

道路途絶による社会経済損失を考慮した斜面災害リスクの評価モデル*

Risk evaluation model for slope disaster with social and economic loss due to Traffic disruption*

小坂宏彰**・高木朗義***・倉内文孝****・北浦康嗣*****

By Hiroaki KOITA**・Akiyoshi TAKAGI***・Fumitaka KURAUCHI****・Koji KITaura*****

1. はじめに

危険斜面を多く抱える岐阜県では、効率的・効果的な斜面对策を実施する必要がある。そのために、個々の斜面における災害発生確率および斜面災害が発生した際の社会経済損失を考慮に入れた被害規模からリスクを評価するとともに、費用を考慮した上で合理的な防災対策の優先順位を決定する必要がある。さらに、社会経済損失は、斜面が崩壊した際に発生する復旧費用などの物的損失に加えて、道路途絶が発生した場合に被る孤立集落損失を含めて評価するなど、利用者や地域住民の視点で評価する必要がある。

本研究では、道路途絶による社会経済損失を考慮した斜面災害リスクの評価モデルを構築することを目的とする。特に、中山間地という地域性を考慮して救急医療損失の評価手法の改良と、不安感を含めた孤立集落損失の評価手法の開発に焦点を当てる。

2. 道路途絶による社会経済損失の評価

「道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案)」¹⁾(以下、マニュアル)で提案されている評価手法を基礎とし、新たに孤立集落損失を加えた斜面災害リスク評価手法を提案する。また、孤立集落損失評価にはリスクプレミアムの概念を導入する。したがって、斜面災害リスクを斜面災害発生時の様々な被害とその発生確率の積で表現されるリスクと平常時の不安感を含めた孤立集落損失の和と定義し、(1)式のように定式化する。

$$R^s = P^s (D_1^s + D_2^s + D_3^s + D_4^s) + D_5^s \quad (1)$$

*キーワード：リスクマネジメント，斜面災害，救急医療，孤立集落，優先順位

**正会員，JR 東海

***正会員，博(工)，岐阜大学教授，社会基盤工学科

****正会員，博(工)，岐阜大学准教授，社会基盤工学科

*****正会員，博(経)，岐阜大学助教，社会基盤工学科

ここで、 R^s は各斜面の災害に対するリスク、 P^s は各斜面における災害発生確率、 $D_1^s \sim D_5^s$ はそれぞれ各斜面災害発生に伴う道路復旧費、人身損失、迂回損失、救急医療損失、孤立集落損失である。

本研究では、対象地域を飛騨圏域、対象ハザードを落石として、道路途絶が発生する可能性を前提とした上で、斜面災害に対する直接的・間接的経済損失を評価する。なお、孤立集落損失に災害発生確率を乗じない理由は、孤立集落損失が住民の不安感を含めたものとして算出されており、孤立する確率がゼロにならない限り、住民の潜在的リスク意識が解消されないためである。以下に各損失項目の評価手法を示す。

①道路復旧費 D_1

道路復旧費は、斜面災害で使用不能となった道路を再供用するまでの復旧工事費と到達土砂の運搬処分費とする¹⁾。

②人身損失 D_2

人身損失は、崩壊してきた土砂(落石)が車輛を直撃するあるいは、道路に到達した土砂(落石)に車輛が衝突することによって、死亡、重傷、軽傷を被る被災者の被害額とする¹⁾。

③迂回損失 D_3

迂回損失は、斜面災害により道路が通行止めになることから発生する経済損失である。対象地域を含む道路ネットワーク全体での走行時間と走行距離の増加に伴う走行費用の増大分として評価する¹⁾。ここでは落石斜面災害を対象としており、通行止め期間はせいぜい数日であるため、迂回損失による被害の波及も含めて発生側で被害を捉えることとする。なお、迂回損失の算定には中京圏の道路ネットワークを用いる。

④救急医療損失 D_4

救急医療損失は、斜面災害により道路が通行止めとなるために救急車両が迂回し、それによって救急医療を享受するまでの時間が増大し、救命率が低下して人的損失が発生するとして評価する¹⁾。

⑤孤立集落損失 D_5

孤立集落損失は、斜面災害により人の移動、物資の流通、情報通信の停止、医療や介護が困難となり、住

民生活が困難、もしくは不可能となることによって発生する損失を評価する。

3. 救急医療損失の評価手法の改良

マニュアルで提案されている方法を改良し救急医療損失を算定する。特に、対象地域を岐阜県の飛騨市、高山市、下呂市としているため、より地域に適した損失額を算定することを目的として、3市のデータを用いた算定方法に改良する。

