

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	Studies on the Detection of Flooded Areas and on the Evaluation of Vulnerability of Flood Disaster Using Satellite Images (衛星データを用いた洪水被害域の抽出および洪水脆弱性評価法に関する研究)
氏 名	A. Besse Rimba
Summary of the Contents of the Doctoral Dissertation	
<p>Flood are the third most damaging natural hazard globally. The vulnerability of human and financial capital across the globe to flood impacts are increasing. Because of changing demographics, rapid change in land use patterns and economic activities have severe damage in floodplains. Then, frequent occurrences of extreme precipitation are witnessed around the world due to anthropogenic climate change further increasing the magnitude of flood risk. In recent years, due to an increasing number in the frequency and intensity of extreme meteorological events potentially related to climate change, growing attention has been paid to emergency response and relief measures. Approximately 50% of total population in Japan and 75% of its assets are located in flood vulnerable areas. Since 2004, the number of flood in Japan have increased e.g. in recent year (3rd July 2006 in Kumamoto; 11-17 July 2007 in Kagoshima, Miyazaki, Kumamoto; 30th August 2008 in Aichi Prefecture and around Chubu region; 10th September 2015 in Ibaraki Prefecture and around Kanto region</p> <p>Remote Sensing and Geography Information System (GIS) are very helpful and effective tools in disaster management. Remote sensing and GIS can be applied in all phases of disaster management; disaster prevention, disaster preparedness, disaster relief, disaster rehabilitation and reconstruction. The remote sensing technology extracts the information from the satellite and GIS integrated the remote sensing data and others spatial data.</p> <p>Remote sensing has two kinds of sensor, namely, a passive sensor (e.g., ALOS AVNIR-2) and an active sensor (e.g., ALOS PALSAR, ALOS-2 PALSAR-2). Passive sensors contain different types of spectrometers and radiometers. This sensor needs other source energy to record the information, such as solar energy. The active sensor is operating in the electromagnetic spectrum of the microwave fraction. Hence, the active sensor is possible to penetrate the atmosphere under most conditions weather. This research utilized these data to conduct the flood analysis in Japan.</p>	

The aims of this research are to reduce the impact of flood by detecting the flood vulnerable area. This research utilized the SAR images (i.e., ALOS PALSAR, ALOS-2 PALSAR-2) because SAR sensor could penetrate the water vapor during the heavy rain. Nevertheless, its limitation, i.e. speckle, appears on the image as salt-and-pepper. Hence, this study introduced a new the method to reduce the speckle noise on ALOS/PALSAR and ALOS-2 PALSAR-2 image and evaluated the best method to extract the flood from ALOS-2 PALSAR-2 images.

This study divided into 6 chapters. Chapter 1 and 2 explained about the background, problems, purposes, study area and supporting literature, data, and tools. Chapter 3-5 explained the proposed ideas and methods to solve the flood.

Chapter 3 describes the method to estimate the flood vulnerability area by utilizing the rainfall, drainage density, slope, soil and land cover data. Two methods were conducted to estimate the flood vulnerability. The first method estimated the flood vulnerability by simple superimposed GIS method in Kumamoto City; and the second method integrated the Remote Sensing images, GIS and Analytical Hierarchy Process (AHP). By utilized the AHP process, the pair-wise parameters of flood were weighted: the research location was in Okazaki City.

Chapter 4 describes the best filter to reduce the speckle noise. During the flood periods, Synthetic Aperture Radar (SAR) is the best image satellite to derive information in the disaster area because SAR image can acquire the information in all weathers condition and can record the earth in day or night. Nevertheless, SAR image has speckle noise that appears as salts and peppers on the surface of the SAR image. Substantively, this speckle noise has information. Removing the speckle by filtering is a common technique to acquire the clear image. The user can adjust the kernel size of the filter; small kernel size produces an unclear image, but pixel value does not broadly change, big kernel size produces the clear image from speckle noise but over smoothed image that means some information disappeared. Hence, this chapter proposed a new method to remove the speckle without broadly loss information in ALOS PALSAR and ALOS-2 PALSAR-2 images.

