

京都大学工学部 学生会員 ○西本 恒
 環境防災総合政策研究機構 正会員 関 克己
 国土技術研究センター 正会員 湧川 勝己

国土技術研究センター 正会員 岡安 徹也
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大西 正光
 京都大学経営管理大学院 フェロー会員 小林 潔司

1. はじめに

近い将来に火山の噴火が発生する可能性が確認されると、噴火の被害を受ける可能性がある地域の市町村長は災害対策基本法に基づき、住民の安全に対して責任を持つ。この時、住民を避難させた状態で噴火の被害がその地域にまで及ばない場合は、結果として無駄な避難生活や経済的な損失が生じる。一方で、住民を避難させていない状態で噴火の被害がその地域にまで及ぶ場合は、住民の生命に関わる致命的な損失に繋がる。市町村長や専門家が住民に対して避難指示を行うべきであるのかを判断する際は、これらの意思決定の失敗を考慮して行われる。また、噴火発生前の時点での避難指示に関する意思決定は、噴火地点がどこになるのか、その確率がわからない不確実性下で行われる。本研究では、火山噴火発生前時点での不確実性下における避難指示意思決定に関する合理的な避難指示基準について提言することを目的とする。

2. 本研究の基本的な考え方

噴火発生前には、地盤変動や火山性地震の頻発など噴火の前兆現象が観測される。意思決定者はこの観測情報 $\xi \in X$ を用いて住民に対して避難指示意思決定を行う。この時に問題となるのが、前兆現象の観測情報からでは、噴火地点 $t \in T$ がどこになるのか、その確率までは知ることができない。すなわち、不確実性下での避難指示意思決定を行わなくてはならない。不確実性下とは、竹村ら（2004）の定義に従い、「選択肢を採択したことによる結果の確率が既知でない状況」とする。このような状況では、意思決定者は噴火災害について部分的な知識しか持っていないといえる。一方で、噴火規模は噴火地点が確定されると統計的に決まるとする。なお、噴火

が発生すると噴火地点が確定するので不確実性はなくなる。

3. モデルの説明

噴火ハザード $y \in Y$ は噴火位置、噴火規模をパラメータとする確率的関数 $y = \hat{y}(t, s)$ で表現する。意思決定者は観測から得た情報 ξ から発生する噴火ハザードについて予測しなくてはならない。また、意思決定者が選択する避難措置 $a \in A$ によって得られる効用は $u(y, a)$ で表される。意思決定者が意思決定対象の地点に対して避難措置 a を出すことへの評価値として、社会的効用関数を

$$U[a, P(y)] \equiv E[u(a)|\xi]$$

と期待効用で定義する。 $P(y)$ は噴火ハザード y に関する確率分布である。仮に、発生する噴火ハザードの確率分布 $P(y)$ が噴火発生前において既知であるならば、意思決定者は最適化問題 $\max_{a \in A} U[a, P(y)]$ を解く事で避難措置方法が決定される。しかし、一般的には噴火ハザードの確率分布を知っていない。観測情報 ξ が得られた時、噴火ハザードが y となる確率を $P(y|\xi)$ とすると、

$$P(y|\xi) = \sum_{\tau \in T} P[\hat{y}(\tau, s)|\xi] P(\tau|\xi)$$

が成立する。この時、噴火地点が τ に定まった時の噴火規模の確率分布 $P[\hat{y}(\tau, s)|\xi]$ は統計的に定まり、既知であるとする。一方で、噴火地点の確率分布 $P(t|\xi)$ は特定することができない。そのため噴火ハザードの確率分布 $P(y|\xi)$ もわからない。これでは合理的な意思決定を行うことはできない。そこで、一時的に仮想的な噴火地点の確率分布 γ を設定する。

そして、噴火地点が τ である確率を $P_\gamma(\tau|\xi)$ と表す。
この時 $P(y|\xi)$ が生じうる領域は、

$$H\{P_\gamma(y|\xi)\} = \left\{ \sum_{\tau \in T_\xi} P[\hat{y}(\tau, s)|\xi] P_\gamma(\tau|\xi), \gamma \in \Gamma_{T_\xi} \right\}$$

