

斜面崩壊危険箇所評価における教師データの信頼性評価について

東京理科大学理工学部 正会員 小島尚人
 (株)国土情報技術研究所 正会員 大林成行
 東京理科大学理工学部 学生会員 船越孝之

1. はじめに

広域にわたる斜面の崩壊危険箇所評価支援を目的として、筆者らは、地理情報や衛星データ、いわゆる国土空間情報を活用した斜面崩壊危険箇所評価モデル（以下、SSE モデル：Slope Stability Evaluation model）を構築し、その有効性を示してきた¹⁾。SSE モデルは数量化理論を中核とし、既崩壊地を判別の基準（以下、教師データ）として、評価値が付与された画素に対するミニマックス2群判別を通して「崩壊危険性の有・無」といった判別結果を評価図上に表現する。従来までのランク分けされた評価図の曖昧性を排除し、支援情報としての有用性が立証されている。

これらの研究と並行して数多くの適用実績を積み重ねることにより、使用するモデルや教師データ、素因情報の違いによって評価結果はおのずと異なり、評価図をどのように解釈してよいのかといった根本的な問題も顕在化してきた。この問題に対して、評価図から得る情報量、いわゆる「取得情報量（QA：Quantity of Acquired information）」を定義し、これを情報エントロピーの概念を導入して新たに定式化した。この取得情報量が評価図から得る情報量（曖昧性）を評価する指標として役立つことを示した²⁾。

しかし、取得情報量そのものの定式化と有用性に関する検討を第1の目的としたことから、教師データの違いにともなって斜面崩壊危険箇所評価図上に現れる情報量の違いの評価、換言すれば、「教師データの信頼性評価」の問題については、今後の課題として残されていた。

2. 斜面崩壊危険箇所評価図の信頼性評価の問題

本研究で対象とする斜面崩壊危険箇所評価図は、教師データを基準としたミニマックス2群判別を通して、4つの判別情報が色分けして表現されている点に特徴がある¹⁾。この4つの判別結果を確率事象として表現すると表-1のような単純な分割表に整理できる。事象Tが現況の崩壊と未崩壊事象に対応し、事象Eが評価図上の判別結果に対応する。

分割表の各要素の意味は後述するが、ここで注意すべき点は、評価図上で「崩壊危険性有」と判定されている画素の解釈の問題である。一般には教師データに対する正答率（的中率）によって、評価対象領域に対する判定結果の信頼性を間接的に評価する。

的中率はモデルの判別性能そのものを評価する上では十分であるが、評価対象領域は実際には崩壊が発生しておらず、別の見方をすればモデル解は過大判別したと

解釈することもできる。つまり、モデルによって「崩壊危険性有」と判定された領域における崩壊未発生確率P(Ts | Ed)を評価図の解釈に加味していないことになる。同様に、モデル解が「崩壊危険性無」であるにも関わらず、実際には崩壊した領域の確率P(Td | Es)についても評価図の解釈には取り込んでいない。

以上のことから、判別モデルそのものの性能を評価する的中率のみでは、領域全体にわたる判別結果の定量評価指標として限界があると言える。

表-1の分割表の全ての要素を考慮して、評価図から得る情報量（曖昧性）を定量評価できれば、評価結果の解釈に役立つことは言うまでもなく、このことが条件付きエントロピーを導入して取得情報量を提示するに至った経緯でもある²⁾。

3. 条件付きエントロピーと取得情報量²⁾

崩壊危険箇所評価図から「崩壊危険性有」という情報を得た場合の崩壊危険性に関する情報量（曖昧性）は、条件付きエントロピーH(T | Ed)として次式で記述できる。

$$H(T | Ed) = -P(Td | Ed) \cdot \log_2 P(Td | Ed) - P(Ts | Ed) \cdot \log_2 P(Ts | Ed) \quad \text{式(1)}$$

同様に評価図から「崩壊危険性無」という情報を得た場合の崩壊危険性に関する情報量H(T | Es)は、

$$H(T | Es) = -P(Td | Es) \cdot \log_2 P(Td | Es) - P(Ts | Es) \cdot \log_2 P(Ts | Es) \quad \text{式(2)}$$