Chapter 5 describes the evaluation three methods (i.e., unsupervised classification, supervised classification and binarization) to extract flood area by using ALOS-2/PALSAR-2 image as a rapid response to flood disaster. The overestimate area due to the shadowing effect of SAR image was reduced by using DEM data. However, the limitation of SAR image (i.e., double bounce) can be solved in this study. The study area was in Joso City Ibaraki Prefecture.

The advantages of this research are

- 1. Predicted the flood vulnerable area by integrating the remote sensing technology, GIS method and AHP procedure. This method has a good accuracy, low cost, and it can be applied in other area even though different characteristic with the study area.**
- 2. The effective filter was introduced to make easier the flooded area extraction. The advantages of the proposed filter (i.e., double filter) are reduce the speckle, enhanced the edge and detail object. Furthermore, the double filter increased the visual performance of the image.**
- 3. The accurate flood extracted method was evaluated (i.e., binarization). The accuracy of this method was 94% by Kappa coefficient.**

概要

洪水は、世界で損害を与えている自然災害の 3 番目である。洪水の影響に対する人間と資産の脆弱性が増加している。人口の変化のため、急速な土地開発、経済活動は洪水氾濫区域における深刻な損害を与える。そして、人為的な気候変動により世界中で過度な降水の頻繁な発生が見られ、洪水のリスクが増加している。近年、気候変動に関する極端な気象事象の回数と強度が増加することにより、必要な配慮は、緊急に対する応答と評価に費用がかかる。日本の全人口約 50%とその資産の 75%は、洪水氾濫区域にある。2004 年から、日本における洪水発生件数は近年増えている。(熊本県 2006 年 7 月 3 日、鹿児島県・宮崎県・熊本県 2007 年 7 月 11 日、愛知県と中部エリア周辺 2008 年 8 月 30 日、茨城県と関東エリア周辺 2015 年 9 月 10 日) 上記の大量の降水量は、局所洪水と大損害の原因となり、重大な経済的な損失につながる。

リモートセンシングと地理情報システム(GIS)は災害管理に非常に有益で効果的なツールである。リモートセンシングと GIS は、災害管理の全フェーズに応用できる。リモートセンシング技術は衛星とリモートセンシングデータとその他の空間データを統合した GIS から情報を取得する。リモートセンシングは、2 種類のセンサがあり、一つは受動センサ(ALOS AVNIR-2)、もう一つは能動センサ(ALOS PALSAR, ALOS-2 PALSAR-2)である。受動センサは分光計と放射計の異なるタイプが含まれている。このセンサは情報を記録するために、太陽光のようなエネルギー源が必要である。能動センサはマイクロ波領域の電磁スペクトルで、動作される。したがって、能動センサは湿気の多い状態での大気を貫通することができる。本研究は、日本の洪水分析を実施するためにそれらのデータを利用した。

本研究の目的は洪水氾濫区域を検出することにより、洪水の影響を低減することである。本研究では、SAR センサは大雨の中の水蒸気を貫通できるので、SAR イメージ(ALOS PALSAR, ALOS-2 PALSAR-2)を利用した。それにも関わらず、霜降りとしてイメージに小さな斑点のようなその制限がある。したがって、本研究では、ALOS/PALSAR と ALOS-2 PALSAR-2 イメージにおけるスペックルノイズを低減するための新しい方法を紹介し、ALOS-2 PALSAR-2 イメージから洪水エリアの情報を取得する最善の方法を評価した。

本論文は、6 つの章で構成されており、1 章、2 章では、研究背景、課題と目的、研究範囲と先行文献について説明する。3~5 章では、洪水を解決するための提案構想と方法について述べる。6 章では、本研究の結論を示す。

第 3 章では、降水量、排水密度、傾斜、土壌と土地カバーデータを利用することで、洪水の脆弱範囲を推定する方法を示す。二つの方法では、洪水の脆弱性が推定される。一つ目は、熊本市において二重焼き付けした GIS 方法を簡易化することによって洪水脆弱性を推定しました。二つ目は、リモートセンシングと GIS、階層分析法(AHP)を統合した方法である。AHP を使うことで、洪水のペアワイズパラメータが重み付けされる。対象場所は岡崎市とした。

