

回流水槽および曳航水槽における 同時多点計測技術の調査

正員 久米 健一*

1. はじめに

日本船舶海洋工学会の若手研究者活性化事業に係る海外派遣制度により、2005年9月26日から10月7日までの期間、2つの研究所に滞在し、回流水槽および曳航水槽における同時多点計測技術の調査を行った。訪問先としては欧州と米国における船舶流体関連の代表的な研究所である INSEAN (The Italian Ship Model Basin) と IIHR (Iowa Institute of Hydraulic Research) を選択した。

流体現象の同時多点計測技術、特に PIV (Particle Image Velocimetry) は短時間で多くの流場情報を得られるツールとして急速に成長し、あらゆる分野での利用が進んでいる。船舶海洋関連の実験においても複数台のカメラを利用したステレオ PIV (3次元 PIV) の利用は珍しくなくなっている。ステレオ PIV は一度の計測で数万点の3次元流速 (u , v , w) が得られるため計測効率が高い。CFD の検証に必要とされる多種多様な実験データの取得にも非常に有効な計測装置であると言える。

今回の訪問では、PIV や同じく非接触型流場計測技術の一つである LDV (Laser Doppler Velocimetry) の装置や計測結果などを見ながら研究者と議論を行い、貴重な情報が得られたので以下に報告する。

2. 訪問先と日程

今回の派遣では欧州と米国を訪れるため、地球を一周することとなった。時差ぼけの影響が軽いとされる西回りのコースを選んだ。

3. INSEAN

INSEAN (写真1) はローマ市街地から地下鉄とバスを乗り継いで1時間ほどの場所にある。研究所の周囲には高い建物がないため、バスに乗って近

表1 スケジュール

日付	訪問先
9月26日	日本出国, イタリア入国
9月27日~9月30日	INSEAN 訪問
10月2日	移動 (Italy → USA)
10月3日~10月5日	IIHR 訪問
10月6日~10月7日	米国出国, 日本帰国

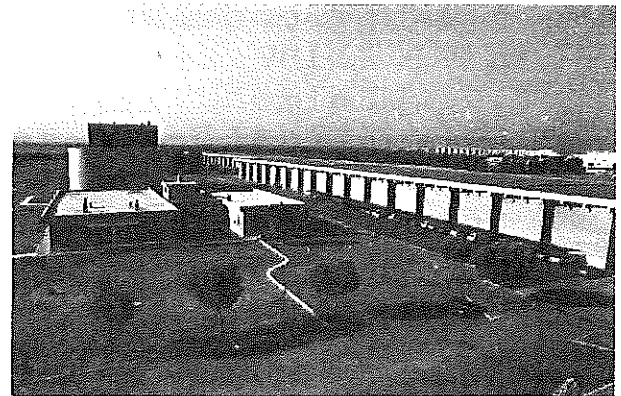


写真1 INSEANの実験施設 (左: 減圧回流水槽, 右: 曳航水槽)

くまで行くと長さ500m近い大きな建物が目に入ってくる。それがINSEANの曳航水槽である。研究所の正門前がバス停で、すぐに守衛所がある。守衛の方はイタリア語しか話せなかったため、コンタクトパーソンの名前とジェスチャーで通門のやりとりをすることとなった。日本を訪れる外国人の気分とはこんなものだろうか。INSEANの敷地は広いが大部分は空き地である。20年ほど前に運動性能水槽と海洋水槽の建設計画があったが、予算の関係で実現はしなかったとのこと。

訪問初日は Dr. Calcagno (写真2) に出迎えて頂いた。彼はステレオ PIV を用いた実験に携わる研究者で、4日間の滞在中に行う施設の見学や意見交換のアレンジをして頂いた。

