分力計を用い、流速 U は回流水槽の制約から 1.0 m/s とした。また計測時の水温は 23° であった。

Fig. 2 に計測結果を示す。 C_N , C_T はブレード面に対する法線および接線方向の効力係数で、 $1/2\rho U^2 S$ で無次元化している。ここで ρ は水の密度である。

法線方向成分の流体力係数 C_N は迎角とともに増大し、 50° 付近で最大になっている。 50° から 140° まではほぼ一定であるが、没水深度が大きくなると流体力は小さくなる。没水深度が浅い場合、ブレードの背面で跳水のような現象

が生じているのが観察されたが、没水深度が浅いと造波の影響で流体力が増加する。 140° 付近から C_N は小さくなる。

Fig. 2 には、参考のため、風洞で計測された幅長さ比が $1:3$ の平板の計測値⁶⁾ も示した。没水深度の深い結果は波の影響が少なく風洞での計測に対応すると考えられるが、両者の傾向はよくあっており、ここでの計測値はほぼ妥当といえよう。平板の値との違いは、投影面形状の違いの影響もあるが、ブレードにそりがあるためと考えられる。

接線方向成分 C_T は C_N に比べて小さく、また迎角による変化も小さい。没水深度によってもほとんど変わらないので、Fig. 2 では $d=10 \text{ cm}$ の結果のみを示した。

Fig. 2 の結果から、ブレードに流入する流れの流入角なるべく 40° から 140° 内になるように漕ぐと大きな力が

Fig. 1 Blade and its Dimensions used for Measurement of the Hydrodynamic Force

Fig. 2 Steady Hydrodynamic Force Coefficients of Blade

えられることがわかる。またなるべく浅いところを漕ぐのもよい。

計測では、支持具の影響は、別途計測された支持部だけの流体力を差し引くことによって除去している。しかし、オールの柄の切断面の影響については特別に考慮していない。そのため、流れがオールの柄の方向から入ってくる場合はその影響が入っている恐れがある。160°~180°付近の C_N , C_T がともに0°~20°値に比べて大きいのはそのためと考えられる。

3. 艇速とブレードの動きの計測

3.1 計測および解析方法

1台のビデオカメラで艇と漕手のグリップを録画し、0.1秒ごとの艇・背景およびグリップ・艇の相対的動きから艇速とブレードの動きを計測する。1ストロークを録画するため、カメラを回転させて視野を移動させながら記録する。その際、艇はカメラから十分離れており、また回転角が極く小さいので、回転による誤差は小さいものと思われる。

解析に用いる座標系をFig. 3に示す。運動は直線運動だけとし、他の運動は無視する。 G, C, B はそれぞれグリップ、クラッチおよびブレードを表わす。 x_c, x_g をクラッチおよびグリップの x 座標とする時、艇速 V 、オール角 β 、ブレードの動く速度 v 、およびブレードへの流入速度 q と流入角 α はそれぞれ以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} V &= (x_c^{i+1} - x_c^i) / \Delta t \\ \beta &= \pi/2 - \sin^{-1} [(x_c^i - x_g^i) / l_1] \\ v &= (\beta^{i+1} - \beta^i) / \Delta t \cdot l_2 \\ q &= \{(V \cos \beta)^2 + (v - V \sin \beta)^2\}^{1/2} \\ \sin \alpha &= (v - V \sin \beta) / V \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 Δt は解析時間ステップ(本解析では0.1秒)、肩す i は各タイムステップでの計測値を示す。また l_1, l_2 はそれぞれグリップからクラッチまでの距離およびクラッチからブレードの最大幅までの距離である。以下特に断わらない限り、ブレードへの流入速度や流入角などブレードに関する値は全てブレードが最大幅となるところでの値とする。

