

(61) 口永良部島2014-2015年危機の確率論的危険性評価

池田 一¹・吉田 真也²・安養寺 信夫³

¹正会員 一般財団法人砂防・地すべり技術センター 総合防災部
(〒102-0074 東京都千代田区九段南4-8-21山脇ビル)
E-mail: h-iked@stc.or.jp

²非会員 一般財団法人砂防・地すべり技術センター 総合防災部
(〒102-0074 東京都千代田区九段南4-8-21山脇ビル)
E-mail: yoshida@stc.or.jp

³正会員 一般財団法人砂防・地すべり技術センター 砂防技術研究所
(〒102-0074 東京都千代田区九段南4-8-21山脇ビル)
E-mail: nobanyoji@stc.or.jp

火山噴火に対する危機管理の意思決定を行うにあたり、最も困難な側面のひとつは火山観測データの解釈であり、噴火に至る危険性を定量的に評価することが課題として挙げられる。このため、火山観測データに応じて、火山噴火の危険性を定量的に評価することが可能となれば、火山噴火時の危機管理の意思決定を支援する重要な情報となる。

本研究では、火山噴火の危険性について、火山観測データを噴火確率として定量的に評価した。具体的には、口永良部島の2013-2014年危機を対象として、火山観測データのうち火山性地震の発生回数と二酸化硫黄の放出量の2つのデータを用いて、ベイズ推定により、時々刻々と変化する噴火確率を推定し、火山噴火の危険性を定量的に評価できることを示した。

Key Words : bayesian inference, eruption probability, monitoring data, crisis management, volcanic hazard assessment

1. はじめに

2015（平成27）年5月29日9時59分鹿児島県屋久島町の口永良部島新岳が噴火した。この噴火で気象庁は10時7分に噴火警報を発表し、噴火警戒レベルを最高レベルの5（避難）に引き上げた。10時15分には、屋久島町が島全域に居住者の島外への避難を指示した。幸いこの噴火による犠牲者は無かったものの、火山噴火に対する危機管理の重要性を再認識することとなった。

火山噴火に対する危機管理の意思決定を行うにあたり、最も困難な側面のひとつは火山観測データの解釈であり、噴火に至る危険性を定量的に評価することが困難であることが挙げられる。

このため、火山観測データに応じて、火山噴火の危険性を定量的に評価することが可能となれば、火山噴火時の危機管理の意思決定を支援する重要な情報となる。

従来の研究では、火山噴火の危険性に対して、イベントツリーによる噴火シナリオの危険性の定量化¹⁾や、各

噴火シナリオの長期的な火山災害を推定するベイズモデルの構築²⁾³⁾⁴⁾が行われてきた。しかし、連続的な火山観測により得られるデータを反映した噴火確率については、浅間山の2009年2月の噴火を対象に試算されているが、火山性地震のみを対象としており、他の火山観測データの反映については、課題として残されている⁵⁾。

口永良部島2015年の噴火は、2014年の噴火と比較して、噴火直前の火山性地震が少なかったにも関わらず、それを超える爆発的噴火に至っている。このため、このような噴火の確率を推定するにあたっては、火山性地震に加え他複数の火山観測データを反映する必要がある。

そこで、本研究では、口永良部島の2014-2015年危機を対象に、火山観測データのうち「火山性地震の回数」と「二酸化硫黄の放出量」の2つのデータを用いて、時々刻々と変化する噴火確率を推定し、火山噴火の危険性を定量的に評価する。

図-1に火山観測データを反映した噴火確率推定の流れを示す。以下では、各ステップの詳細を説明する。

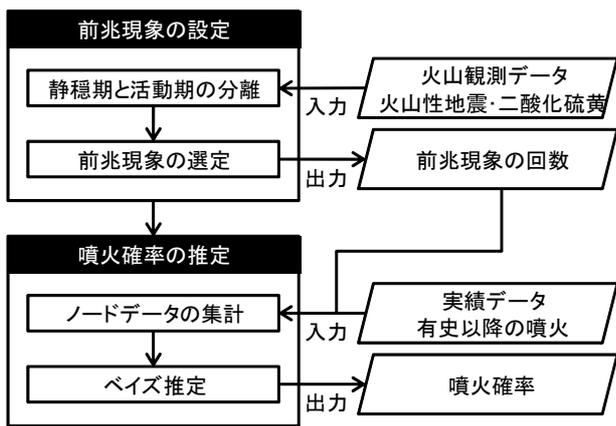


図-1 噴火確率推定の流れ

2. 前兆現象の設定

火山観測データを噴火確率に反映するにあたっては、火山噴火の前兆現象を選定するため、観測データの解釈が問題となる。浅間山では既知の噴火直前の火山観測データから閾値を設定し、前兆現象を選定した⁴⁾。しかし、この方法は、噴火を経験した際の観測データを持っていない火山では適用できない。このため、本研究では、火山活動の静穏期と活動期を分離し、観測データが静穏期の最大値を超えた場合を前兆現象として選定した。

