

EADaS手法を用いた大規模災害の発生危険度評価

Estimation of Disaster Probability with the Indicators from EADaS Method



小野田 恵一*



村岡 洋**



鈴木 修*



小林 俊夫*



鈴木 博人*

For the prevention of train accidents caused by huge natural disasters, estimation of risks along a railway lines is important. For this estimation, we have developed the EADaS (Environment, Agent, Disaster mode and Structure) method, which calculates disaster probability indicators at every designated site from its geographical and geological feature. In this paper, we proposed the threshold of this indicator to estimate higher risk sites for each agent, and normalized these indicators for the comparative analysis of risks among agents with a macroscopic statistical analysis.

●キーワード：自然災害、EADaS手法、災害営力、災害危険度評価点、閾値

1. はじめに

鉄道沿線で発生する自然災害のうち、特に岩盤崩落や土石流といった地形の変化まで伴うような大規模自然災害(以下、大規模災害とする)は、列車の脱線や鉄道構造物の被災など大きな被害をもたらすおそれがある。大規模災害から列車の安全を確保するためには、あらかじめこのような災害が発生する可能性が高い箇所を把握しておくことが重要である。そこで、地形図に現れる規模で地形に変化をもたらす大規模災害を対象に、その発生危険度を評価するEADaS (Environment, Agent, Disaster mode and Structure) 手法を開発¹⁾してきた。EADaS手法は、地形学・地質学における読図などの経験則に基づいた多種多様な評価項目を数値化し、それら多数の評価項目を組合せることで、大規模災害の発生危険度を評価するものである。

大島ら²⁾は、EADaS手法について、大規模災害の発生危険度を定量的に表すことができるようになった一方で、このような災害の発生可能性が高い箇所を抽出するための判断基準がない、異なる災害営力の発生危険度の相対評価ができない、大規模災害の総合的な発生危険度の評価ができないといった課題があることを指摘した。そこで、本研究では、多数の大規模災害が発生した箇所(以下、既往災害箇所とする)とこのような災害が発生していない箇所(以下、災害未発生箇所とする)を対象としてEADaS手法を用いた評価を行い、その評価結果を統計的に分析することで、前述の課題を解決する方法を提案する。

2. EADaS 手法の概要と課題

2.1 EADaS手法の概要²⁾

EADaS手法とは、鈴木³⁾が考案した「日本の任意地点で発生しうる地形災害の種類とその潜在的危険度の総合的評価法」をベースに、地形学・地質学における経験則に基づいた多種多様な評価項目を数値化し、それら多数の評価項目を組合せて、地形図に現れる規模での大規模災害の発生危険度評価を行うものである。EADaS手法の構成要素は、
(1) **Environment**: 災害を誘発・抑制する**災害環境要素**
(2) **Agent**: 被害を生じさせる自然現象=**災害営力**
(3) **Disaster**: 構造物がこごむる被害状況=**災害様式**
(4) **Structure**: 評価対象箇所に存在する**構造物**
の4つで、これらの定義と具体例を表1に示す。また、EADaS手法はそれぞれの頭文字から命名されている。

EADaS手法では、大規模災害の発生危険度は、対象箇所について1/2.5万地形図や1/5万地質図などから読み取れる災害環境要素(E)に対する災害営力(災害種別)(A)の発生頻度を点数化した結果と、災害営力(A)ごとに生じる災害様式(D)の危険度を点数化した結果を乗じることで評価される。つまり、地形学・地質学の知見に基づいて、災害営力ごとに定性的に定義付けた配点の積上げから、評価点が算出されるものである。なお、この評価点を災害危険度評価点と呼んでいる。

表1 EADaS手法の構成要素

構成要素	定義	具体例
災害環境要素 (E) 224種類	災害発生を誘発したり、抑制する自然環境	気候、海岸、河川、地形、地質、地下水、植生
災害営力 (A) 90種類	鉄道施設などに被害を発生させる可能性のある自然現象	崩壊(岩盤・土砂)、地すべり(急激・緩慢)、土石流(土石流・土砂流)、落石(転落型・剥落型)、豪雨、津波、河川氾濫、地盤液状化、火山噴火、地震
災害様式 (D) 20種類	災害営力によって鉄道施設などがこごむる被害の状況	岩塊堆積、土砂堆積、流水・冠水、地盤破壊、植生消失、施設劣化
検索施設 (S) 135種類	調査箇所に存在する鉄道施設など	鉄道、道路、切取のり面、盛土のり面、橋りょう、トンネル、家屋、電柱