Fig. 3 Coordinate System and Definitions

ここではパドルとライトパドルの2つの場合について計測した。パドルは競漕中の漕法で1分間に30~40ストローク漕ぐ全力漕法である。ライトパドルはキャッチからフィニッシュまではパドルとほぼ変わらないが、空中でのフォワードの時間が長く、1分間に25~30ストロークである。

以下の解析ではキャッチとフィニッシュはそれぞれブレード上端が水面下に入った時点およびブレード上端が空中に現れた時点と定義する。ミドルは両者の中間とする。時刻 t はキャッチ時をゼロとする。 $(C), (F)$ でキャッチ、フィニッシュを表すこととする。

3.2 計測結果

Fig. 4に艇速を示す。同じデータを3人で解析した結果を示す。画面は512画素なので1画素は1.1cmに相当する。これを速度に換算すると0.11m/sになる。これは誤差範囲を与えるが、ここでの計測値のバラツキの幅はそれより大きく、約0.4m/s程度である。これは画像が光学的に鮮明でないため生じたもので、本計測システムでは、この程度の誤差はやむをえないものと思われる。

艇速はキャッチ後徐々に上昇し、フィニッシュ時に最高になる。ライトパドルはパドルに比べてキャッチからフィニッシュまでの時間は0.2秒程長いが、速度は全体にわたって約1m/s程遅い。フィニッシュ近くではもはや加速せず、一定の速度になっている。キャッチからフィニッシュまでの時間が長いことが必ずしも速度を高めることになっていない理由について後述する。

Fig. 5はブレードの速度で、オールを漕ぐ速さに相当する。ここでも3回の計測結果を示す。キャッチからミドルにかけてオールを漕ぐ速さが増し、その後はフィニッシュに向けて遅くなる。ライトパドルでも同じような動きであるが、最高速度になる時間は若干遅れ、速度も小さい。フィニッシュ付近で、データのバラツキ幅が大きくなっているが、

Fig. 4 Speeds of the Shell Eight Boat

Fig. 5 Angular Speed of Oar at Blade

これはグリップにつけたマーカーが光線の加減で見えにくくなったためである。

Fig. 6 には、Fig. 4 と Fig. 5 の結果の平均値を用いて作成した、キャッチからフィニッシュまでの 0.1 秒毎のオール動きを示す。(a) にパドル、(b) にライトパドルの動きを示す。パドルとライトパドルのいずれの場合も、オールは進行方向にあまり動かず、むしろ横方向にせり出す形で動いている。特にパドルの場合はキャッチからフィニッシュまで進行方向にほとんど動いていない。推力もこの横方向の動きから発生することになる。

ところで、ボート競技の一般書では、「支点であるブレードをできるだけ固定する必要がある」と述べられている⁷⁾。この記述どうりブレードが水に対して固定され全く動かないとすれば、流体力は発生しない。したがって、この記述の言わんとすることは、ブレードがなるべき前後

方向にブレないように漕ぐというところであろうか。同時に計測した比較的未熟な漕手の場合、ブレードは前後方向にかなりブレていた。

Figs. 7, 8 はブレードに流入してくる合速度 q とブレード面に対する流入角 α を示したものである (α の定義は Fig. 3 に示す)。解析には、艇速とオールの速度の平均値を用いたが、誤差範囲は流速で ± 0.2 m/s, 流入角で $\pm 5^\circ$ 程度である。

オールの回転速度はキャッチからミドルにかけて増していくが、ブレードへの流入速度は艇速との相対関係で決まるので、キャッチとフィニッシュ時に大きく、キャッチからミドルにかけては逆に遅くなっていく。ミドルで最低となり、フィニッシュに向けて増大する。一方、流入角はキャッチからミドルにかけて $30^\circ \sim 40^\circ$ で、以後増大し、フィニッシュ付近では 160° 前後で、流れはオールの柄の方から入っていることがわかる。このことは、ブレード形状を考える際、オール付け根の形状が先端形状に劣らず重要であることを意味する。ライトパドルではブレードの裏から流入している。