(1) 算定方法の改良

対象とする症状の種類、症状別の疾患発生確率、救命率について改良した。マニュアルでは心臓停止、呼吸停止、多量出血の3種類の症状が対象となっているが、本研究では橋本ら²⁾に従い、脳出血、くも膜下出血、急性心筋梗塞、急性心不全、肺炎、CPA、脳梗塞の7種類とする。飛騨市、高山市、下呂市から提供された救急医療データ（救急患者収容時間、救命率等）を用いて、各市の疾患発生確率を算出した結果、表1に示す値が得られた。救急医療損失は、ある集落から救急医療機関までの所要時間の増加による救命率の変化によって損失を算定するため、救急患者収容時間と救命率の関係が必要となる。そのため、疾患発生確率と同様に3市から救急医療データを入手し、覚知から病院到着までの収容所要時間と一定期間後の救命率の関係を示す式の推定を試みたが、入手できたデータの期間が1年間であったため、十分な推定精度が得られなかった。よって、救命率については橋本ら²⁾に従うこととした。

(2) 救急医療損失の算定

救急医療損失は、7種類の症状に対して、各斜面災害による道路途絶に伴って救急医療施設への最短経路が変更となり影響を受ける集落に居住する人口、疾患発生確率、平常時と災害時の救命率の差、道路途絶の発生確率および生命の価値の積和として求められ、(2)式により算定できる。

$$D_4^s = \sum_j \sum_i \left[N_j \times P_{Ei} \times (P_{Li,j}^o - P_{Li,j}^d) \times \frac{T}{365} \times I \right] \quad (2)$$

ここで、 N_j ：各道路途絶により影響を受ける人口、 P_{Ei} ：疾患発生確率、 $P_{Li,j}^o$ ：平常時の救命率、 $P_{Li,j}^d$ ：災害時の救命率、 T ：復旧日数、 I ：生命の価値。

表1 対象地域における疾患発生確率 ($\times 10^4$)

疾患名	飛騨市	高山市	下呂市
1 脳出血	6.19	10.5	5.44
2 くも膜下出血	4.73	12.4	1.9
3 心筋梗塞	6.19	14.3	8.16
4 心不全	5.46	11.4	5.98
5 肺炎	9.83	0	9.79
6 CPA	7.28	40.9	4.9
7 脳梗塞	14.6	33.3	11.2

4. 孤立集落損失の評価手法の開発

平成16年新潟県中越地震を機に、道路防災の面から「孤立集落解消」が重要な課題として挙げられるようになった。孤立集落発生の原因として斜面災害が大きく関係していることから、孤立集落を考慮した斜面对策優先順位付けが求められている。岐阜県道路維持課では、平成20年度に全市町村を対象とした孤立する可能性のある集落（孤立予想集落）の調査を行った。その結果、107集落、11,433人が孤立する可能性のあることがわかった。孤立集落の解消は、県民の生活保護の観点から道路行政上重要な課題となっている。以上のような背景から孤立集落損失は、斜面災害による道路途絶に伴って影響を受ける各種サービスの途絶回避に対する支払意思額（以下、WTP）と孤立集落地域の世帯数の積で評価するものとする。WTPの算出にはCVMを用いる³⁾。具体的には、各種サービスの途絶が回避されることに対するWTPを普段使用しているサービス料金に上乗せする金額として把握するためのアンケート調査を実施した。得られたデータから提示金額に対する賛同率曲線を求めてWTPを推計する。

(1) 集落孤立に関する損失評価項目の整理

道路が途絶し孤立集落となった場合、住民生活にどのような影響が発生するかについて「新潟県中越地震の実態調査」などの先行研究より整理した。その結果、災害時の被害項目としてライフライン（水道、電気、ガス）の途絶に関するものが多いこと、孤立予想集落が多く存在する中山間地域では高齢化率が高いことを考慮して、①水道の断水、②電気の停電、③ガスの供給停止、④情報通信手段の途絶、⑤医療サービスの停止、⑥介護サービスの停止、⑦郵便・宅配便サービスの停止の7項目を孤立集落損失の評価項目とした。

(2) 便益の定義

本研究では集落孤立に対する不安感を評価する必要

があるが、不安感のみ計測することは困難であると言われている⁴⁾。そのため、Option Price の定義⁵⁾に基づき、いつ発生するかわからない災害に対し、災害発生時の状況を想定して平常時に支払ってもよいと思う金額を調査することで、集落孤立に対する不安感を含めた評価を行うこととする。

Option Price とは、平常時、災害時にかかわらず一定の支払意思額とする便益の定義であり、一般的に(3)式のように表現される。

$$\begin{aligned} & u(Y_o^w - OP) \times (1 - P^w) + u(Y_d^w - OP) \times P^w \\ & = u(Y_o^{wo}) \times (1 - P^{wo}) + u(Y_d^{wo}) \times P^{wo} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、OP : Option Price , $u(\cdot)$: 効用関数, Y : 所得, P : 被災確率, w, wo : 対策実施の有無を表す添え字, o, d : 平常時, 災害時を表す添え字。