となる。式(1)と式(2)より、評価図を見た場合の崩壊危険性に関する情報量H(T | E)は次式となる。

$$H(T | E) = H(T | Ed) \cdot P(Ed) + H(T | Es) \cdot P(Es) \quad \text{式(3)}$$

また、崩壊が発生した時点における情報量H(T)は、以下のように記述できる。

$$H(T) = -P(Td) \cdot \log_2 P(Td) - P(Ts) \cdot \log_2 P(Ts) \quad \text{式(4)}$$

したがって、崩壊発生時の情報量に対して、評価図を得た場合に得られる取得情報量をQA-1とすれば、式(4)と式(3)の差となり、次式で表される。

$$QA-1 = H(T) - H(T | E) \quad (\text{bit}) \\ = (1 - H(T | E) / H(T)) \times 100 \quad (\%) \quad \text{式(5)}$$

表-1 現況崩壊事象と評価図上の事象との関係

		現況：事象T	
		崩壊：P(Td)	未崩壊：P(Ts)
評価図事象E	崩壊：P(Ed)	P(Td Ed)	P(Ts Ed)
	未崩壊：P(Es)	P(Td Es)	P(Ts Es)

注) P(Td | Ed)：「崩壊危険性有」と判定された領域の崩壊発生確率
 P(Ts | Ed)：「崩壊危険性有」と判定された領域の崩壊未発生確率
 P(Td | Es)：「崩壊危険性無」と判定された領域の崩壊発生確率
 P(Ts | Es)：「崩壊危険性無」と判定された領域の崩壊未発生確率

キーワード：斜面崩壊危険箇所評価、教師データ、条件付きエントロピー、曖昧性評価、衛星データ、地理情報

〒278-8510 千葉県野田市山崎2641 東京理科大学理工学部土木工学科

Tel: 0471-24-1501、e-mail: kojima_h@rs.noda.sut.ac.jp

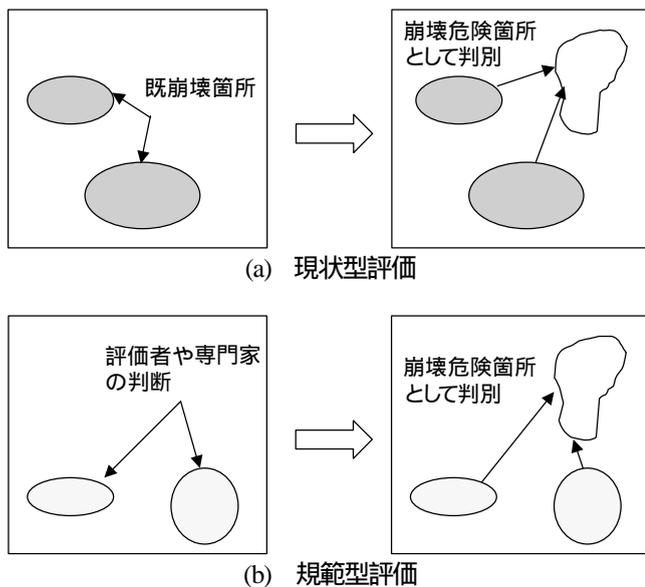


図 - 1 教師データの設定方法

QA-1 は現況崩壊事象 T の曖昧さに対して、評価図上の事象 E によって新たに提供される情報量の百分率である。

また、現況崩壊に関わる情報がまったくないと想定した場合には、当該領域に関する崩壊危険性については曖昧さが最大となり、1ビットに相当する。このとき、評価図から得る取得情報量を QA-2 とすれば、次式で表される。

$$QA-2 = (1 - H(T|E)) \times 100 (\%) \quad \text{式(6)}$$

4. 教師データの信頼性評価

(1) 教師データの設定方法

SSE モデルでは、図 - 1 に示す 2 種類の教師データの設定方法に基づく評価アルゴリズムがある。

現状型評価

現状型評価とは、現地調査から得られる結果や災害履歴図等から、これまでに斜面災害（斜面崩壊や地すべり）が実際に発生した箇所を教師データとして設定し、このデータに性質が似通った土地を抽出するための評価方法である。斜面災害の状況を忠実に反映させることから、最も基本となる評価方法として位置付けられる。

