



ローカルリモートセンシング技術を用いた河川流の計測と解析に関する方法論的研究

椿, 涼太

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2006-03-25

(Date of Publication)

2007-02-19

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3544

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003544>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 2 9 5 】

氏 名・(本 籍)	椿 涼太	(兵庫 県)
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	
学 位 記 番 号	博い第393号	
学位授与の 要 件	学位規則第 5 条第 1 項該当	
学位授与の 日 付	平成18年3月25日	

【 学位論文題目 】

ローカルリモートセンシング技術を用いた河川流の計測と解析に関する
方法論的研究

審 査 委 員

主 査	教 授	藤 田 一 郎
	教 授	中 山 昭 彦
	教 授	朝 倉 康 夫

本論文は、氾濫被害の予測と管理におけるリモートセンシング技術の導入とその活用方法の研究を行ったものである。

日本のみならず、世界各地で水害は発生しており、その被害は低減するどころか増加の兆しを見せている。これは、国内に限れば都市化による経済的被害の集中化と流出変化などが原因であり、世界各地ではこれらの要因に加えて経済状況による河川整備の不備や気候の変化など地域によって状況は異なり、また年ごとのばらつきは大きいものの総合的に水害による被害は増えつつあることを、様々なデータは示している。

これらの被害の発生を可能な限り抑制することを願うのは、人類共通の大きな課題であり、これまでも様々な対策がなされてきたが、未だに十分な被害抑制が実現されているとはいえないのは、前述のとおりである。ところで、被害抑制策はアプローチの違いにより、ハード対策とソフト対策に分類することができ、特に、今日ではソフト対策の重要性が広く認識されつつある。ハード対策が、いわば物理的に被害を押さえ込もうとするものであるのに対して、ソフト対策は究極的には人の行動の最適化によって実質的な被害抑制を狙うという点で大きく異なっている。後者を言い換えると判断と行動に根ざした対策法と言えるが、その判断の基準となるのは情報であり、その情報の質と量をどのように確保するかというのが、ソフト対策においては何よりも重要である。

近年、情報技術の発展などを背景に、様々な計測技術は発展・普及しつつあり、それらの成果を氾濫被害の予測と管理への応用することにより、従来では様々な点から困難であった情報の取得が可能となりつつあり、この応用を進めることによりソフト対策の充実と、これによる被害の抑制が大いに期待されている。河川や洪水に関しての計測は、ある地点での水位や雨量などの一点での局所的な情報と、人工衛星などの非常に広い範囲を対象とした数10mから数kmオーダーの分解能をもつ分布情報の二つが広く利用されてきたが、これに加えて、レーダー観測やレーザー計測などの情報技術の発展によって、限られた領域ではあるが、より数cmから数10mといった高い分解能の情報も、例えば気象観測、地形計測、画像計測などの分野で可能となりつつある。本研究では、このような限られた領域を対象とした詳細な計測法（ローカルリモートセンシング）の導入と活用方法の研究を行うものである。

本論文の構成は以下のものである。

1章では、研究の背景と目的を述べる。

2章では、氾濫被害の発生状況とその予測や管理法について既往の研究結果や資料を整理して、本研究の位置付けを明らかにする。まず洪水被害の発生傾向を地域および時間変化に注目して確認し、次に洪水被害に関連する四つの過程における予測法および被害低減策の現状を調査する。続いて、被害状況および抑制対策に関する現状を踏まえて本論文で開発する、実河川の画像モニタリングシステムおよび、航空レーザー測量データの処理法の位置付けをのべ、これらが氾濫被害の予測・抑制に大きく貢献する点について論述する。

3章では、ローカルリモートセンシング技術の一つである実河川の画像モニタリングシステムの開発を行う。これは、洪水被害の予測と抑制において重要となる河川の流れや流量

を計測することができる計測法である。まず実河川モニタリングの概要を述べ、次に本章で開発する計測システムの構成についての検討を行う。続いて画像による流れの計測において重要