(3) アンケート調査

CVM を用いて斜面災害に伴う集落孤立に関する損失評価を行うため、市民生活に影響を及ぼすライフラインを含む7項目(水道, 電気, ガス, 情報通信手段, 医療, 介護, 郵便・宅配便)の途絶回避に対するWTPに関するアンケート調査を実施した。

調査シナリオとして、対象地域である岐阜県飛騨圏域における現状の落石発生確率⁶⁾より50, 100, 300年に1回の3パターン、災害復旧期間は、1日, 3日, 1週間の3パターン、計9パターンとした。調査方法は、インターネット調査とし、調査対象者は岐阜県の本巣市, 高山市, 垂井町, 関ヶ原町, 揖斐川町, 関市, 美濃市, 郡上市, 富加町, 川辺町, 七宗町, 八百津町, 白川町, 東白川村, 瑞浪市, 中津川市, 恵那市, 下呂市, 飛騨市, 白川村)いずれかにお住まいの16歳以上の方である。以上の方法で調査を実施した結果、5191サンプルの調査依頼数に対して1357サンプルの回答(回収率26.1%)が得られた。なお、孤立集落発生時に関わるライフラインを含む7項目のサービスの価値を調査することが目的であるため、岐阜県の中でも孤立予想集落が存在する中山間地を選定した。

(4) WTP の推計

アンケート調査結果より、孤立予想集落に住んでいると回答した者のみのデータ(239サンプル)を抽出して分析した。ノンパラメトリック法でWTPを推計するため、各提示金額に対する賛同率をグラフ化した。賛同率曲線を図1に示す。水道, ガス, 医療, 郵便・宅配便の4項目については、提示金額が増加するほど

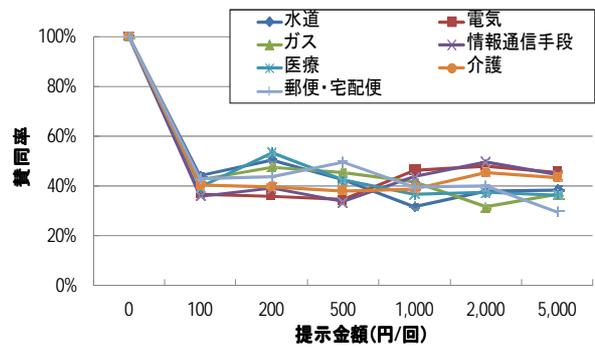


図1 各項目の賛同率曲線(孤立予想集落)

表2 各項目に対するWTP(世帯・月あたり, 単位: 円)

項目	WTP	項目	WTP
水道	3,242	医療	2,111
電気	2,904	介護	2,928
ガス	2,682	郵便・宅配便	3,511
情報通信手段	2,986	合計	20,364

表3 経済損失評価の仮定

- ① 落石による斜面災害のみを対象とする(ただし、落石径は一定とする)
- ② 落石による道路途絶期間は1日とする
- ③ 降雨による通行規制などの影響は考慮しない
- ④ 復旧費用は一定とする
- ⑤ 落石発生に対して空間的な相関(落石の複数同時発生)は考慮しない

賛同率も減少するという妥当な結果が得られている。しかしながら、電気, 情報通信手段, 介護の3項目については、提示金額が増加しているのにも関わらず、賛同率も増加する場合もあるという結果となった。このとき、WTPの平均値は賛同率曲線とX軸, Y軸で囲まれた面積となる。

次に、表2に推計された各項目に対するWTPを示す。WTPは郵便・宅配便が3,511(円/月)で最も高く、医療が2,111(円/月)で最も低い結果となった。これら7項目は質的に異なるにも関わらず、各項目に対するWTPに大きな差が現れていない。これは、回答者の頭の中で各評価項目が途絶してしまうという状況がイメージしにくかったことが原因と考えられる。一方、WTPの値はインターネット調査で指摘されるデータの偏りを無くすため、調査対象地域の年代分布によって補正している。推計されたWTPに基づき、式(4)を用いて孤立集落損失を算定する。

$$D_j^s = \sum_i (WTP_i \times n_j), \quad i=1, \dots, 7 \quad (4)$$

ここで、 WTP_i : 各項目に対するWTP, n_j : 世帯数, i : 評価項目, j : 集落名。

5. 斜面災害リスクの評価

先に示したように、対象リスクを落石災害リスクに特定するとともに、岐阜県内で特に落石被害の多い飛騨圏域（飛騨市、高山市、下呂市）を対象として、危険性の高い 3023 箇所の斜面と実際の道路ネットワークから評価する。