2.2 EADaS手法の課題

EADaS手法において、同じ災害営力による大規模災害の発生危険度は、災害危険度評価点が高いほど、災害が発生する可能性が高いと判定される。しかし、災害危険度評価点が何点以上になれば災害が発生する可能性が高いと言えるかが明らかになっていない。また、災害営力ごとに災害危険度評価点を評価する項目数が異なっているため、災害営力ごとに災害危険度評価点の満点が異なり、同じ災害危険度評価点の場合にどちらの災害営力が発生する可能性が高いのか分からない。さらに、ある地点における大規模災害の総合的な発生危険度はすべての災害営力に対する災害危険度評価点の積算値として表されると考えられるが、災害営力ごとに災害危険度評価点の満点が異なるために、単純な積算値が当該地点の大規模災害の総合的な発生危険度とはならない。

EADaS手法には、このように大規模災害の発生危険度が高い箇所を抽出するための判断基準がない、異なる災害営力に対して発生危険度の相対評価ができない、地点ごとの大規模災害の総合的な発生危険度の評価ができないといった課題がある。

3. EADaS手法による災害発生危険度の評価^{4), 5)}

本章では、前述の課題を解決するために、多数の既往災害箇所と災害未発生箇所を対象に、EADaS手法を用いて災害危険度評価点を求めた。これらの災害危険度評価点の統計的な分析から、大規模災害の発生可能性が高い箇所を抽出するための判断基準値（以下、閾値とする）を求めた。さらに、異なる災害営力に対する発生危険度の相対評価や大規模災害の総合的な発生危険度の評価を目的に、災害営力ごとに算出される災害危険度評価点の規準化を試みた。

3.1 災害危険度評価点の閾値

EADaS手法を用いて算出される災害営力ごとの災害危険度評価点は、理想的にはある閾値で既往災害箇所と災害未発生箇所が分離されるはずである。しかし、災害危険度評価点は、以下に示す不確実性に起因して、既往災害箇所と災害未発生箇所の災害危険度評価点はある閾値で分離されず、確率的な分布をとることになる。

EADaS手法による災害危険度評価点は、地形学・地質学の読図などの経験則に基づいて定性的に定義付けた点数を積み上げて算出される。このため、点数自体に不確実性が存在することから、点数を積み上げた災害危険度評価点に不確実性が存在する。

また、EADaS手法による災害発生危険度評価は、前述のように地形学・地質学に基づく素因点の積み上げのみによって評価されるが、土石流や土砂崩壊などの発生には降雨や

地震などの自然外力が関与している場合がほとんどである。このような大規模災害では、降雨を例にあげると、大きな降雨量が出現した箇所では災害危険度評価点が低くても大規模災害が発生した可能性があり、逆に小さい降雨量しか出現しなかった箇所では災害危険度評価点が高くても大規模災害が発生していない可能性がある。このため、自然外力に起因して発生する大規模災害は、過去に作用した自然外力の大きさによって、同じ災害危険度評価点であっても災害が発生した箇所と災害が発生していない箇所があると考えられる。

EADaS手法による災害危険度評価点には、このような不確実性が存在する。このため、大規模災害の発生可能性が高い箇所を抽出するための閾値は、多数の既往災害箇所と災害未発生箇所における災害危険度評価点を用いた統計解析によって求めることとした。

既往災害箇所については、国有鉄道線路災害記録^{6) - 8)}に記載された旧国鉄の災害や東日本旅客鉄道株式会社管内で発生した災害、および他の鉄道事業者や道路などの部外で発生した災害のうち公表された資料によって発生地点が特定可能な箇所から、大規模災害として土砂崩壊88ヶ所、岩盤崩壊18ヶ所、地すべり9ヶ所、土石流41ヶ所、転落型落石14ヶ所を抽出した。