第 4 章では、スペックルノイズを低減する最善のフィルタについて説明する。本質的には、このスペックルノイズは情報を持っている。フィルタによってスペックルノイズを除去することはくっきり

としたイメージを取得するための一般的な方法である。使用者はフィルタのカーネルサイズを調整することができる。これは、小さなカーネルサイズはくっきりとしないイメージを作り出すが、画素数は概して変化しない。大きなカーネルサイズはスペックルノイズからくっきりとしたイメージを作り出せるが、いくつかの情報がきえた過剰な平滑化したイメージとなる。以上のことから、本章では、ALOS PALSAR と ALOS-2 PALSAR-2 イメージにおいて、大方の情報を失うことなくスペックルノイズを除去する新しい方法を提案した。

第 5 章では、洪水災害に対する急速応答として、ALOS-2 PALSAR-2 イメージを使うことで、洪水エリアを取得する 3 つの方法(教師なし分類、教師あり分類、二値化)について評価した。SAR イメージの悪影響による過大な見積もりエリアは DEM データを使うことで、減少させられた。しかしながら、この手法では SAR イメージの制限(二重反復)は解決できない。この研究範囲は、茨城県常総市とした。

本研究の利点は

1. リモートセンシング技術と GIS 手法、AHP を統合することで、洪水の脆弱なエリアを予測。この方法は、非常に確度が高く、低コストで、その研究範囲と異なる特性であっても他のエリアに応用できる。
2. 効果的なフィルタは洪水エリアを簡単に取得する方法を紹介した。提案するフィルタの利点は、スペックルノイズの低減、エッジと詳細な対象を強める。さらに、二重フィルタはイメージの視覚特性を向上させた。
3. 正確な洪水エリア取得方法(二値化)を評価した。この方法の確度は κ 係数 94% となった。この方法では、時間を処理、データに制限がある場合でも実行可能である。

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 713 号	氏名	Andi Besse Rimba
最終試験担当者	主査委員 清水 則一 審査委員 羽田野 袈裟義 審査委員 中村 秀明 審査委員 朝位 孝二 審査委員 長井 正彦 審査委員 三浦 房紀		
【論文題目】 Studies on the Evaluation of Vulnerability of Flood Disaster and on the Detection of Flooded Areas Using Satellite Images (衛星データを用いた洪水脆弱性評価および洪水被害域の抽出に関する研究)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】 本研究は、最近多発している洪水による災害を低減するために、衛星リモートセンシングを用いて、洪水に対する地域の脆弱性に関する評価手法を検討し、さらに洪水発生域の抽出法について研究を行ったものである。衛星データの2種類の特長を活かして、脆弱性評価には光学センサーの衛星データを、洪水発生域の抽出には合成開口レーダ(SAR)による衛星データを用いている。 本論文は6章から構成されており、1章では研究背景、課題と目的、第2章では使用データ、解析手法、研究対象範囲について述べている。 3章では、光学センサーによるデータを用いて、洪水に対する地域の脆弱性に関する評価手法を検討している。具体的には、降水量、排水密度、土地の傾斜、土壌と土地被覆データをパラメータとして、洪水発生に対する脆弱な地域を推定する方法を示している。ここでは二つの方法を用いて洪水に対する脆弱性を検討している。一つ目は、上記パラメータを同じ重み付けでGIS上に重ね合わせて評価する方法であり(Simple Superimposed Method)、実際に最近洪水被害を受けた熊本市と岡崎市を対象に洪水脆弱性を検討した。二つ目は、GISと階層分析法 (Analytical Hierarchy Process: AHP)を組み合わせた方法である。AHPでは一対比較によって上記パラメータの重みが決定される。この重みに基づいてGIS上に上記パラメータを重ね合わせることによって洪水脆弱性が評価される。対象場所は岡崎市とし、両手法を用いてその精度を比較検討し、AHP手法の方が精度が高いことを定量的に示している。 4章では、SARデータにはスペックルノイズが必然的に現れることから、ここでは、このスペックルノイズを低減するための新しい方法を考案し、SAR画像から洪水領域の情報を取得するための最善のフィルタ処理方法を提案した。すなわち、小さなカーネルサイズの異なるフィルタを2度使う方法、“二重フィルタ”を考案し、ALOS/PALSARとALOS-2/PALSAR-2を対象に、最適なフィルタ処理を検討した。その結果から、大切な情報を失うことなくスペックルノイズを除去する新しい方法を提案した。 5章では、洪水災害発生に対して、行政ができるだけ早く対応するための情報を提供することを目的に、ALOS-2/PALSAR-2画像を使うことで、洪水範囲を抽出する3つの方法、すなわち、教師なし分類、教師あり分類、二値化について検討した。SAR画像の本質的特性に起因する“シャドウイング”という現象による過大な水域見積もりに対してはデジタル標高データ (Digital Elevation Model: DEM) を使うことで、その影響を減少することを試みた。しかしながら、この手法だけではSAR画像の他の本質的特色に起因する“二重反射”の問題は必ずしも解決できず、建物の密集する市街地の洪水被害の評価にはさらなる工夫が必要であることを明らかにした。ここでは、茨城県常総市と愛知県岡崎市を対象とした。 6章では本研究の成果を取りまとめた。主な成果は以下のとおりである。			