(1) 静穏期と活動期の分離

図-2の火山観測データのうち火山性地震を用いて、時系列データ上の状態変化をマルコフ転換モデルにより解析し、火山活動の静穏期と活動期を分離した。図-3に分離した静穏期および活動期と事後確率分布を示す。

(2) 前兆現象の選定

静穏期の月最大となる火山性地震の回数154回（2007年11月）および二酸化硫黄の放出量200 t（2011年12月）を超えた場合、前兆現象として選定した。

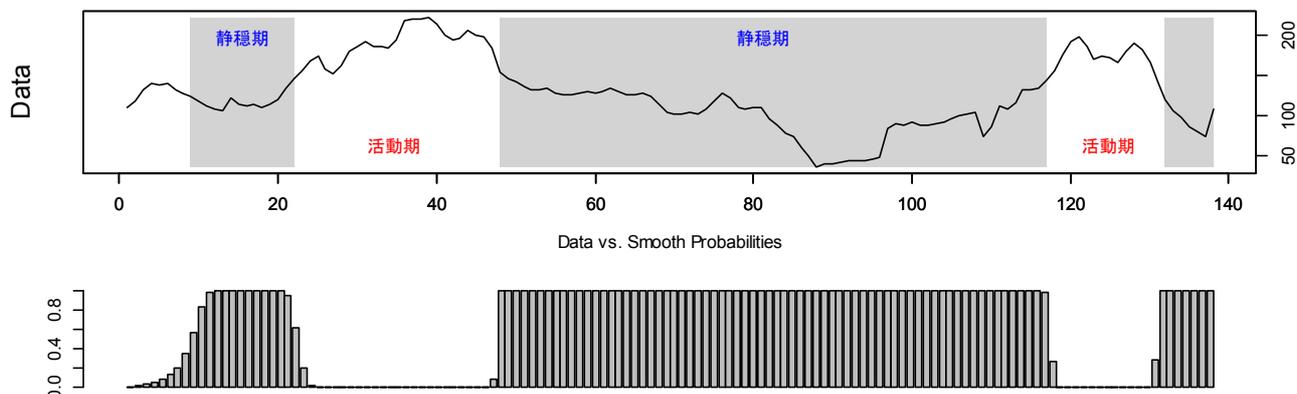


図-3 火山性地震の時系列データを基に分離した静穏期および活動期と事後確率分布

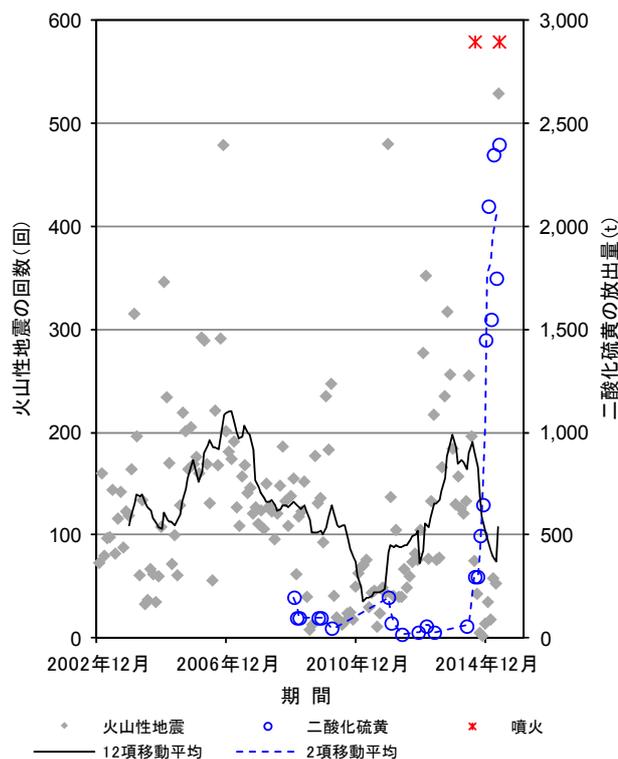


図-2 口永良部島火山観測データ（2003年1月～2015年5月）⁶⁾

3. 噴火確率の推定

噴火確率は、事前確率に対してデータの更新が可能なベイズ推定により行う。ここでは、イベントツリーを5つのノードで構成し、観測データおよび実績データを用いて各ノードと噴火の確率を推定した。

