

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目

Advanced Geospatial-Based Risk Assessment of Water-Related Hazards Associated with SAR Interferometry Time Series of Land Deformation

氏 名

Ni Made Pertiwi Jaya

Water-related hazards have the implications for sustainable development, due to the social, economic, and environmental impacts they can cause, particularly in the urban coastal area. Evaluating the risk of the hazards is fundamental to maintain vulnerable regions. The improvement of risk assessments deals with the provision of adequate hazard-related information that can contribute to the risk reduction. Regarding this matter, there is a need to address existing challenges and prepare for future ones by focusing on risk assessment based on damage identification of related factors. In this study, the proposed risk assessment is comprehensively carried out through an advanced geospatial-based application. Considering the inter-correlation of land deformation with these types of hazards, this parameter is utilized to assess water-related hazard cases through time series analysis of SAR interferometry. In addition to providing a damage assessment, the analysis result is used as input for creating hazard-related risk maps in integration with several essentially related factors based on multi-criteria of AHP and GIS mapping.

The results of the Persistent Scatterer (PS) and Small Baseline Subset (SBAS) of time series interferometric SAR (InSAR) showed that both of the events have impacts in deformation on land. In the case of groundwater depression, the deformation analysis was performed in the area of Bali Island, Indonesia using 63 scenes of ALOS PALSAR for 2007 to 2010 analysis and 42 scenes of Sentinel 1A data for the analysis from 2014 to 2016. The deformation was obtained continuously during this period with the average of 36.83 mm/year. In particular for the land deformation due to groundwater depression, an evaluation using GNSS-CORS data was also performed which showed correlation with the InSAR analysis. The damage level of the groundwater environment can be considered from the presence or absence of the land deformation. Nevertheless, the factor has been neglected due to the insufficiency of the data. Moreover, an average deformation rate of 13.03 mm/year was estimated using five data sets of ALOS PALSAR before, during, and after the catastrophic earthquake and tsunami disaster in Chile in 2010.

Furthermore, the study concerns itself with the improvement of risk assessment through multi-criteria Analytical Hierarchy Process (AHP) analysis. Besides the land deformation, land cover information generated from satellite optical data was used for the mapping. The tsunami inundation zone mapping was conducted by involving damaged areas and coastal proximity information to classify high, medium, and low vulnerability zones. The tsunami-damaged areas were identified by processing the surface reflectance values between pre- and post-disaster images of the satellite optical and SAR data due to the 2010 Chile earthquake and tsunami. The DEM data was also employed to delineate areas according to the inundation height data. In this regards, local-based information collected from a participatory workshop called Disaster Imagination Game (DIG) was also utilized as a mapping input. Likewise, the map of the groundwater conservation was classified into protected, secure, vulnerable, and critical usage and groundwater depression information. The information was collected from institutional data and field observation. Fundamentally, the conservation zones of groundwater contain provisions related to the protection and utilization of the groundwater.

A corresponded map result compares with the available related map in the study area presented the potential use of the geospatial-based application for assessing water-related hazard risks. Moreover, taking the low operational cost and quick processing time of the technique, it is supposed to be a potential tool to assess local risk to support sustainable development in the area vulnerable with water-related hazards.