災害未発生箇所については、対象になる地点は無限に存在する。そこで、本研究では、モデル線区を設定することとした。対象としたのは、山間部と平野部の両方を含む主要路線2線区で、合計の延長は約275kmである。災害未発生箇所における災害危険度評価点を算出する領域として、山間部では尾根線で区分される領域、平野部では線路キロ程2km間隔を基本に区分される領域を設定した。その結果、2線区の合計で670ヶ所が設定された。なお、災害未発生箇所については、すべての災害営力に対して災害危険度評価点を算出した。

図1には、土砂崩壊について、既往災害箇所88ヶ所と災害未発生箇所670ヶ所における災害危険度評価点の頻度分布を100点間隔の階級に区分して示した。ただし、図1では既往災害箇所数と災害未発生箇所数が異なることから、それぞれの全箇所数に占める各階級に属する箇所数の割合を示した。

大規模災害が発生する可能性が高い箇所を抽出するための災害危険度評価点の閾値は、閾値以上の評価点となる既往災害箇所の割合が高いほど、閾値以上の評価点となる災害未発生箇所の割合が低いほど望ましい。言い換えると、災害危険度評価点の閾値は、閾値以上の評価点となる既往災害箇所の割合が高いほど、閾値以下の評価点となる災害未発生箇所の割合が高いほど望ましい。そこで、図1には、既往災害箇所については災害危険度評価点が高い側からの累積頻度（曲線A）、災害未発生箇所については災害危険度評価点が高い側からの累積頻度（曲線B）を示し

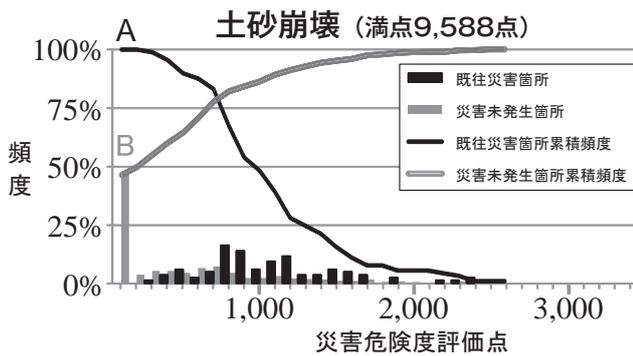


図1 土砂崩壊の災害危険度評価点の頻度分布

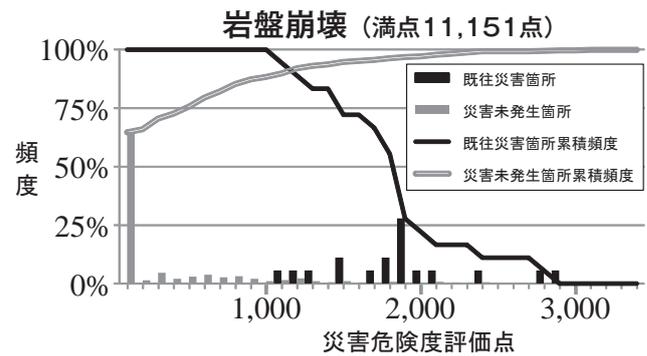


図2 岩盤崩壊の災害危険度評価点の頻度分布

表2 既往災害箇所と災害未発生箇所の頻度の和が最大となる災害危険度評価点から算出した閾値

災害営力		分析に用いた既往災害箇所数	災害危険度評価点の満点	既往災害箇所と災害未発生箇所の頻度の和が最大になる災害危険度評価点(=閾値)	閾値以上で発生した既往災害箇所の割合および閾値以下の災害未発生箇所の割合
崩壊	土砂崩壊	88	9,588	700	79%
	岩盤崩壊	18	11,151	1,117	91%
地すべり	地すべり	9	10,148	1,134	86%
土石流	土石流	41	8,869	1,365	91%
落石	転落型落石	14	6,510	645	89%