まず、この研究所の実験施設のうち、減圧回流水槽と2つの曳航水槽を見学した。運が良かったのか、

* (独)海上技術安全研究所

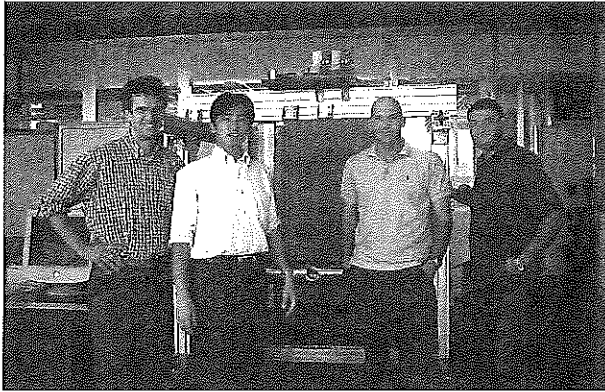


写真2 左より Dr. Calcagno, 筆者, Dr. Felli, Dr. DiFelice

いずれの施設も稼働中で、実験の様子を見ることができた。減圧回流水槽は計測部の長さが 10 m、幅が 3.6 m、深さが 2.2 m あり、回流型水槽としては比較的大きな模型を収めることができる。この日はちょうど LDV を用いた潜水艦周りの流場計測が行われていた。減圧はしていないので計測部の上蓋は取り外されていた。この LDV システムは無人計測が可能で、ひとたび計測を始めればソフトウェアが自動的に実験を進行してくれるものであった。回流水槽ならではの便利さである。LDV は PIV に比べ計測時間こそかかるものの、計測精度や解析の容易さの面で優れており、PIV とともに補完的に使用されていた。

残念ながら PIV 装置は稼働してはいなかったが、装置の現物を見ながら説明を受けた(写真3)。このステレオ PIV システムの特徴は、2 台の CCD カメラとレーザー光を反射させる鏡それぞれがモジュール構造(図1)になっており、実験の内容に応じていくつかの配置を選択できるというものである。もちろんカメラを1台にすれば2次元 PIV のシステムにもなる。この魚雷型をしたシステムは、曳航水槽に持っていけば回流水槽の場合と同様に使用することができるが、曳航水槽では航走毎に水面の波が収まるのを待たなければならず計測の効率が悪い。また、水槽水へのトレーサー粒子の混入も技術的に容易ではなく、曳航水槽ではほとんど使用されていないようである。

しかし、いずれにしる LDV も PIV も非常に強力な流場計測ツールであり、これまで目にする事ができなかった微細な現象も捉えることができる。現在進行中の実験結果を見せて頂いたが、実際に驚きを隠せないほど詳細な流場情報が得られており、これらは近い将来、流場計測技術の主流になるであろうと確信した次第である。

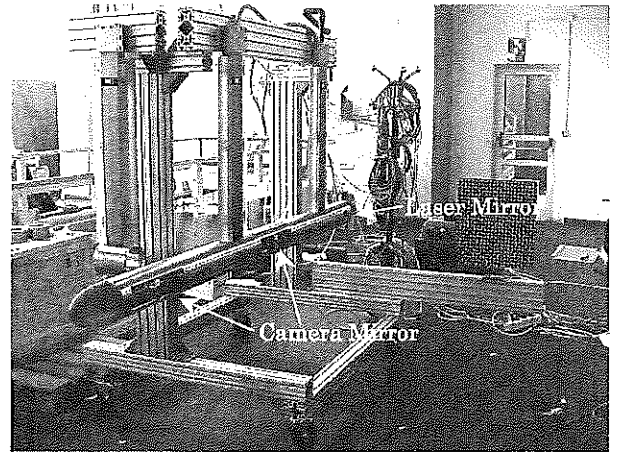


写真3 ステレオ PIV

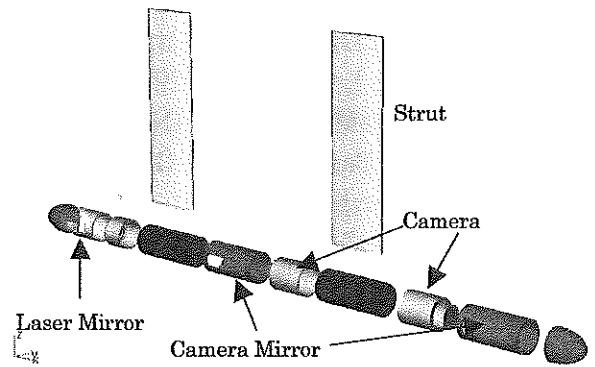


図1 ステレオ PIV プロブ

また、私が訪れた減圧回流水槽の研究チームは国内から数名の大学生を受け入れており、実験や解析を担当していた。もちろん実験を手伝ってもらうだけでなく、研究者が学生の研究指導を行う。学生とはいえ実際に仕事の一部を任されるためか、生き生きと責任感を持って活動している姿が印象的であった。

4. IIHR

IIHR は、建物の目の前をアイオワ川が流れ(写真4)、水力学の研究所であることを強く印象づける立地にあるが、アメリカ合衆国の中央部、海とは全く縁のないアイオワ州東部に位置する。研究所周辺は広くアイオワ大学の敷地であり、大学の中にアイオワシティという街が形成されていると感じられるほど広大である。また、この街は全米でも屈指の教育水準の高さと治安の良さを誇っているそうである。確かに、暗くなってからも一人でジョギングしている女子学生を見かけることがあった。大学の建物はゆとりを持って配置されており、あまりに広いため構内を走る無料バスがあり、これが夜遅くまで走っている。そして、学生寮や体育館、スタジアム