ブレードの発生する力は Fig. 2 に示した流体力係数と速度の二乗に比例する。ミドル付近では速度が小さいので発生する力も小さくなる。流体力係数の値は $40^\circ \sim 140^\circ$ で最も大きい。オールの動きの中ではミドルからフィニッシュにかけての部分とその角度に相当している。したがって、流入角からみれば、発生する力はそこで大きいことになる。

実際にブレードの発生する推力は、流速と流入角そしてオールの角度 β の関数になるが、最終的にえられた推力を流速と流入角の関係から分解して検討することは意義あることと思われる。

Fig. 9 はブレードへの流入の模様をベクトル表示したものである。パドルの場合、流れはストローク中の全時間に

Fig. 6 Paths of Oar and Blade, (a) : paddle condition, (b) : light paddle condition

Fig. 7 Resultant Velocity of the Incident Flow to Blade

Fig. 8 Angle of the Incident Flow to Blade

わたってブレードの前面より入っているが、ライトパドルの場合はフィニッシュ前の0.1秒間は、ブレードの背面から入っている。これは負の推力を出すことになり、推進性能上明らかに不利である。Fig. 7に示すように、ライトパドルの場合、パドルより、0.1秒程長く漕いでいるが、その間、必ずしも有効な推力を出していたわけではないことがわかる。ライトパドルでフィニッシュ前に艇速が増さないのもこのような事情のためと考えられる。

4. ブレードの発生する力と効率

4.1 推力と横力

Fig. 2の流体力係数と Figs. 7, 8のブレードに流入する流れの流速と流入角より、1ストローク中、ブレードに働く力の法線方向成分 F_N と接線方向成分 F_T が求まる。これらを用いて、推力 F_x と横力 F_y は

$$\begin{aligned}
 F_x &= F_N \sin \beta + F_T \cos \beta \\
 F_y &= -F_N \cos \beta + F_T \sin \beta
 \end{aligned} \quad (2)$$

で算定することができる。

Fig. 10に推力 F_x , Fig. 11に横力 F_y を示す。ここでは d

Fig. 9 Vector Diagram of the Incident Flow to Blade, (a): paddle condition, (b): light paddle condition

=20 cmの計測結果を使っている。Fig. 8で示したように、ライトパドルの場合、フィニッシュ付近では流入角は180度を越す。流体力の計測では迎角180度以上は計測していないので、ここでは180度を越す場合の算定はしなかった。

パドルでは推力はキャッチで大きくミドルにむけて減少し、ミドルで最低の値となっている。その後フィニッシュに向って再び増大していく。ただ、フィニッシュ直前の値は若干大き過ぎるように思えるが、艇速とオールの速度がフィニッシュとともに最高になっていることからこのように大きくなる。しかし実際は、フィニッシュ直前ではブレードさばきが複雑になり、これ程大きな推力は出ていないかも知れない。

推力に主として寄与する C_N は、流入角が40度～150度であれば、ほぼ一定である。したがって、流入速度の大きさによって推力の大きさが決まることになる。流入速度は、Fig. 7でみるように、キャッチとフィニッシュで大きく、ミドルで最低となっている。推力がミドルで最低となり、キャッチとフィニッシュで大きくなっているのはこのためである。

ミドルで推力が最低になることは素人の漠然とした先入観からみると奇異にうつるが、実際に漕いでいる者の感覚では、ミドルは確かに軽く、キャッチは重いとのことである。キャッチ直後に重点を置く漕ぎ方とミドルからフィニッシュにかけての部分を大事にする漕ぎ方があるとのことである。いずれにしても、キャッチ後とフィニッシュにかけての漕ぎ方が大切であることは、今回の解析結果からもうなずける。 $t=1.5$ と2.5で値が大きく変化しているが、流速と流入角の微

