

平成 25 年 6 月 19 日

国立大学法人 筑波大学  
国立大学法人 東京工業大学

## 水泳におけるヒトの推進メカニズムを 水泳ロボットを用いて世界で初めて多角的に解明

### 研究成果のポイント

1. 北島康介選手をはじめ、世界で活躍するトップスイマーは効率よく水中で高い推進力を生み出しているはずだが、その推進メカニズムはこれまで明らかにされてこなかった。
2. ヒト型水泳ロボットを用い、流体力・圧力分布計測、流れの可視化を世界で初めて同時に実施し、ヒトの推進メカニズムを多角的に解明した。
3. 高い推進力発揮には、昆虫の飛翔などと同様に渦の発生が関与しており、非定常な力が作用することにより通常より大きな力が発生することが確認され、今後トップスイマーの泳技術改善への応用が期待される。

国立大学法人筑波大学【学長 永田恭介】(以下「筑波大学」という)体育系【系長 中川昭】高木英樹教授らの研究グループは、水泳におけるヒトの推進メカニズムを世界で初めて多角的に解明しました。

北島康介選手をはじめ、世界で活躍するトップスイマーは、効率よく水中で高い推進力を発揮していると思われませんが、その推進メカニズムはこれまで明らかにされて来ませんでした。その理由は、ヒトが泳いでいる時に手や足が生み出している推進力を正確に測る方法がなかったからです。加えて推進メカニズムを解明するためには、生み出された力だけでなく、その発生源となる手や足に作用する圧力の分布や周りの水の流れの状態を精緻に把握すること必要ですが、ヒトを対象とした実験では再現性のある正確なデータを得ることは困難でした。

そこで本研究では、ヒト型水泳ロボットを用い、回流水槽でヒトの水泳動作を再現させ、流体力・圧力分布計測、流れの可視化を同時に実施することによって、水泳におけるヒトの推進メカニズムを明らかにしようとしてきました。分析の結果、手部の角度や速度を適切に変化させることで、手部周りに一対の渦が発生し、その渦の効果により非定常な力が惹起され、通常よりも大きな推進力が生じる過程が明らかにされました。この知見は、トップスイマーの泳技術のさらなる改善に向けて応用されることが期待されます。

本研究は、東京工業大学の中島求准教授および筑波大学システム情報工学系松内研究室との共同研究で、イギリスのエルゼビア・グループが発行する学術研究誌 Journal of Biomechanics 2013 年 6 月 12 日号に掲載されました。

## 研究の背景

ロンドンオリンピックにおける日本競泳陣の活躍は記憶に新しいところですが、日本人トップスイマーは、体格で劣るハンディキャップを泳ぎの技術で克服し、世界と戦ってきました。水中での推進技術が高めることは大変重要なことですが、実はトップスイマーがどうやって高い推進力を生み出しているのか？そのメカニズムはよく分かっていませんでした。その理由としては、そもそもヒトが四肢を動かして泳いでいる時の推進力を正確に測定する方法が確定していない事が挙げられます。加えて、仮に推進力が推定できても、その推進力がどうやって生まれるのかを解明するには、推進力の発生源となる手や足に作用する圧力や周りの水の流れの状態を正確に把握する必要があるわけですが、ヒトを用いた実験では、再現性のある正確なデータを得ることは困難でした。推進メカニズムを解明するためには、泳動作中の推進力、圧力分布、流れの可視化を正確かつ同時に計測できるシステムを構築する必要がありました。

## 研究内容と成果

本研究では、東京工業大学の中島研究室、筑波大学システム情報工学系の松内研究室、筑波大学体育系の高木研究室の三者が協力し、独自の技術を持ち寄ることで、水泳運動における推進メカニズムを解明するための新たな計測システムを構築しました。具体的には、中島研究室の開発したロボット(図1)<sup>\*1</sup>を用い、筑波大学の回流水槽においてヒトの泳ぎを再現させ、手部で生み出された推進力を測定しました。また松内研究室が培った粒子画像流速計測技術<sup>\*2</sup>を導入し、泳動作中の手部周りの流れ場を解析し、流速分布や渦の発生状況を可視化しました。さらに高木研究室が開発した圧力分布計測技術<sup>\*3</sup>を利用して推進力の発生源となる手部周りの圧力分布を計測しました。3つの技術それぞれに、高いオリジナリティーを持つわけですが、本研究ではこれらの技術を三位一体とし、世界で初めて、水泳におけるヒトの推進メカニズムを多角的に解明することに取り組みました。

