

氏名	こばやし ひろき 小林 央宜		
授与学位	博士(工学)		
学位記番号	理工博甲第672号		
学位授与年月日	平成27年9月30日		
学位授与の要件	学位規則第4条1項		
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) システム設計工学系専攻		
学位論文題目	危険度ランクに対応した土石流の発生・非発生ルールと防災事業優先箇所特定への適用に関する研究		
論文審査委員	主査	山口大学 教授	松田 博
		山口大学 教授	兵動 正幸
		山口大学 教授	羽田野 袈裟義
		山口大学 教授	清水 則一
		山口大学 准教授	鈴木 素之
			古川 浩平

【学位論文内容の要旨】

我が国における持続的な社会基盤の確立のためには、様々なリスクへの対応が不可欠である。特に、毎年のように発生し甚大な被害をもたらしている土砂災害への対応は急務である。しかしながら、防災事業の懸命な取り組みはあるものの、依然として被害が後を絶たないのが現状である。この状況の要因は、災害の危険性を有する箇所が莫大な数に上ることにあると考えられる（国内の土砂災害危険箇所数は約52万箇所）。これらの箇所に対策工事を行うためには多大な費用と時間が必要になることは想像に難くない。このため、対象となる箇所の危険度や被害規模等を勘案した優先度評価を行い、効率的な事業推進を行うことが必須といえる。

このような自然災害リスクへの対応については、個々の箇所の現況を把握するという作業が行われている段階である。ここから得られる基礎情報は、先に述べたような優先度評価を行うためには非常に有効なものと考えられる。既往の研究でも、同様な基礎情報を分析することでリスク評価を行う試みがなされてきた。例えば、パターン分類手法のひとつであるサポートベクターマシン（以下、SVM）を利用し、土砂災害の危険度を評価する手法が研究され、大きな成果が得られている。しかしながら、既往研究は限られたデータに対する検討のみが行われており、広い地域への適用性検証が必須の課題として指摘されていた。

一方、災害の発生するメカニズムは対象となる場所の環境や地形・地質等の素因的要素の組み合わせで全く異なったものとなることが推測される。これを特定することが出来れば、防災対策の必要となる箇所の絞り込み（あるいは対策実施を後回しにする箇所の特定）が可能となり、効率的な事業推進を実現できるものと考えられる。このテーマについては、地域の基礎情報をラフ集合により分析することで災害発生および非発生のルールを明示化する研究が実施されており、こちらもその有効性が確認されている。しかしながら、現状の成果はあくまで災害発生・非発生ルールのみを求めたものであることが課題として考え

られる。災害の恐れがあると考えられる箇所の中でも、その危険度については差があることは前述の危険度評価研究でも明らかにされているが、そこで得られる危険度のランクに応じたルールを特定することが出来れば、「高い危険性を有する箇所」から「安全性の高い箇所」までの条件を段階的に示すことが可能となり、防災事業推進のための有効性を更に高めることが出来るものと考えられる。

本研究では、これら2つの大きな課題について検討を行い、それぞれに有効な手法を開発することができた。また実際の事業推進における具体的な活用方法についても検討し、その運用フローの提案も行っている。以下に本論文の研究内容を概説する。

まず、第一段階ではSVMによる土砂災害の危険度評価とラフ集合による災害発生・非発生ルールの抽出手法について、これまで対象としていなかった地域（長崎市）のデータへの適用性検証を実施した。一連の検証作業の結果、他地域のデータに対しても既往論文と同等の活用が可能であることが確認できている。しかしながら、ここでの検討で抽出されたルールは災害発生・非発生のルールのみである。これに対し、よりきめ細かな評価を実現するための試みとして、危険度ランク毎のルールの抽出を検討した。

第二段階では同じ長崎市のデータについてSVMを利用することで災害発生の危険度に対応した4つのランクに分類し、それぞれのルールを検討することを試みた。ここでの検討結果では、各危険度ランクについて精度の高いルールが得られたものの、ルールで説明できないデータが多量に存在してしまうという課題が残ってしまった。そこで、第三段階の検討では最初に対象データから災害の危険・安全についての典型的な例となる「代表データ」を抽出し、それを用いて分離超平面を求めることを行った。代表データから得られる分離超平面はその地域の典型的な災害発生・非発生の境界線と言え、そこから得られる危険度ランクも地域の典型的な特性を反映したものになると推定できる。ここで分類されたデータ群から各ランクのルールを求めた結果、より少ないルールで全てのデータを説明しつつ、ルールとしての精度は約80%の高さを維持することに成功した。また、得られたルールのうち最も危険度が高いものには10箇所が該当しており、これこそが対策を最優先すべき箇所として認定することが出来た。逆に、危険度が非常に低いと考えられるルールに該当するものが160箇所もあることが判明し、これも事業の効率化のためには非常に有効な情報といえる。