Fig. 10 Thrust Force Generated by Blade

Fig. 11 Lateral Force Generated by Blade

妙な組み合わせによってこの程度の変化は出る。キャッチ時とフィニシュでの漕ぎ方が重要だといわれるのはこの微妙さのためといえるかも知れない。

一方ライトパドルの場合は全く様子が異なる。全体的に推力が小さいうえ、ミドル付近で大きくなっている。というよりミドル付近以外で推力が極めて小さいというべきかも知れない。これは、Fig. 8 に示すように、ライトパドルの場合、ミドル付近を除く、ストローク中の他のほとんどの時刻で、 C_N が小さくなる流入角で漕いでいることがわかる。しかもフィニシュ近くでは、流れはブレードの後から入っている。ここでは、そこでのスラストはゼロとしている。ライトパドルの場合、ブレードへの流入速度が小さいうえ、前述したように、流入角も適当でないことから、このような違いとなっている。その点、パドルの場合は、ストローク中全体にわたって C_N が大きくなる流入角で漕いでおり、流体力学的には合理的な漕ぎ方をしていることに

なる。欲をいえば、流入角がキャッチ後はもう少し大きく、フィニシュにかけてはもう少し小さくなるような漕ぎ方であれば、推力はもっと大きくなる。

パドル時の 1 ストローク中の推力を平均すると約 19 Kgf となる。8 人の推力を合計すると 150 Kgf となる。これは 30~40 Kgf 程度と推察できる艇の定常抵抗（艇の浸水面積 8.42 m²、艇速 5 m/s として摩擦抵抗は 22 Kgf）と比べてかなり大きい。しかし実際の艇の抵抗はピッチングやサージングをともなう非定常運動のため定常抵抗値より大きいであろう。また、ここでは無視している漕手の前後移動による運動量変化、ブレードの非定常運動による Dynamic stall の影響（発生する力は定常翼より小さくなる⁸⁾）などの影響もある。2. で指摘した、160°~180°でオールの柄の影響もあるであろう。現在、推力の直接計測とともに理論計算を進めており、この差についてはいずれ明らかにするつもりである。

横力は、ストローク中に正負の符号が変化し、キャッチ時とフィニシュ時に最大値となっている（オールの軸方向力は Fig. 2 の C_T に相当し常に外向きに働く）。横力は推力には直接関係しないが、通常、エイトではバウよりスターンに向って 8 人の漕手は左右舷を交互に漕ぐので、この横力は船首揺れモーメントを生むことになる。8 人が全て同じ力で漕ぐと仮定し、クラッチ間隔を 1.3 m とすれば、キャッチとフィニシュ時で約 160 Kgf・m の船首揺れモーメントが働く。これが 1 ストローク中、正負に変化する。この値は無視できない大きさで、例えば船尾に置かれた 0.04 m² の舵を 4° 程度とった時のモーメントに相当する。推力に関して述べたように、この横力の値そのものもやや大きいことや、実際には、馬力のある漕手を中央に配置するので、船首揺れモーメントはこの値より小さいだろう。実際の漕手の話では、漕いでいる時、そのような船首揺れモーメントは感じないという。しかし、例えば、7 番（船首より 7 人目の漕手）と S（同 8 人目）の漕手が左右舷入れ替って漕げば、船首揺れモーメントは確実に半分になる。B（船首より 1 人目漕手）と 2 番（同 2 人目）が入れ替っても効果は同じである。

4.2 効率

漕手が回転速度 v でオールを漕ぐ時、ブレードには垂直方向に F_N 、接線方向に F_T の力が働く。したがって、この力を発生させるために、漕手は単位時間に $F_N v$ の仕事をすることになる（ F_T の力はクラッチで受ける）。これらの力のうち、(2) によって与えられる F_x が艇を前進させる推力となる。この推力によって艇は V の速度で進むので、推力のなす仕事は $F_x V$ となる。すなわち、漕手がなした $F_N v$ の仕事量のうち $F_x V$ が実際に艇を前進させるのに使われることになる。