実験の結果、大きな推進力が発揮される局面において、手部の周りに一対の渦発生が確認されました(図2)。その渦の作用によって手の甲側にジェット流が生まれ、その流れが手の甲側の圧力低下を引き起こすと要因となっていると考えられます(図3)。このように手の甲側の圧力が低下すると手のひら側との圧力差が拡大し、結果的に物体に作用する力が大きくなるのです。このような渦による非定常な流体力の発揮は、昆虫などでは確認されていましたが、本研究により、ヒトの水泳運動においても起こる事が明らかとなりました。

## 今後の展開

今後は、水泳ロボットの動作を様々に変化させ、どのような動きをさせた時に推進力がより大きくなり、その時どんな流体力学的現象が起きているのかの解明を進め、泳技術のさらなる改善へ応用していきます。最終的には、世界最速の泳ぎを実現させるための究極の泳技術の確立を目指しています。

本研究は、日本学術振興会の科学研究費補助金の支援により実施しました。

参考図

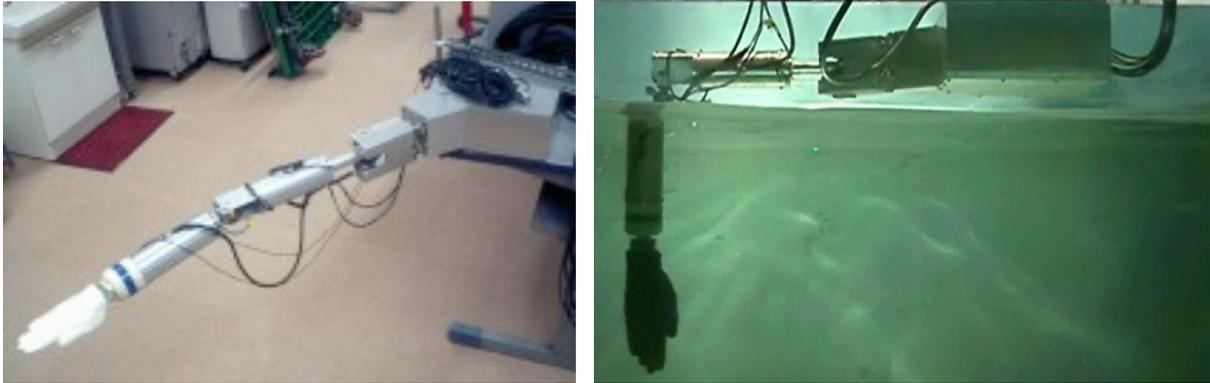


図1 水泳ロボット

5つの自由度を持ち、内蔵されたモータをコンピューターで制御することで、ヒトの水泳運動を再現することができます。各関節には歪計が取り付けられており、力およびモーメントが計測可能です。  
(東京工業大学中島研究室作製)