1. リモートセンシング技術と GIS 手法、AHP を統合することで、洪水に対して脆弱な地域の予測手法を提案した。この方法は、確度が高く、低コストで、本研究で対象とした地域と異なる特性をもつ地域であっても適用できると考えられる。
2. “二重フィルタ”という新しい効果的なフィルタを提案した。提案した方法は、スペckルノイズの低減と明瞭なエッジと対象物の保存という、相反することを可能とするもので、画像の視認性を向上させることができた。
3. 教師なし分類、教師あり分類、二値化手法を用いて実際発生した洪水領域を評価した結果、二値化手法が最も良い結果であった。この方法では、処理時間、データに制約がある場合でも適用可能である。

公聴会には 35 名の参加があった。公聴会での主な質問は、①本研究における脆弱性の定義と、その評価方法、評価パラメータの妥当性、②脆弱性に人間の社会活動、経済活動をどのように考えるか、③ケーススタディとして一か所に対して一度の降雨を用いているが、他の降雨に対しても評価する必要性に関して、④二重フィルタの独創的な点とその有効性、⑤本研究によって得られた洪水浸水域と実際の浸水域の差の理由とその評価、⑥解析に要する時間と災害対応上の有効性、であり、1 時間に及ぶ活発な質疑応答が行われ、いずれの質問に対しても発表者からは適切な回答が行われた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する回答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである（関連論文 2 編、参考論文 3 編）。

【関連論文】

- ①A. B. Rimba, F. Miura: Evaluating the Extraction Approaches of Flood Extended Area by Using ALOS-2/PALSAR-2 Images as a Rapid Response to Flood Disaster, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol.5, No.1pp 44-61, January 2017.
- ②A. B. Rimba, F. Miura: Predicting Flood-vulnerability of Areas Using Satellite Remote-sensing Images in Kumamoto City, Japan, *Geospatial Technology for Water Resource Applications*, pp.115-129, July 2016.

【参考論文】

- ①A. B. Rimba, M. D. Setiawati, A. B. Sambah and F. Miura, Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan, *Urban Science*, Vol.1/Issue.1, No.7, pp. 1-22, January 2017.
- ②A. B. Rimba, F. Miura, M. D. Setiawati, A. B. Sambah and A. Rahman As-syakur: The effectivity of double filter to reduce the speckle and detect flood inundation area on ALOS/PALSAR image, *The 37th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2016)*, 17-21st October 2016, Colombo-Sri Lanka.
- ③A. B. Rimba, F. Miura and T. Kajitani: Extraction flood inundation by utilizing ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2 Images, *The 37th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2016)*, 17-21st October 2016, Colombo-Sri Lanka.