た。大規模災害が発生する可能性が高い箇所を抽出するための災害危険度評価点の閾値は、既往災害箇所については曲線Aで示した災害危険度評価点の累積頻度が高いほど、災害未発生箇所については曲線Bで示した災害危険度評価点の累積頻度が高いほど望ましいことになる。このような条件を満たす最も効率的な場合は、これらの累積頻度の和が最大となる曲線AとBの交点であると考えられる。つまり、曲線AとBの交点よりも低い災害危険度評価点を閾値とすると、閾値以上で発生した既往災害箇所の割合が高くなるが、閾値以下の災害未発生箇所の割合が低くなる。一方で、曲線AとBの交点よりも高い災害危険度評価点を閾値とすると、閾値以下の災害未発生箇所の割合が高くなるが、閾値以上で発生した既往災害箇所の割合が低くなるためである。図1から、土砂崩壊については、曲線AとBの交点となる災害危険度評価点は700点で、この閾値以上で発生した既往災害箇所は79%、この閾値以下の災害未発生箇所も79%となる。なお、土砂崩壊の災害危険度評価点の満点は9,588点である。

図2には、岩盤崩壊について、土砂崩壊と同様に、既往災害箇所18ヶ所と災害未発生箇所670ヶ所における災害危険度評価点の頻度分布と累積頻度を示した。図2から、岩盤崩壊については、曲線AとBの交点となる災害危険度評価点は1,117点で、この閾値以上で発生した既往災害箇所は91%、この閾値以下の災害未発生箇所も91%となる。なお、岩盤崩壊の災害危険度評価点の満点は11,151点である。

他の災害営力については図示を省略するが、土砂崩壊や岩盤崩壊と同様の方法で、曲線AとBの交点となる災害危険度評価点を求めた。また、この閾値以上で発生した既

表3 閾値以上の既往災害箇所の割合を80%とした閾値

災害営力		閾値以上で発生した既往災害箇所の割合が80%となる災害危険度評価点(=閾値)	閾値以下の災害未発生箇所の割合
崩壊	土砂崩壊	690	79%
	岩盤崩壊	1,369	94%
地すべり	地すべり	1,168	88%
土石流	土石流	1,480	92%
落石	転落型落石	756	92%

往災害箇所の割合、およびこの閾値以下の災害未発生箇所の割合を求めた。

表2には、対象にした災害営力ごとに、分析に用いた既往災害箇所数、災害危険度評価点の満点、災害危険度評価点の閾値、この閾値以上で発生した既往災害箇所の割合、およびこの閾値以下の災害未発生箇所の割合を示した。これから、対象にした災害営力ごとに災害危険度評価点の閾値が異なることが分かる。また、災害危険度評価点の満点の高低と災害危険度評価点の閾値の高低は必ずしも一致しないが、概ね災害危険度評価点の満点が高いほど災害危険度評価点の閾値が高い傾向にある。

3.2 災害危険度評価点の閾値の規準化

前節で求めた災害危険度評価点の閾値は災害営力ごとに異なるとともに、この閾値以上で発生した既往災害箇所の割合も異なっている。このため、異なる災害営力に対する発生危険度の相対評価や大規模災害の総合的な発生危険度を評価するためには、規準化が必要である。

初めに、災害危険度評価点の閾値以上で発生した既往災害箇所の割合を同一にするにすることにした。表2によると、

表4 規準化された災害危険度評価点による過去の重大災害の評価例 (太枠は、実際に発生した重大災害)

既往災害事例		規準化された災害危険度評価点				
		崩壊		地すべり	土石流	落石
災害営力	発生年	土砂崩壊	岩盤崩壊	地すべり	土石流	転落型落石
地すべり	1970	288	167	183	60	162
土砂崩壊	1987	200	0	131	50	111
土石流	1994	155	0	121	150	102
岩盤崩壊	2010	237	137	147	50	153

対象としたすべての災害営力で、この割合が概ね80%以上である。そこで、既往災害箇所の割合が80%になる災害危険度評価点を災害危険度評価点の閾値とすることとした。このようにした災害危険度評価点の閾値を災害営力ごとに表3に示した。これから、対象にした災害営力ごとに災害危険度評価点の閾値は異なっていることが分かる。また、表3には、災害危険度評価点の閾値以下の災害未発生箇所の割合を示した。これによると、閾値以下の災害未発生箇所の割合は79～94%であった。