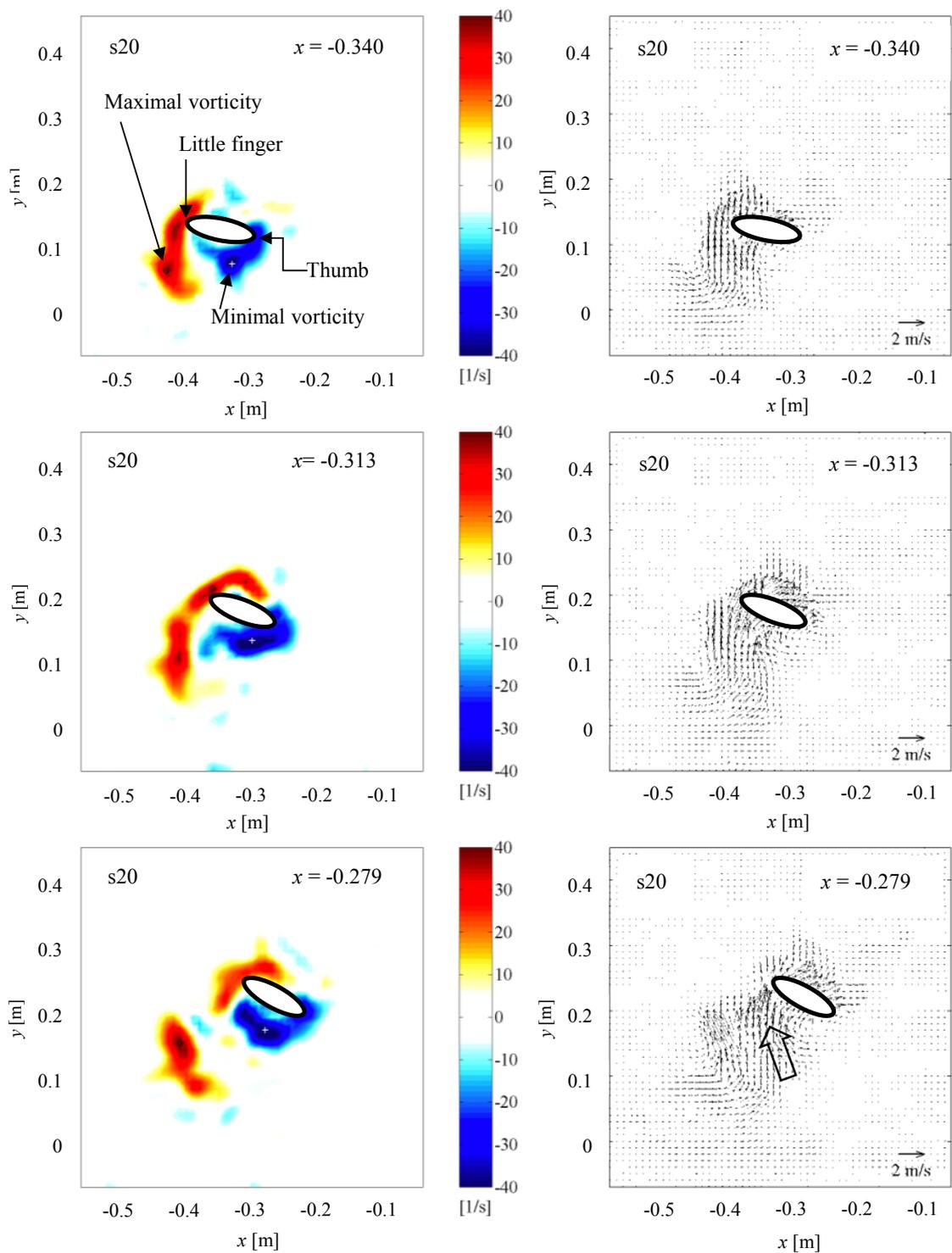


図2 泳運動中に最大の推進力が発揮された局面における流れ場の様子

6つの図の内、右の列は手部周りの水の流れの速度分布を示しており、左の列は渦度を示している。青色は右回り、赤色は左回りの渦を示し、その濃さは渦の強さを表している。また上段から中段、下段へと0.7秒ごとの変化を示し、中段から下段にかけて、推進力が最大となった。

