



Japan Asia Group
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

*Hiromichi Kanai, *Naomi Nagata, *Shinya Fujiwara, **Ichiro Nagashima and **Yoichiro Koyama
(*Kokusai Kogyo Co., Ltd.), (**General Insurance Rating Organization of Japan)

1. Introduction

火山噴火は、一定の周期に基づいて決まった規模の噴火が発生するとは限らず、その噴火が生じるタイミングや規模を中・長期的に評価することは現状として困難である。しかしながら、人命の損失や環境変化、インフラ施設の破壊や産業途絶による経済損失など、火山噴火が社会へ与える影響は甚大であり、そのリスクの低減は大きな課題となっている。

国外では1960年代から火山災害によるリスク低減の一環として、統計学に基づいた確率論的評価手法による火山活動予測に関する研究がなされてきた。また、2015年には国連防災世界会議(UNISDR)において火山噴火によるハザード評価手法が紹介されるなど、確率論的火山危険度評価手法に関する研究が進んでいる。日本国内では2004年に富士山ハザードマップ検討委員会の中でイベントツリーの概念が採用され(Fig.1)、その後定量的に確率を評価する手法の研究が進められている。

本研究では近年の確率論的火山危険度評価手法に関して、研究事例を収集し、近年の動向や各手法の特徴を説明する。

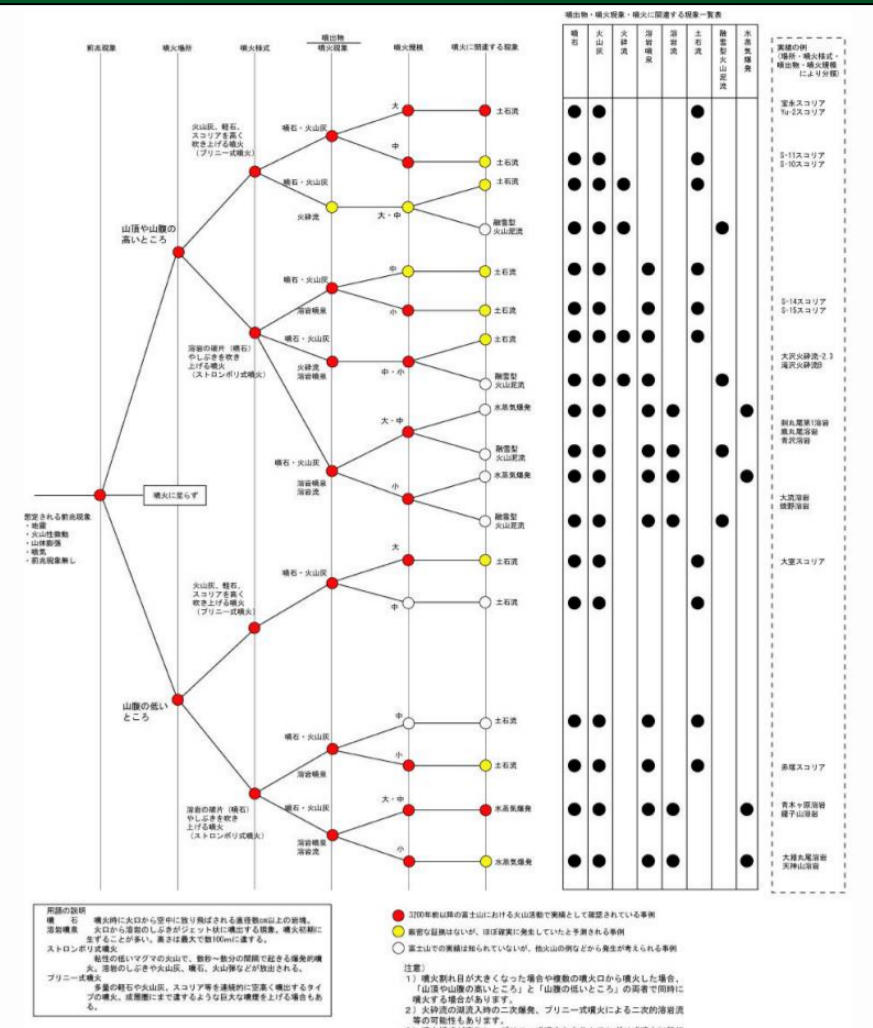


Figure.1: Event tree of Fuji volcano(Mt.Fuji Volcano Disaster Management Conference, 2004)

2. Trend

国外における確率論的火山危険度評価手法について、2005年から2015年の間にかけて発行された確率論的評価に関する研究事例を対象に文献を収集し、文献発行数から、その傾向を調査した。

【国別傾向】(Fig.2)
自国内に多くの活火山を抱えているイタリア、次いでニュージーランドで多く、次にイギリス、そして自国及び近隣にいくつかの活火山があるスペインがそれに続く。日本における発行部数は少ない。