となる座標変換法、画像から流速を求める手順、流速データの処理方法についてそれぞれ説明したのちに開発された計測システムの精度検証を行い、最後に三ヶ所のモニタリングサイトでの観測例を示して本システムの有効性を確認する。

4章では、ローカルリモートセンシング技術の一つである航空レーザー測量 (LiDAR) の氾濫解析への応用方法を検討する。LiDAR計測は、都市域での浸水被害の予測に重要となる詳細な地形情報を効率的かつ高精度に取得できるという特徴をもっている。この計測によって、他の計測法では取得の難しい詳細な標高分布を得ることが出来るが、その特徴的かつ大量の情報を生かすためには、従来の手順・モデルの利用では不十分であり、LiDARデータを生かすモデル化を行うことが効率的かつ高精度な氾濫予測に有効である。本章ではそのためのLiDAR計測データの処理方法を開発する。まず、格子生成のための入力データとなる航空レーザー測量の原理と特徴を説明し、次に計測された高さ分布情報などから建物や植生といった地表面の分類を行う方法を述べる。続いて、この分類データを用いて氾濫計算を行う際に利用する非構造格子の生成に必要な情報を得るための方法を示した後に、具体的な非構造格子の生成手順を説明する。最後にまとめと残された課題を列挙する。

5章では、続く6章から9章において流れの評価に利用する浅水流非構造格子モデルを示す。まず基礎式および数値解法について説明し、次に既往の流れモデルを概観した後に、本モデルで用いた計算法を述べる。続いて、モデルの検証計算としてダムブレイク流れおよび常射流混在流の評価を行い、既往研究や実験結果との比較検討を通して本モデルの妥当性を確認する。

6章では、4章で述べた計算格子生成法および5章で述べた数値モデルを利用して、まずT市を対象としたテスト計算を行う。その計算結果と格子サイズや格子配置法との関連を調査することにより、適切な氾濫評価を行うための条件を確認する。続いて、豊岡市出石川を対象として具体的な氾濫被害の再現を試みる。実際の氾濫事例における被害状況と数値モデルにより評価された氾濫流による家屋への流体力とを比較することで、家屋被害と氾濫流との関連を確認する。

7章では、4章から6章までの成果を利用して新湊川の氾濫被害の検討を行う。まず、過去の二つの氾濫事例の評価を目的として家屋の密集する地形情報を取り入れた数値モデルを作成して被害の評価を行うとともに、実際の被害状況との比較により数値モデルの有効性を確認する。続いて新湊川の河道流れに注目して、その高水時の流れを数値的に再現する。対象とする河道区間には、二つの階段工（開水路側岸凹部）が設けられており、その周辺の流れについても検討を行う。

8章では、7章で確認された階段工（開水路側岸凹部流れ）周辺の変動現象に注目して、その変動機構の解明を行う。まず、凹部流れに関する水工学分野や圧力変動を対象とした既往研究により明らかとなっている知見を整理する。次に本章の開水路凹部流れの実験に用いるステレオ水面計測法の開発と検証を行う。続いて実験および計算結果の整理に用いるPOD (Proper Orthogonal Decomposition) の概要を説明する。その後、既往研究、ステレオ計測法およびPODを用いて、開水路凹部流れの実験を行い結果を整理する。さらに数値モデルによる検討も加えて、変動構造の解明と発生条件を確認し、最後に得られた成果をまとめる。

9章では、3章で述べた実河川モニタリングシステムの適用例として宇治川水制流れの検討を行う。現地河川における洪水時の流れパターンを分析するとともに、5章で述べた非構造浅水流モ

(氏名： 椿 涼太 P. 3/3)

デルおよび地上型LiDAR計測による地形情報を用いて宇治川水制流れを数値的に再現する。まず河道区間の詳細な地形情報を数値的に再現するために、地上型LiDAR計測およびADCP計測により得られたデータを整理する。次に流れの検討を行うケースを示し、それぞれのケースにおいて実施された計測法を示す。続いて計測値および計算値の結果をケース毎にまとめて、流れの変化を確認する。最後に、これらの計測および計算結果を総合的に検討し、内部流の構造と水位変化による流れ構造の変化を調べ、その変化にみられる関連性についての検討を行う。