本研究の成果は、社会資本整備や自然災害などあらゆるリスクの評価について適用できる可能性を有しており、将来において広範囲な分野で汎用的に活用されることが期待されるものである。

【論文審査結果の要旨】

我が国の国土の約7割は急峻な山地が占め、地質構造も複雑・脆弱であるため、豪雨による土砂災害が生じ易く、毎年のようにがけ崩れや土石流により多くの尊い命が失われ、経済的にも大きな損害が生じている。この状況の要因は、災害の危険性を有する箇所が莫大な数に上ることにあると考えられる（国内の土砂災害危険箇所数は約52万箇所）。また、これらの箇所に対策工事を行うためには多大な費用と時間が必要になることは想像に難くない。このため、対象となる箇所の危険度や被害規模等を勘案した優先度評価を行い、効率的な事業推進を行うことが必須といえる。

このような状況の中、既往の研究では、箇所毎の基礎データに対応した災害の発生・非発生実績のデータを整備し、それらをラフ集合により分析することで分析対象とした地域において災害が発生するルール（あるいは発生しないルール）を明示化する研究が実施されており、その有用性も確認されている。しかしながら、限られた地域での検討のため、手法の汎用性に関する検証が実施されていないこと、また、設定されたルールは、過去の災害の履歴に基づいた「災害の発生するルール」、「災害の発生しないルール」のみであることが課題となっている。

本論文は、既往の手法の汎用性を確認するために、検討対象地域を変えてルールの設定を試みるとともに、サポートベクターマシン（以下、SVM）を用いて危険度の評価を実施し、その危険度に対応した土石流災害の評価ルール（素因誘因の条件）の設定に関する研究を行ったものである。

まず、SVMによる土砂災害の危険度評価とラフ集合による災害発生・非発生ルールの設定手法について、これまで対象としていなかった地域（長崎市）のデータへの適用性検証を実施した。一連の検証作業の結果、他地域のデータに対しても既往論文（広島市での検討）と同等の精度および汎用性を有したルールの設定が可能であり、この手法の有用性・汎用性が確認できた。

次に同じ長崎市のデータについてSVMを利用することで災害発生の危険度に対応した4つのランクに分類し、それぞれのランクに対応したルールを検討することを試みた。ここでの検討結果では、各危険度ランクについて精度の高いルールが得られたものの、ルールで説明できないデータが多量に存在してしまうという課題が残った。この課題に対して、最初に対象データから災害の危険・安全についての典型的な例となる「代表データ」を抽出し、それを用いて分離超平面を求めることを行った。代表データから得られる分離超平面はその地域の典型的な災害発生・非発生の境界線と言え、そこから得られる危険度ランクも地域の典型的な特性を反映したものになると推定できる。さらに、設定された危険度ランクと実際の現象（災害の発生・非発生）との突合せを行うことで、「危険」な状況でありながらも災害の起こらなかった事例や「安全」な状況でありながらも災害が起こった事例（以下、ノイズデータ）を客観的に除外した上でルールの設定を試みた。その結果、より少ないルールで全てのデータを説明しつつ、ルールとしての精度は約80%の高さを維持することに成功した。

また、得られたルールのうち最も危険度が高いものには10箇所が該当し、対策を最優先すべき箇所として認定することが出来た。逆に、危険度が非常に低いと考えられるルールに該当するものが160箇所もあることが判明した。これらの研究成果は、限られた時間・予算で進める必要のある防災事業に対して、効率的に事業推進するうえで非常に有効であると考えられる。

公聴会での主な質問内容は、除外したノイズデータの取扱いに関するもの、現地確認を実施した際に検討に用いていない重要な要因に関して気付きがなかったか、SVMに関する基本概念に関するもの、本研究成果を今後のソフト対策にどのように活かすかの展望等についてであったが、いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本論文は防災事業の効率的な推進に向けて、危険性の高い箇所特定及び危険性の低い箇所特定に関する知見を与えることから学術上極めて重要であり、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応答などから総合的に判断して、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以下のとおりである。（関連論文：2編）

- 1) 杉原成満, 小林央宜, 川崎雄大, 篠崎嗣浩, 大石博之, 古川浩平: 昭和 57 年 7 月長崎豪雨における土石流の発生・非発生ルールの抽出, 土木学会論文集 F, Vol. 66, No. 4, pp.593-598, 平成 22 年.
- 2) 小林央宜, 杉原成満, 大石博之, 荒木義則, 古川浩平: 既存データの活用による災害発生危険度に応じた土石流危険溪流の評価ルールの設定, 土木学会論文集 F6, Vol.68, No.1, pp.1-12, 平成 24 年.