

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	NGUYEN DUY THIEN (ぐえん どうい ていえん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 702 号
○授与年月日	2010 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	<b>Proper Orthogonal Decomposition based Measurement Model for Engineering Flows</b> (直交関数展開に基づく流れの測定モデルの開発とその検証)
○審査委員	(主査) 里深 好文 (立命館大学工学部教授) 吉岡 修哉 (立命館大学工学部准教授) WELLS, John C. (立命館大学工学部准教授) 宮本 仁志 (神戸大学大学院工学研究科准教授)

### <論文の内容の要旨>

本研究では、複雑な乱流場を推測するための「測定モデル」を開発する。河川流の「nowcasting (短期予測)」はその応用例のひとつとして期待できる。nowcasting は最新の気象・海象の計測データを用いて、大気や海洋の現状を詳細に推定する技術である。河口部を対象とする同様のシステムが近年開発されつつあり、今後、河口および河川における細かな流れ場や水位変動、および浮遊砂、溶存酸素、バクテリア濃度などをリアルタイムに推定できるシステムの発展が期待される。

nowcasting は「物理モデル」に基づいて、対象システムの変化を時間的に追跡する。そのため、入手される測定データと物理モデル中の変数との関係を表す「測定モデル」(あるいは「推定モデル」)が必要である。本研究で開発する測定モデルの対象は流れ場であり、proper orthogonal decomposition (POD)解析に基づいている。POD はフーリエ展開に似た直交関数展開であり、測定モデルは測定データによって流れ場の POD 級数を予測する。測定モデルを評価するためテストケースとして、逆流を含む複雑流れである開水路バックステップ流れを採用し、その水路実験および Large Eddy Simulation を行った。今回適用した測定モデルは Principal Component Regression (PCR)-POD および Kernel Ridge Regression (KRR)-POD であり、測定データとしては水路床上のせん断力分布および表面流速分布を用いている。実験ではステレオ可視化法の一つである StereoPIV を用いて、流

速の三成分を 15Hz で測定した。また、水路床における速度勾配の二成分を同時に計るために新しい画像処理法を開発した。

まず、今回採用した(PCR)-POD および(KRR)-POD と、過去に提案された推定法である linear stochastic estimation, (LSE)-POD および quadratic stochastic estimation, (QSE)-POD との比較検討を行った。さらに、過去や未来の計測情報を活用する多時刻測定モデルを提案し、検証した。その結果、多時刻測定モデルは瞬間的なモデルと比べて、良好に推定できることがわかった。最後に、バックステップのシミュレーションデータから自由表面における流速分布を抽出し、上記の測定モデルに入力したところ、水面下の 3 次元流速場が満足できる精度で推定できることがわかった。この表面流速データに基づく流れ場の推定法は、河川や河口部における nowcasting に活用できると思われる。

#### <論文審査の結果の要旨>

本研究は、河川流の短期予測手法を確立するための基盤となる研究を実施したものである。開水路バックステップ流れを対象として、新たな PIV 手法の拡張、固有直交関数展開(POD)を基軸にした PCR-POD, KRR-POD といった流れの測定モデルを提案するなど、流れの計測・解析技術に関していろいろな検討を丁寧に行っていることは評価に値する。複雑でダイナミックレンジの大きな流体现象を含む水環境を詳細に計測することは困難である一方、水中でおこる緒現象を予測するためには詳細な速度分布の把握が必要不可欠である。本研究は、河床近傍の速度勾配と流れの表層部の速度分布から水域全体の速度分布を予測する手法を提案し、その妥当性を検証しており、今後のスケールアップによって、大規模な自然環境の予測に寄与できると考えられる。

非定常性が卓越する実河川流への応用にはまだ検討課題が残されているものの、河川における流れの内部構造の把握とその短期予測を実現する上で、本研究は貴重な成果を提案している。これより判断して、本学位申請論文は学位授与に十分な内容であるといえる。

本論文の審査に関して、2010年10月28日(木)16時30分~18時00分防災システムリサーチセンター2階第1会議室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 NGUYEN DUY THIEN に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、「壁面速度勾配の求め方についてより詳しい説明を」、「速度計測手法のノイズへどのように対応しているか」、「河川流を nowcasting する場合、POD モードはどの程度まで必要か」、「低次の POD モードのみを用いた場合、レイノルズ応力などの乱流統計量の再現性はよいのか」、「非定常性の強い流れに対して nowcasting は適用可能か」などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することを適当と判断する。