以上のことから、ブレードの発生する推力の効率 η を

$$\eta = F_x V / F_N v \quad (3)$$

Fig. 12 Efficiency of the Rowed Oar

と定義することができる。

Fig. 12 に (3) でえられた効率の 1 ストローク中の変化を示す。ライトパドルで推力がゼロないし負になる時の効率は示していない。

推力が小さくなるミドルにかけて効率は向上し、推力の大きいキャッチとフィニッシュではむしろ小さい。キャッチやフィニッシュでは大きな推力をえてはいるものの、そのために無駄な仕事をしていることになる。これは漕手のスタミナという点からみると好ましくない。一方ミドルでは、推力の値は小さいが、オールを漕ぐことによって発生した力をそのまま推力としていることになる。効率は、主として、オールの進行方向とのなす角度 β に関係しているが、キャッチやフィニッシュ時に効率を高く維持できる漕法やブレード形状を考えることも大切である。

4.3 漕法のシミュレーション

ブレードの出す推力には、ブレードの形状、艇速そしてオールの回転速度が重要であることをみた。その中で、漕法に直接関係するのはオールの回転速度である。そこで、ここでは、漕法による推力の違いを調べるために、仮想的なオール回転速度すなわちブレード速度を与え、その時の推力をシミュレーションした。ブレード速度が異なると艇速も当然違ってくる。そのため推力の計算にはその艇速の変化も考慮しなければならないが、ここではそれは考慮せず、艇速には Fig. 4 に示した計測値を使用する。

Fig. 13 はシミュレーションに用いた 3 種類のブレード速度を示す。(a), (b), (c) はそれぞれミドル付近、キャッチ後およびフィニッシュにかけてオール回転速度を速めた漕法を模したものである。それぞれの特徴を強調するため、いずれの場合も、変調幅を若干大きくとっている。図中には、比較のため、パドル時の計測値を (m) で示した。(a), (b), (c) のような漕法が実際に可能かどうかは検討していないが、オール回転速度の平均値はほぼ計測値 (m) に等しい。

Fig. 14 に計算された推力 F_x を示す。(b) はキャッチから一気に漕ぐ方法である。キャッチからミドルにかけて流

Fig. 13 Three Different Rowing Patterns to be Simulated

Fig. 14 Comparison of Simulated Thrust between Three Different Rowing Md.

入速度が他の場合に比べてかなり大きくなるため、推力が大きい。また、Fig. 3 からわかるように、(b) では艇速の遅いキャッチ時に速く漕ぐため、ブレードへの流入角が推力を大きくする方向になることも推力の大きい理由である。フィニッシュ付近ではブレード速度が遅いため流れはブレードの裏から入ることになり、わずかではあるが負の推力となっている。

一方 (c) はミドルからフィニッシュにかけてオールの回転速度をあげた場合である。フィニッシュにかけて艇速は上がっているが、キャッチからミドルにかけて、かなりの時間、有効な推力が発生していない。これは艇速との関係でブレードへの流入角がほとんどゼロとなっているためである。

(a) は実際の漕法 (m) に近い漕法であるが、ミドルで若

干速く漕ぐ漕法になっている。一般にキャッチ時のブレードへの流入角は Fig. 2 で示した流体力係数曲線で立ち上りの部分にあたる。また流入速度が大きく変化する。そのためその付近での流入角の微妙な違いが大きな推力の違いとなる。(a)で、キャッチ時の速度が(m)に比べて極く少し遅いだけであるにもかかわらず、推力ではかなり小さくなっているのはこのためである。キャッチ時の技術が重要なゆえんであろう。ミドルからフィニッシュにかけては、(a)の漕ぐ速度は(m)より0.5 m/s程度速いだけであるが、推力では大きな差となっている。しかも興味深いことに、(a)の速度が(m)より小さくなるフィニッシュ付近でも、推力は大きい。これは艇速とオール回転速度およびオール角の関係でブレードに入る流入速度が大きくなるためである。