写真4 IIHRの建物とアイオワ川

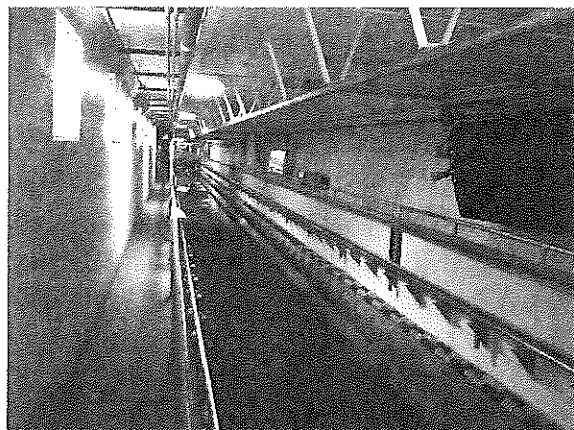


写真5 曳航水槽

にいたるまでうらやましいほど立派な施設が整備されていた。アイオワシティ周辺には娯楽施設はほとんど無く、勉学に集中するには最適な環境である。週末に車で3時間あまりかけてシカゴへ行くことが学生の楽しみの一つなのだそうである。

さて、IIHRの曳航水槽(写真5)は長さ100m、幅と深さが3.3mであり、比較的小さな水槽である。しかしここは、これまでに素晴らしい実験結果を数多く発表してきており、世界的にも有力な流体力学系の研究所であることに違いはない。ここでは水槽試験のスペシャリストであるDr. Longoから、最近開発したステレオPIV(写真6)のシステムについて説明を受けた。10年ほど前までは2次元LDV、数年前までは2次元PIVを使っていたとのことであるが、今は完全にステレオPIVに移行したとのことである。その理由はやはり計測に要する膨大な時間である。LDVでは数ヶ月かかるものがPIVでは数日で取得できるとあれば、容易に納得できる。小さな曳航水槽では計測の効率を高めることは至上命題なのであろう。

現在、IIHRの曳航水槽で行う実験は、平水中試験から直進向い波中、直進横揺れ、操縦運動へと範囲を拡大している。このステレオPIVシステムも操縦性試験にも対応できるような構造になっているのだが、その機構は非常に複雑であった。私が訪問した時はちょうど実験の準備期間中で、Dr. Longoが水槽にこもりっきりで、曳引車に取付ける前の機器のセッティングを行っていた。

曳航水槽は回流水槽と違い、PIVに必要なトレーサー粒子は曳引車の航走毎にまかななければならない。ここでは補助台車を用いて、航走直前に水槽の全長にわたり粒子を混入させる手法を取っていた。INSEANの曳航水槽の様に大きな水槽ではこのよ

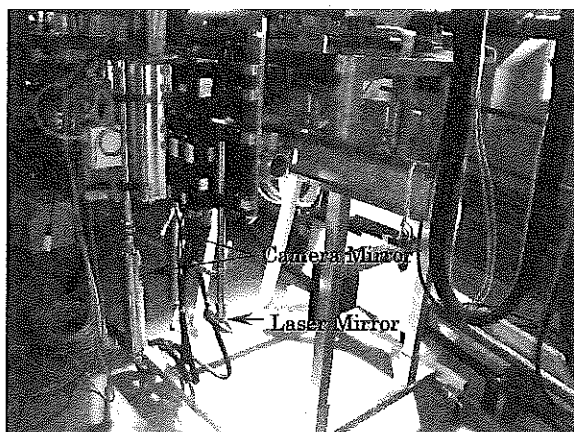


写真6 ステレオPIV

うなことも難しいのかもしれないが、ここでは水槽が小さいことのメリットが活かされていた。

IIHRで実施される水槽試験のデータはほとんど全てCFDの検証用として利用されるそうである。最近はこのようなCFD検証データの取得を目的とした実験が増えてきており、海上技術安全研究所の水槽でもPIVやLDVの導入が不可欠であると考えている。

ところで、CFDの検証データとして利用するには不確かさ解析が行われていることが望ましい。比較的精度が劣るPIVの不確かさ解析についてどのように実施しているか尋ねてみたがその答えは、「不確かさ解析はかなり多くの時間を要するので新しい種類の実験を行う時だけ実施している。確かに精度はLDVなどと比べて劣るが、得られるデータは詳細に事実を見せてくれる。精度ばかりに囚われてはいけない、大切なのはattitudeだ。」ということであった。精度のことは割り切って考えなさいということなのだろう。「attitude」という言葉に何か深い意味がありそうだったが、それを理解することはできなかった。