規範型評価

規範型評価とは、未崩壊ではあるものの、評価者や専門家の知見により今後崩壊の危険性があると判断された箇所を教師データとして設定し、規範的に評価するための方法である。現状型評価により作成された評価図と規範型評価により作成された評価図との違いを分析することにより、規範的要因の影響分析が可能となる。

(2) 現状型と規範型評価図に対する取得情報量の比較

本研究では、教師データの設定方法として現状型、規範型を検討対象として取り上げ、それぞれの評価図からの取得情報量を計算してみた。その結果が表 - 2 である。評価対象領域は千葉県富津地区であり、複数の明瞭な地すべり地形と小規模な斜面崩壊が多数発生しており、異なる崩壊タイプが存在している。表 - 2 から次のことが読み取れる。

2つの教師データの設定方法ともの中率（教師データに対する判別精度）の値には有意な差はない。

表 - 2 取得情報量の比較

	QA-1 (%)	QA-2 (%)	的中率 (%)
現状型	24.9	96.9	90.9
規範型	18.1	96.0	88.9

注) QA-1: 崩壊発生時の情報量（曖昧さ）に対して、評価図から得られる情報量
QA-2: 崩壊に関わる情報が全くないと想定した場合に、評価図から得られる情報量

現状型評価の QA-1 の値は、24.9%を示し、規範型評価と比べて明らかに高い。

現状型、規範型評価ともに QA-2 の値は96%前後を示し、有意な差がない。

以上のことから、規範型では未崩壊地を教師として設定したために、評価図の信頼性が低下することはおのずと推測できるが、まさにこのことが取得情報量に反映されたことを意味する。また、教師データに対する的中率の値に有意な違いがなくとも、評価領域の全体にわたる評価結果が異なることは言うまでもない。このような場合に評価図上の情報が、情報量の観点から見て意味あるものか否かについて判断する上で、取得情報量が教師データの信頼性評価に寄与すると言える。

さらに、注意を引く点は、QA-2 の値が、現状型、規範型評価ともに96%前後という高い値を示し、しかも有意な違いがないことである。このことは、現況崩壊に関わる情報が全くないと想定した場合、評価図から得る情報量が極めて多く、教師データの設定方法の違いによる評価図の違いが、QA-2 の値に反映されないためであると考えられる。評価図を見た場合の人間の直感的判断とも整合がとれている点は興味深い。

なお、以上のような取得情報量の違いが、現状型と規範型それぞれの斜面崩壊危険箇所評価図上の判別結果の違いとして現れていることが確認されているが、この点については口頭発表時にカラー映像とともに紹介する。

5. まとめ

本研究の内容は、以下の2点にまとめられる。

現状型と規範型教師データに対する的中率には有意な違いが認められない場合でも「取得情報量」には有意な違いが認められた。

さらに、現状型評価図に比べて規範型評価図の取得情報量が少なくなるという結果が得られた。教師データの信頼性評価において、取得情報量は「的中率と併用、あるいはこれに替わる指標」として役立つことが確認された。

ここまでの検討において、斜面崩壊危険箇所評価モデル別、教師データの種類の別に分けて得られる斜面崩壊危険箇所評価図に対する取得情報量を比較できたことになる。今後は、使用する素因の違いに伴って評価図に現れる違いを取得情報量によって分析することを考えている。有効素因の選定問題として興味深い課題となる。

参考文献

- 1) 大木 茂司、小島 尚人、Chang Jo-F. Chung: 斜面安定性評価モデルの精度比較とその実用化への提案、土木学会論文集、No.630/ -44, pp.77-89, 1999年9月。
- 2) 大木 茂司、小島 尚人: 条件付きエントロピーを導入した斜面崩壊危険箇所評価図の解釈について、土木学会第56回年次学術講演会講演要集 CS セッション、pp.218-219, 2001年10月。