最後に、10章では本研究で得られた成果をとりまとめ、結論とする。

(別紙1)

論文審査の結果の要旨

氏名	椿 涼太		
論文 題目	ローカルリモートセンシング技術を用いた河川流の計測と解析に関する 方法論的研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	藤田 一郎
	副査	教授	中山 昭彦
	副査	教授	朝倉 康夫
	副査		
	副査		
印			
要 旨			
<p>概要</p> <p>本論文は、洪水河川流を対象とした様々なスケールのリモートセンシング技術に基づく解析システムを開発し、それらを活用して河道内の洪水流あるいは洪水氾濫流の流動のメカニズムについて検討を行ったものである。対象としたのは実験水路規模のローカルスケール、河川幅規模のメソスケール、あるいは流域規模のマクロスケールの各現象であり、各々のスケールに適した計測システムおよび流れの解析システムを構築して実現象への適用を行っている。そして、流れの抵抗特性を含めた河道流特性あるいは氾濫流特性の検討から、洪水被害低減のための方策について得られた成果をまとめている。</p> <p>第1章では、本研究に関わる洪水氾濫解析等の必要性について社会的な背景をまじえながら詳述するとともに、研究目的を示している。</p> <p>第2章では、氾濫被害の発生状況とその予測や管理法について既往の研究成果や資料を整理し、長期的な観点から氾濫被害は増大傾向にあることを示し、特にアジア地域において今後も甚大な被害の発生が懸念されることを示している。また、近年では集中豪雨による被害や都市域での被災が増大しつつある傾向を示し、前者に対しては短期予測が有効な対策であり、後者には詳細な地形情報を踏まえたモデル化が必要であることを示している。どちらにおいても精度の良いデータを取得して、これを適切に処理することが重要であり、リモートセンシング技術によるデータの取得とそのデータの氾濫予測への利用が、氾濫被害の予測・抑制に大きく貢献することを論じている。</p> <p>第3章では、メソスケールのリモセン技術の適用例として、実河川モニタリングシステムのための画像取得・転送・処理などの技術開発を行っている。本システムは藤田の開発したLSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)をベースとしているが、ここでは解析手順を整理するとともに、各解析段階でデータを視覚化しつつ解析を進めることが可能となるようにインターフェイスの改善を行っている。本章では、本システムで開発した技術および機能について説明した後、合成画像や撮影画像を用いた計測精度の検討結果を示し、その有効性と適用限界を明らかにしている。また、三つのモニタリングサイトでの観測例を示して、計測システムの有効性を確認している。二次元合成画像を用いた計測精度の検討では、オプティカルフロー法の導入による高精度化の効果が大きい。実河川画像や水路の表面流計測では高精度化の効果は小さくなることを明らかにし、三次元合成画像を用いた検討では、解像度・画像圧縮・撮影アングル・表面パターンの精度へ及ぼす影響の検討から解像度の影響が最も大きいことを示している。実河川の例として行った吉野川の観測では、流れの状況によっては表面パターンの移流速度が流れの移流速度とずれが生じる可能性があることを示している。これはFr数による流れ構造の変化に起因するものと考えられるが、観測時の流れの状況を把握して解析方法やデータ処理を最適化する必要があることを指摘している。</p> <p>第4章では、都市域での浸水被害の予測に重要となる詳細な地形情報を効率的かつ高精度に取得可能な航空レーザー測量(LiDAR)の氾濫解析への応用方法について検討を行っている。LiDARの実施により今までは得ることができなかった詳細な標高分布が取得可能であるため、氾濫解析方法もLiDARデータを生かすモデル化を行うことが効率的かつ高精度な氾濫予測に有効であるとの観点から、LiDAR計測データの有効な処理手法の開発を行っている。従来のLiDARデータ処理は地盤高さ分布を得ることを主眼としたものがほとんどであったが、ここではデータ処理を高度化することで領域を、a)建物、b)植生、c)地盤、d)水路の四つに区分している。この四つの領域では氾濫流れの挙動が大きく異なることから、適切に領域区分を行うことが高精度な予測を行うために重要である点を指</p>			