と表すことができる。 T_ξ は観測情報 ξ が得られた際に考え得る噴火地点の集合、 Γ_{T_ξ} は観測情報 ξ が得られた際に考え得る噴火地点の確率分布 γ で構成され集合である。このように、噴火地点の確率分布を γ と仮定することで、一時的に不確実性を考慮する必要がなくなり、意思決定が可能になる。

本研究では、ミニマックス・レグレット基準に基づいて、意思決定問題を定式化する。ミニマックス・レグレット基準に基づく避難指示意思決定は次のように表すことができる。

$$\inf_{a \in A} \sup_{\gamma \in \Gamma_{T_\xi}} \{U^*(P_\gamma) - U(a, P_\gamma)\}$$

ここで、 $U^*(P_\gamma)$ は噴火位置に関する確率分布が γ である時に最適な避難措置を選択したことによる社会的効用であり、次のように示すことができる。

$$U^*(P_\gamma) \equiv \max_{a \in A} \sum_{\tau \in T_\xi} E[u(a)|\xi, \tau] P_\gamma(\tau|\xi)$$

一方で、 $U(a, P_\gamma)$ は噴火地点の確率分布が γ である時に、意思決定者が避難措置 a を選択した場合の社会的効用であり、次のように定義する。

$$U(a, P_\gamma) \equiv \sum_{\tau \in T_\xi} E[u(y, a)|\xi, \tau] P_\gamma(\tau|\xi)$$

この時、 $U^*(P_\gamma) - U(a, P_\gamma)$ は噴火地点の確率分布が γ である時に避難措置 a を選択したことへの後悔という。ミニマックス・レグレット基準ではこの後悔が最も大きくなる噴火地点の確率分布を想定し、その確率分布で後悔が最も小さくなる避難措置を選択する。この時、後悔が最大になると想定される確率分布では、ある 1 点が確率 1 で噴火地点になるものが考えられている。

4. 決定基準の比較

噴火発生前の意思決定では、不確実性に対処する

ため、全ての確率分布に対する最適な避難指示を求めるか、最悪のシナリオが起こりうるシナリオを考えて避難措置を考えるとされる。そこで、本研究では、あらゆる確率分布に対し、その確率分布になる主観的確率を定めて最適な避難措置を考えるベイズルール、社会的効用が最小になりうる確率分布を想定して、その中で社会的効用を最も大きくする選択肢を選ぶマキシミン基準の 2 つの決定基準をミニマックス・レグレット基準と比較する。ベイズルールでは、生命の関わる避難指示意思決定であるにも関わらず、最悪のシナリオに対応できるものではない。そのため、ベイズルールは最適な決定基準ではない。また、マキシミン基準では、想定される噴火地点の確率分布は、確率 1 で噴火地点が最も噴火の被害を及ぼす確率が低くなる地点になるものか、確率 1 で噴火地点が噴火の被害を及ぼす確率が最も高くなる地点になるものであり、ミニマックス・レグレット基準と同じである。しかし、噴火の被害を及ぼす確率が最も高い地点が想定される条件はミニマックス・レグレット基準の方が優しい。意思決定者は住民の生命を守ることを避難指示での第一の目的とするべきであり、ミニマックス・レグレット基準を選択するのが合理的である。

5. おわりに

以上より、噴火発生前の不確実性下での避難指示意思決定では、最悪のケースを考えて、噴火の被害が及ぶ確率が高い地点を噴火地点として想定する条件がマキシミン基準よりも優しいので、ミニマックス・レグレット基準を用いるべきであるという結論が得られる。

今後は、噴火以外の自然災害に対して本研究での決定基準を用いることができるのか検討することや、決定基準の比較をモデル化することで、基準の選択に関する合理性をより明白化することを課題とする。

参考文献

- 1) 竹村和久, 吉川肇子, 藤井聡: 不確実性の分類とリスク評価—理論枠組の提案—, 社会技術研究論文集, Vol.2, pp.12-20, 2004.