(1) ノードデータの集計

ノードは5つに区分し、観測データおよび表-1の有史以降の実績データにより、下記の通り集計した。

- a) 前兆現象：火山性地震・火山性微動・二酸化硫黄・その他の4現象に分類し集計した。火山性地震と二酸化硫黄については、観測データを反映した。

- b) 噴火分類：マグマ噴火・マグマ水蒸気噴火・水蒸気爆発・噴火せずの4種に分類し集計した。なお、観測データから判断した前兆現象はあったが噴火に至らなかった場合は、噴火せずとした。
- c) 火口位置：新岳を中心に東西南北方向と中央部の5か所に分類し集計した。
- d) ハザード：降灰、噴石、火砕流、溶岩流、火山泥流、土石流、その他の5種に分類し集計した。
- e) 噴火警戒レベル（想定）：気象庁の噴火警戒レベル

に照らし合わせて、想定される2～5の噴火警戒レベルに区分し集計した。

(2) ベイズ推定

ベイズ推定にあたっては、これまでピコ・デル・ティデ等の火山で使用されたHASSET（Hazard Assessment Event Tree）⁴⁾により計算を行った。HASSETは、オープンソース地理情報システム（QGIS）のプラグインとして提供されているフリーソフトウェアパッケージである。

表-1 口永良部島の有史以降の火山活動⁷⁾⁸⁾⁹⁾

年代	前兆現象	噴火分類	火口位置	ハザード	噴火警戒レベル(想定)
1841(天保 12)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰、噴石	レベル5 避難
1931(昭和 6)年	火山性地震	マグマ噴火	新岳西側山腹	降灰、噴石、火山泥流	レベル5 避難
1933～34(昭和 8～9)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰	レベル5 避難
1945(昭和 20)年	—	水蒸気爆発	新岳火口東外壁	降灰、噴石	レベル3 入山規制
1966(昭和 41)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰、噴石、火砕流	レベル5 避難
1968～69(昭和43～44)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰、噴石	レベル3 入山規制
1972(昭和 47)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰	レベル2 火口周辺規制
1973(昭和 48)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰	レベル2 火口周辺規制
1974(昭和 49)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰	レベル2 火口周辺規制
1976(昭和 51)年	—	マグマ噴火	新岳火口	降灰	レベル2 火口周辺規制
1980(昭和 55)年	—	水蒸気爆発	新岳東側斜面	降灰、噴石	レベル2 火口周辺規制

表-2 噴火直前の2015年4月における各ノードの事後確率

ノード	分岐	事前確率	実績データ	観測データ	事後確率
前兆現象	火山性地震	0.25	1	13	0.5769
	火山性微動	0.25	0	—	0.0385
	二酸化硫黄の放出	0.25	0	8	0.3462
	その他	0.25	0	—	0.0385
噴火分類	マグマ噴火	0.25	9	0	0.2857
	マグマ水蒸気爆発	0.25	0	0	0.0286
	水蒸気爆発	0.25	2	0	0.0857
	噴火せず	0.25	0	20	0.6000
火口位置	新岳火口	0.20	8	—	0.5625
	新岳北側	0.20	0	—	0.0625
	新岳西側	0.20	1	—	0.1250
	新岳南側	0.20	0	—	0.0625
	新岳東側	0.20	2	—	0.1875
	その他	0.20	0	—	0.0625
ハザード	降灰	0.15	11	—	0.4635
	噴石	0.15	6	—	0.2712
	火砕流	0.14	1	—	0.0762
	溶岩流	0.14	0	—	0.0377
	火山泥流	0.14	1	—	0.0762
	土石流	0.14	0	—	0.0377
	その他	0.14	0	—	0.0377
	その他	0.14	0	—	0.0377
噴火警戒レベル(想定)	レベル2 火口周辺規制	0.25	5	—	0.4000
	レベル3 入山規制	0.25	2	—	0.2000
	レベル4 避難準備	0.25	0	—	0.0667
	レベル5 避難	0.25	4	—	0.3333