次に、対象にした災害営力ごとに算出される災害危険度評価点を規準化することを試みた。規準化にあたっては、前述の災害危険度評価点の閾値が100点になるようにした。これから、大規模災害の発生可能性が高い箇所を抽出するための判断基準は100点となる。また、ある地点における任意の災害営力に対する規準化された災害危険度評価点は式(1)で求めることができる。

$$\text{規準化された災害危険度評価点} = \frac{(\text{災害危険度評価点}) \times 100}{(\text{既往災害箇所の割合が} 80\% \text{となる災害危険度評価点})} \dots(1)$$

このようにして求めた規準化された災害危険度評価点を用いることによって、異なる災害営力に対する発生危険度を相対的に評価できると考えられる。また、ある地点における規準化された災害危険度評価点を積算することで、その地点における大規模災害の総合的な発生危険度を評価できると考えられる。

3.3 規準化した災害危険度評価点の閾値の評価

提案した大規模災害の発生危険度の評価方法について、脱線事故を伴った災害事例などの重大災害4事例を用いて評価した。表4には、前述の重大災害が発生した4ヶ所に対して、災害営力ごとに規準化された災害危険度評価点を求めた結果を示した。表中に太枠で示した災害が実際に発生した重大災害で、いずれも規準化された災害危険度評価点が100点を超えている。また、実際に発生した重大災害の規準化された災害危険度評価点は、必ずしもすべての災害営力の中で最大となっていないが、概ね上位に位置している。これから、提案した大規模災害の発生危険度の評価方法は概ね適切な方法であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、EADaS手法を大規模災害の発生危険度評価に用いるために、以下の取組みを行った。初めに、EADaS手法を用いて算出した災害危険度評価点から大規模災害が発生する可能性が高い箇所を抽出するための判断基準として、既往災害箇所の割合が80%となる災害危険度評価点を閾値とすることを提案した。次いで、異なる災害営力の発生危険度を相対的に比較するために、この閾値が100点になるように災害危険度評価点を規準化する方法を提案した。この方法を用いることによって、異なる災害営力に対する発生危険度の相対的な評価や、任意の地点における大規模災害の総合的な発生危険度を評価できると考えられる。

本研究では、大規模災害の発生危険度が高い箇所を抽出するための災害危険度評価点の閾値を求めるにあたって、降雨や地震などの自然外力の影響を考慮していない。自然外力の影響を受ける土石流や土砂崩壊などに対しては、自然外力の大きさを考慮することで、より適切な閾値を設定できると考えられる。今後は、このような方法について研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 増井洋介、外狩麻子; EADaS手法に基づく災害危険度評価システムの開発, JR EAST Technical Review, Vol.26, pp.59～62, 2009.2.
- 2) 大島竜二、外狩麻子、友利方彦、鈴木博人; EADaS手法による自然災害危険度評価システムの開発, JR EAST Technical Review, Vol.45, pp.41～46, 2013.11.
- 3) 鈴木隆介; 建設技術者のための地形図読図入門、第4巻、火山・変動地形と応用読図 改訂版、古今書院、p.1212, 2012.10.
- 4) 村岡洋、鈴木修、小林俊夫、鈴木博人; 大規模自然災害の発生危険度評価手法の開発、岩盤力学シンポジウム、Vol.44, No5, 2016.1.
- 5) 村岡洋、鈴木修、小林俊夫、鈴木博人; 大規模自然災害の発生危険度評価手法における災害発生危険度評価点の分析～EADaS手法による分析～、鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、Vol.22, 2303, 2015.12.
- 6) 日本国有鉄道施設局; 国有鉄道線路災害記録(昭和34年度～昭和44年度)、389pp., 1969.7.
- 7) 日本国有鉄道施設局; 国有鉄道線路災害記録(昭和44年度～昭和53年度)、346pp., 1980.4.
- 8) 日本国有鉄道施設局; 国有鉄道線路災害記録(昭和54年度～昭和61年度)、243pp., 1987.2.