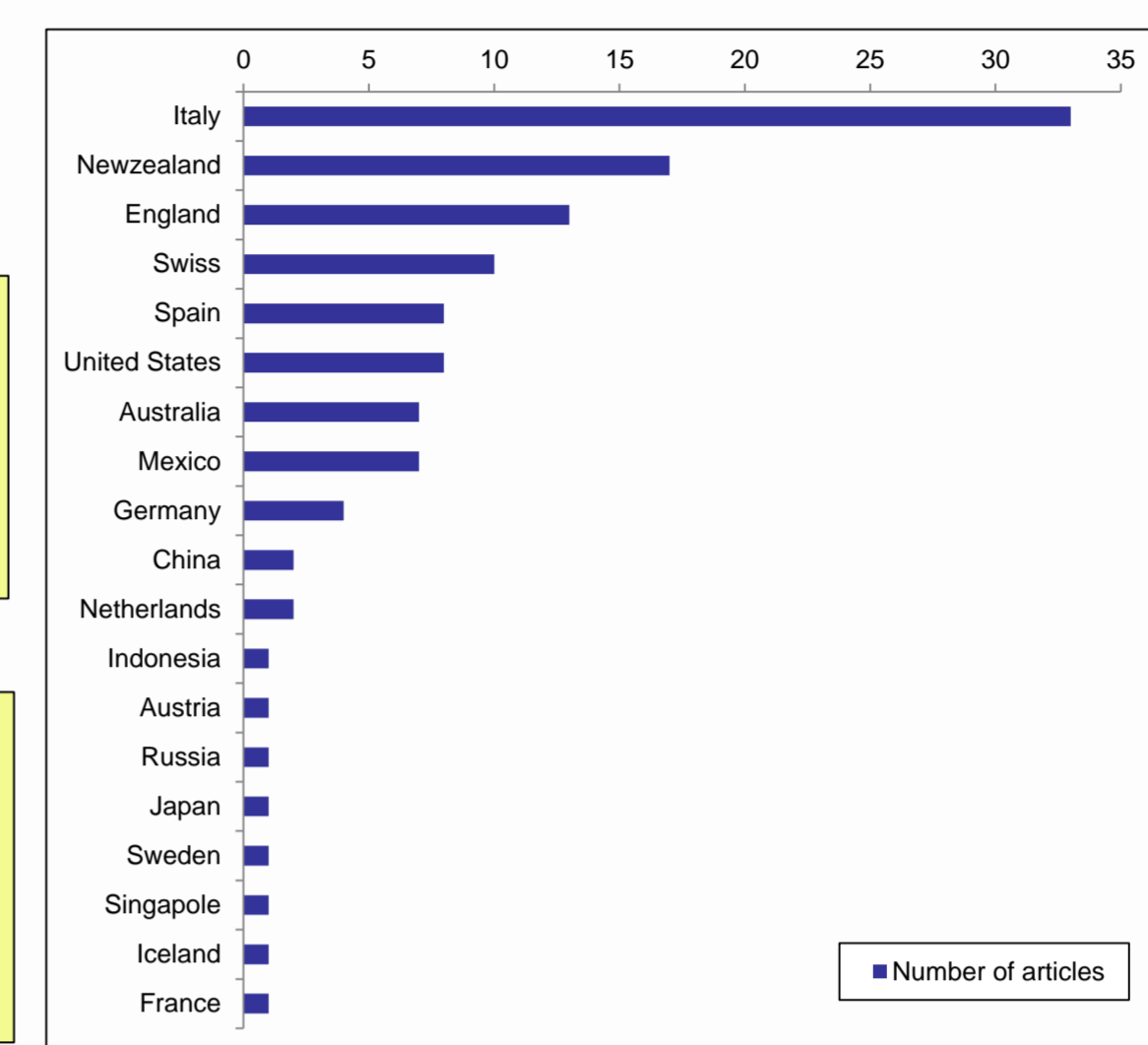


Figure.2: The number of papers reported on probabilistic volcanic assessment country by country since 2005 till 2015.