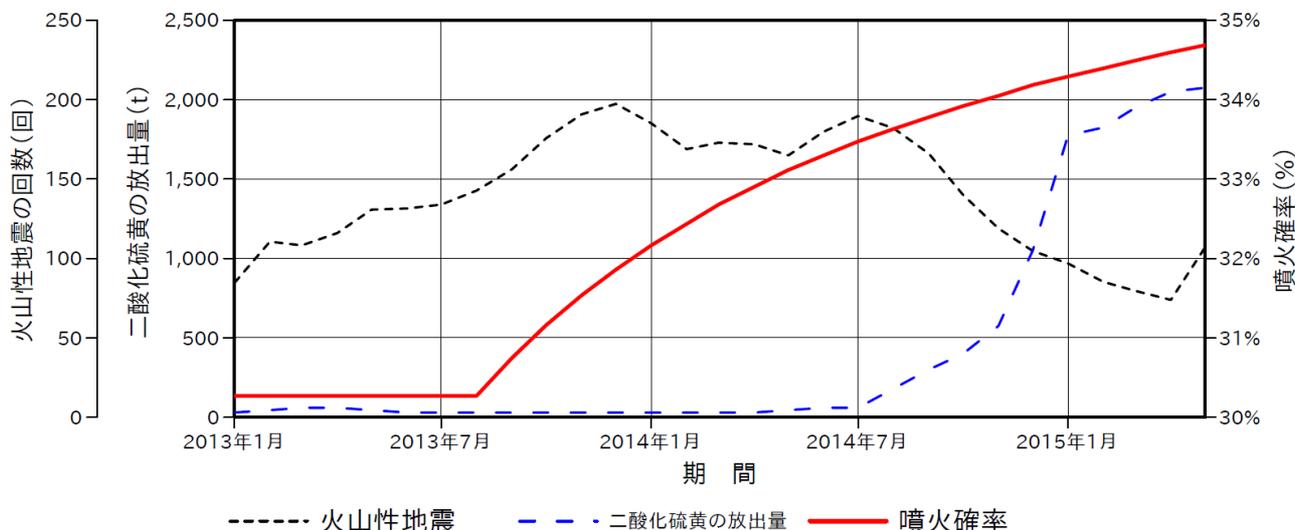


図4 各時点において将来5年間に1回噴火する確率の推移

有史以降としては最も古い1841（天保12）年の噴火から現在までの約175年間をデータセット時間とし、確率推定時間は、約2年分の観測データ時間数を取ることができる5年とした。これにより、各時点において将来5年間に1度噴火する確率を推定した。なお、各ノードの分岐の事前確率は等分と考え、月単位の観測データおよび実績データを加えて事後確率を求めた。

噴火直前の2015年4月における各ノードの事後確率を表-2に、推定した口永良部島2014-2015年危機における噴火確率の推移を図-4に示す。

2013年8月時点での噴火確率は30.3%、2014年8月噴火の前月5月時点の噴火確率は33.5%、2015年5月噴火の前月4月時点の噴火確率は34.6%となった。約2年間で噴火確率は4.3%の上昇であった。

4. まとめ

本研究の内容は、以下の2項目にまとめられる。

- 火山観測データを噴火確率に反映するにあたっては、火山噴火の前兆現象を選定するため、火山観測データの解釈が問題となることを指摘した。この対応として、時系列データ上の状態変化をマルコフ転換モデルにより解析することで、火山活動の静穏期と活動期を分離し、火山噴火の前兆現象を選定した。
- 火山性地震回数と二酸化硫黄放出量の2つの火山観測データを用いて、時々刻々と変化する噴火確率を推定することで、火山噴火の危険性を定量的に評価できることを示した。

今後は、GPSと傾斜計による地殻変動観測などのデータについても、前兆現象として加えることができるか検討を継続すると共に、御嶽山や新燃岳といった近年噴火

を経験した他火山についても、対象としていきたいと考えている。また、静穏期と活動期の分離については、あくまでも時系列データの解析結果であることから、物理モデルとの組み合わせについても検討する予定である。

参考文献

- Newhall, C.G, Hoblitt, R.P : Constructing event trees for volcanic crisis, *Bulletin of Volcanology*, 64, pp.3-20, 2002.
- Marzocchi, W, Sandri, L, Selva, J : BET_VH: a probabilistic tool for long-term volcanic hazard assessment, *Bulletin of Volcanology*, 72, pp.705-716, 2010.
- Sobradelo, R, Mart, J : Bayesian event tree for longterm volcanic hazard assessment Application to Teide-Pico Viejo stratovolcanoes, Tenerife, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115, pp.705- 716, 2010.
- Sobradelo, R, Bartolini, S, Mart, J : HASSET: a probability event tree tool to evaluate future volcanic scenarios using Bayesian inference, *Bulletin of Volcanology*, 76 (1), pp.1- 15, 2013.
- 池田一, 吉田真也, Bartolini, S : ベイズ推定による浅間山の噴火確率, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集, pp. A-294-295, 2015.
- 気象庁 : 火山活動解説資料, 口永良部島, http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.htm, (入手 2015.6.16) .
- 気象庁 : 日本活火山総覧, 第 4 版, 一般財団法人気象業務支援センター, pp. 677-683, 2013.
- 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター : 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編) (2014) 1 万年噴火イベントデータ集(ver. 2.2) , <https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.html> , (入手 2015.6.16) .
- 気象庁 : 口永良部島の噴火警戒レベル, <http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/Kuchierabujima.pdf>, (入手 2015.6.16) .