# 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 0767 号	氏名	Ni Made Pertiwi Jaya
最終試験担当者	主査	長井 止彦	
	審査委員	清水 則一	
	審査委員	朝位 孝二	
	審査委員	今井 剛	
	審査委員	鈴木 素之	
<b>【論文題目】</b>			
Advanced Geospatial-Based Risk Assessment of Water-Related Hazards Associated with SAR Interferometry Time Series of Land Deformation (水災害を対象とした SAR インターフェロメトリの時系列地盤変動によるリスク評価)			
<b>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</b>			
<p>本研究は、世界的に多発している水災害を対象とし、衛星リモートセンシング技術を用いて時系列に多量のデータを解析し、時系列地盤変位を活用し他の情報と総合してリスク評価を行ったものである。衛星リモートセンシングとして、合成開口レーダ (SAR) データと光学衛星データ利用した。SAR インターフェロメトリ技術に関しては、地盤の変位の計測精度を向上させるために、多数の干渉画像を組み合わせる PSInSAR (永続散乱体干渉手法) と SBAS (短基線長解析) による時系列解析を行った。インドネシア・バリ島の地下水の地下水保全とチリ・タルカワノの津波被害評価の 2 件をケーススタディとした。衛星データ解析の検証を実施した。検証は、電子基準点のデータや被害マップを参照して行った。</p> <p>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、2 章では既存研究について調査し、背景となる技術や本研究の有効性について示した。</p> <p>3 章では、本研究の手法について説明している。本研究で使用したデータ・機材・ソフトウェア、参照となる地上データ、研究対象地域に関する説明に加えて、詳細な衛星データの解析手法について示している。SAR データに関しては PSInSAR と SBAS の処理手法について、光学衛星データに関しては土地被覆分類手法について、GNSS (全地球航法衛星システム) による電子基準局データに関しては測位法について説明している。</p> <p>4 章では、インドネシア・バリ島の地下水保全マップを作成するため、地盤変位、土地被覆分類、地下水位、地下水使用量を AHP により分析した。地下水位の推定は、地下水位低下が地盤変位と比例すると仮定することにより、地盤変位から当該地の地下水位低下を推測した。地盤変位は SAR による時系列干渉解析によって求めた。この方法により、地表における計測によることなく島全体の地下水位の推定が可能となる。なお、SAR による時系列干渉解析では、2007 年から 2010 年までの ALOS の PALSAR データ 63 シーンと 2014 年から 2016 年までの Sentinel 1A の 42 シーンを用いた。以上の成果に基づき地下水保全マップを構築した。</p> <p>5 章では、2010 年のチリ地震における津波災害を事例として挙げ、災害前後の ALOS の PALSAR データを複数組み合わせ、平均地形変化率を示し津波浸水被害マップを構築した。被害地域と沿岸情報を組み合わせ、脆弱性を高、中、低に分類した。</p> <p>6 章では、本研究の成果をとりまとめた。主な成果は以下の通り。</p> <p>1) SAR インターフェロメトリ技術を用いて地盤変動を利用した災害のリスク評価手法を提案した。この方法は、広範囲を高頻度で観測することができ、多発している水災害に対し、広く適用できる。</p>			

- 2) インドネシア・バリ島の水環境リスク評価に(1)で提案した方法を適用し、地下水保全マップを構築した。既存の手法では、地上のデータ取得と解析に、多くの時間と労力を必要とするため、地下水保全マップの更新は困難であったが、本手法により、地上のデータを取得することなく地下水保全マップの更新を、広域かつ高頻度で実施することができる。
- 3) チリ地震における津波災害を事例とし、衛星リモートセンシングを利用して平均地形変化率を示し、津波浸水被害マップを構築した。今まで、浸水被害マップは、光学衛星データ解析や現地での調査で行われてきたが、本手法により、災害後に短時間での被害検知が可能となった。

公聴会には、33名の参加があった。公聴会での主な質問は、①SAR インターフェロメトリ解析に関して、PSInSAR と SBAS を併用した理由、②SAR インターフェロメトリにおいて、バリ島の水田や森林地域を観測した時の誤差、季節的な植生の影響、③地盤沈下の参照情報となる電子基準局データの解析手法や精度、④本研究によって得られた地下水保全マップの評価手法と精度、であり、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なされた。

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）の論文に十分に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 計2編、参考論文 計1編）

- 1) Ni Made Pertiwi Jaya, Nagai Masahiko, Gallardo Mauricio Reyes, Fusanori Miura; Improved Risk Assessment of Tsunami Inundation Based on Geospatial and Local Knowledge for Sustainable Development, International Journal of Sustainable Future for Human Security (J-Sustain), Vol. 6 No.1, 2018.
- 2) Ni Made Pertiwi Jaya, Fusanori Miura, A. Besse Rimba; Estimation of Damaged Areas due to the 2010 Chile Earthquake and Tsunami Using SAR Imagery of ALOS/PALSAR, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-8, Page 35-42, 2016.
- 3) Ni Made Pertiwi Jaya; Advanced Geospatial Application for Groundwater Conservation Mapping, GIS-Pro 2017: URISA's 55th Annual Conference Proceedings, Vol. 1, Page 873-878, 2018.