ところで、4.2 でみたように、ミドル付近では効率が高かった。(a)の漕法は、効率の高いミドル付近で大きな推力を出し、効率の低いキャッチ直後はセーブする漕法にあたる。力学的には合理的な漕法といえる。(a)が仮に(m)と同じ艇速であったとしても、漕手の疲労度は小さいであろう。また、(m)に比べて、推力の変動は小さいから、それだけサージングが少なく、艇の抵抗も小さくなるであろう。もっとも、艇速の変化を考慮した場合でも同様の結果がえられるかはわからない。運動も考慮したシミュレーション結果を待ちたい。

5. 結 言

漕艇競技の技術向上をはかることを目標に、漕艇に流体力学的な光をあてブレードに働く流体力について考察した。現象は典型的な非定常現象であるが、本報告では準定常問題として扱った。計測精度も必ずしも十分ではないが、従来、おおまかにしかとらえられていなかった推力をブレードの発生する流体力としてとらえることができた。本研究によって明らかとなったことの主なものを以下に列記する。

1) ブレードに働く定常力は流入角が40°から150°の間で最大値をとり、そこでは値はあまり変化しない。したがってブレードに対する流入角がその範囲に収まるように漕ぐことが有効である。ブレードの没水深度は浅いほど発生する力は大きい。

2) ブレードは、静止水に対しては、その回転速度と艇速との合速度で運動することになる。前後方向よりむしろ横方向の動きをしている。

3) ブレードの発生する力はブレードへの流入速度とともに流入角で決まる。

4) 通常の漕法では推力はミドルで最小になるが、効率はミドルで最高となる。推力の1ストローク中の変化を分析することにより、より効果的な漕法について検討することができる。

5) ミドルでオールを速く漕ぐ漕法は力学的に合理的な漕法である。

艇を漕ぐ場合、漕手の体重移動も力学的には重要な問題である。現在、漕手の体重移動や流体力を考慮した運動シミュレーションによって新しい漕法の可能性について研究を進めている。また模型による非定常流体力の計測と理論計算を進めており、漕艇のもつ流体力学的側面をさらに明らかにしていきたいと考えている。

本研究は広島大学卒業生天羽一貴(現リョウセンエンジンヤリグ)と藤上佳也(現三井造船)両君の卒業研究として行なったものをまとめたものである。画像解析には二宮伸治助手の指導をえた。データの再解析には広島大学学生牛尾剛、長尾茂樹君の協力をえた。また広島大学漕艇部からはブレードの提供と計測の協力をえた。あわせて謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐野裕司, 浅見俊雄, 戸町晴彦, 足立長彦, 山本恵三, 菊地武道: ローイング技術の分析的研究(第2報), 東京大学教養学部体育学紀要, 第14号(1980), pp. 25-30.
- 2) 植屋晴見: ポート(エイト)競技のレースに関するバイオメカニクス的分析, 第9回日本バイオメカニクス学会大会論文集'88(1988), pp. 133-118.
- 3) 池畑光尚, 梶谷尚: 競漕艇の設計について, 船舶, 1961年1月号, pp. 35.
- 4) 笹島秀雄: 造船技術者から見た競艇, 笹島秀雄先生論文集, pp. 346-348.
- 5) 鈴木勝雄: 競漕艇(エイト)の推進効率について, 第63回回流水槽懇談会資料(1982).
- 6) Blevins, R.D.: Applied Fluid Dynamics Handbook, Van Nostrand Reinhold Co., pp. 335.
- 7) 須藤武幸: ポート競技, 講談社(1989), pp. 33.
- 8) Rumsey, C.L. and Anderson, W.K.: Some Numerical and Physical Aspects of Unsteady Navier-Stokes Computations Over Airfoils Using Dynamic Meshes, AIAA-88-0329(1988).