氏名

椿 涼太

摘している。ここではこの四つの領域区分に合わせた非構造の計算格子を自動生成するプログラムを開発し、詳細な地形情報を効率的かつ高精度に氾濫解析に導入することが可能となることを示している。

第5章では、続く6章から9章において流れの評価に利用する浅水流非構造格子モデルを示している。まず基礎式および数値解法について説明し、次に既往の流れモデルを概観した後に、本モデルで用いた計算法を述べ、続いて、モデルの検証計算としてダムブレイク流れおよび常射流混在流の評価を行い、既往研究や実験結果との比較検討を通して本モデルの妥当性を確認している。

第6章では、4章で述べた計算格子生成法および5章で述べた数値モデルを利用して、まずT市を対象としたテスト計算を行い、その計算結果と格子サイズや格子配置法との関連を調査することにより、適切な氾濫評価を行うための条件を確認している。続いて、豊岡市出石川を対象として具体的な氾濫被害の再現を試み、実際の氾濫事例における被害状況と数値モデルにより評価された氾濫流による家屋への流体力を比較することで、家屋被害と氾濫流との関連を確認している。

第7章では、4章から6章までの成果を利用して新湊川の氾濫被害の検討を行っている。まず、過去の二つの氾濫事例の評価を目的として家屋の密集する地形情報を取り入れた数値モデルを作成して、被害の評価を行うとともに、実際の被害状況との比較により数値モデルの有効性を確認している。続いて新湊川の河道流れに注目して、その高水時の流れを数値的に再現することに成功している。対象とする河道区間には、二つの階段工（開水路側岸凹部）が設けられており、その周辺の流れについても検討を行っている。

第8章では、7章で確認された階段工（開水路側岸凹部流れ）周辺の変動現象に注目して、その変動機構の解明を試みている。まず、凹部流れに関する水工学分野や圧力変動を対象とした既往研究により明らかとなっている知見を整理した後、本章の開水路凹部流れの実験に用いるステレオ水面計測法の開発と検証を行っている。続いて実験および計算結果の整理に用いるPOD (Proper Orthogonal Decomposition) の概要を説明し、その後、既往研究、ステレオ計測法およびPODを用いて、開水路凹部流れの実験を行い、結果を整理している。さらに数値モデルによる検討も加えて、変動構造の解明と発生条件を確認し、最後に得られた成果をまとめている。

第9章では、3章で述べた実河川モニタリングシステムの適用例として宇治川に設置された水制周辺の流れの検討を行っている。現地河川における洪水時の流れパターンを分析するとともに、5章で述べた非構造浅水流モデルおよび地上型LiDAR計測による地形情報を用いて宇治川水制流れを数値的に再現している。まず河道区間の詳細な地形情報を数値的に再現するために、地上型LiDAR計測およびADCP計測により得られたデータを整理し、次に流れの検討を行うケースを示し、それぞれのケースにおいて実施された計測法を示している。続いて計測値および計算値の結果をケース毎にまとめて、流れの変化について確認し、最後に、これらの計測および計算結果を総合的に検討して、内部流の構造と水位変化による流れ構造の変化を調べ、その変化にみられる関連性についての検討を行っている。

第10章では本研究で得られた重要な結果をとりまとめ結論を述べている。

以上のように、本論文は、実験室レベルから実流域におよぶ広範なスケールの河川流現象を対象として、各々のスケールに応じた計測手法の開発や解析プログラムの構築を行い、それらの有用性を明らかにするとともに、得られた解析結果をもとにして洪水流の被害低減に関する研究を行ったものである。特に、本論文で示された実河川計測の手法やLiDAR計測結果の自動解析処理手法は、新規性の非常に高いもので、工学的な応用面で今後の発展が期待できる有用な手法であり、得られた知見も今後の河川計画の高度化をはかる上で重要なものと認識される。

よって、学位申請者の椿涼太は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。