

# 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

東京理科大学理工学部 正会員 大林成行、小島尚人

## 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、その有効性を示した。SSE モデルは数量化理論を中核としているが、これ以外にも確率理論に基づく各種の評価モデルから得られる解を比較し、複数の評価モデルの適用戦略について提案した<sup>1)</sup>。これらのモデルでは、既崩壊地を判別の基準（トレーニングデータ）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。しかし、使用するモデルやトレーニングデータ、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が内在している。そこで、本研究では、評価図から得る情報量、いわゆる「取得情報量（Q.A.：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定式化する。この取得情報量が評価図の定量評価指標の一つとして役立つことを示す。

## 2. 斜面崩壊危険箇所評価図を解釈する上での問題

本研究で対象とする斜面崩壊危険箇所評価図は、トレーニング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<sup>1),2)</sup>。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。一般にはトレーニング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

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

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する本研究の着想に至った経緯でもある。

## 3. 条件付きエントロピーに基づく定式化

### (1) 分割表の確率事象

崩壊危険箇所評価図上の4つの情報（表-1）の画素数を以下のように表す。

- a：トレーニングデータ（既崩壊地）のうち、「危険性有」と判定された画素数
- b：トレーニングデータ（既崩壊地）のうち、「危険性無」と判定された画素数
- c：評価対象データのうち、「危険性有」として判定された画素数
- d：評価対象データのうち、「危険性無」と判定された画素数

(N：領域全体画素数 (= a+b+c+d))

表-1で示した分割表において、現況の崩壊事象の確率を $P(Td)$ 、未崩壊事象の確率を $P(Ts)$ とし、評価図上で崩壊事象の確率を $P(Ed)$ 、未崩壊事象の確率を $P(Es)$ とすると、以下のように記述できる。

$$P(Td) = (a + b) / N \quad \text{式(1)}$$

$$P(Ts) = (c + d) / N \quad \text{式(2)}$$

$$P(Ed) = (a + c) / N \quad \text{式(3)}$$

$$P(Es) = (b + d) / N \quad \text{式(4)}$$

同様にして、分割表の各要素は、以下のように記述できる。

$$P(Td | Ed) = a / (a + c) \quad \text{式(5)}$$

$$P(Ts | Ed) = c / (a + c) \quad \text{式(6)}$$

$$P(Td | Es) = b / (b + d) \quad \text{式(7)}$$

$$P(Ts | Es) = d / (b + d) \quad \text{式(8)}$$

### (2) 条件付きエントロピーと取得情報量

ある事象の確率とエントロピーの関係を図-1に示す。横軸には、事象確率(0~1)を、縦軸にはエントロピー(ビット)をとって確率に対する曖昧さの関係を関数として表現したものである<sup>3)</sup>。つまり、ある事象の確率が0.5のとき、当該事象の「曖昧さ」が最大であり、この時のエントロピーは1ビットとなる。

キーワード：斜面崩壊危険箇所評価、情報エントロピー、曖昧性評価  
 〒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

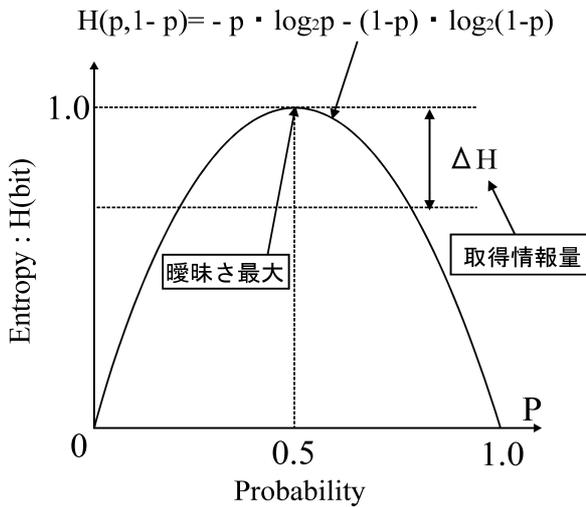


図 - 1 取得情報量の定義

見方を変えると、曖昧さ最大の状況から、何らかの情報を得て、事象の発生確率が高まる、あるいは低下した場合に、取得する情報量（取得情報量）が増加することを意味し、図 - 1 上の H が取得情報量（Q.A.）に相当する。崩壊危険箇所評価図を得た場合の取得情報量の定式化を試みる点が本研究の特徴となる。