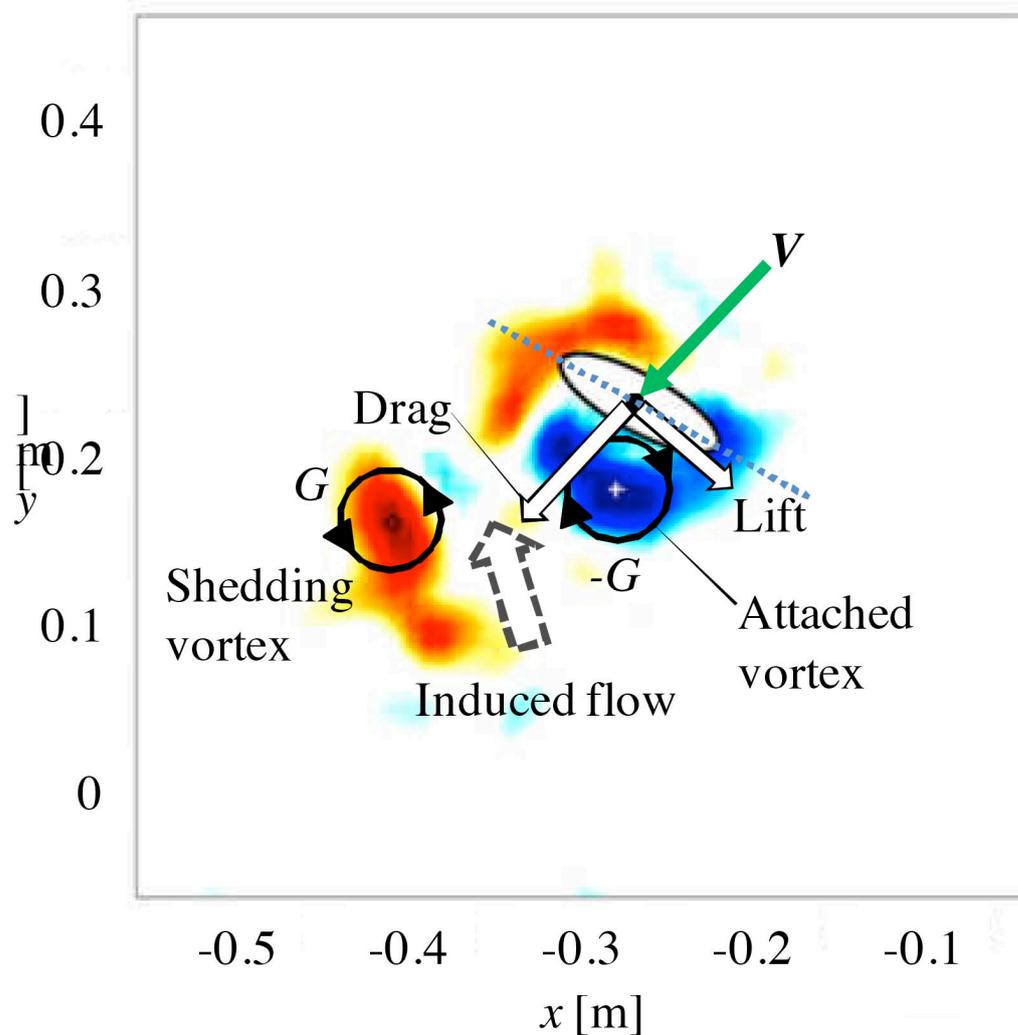


図3 推進力が最大となった局面での流れ場の詳細

手部から放出された渦(赤色: Shedding vortex)と手の甲側に付着した渦(青色: Attached vortex)が対を成して存在していることがわかる。この渦対は互いに反対方向に回転しているので、渦の間にジェット流が発生し、青色の右回りの渦は、手の甲側に回り込みながら回転をしている。その渦流れによって手の甲側の圧力は大きく低下し、通常の状態より大きな流体力(Drag、Lift)が発生していると推察される。これらの力を非定常流体力と呼ぶ。

## 用語解説・注

※1 ヒト型の水泳ロボットを開発した。

Nakashima, M., Takahashi, A., Year Measurement of Unsteady Fluid Force Acting on Limbs in Swimming Using a Robot Arm. In International Society of Biomechanics XXI. Taipei International Convention Center, Taiwan.

※2 ヒトの水泳時における推進局面を初めて可視化した。

Matsuuchi, K., Miwa, T., Nomura, T., Sakakibara, J., Shintani, H., Ungerechts, B.E., 2009. Unsteady flow field around a human hand and propulsive force in swimming. Journal of Biomechanics 42, 42-47.

※3 ヒトの水泳時における手部の圧力分布を初めて計測した。

Takagi, H., Wilson, B., 1999. Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming, in: Keskinen, K.L., Komi, P.V., Hollander, A.P. (Eds.), Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. Gummerus Printing, Jyväskylä, pp. 101-106.

## 掲載論文

題名： Unsteady hydrodynamic forces acting on a robotic hand and its flow field

日本語訳： ロボットの手部に発生する非定常流体力とその流れ場

著者： 高木英樹、中島求、尾崎尚、松内一雄

ジャーナル名： Journal of Biomechanics

発行日： 2013 年 6 月 12 日

## 問合わせ先

高木 英樹(たかぎ ひでき)

筑波大学 体育系 教授

中島 求(なかしま もとむ)

東京工業大学 大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 准教授