斜面災害リスクを算定するためには斜面災害の発生確率が必要である。本研究では、落石災害の発生確率を岐阜県の被災履歴データを基に解析し、相対確率から絶対確率を算出されたもの⁶⁾を採用した。

表 3 に示した条件の下、対象地域における全斜面の各種経済損失を評価した。図 2 は斜面別における各損失（人身損失 D_2 、迂回損失 D_3 、救急医療損失 D_4 ）が上位 100 の路線区間である。最も損失額の大きい路線区間は高山市の一般国道 158 号線である（図 2 に「1」と表示されている）。図 3 より、各項目の損失額を比較すると迂回損失 D_3 の割合が大きいことがわかる。

孤立集落損失 D_5 についてみると、対象地域における孤立集落は 13 路線 13 区間 37 集落である（平成 21 年時点）。孤立集落損失 D_5 の最も高い路線区間は飛騨市の一般国道 360 号線（438.0 万円）で、最も低いのが一般県道槍ヶ岳公園線（97.7 万円）と試算された。この値はリスク評価を行う際に重要な情報となり得る。

6. おわりに

本研究では、道路途絶による社会経済的損失を考慮した斜面災害リスクの評価モデルを提案した。また、地域特性を考慮するため救急医療損失の算定方法の改良を行うとともに、集落孤立に対する不安感を含んだ孤立集落損失評価モデルも示した。

今後の課題としては、適用範囲の岐阜県全域への拡大、橋梁やトンネルなどを含めた道路施設全体に対するリスク評価モデルの開発、救急医療損失における救命率の算定などが挙げられる。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル（案），2004。
- 2) 橋本孝来ら：救急患者収容所要時間と救命率の関係，日臨救医誌，5：285-92；2002。

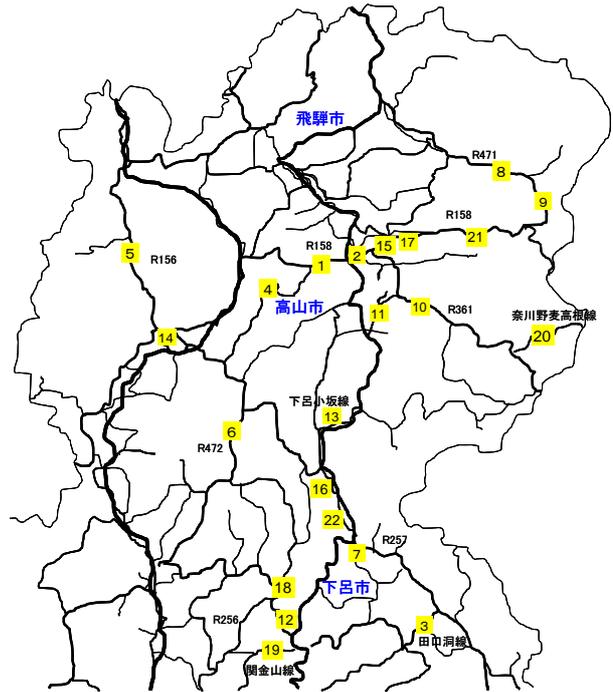


図 2 各損失が上位 100 の路線区間

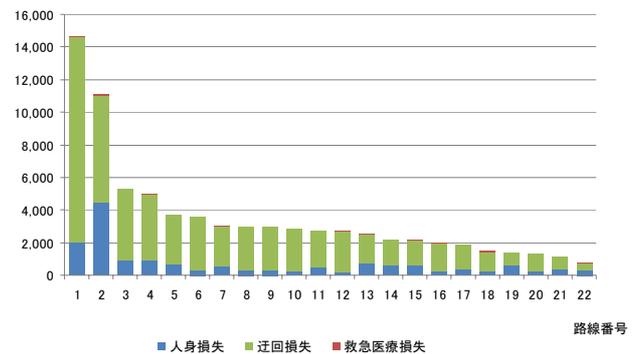


図 3 上位 100 路線区間における各損失額(万円)

- 3) 高木朗義：CVM（仮想市場評価法），伊多波良雄編著，公共政策のための政策評価手法，中央経済社，181-202，2009。
- 4) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編），2009。
- 5) 高木朗義・多々納裕一：災害リスクマネジメント施策の経済評価，多々納裕一・高木朗義編著，防災の経済分析—リスクマネジメントの施策と評価—，勁草書房，72-87，2005。
- 6) 本城勇介ら：社会基盤の総合的リスクマネジメント（その 2）：飛騨圏域を対象とした道路斜面危険度，第 65 回年次学術講演会講演概要集，土木学会，2010。