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）を  $H(T | Ed)$  と表現すると、

$$H(T | Ed) = -P(Td | Ed) \cdot \log_2 P(Td | Ed) - P(Ts | Ed) \cdot \log_2 P(Ts | Ed) \quad \text{式(9)}$$

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、

$$H(T | Es) = -P(Td | Es) \cdot \log_2 P(Td | Es) - P(Ts | Es) \cdot \log_2 P(Ts | Es) \quad \text{式(10)}$$

となる。式(9)と式(10)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。

$$H(T | E) = H(T | Ed) \cdot P(Ed) + H(T | Es) \cdot P(Es) \quad \text{式(11)}$$

また、崩壊が発生した時点における情報量  $H(T)$  は、式(1)と式(2)を用いて、以下のように記述できる。

$$H(T) = -P(Td) \cdot \log_2 P(Td) - P(Ts) \cdot \log_2 P(Ts) \quad \text{式(12)}$$

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情報量を Q.A-1. とすれば、式(12)と式(11)の差となり、次式で表される。

$$Q.A-1. = H(T) - H(T | E) \quad (\text{bit}) \\ = (1 - H(T | E) / H(T)) \times 100 \quad (\%) \quad \text{式(13)}$$

Q.A-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、評価図から得る情報量を Q.A-2. とすれば、次式で表される。

$$Q.A-2. = (1 - H(T | E)) \times 100 \quad (\%) \quad \text{式(14)}$$

#### 4. 取得情報量導入の意義

本研究では、崩壊危険箇所評価モデルとしてベイジアンモデル、確信度モデル、ファジーセットモデルおよび SSE モデル(数量化理論)を検討対象として取り上げ<sup>1)</sup>、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。評価領域は鹿児島県佐多浦地区であり、自

表 - 2 取得情報量の比較

	Q.A-1.		Q.A-2.	的中率 (%)
	$H(T) - H(T   E)$ (bit)	$\frac{H(T) - H(T   E)}{H(T)}$ (%)	$1 - H(T   E)$ (%)	
ベイジアンモデル	0.019	16.9	89.0	80.8
確信度モデル	0.014	11.3	89.3	78.9
ファジーセットモデル	0.021	16.4	89.9	80.0
SSEモデル (数量化理論)	0.024	17.3	90.0	81.1

注) Q.A-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  
Q.A-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

然シラスの侵食谷と侵食崖が広く分布し、筆者らが継続して崩壊危険箇所の検討を進めている地区の一つである<sup>1)</sup>。

表 - 2 から次のことが読みとれる。

4 つのモデルともの中率 (トレーニングデータに対する判別精度) の値には有意な差はない。

SSE モデルは、Q.A-1.、Q.A-2. とともに最も高い。

確信度モデルの Q.A-1. の値は、11.3% を示し、他の 3 つのモデルに比べて明らかに低い。

これらのことから、少なくとも SSE モデルから得られた評価図の活用が推奨できるが、確信度モデルの評価図上の情報は、積極的に活用できるものではないといった解釈ができる。トレーニング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、取得情報量が役立つことが判る。取得情報量を導入する意義はまさにこの点にある。

さらに、注意を引く点は、Q.A-2. の値が、いずれのモデルも 90% 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、そのため、モデル別の評価図の違いが Q.A-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。別の見方をすれば、Q.A-2. に比べて Q.A-1. の方が評価図から得る情報量に対する鋭敏性が高いことを意味する。Q.A-1. と Q.A-2. の両指標を用いる場合の留意点として指摘できる。

#### 5. まとめ

本研究の内容は以下の 2 点にまとめられる。

崩壊危険箇所評価図から得る情報量、いわゆる「取得情報量」を定義し、これを情報エントロピーの概念を導入して定式化した。

この取得情報量が評価図を解釈する上での新たな定量評価指標の一つとして役立つことを示した。

本検討では、モデル別に得られる崩壊危険箇所評価図に対する取得情報量を比較したが、トレーニングデータの分析(現状型・規範型<sup>2)</sup>)や素因分析等、取得情報量に基づく評価アルゴリズムを組み上げることが今後の課題となる。

参考文献 1)大林 小島, C.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)大林 小島, 村上: 侵食崩壊を伴う急傾斜地を対象とした場合の危険箇所評価方法の一提案、土木学会論文集, No.567 / -35, pp.225-236, 1997年6月  
3)宇野 水谷 平田: 情報量最大化を導入したBP学習法 平成5年度電気学会電子・情報・システム部門大会講演集, B-3-6, pp.321-324, 1993年