5. おわりに

今回の派遣の主目的である同時多点計測技術，特に PIV の技術調査により，これを当研究所の水槽で応用するための情報を得ることができた。PIV を用いた計測結果は非常に精緻である。従来の，例えばピトー管を用いるような接触型流場計測法では到底得られない膨大な情報を，極めて短時間に取得できる。このような流場計測ツールは世界的に見ても発展と拡大の様相を呈しており，この分野で高い技術を有する研究者と今後も協力関係を保つことを約

束できたことはすばらしい成果であった。流場の可視化は，未知の流体现象の解明や船舶の性能改善に役立てることができ，さらに近年発展めざましい CFD の検証データとしても有用である。今回の派遣で得られた情報および人脈を利用し，当研究所においても PIV のシステムを構築することができれば，今後の実験的および数値的研究の進展に大きく寄与すると期待できる。

最後にこのような機会を与えていただいた日本財団と日本船舶海洋工学会の関係者の皆様に深く感謝いたします。



久米 健一 (くめ けんいち)
(独)海上技術安全研究所
研究員
船舶流体力学
kume@nmri.go.jp

2005 年度若手研究者・技術者海外派遣

派遣者氏名	久米健一
派遣者所属	独立行政法人海上技術安全研究所
調査テーマ	回流水槽および曳航水槽における同時多点計測技術の調査
訪問国	イタリアおよびアメリカ合衆国
派遣期間	2005 年 9 月 26 日 ~ 10 月 7 日
紹介者	
1.Dr.Andrea Di Mascio	The Italian Ship Model Basin
2.Prof.Frederic Stern	Iowa Institute of Hydraulic Research
訪問先面談者 所属	
a Dr.Guido Calcagno	The Italian Ship Model Basin
b Dr.Mario Felli	The Italian Ship Model Basin
c Dr.Fabio DiFelice	The Italian Ship Model Basin
d Dr.Joe Longo	Iowa Institute of Hydraulic Research
調査内容(1)	PIV (Particle Image Velocimetry) 計測技術の調査
曳航水槽および減圧回流水槽を見学し、曳航水槽では PMM (Planer Motion Mechanism) 試験と船尾波形計測試験を見学した。PIV (Particle Image Velocimetry) 計測機器の構成や使用方法、回流水槽や曳航水槽での使用における長所短所について情報を得ることができた。PIV による計測結果の精度は計測機器の精度にももちろん影響されるが、それを扱う実験者の技量にも大きく左右され、実験技術の訓練が必要との見識を得た。	
調査内容(2)	減圧回流水槽で LDV (Laser Doppler Velocimetry) を用いた潜水艦周りの流場計測技術の調査
減圧回流水槽において LDV による連続的なデータ取得を自動で行っており、効率的に短時間で実験を完了できるシステムであった。また、LDV を使ったこれまでの研究成果について紹介して頂き、議論を行った。	
調査内容(3)	不確かさ解析について議論。
PIV で得られたデータの不確かさは最大 10% 程度もあり、精度の面では発展途上にあるが、それを割り引いたとしても、これまで捉えきれなかった現象を見ることができる強力な流場可視化ツールであるとのことや、PIV を使った最新の成果を紹介して頂き、議論を行った。	
調査内容(4)	大学における PIV 計測技術の調査
大学の研究所における流体力学関連の実験施設を訪問し、教育に使用する多数の小規模施設を視察した。基礎的な流体现象を主な研究対象にしている。曳航水槽で用いる流場計測装置は 10 年前の LDV に始まり 2 次元 PIV、3 次元 PIV へと発展してきており、計測対象も船舶の直進状態から波浪中、操縦運動中へと拡大している。3 次元 PIV 装置は PMM 試験にも対応できる仕様で設計していることが分かった。	

特記事項

今回の派遣の主目的である同時多点計測技術、特に PIV (Particle Image Velocimetry) の技術調査により、このような強力な流場計測ツールを当研究所の水槽で応用するための情報を得ることが

できた。PIV を用いた計測結果は非常に精緻である。従来の、例えばピトー管を用いるような接触型流場計測法では到底得られない膨大な情報を、PIV ではきわめて短時間に取得できる。また計測時間は長くなるが PIV に比べ精度の面で勝る LDV (Laser Doppler Velocimetry) も補完的に使用されている。このような流場計測ツールは世界的に見ても発展と拡大の様相を呈しており、この分野で高い技術を有する研究者と今後も協力関係を保つことを約束できたことはすばらしい成果であった。

流場の可視化は、未知の流体现象の解明や船舶の性能改善に役立てることができ、さらに近年発展めざましい CFD (Computer Fluid Dynamics) の検証データとしても有用である。今回の派遣で得られた情報および人脈を利用し、当研究所においても PIV システムを構築することができれば、今後の実験的および数値的研究の進展に大きく寄与すると期待できる。