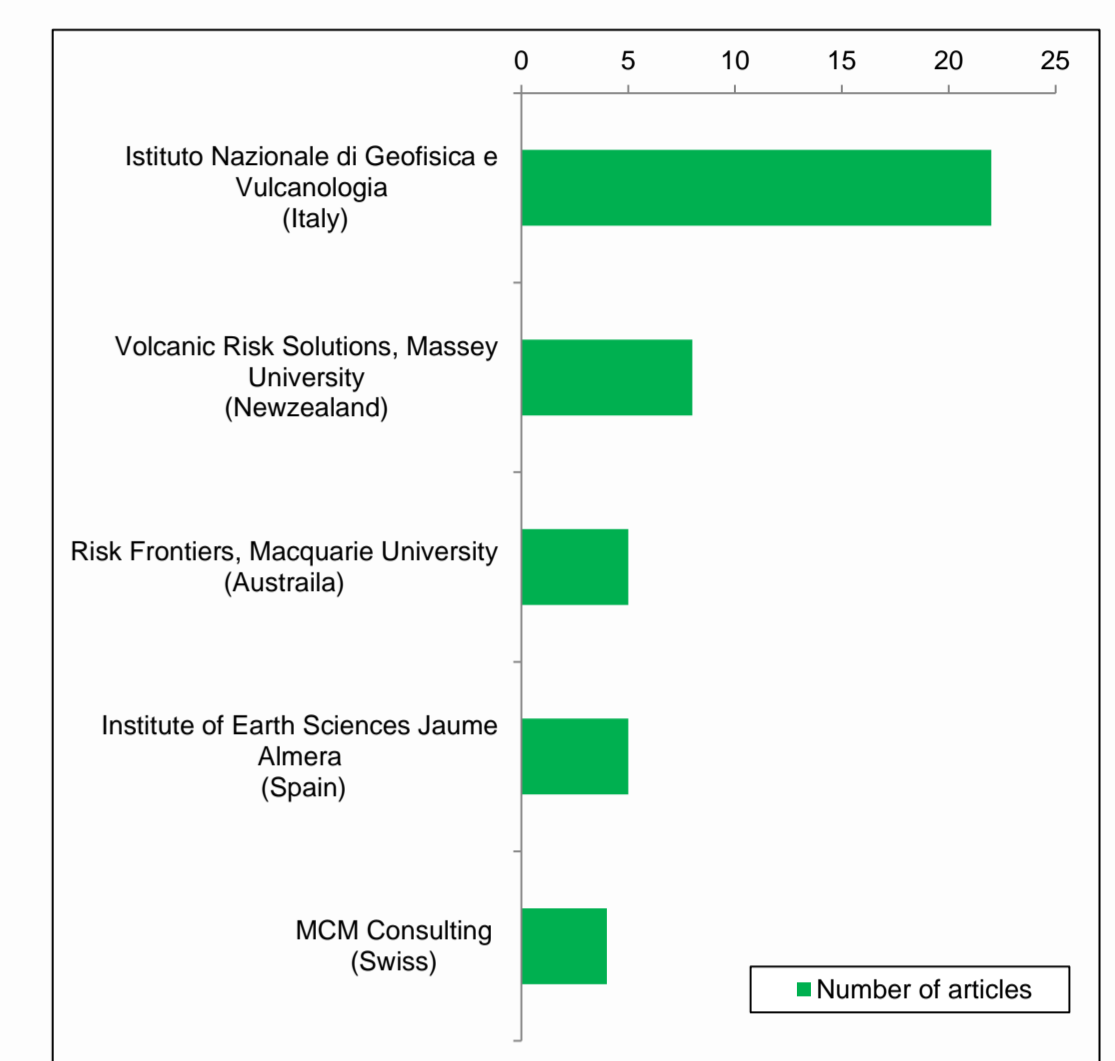


Figure.3: The number of papers reported on probabilistic volcanic assessment published by some research institutes since 2005 till 2015.

【研究機関別傾向】(Fig.3)
2005年から2015年の間に約67の研究機関から論文が発表されている。特に多く研究を発表しているのはイタリア国立地球物理学火山学研究所(イタリア)であり、次いでMassey大学(ニュージーランド)であった。

3. Methods

上記で調査した確率論的評価手法のうち、特に著名な手法および、2015年にUNISDRで取り扱われた手法に関してその概要を整理した。

【統計計算×シミュレーション】

項目	諸元
概要	<ul style="list-style-type: none"> 火山噴火による降灰荷重の年超過確率を広域的に評価するとともに、任意の地点に対して最も影響を及ぼす火山を評価する。 評価手順は以下の4項目で構成される。 <ol style="list-style-type: none"> GVPカタログデータベースから噴火確率算出に使用するデータを抽出 噴火の規模一頻度データの統計分析による年噴火確率評価 降灰シミュレーションから得られた降灰荷重分布を定式化 (ALPEの作成) 評価対象地域の降灰荷重とその年超過確率の計算 (VAPAHR toolによる計算)
*評価対象確率	噴火確率、到達確率、発生確率
評価内容	評価対象地点における降灰荷重(kg/m ²)の年超過確率
評価可能時間	100年~10,000年
評価最小単位	1×1 km
使用データベース	GVPカタログ (スミソニアン博物館)
評価事例	アジア太平洋地域
参考文献	Bear-Crozier, A. N et al., (2014), Emulating volcanic ash fall for multi-scale analysis: Development of the VAPAHR tool and application to the Asia-Pacific region for the United Nations Global Assessment Report 2015

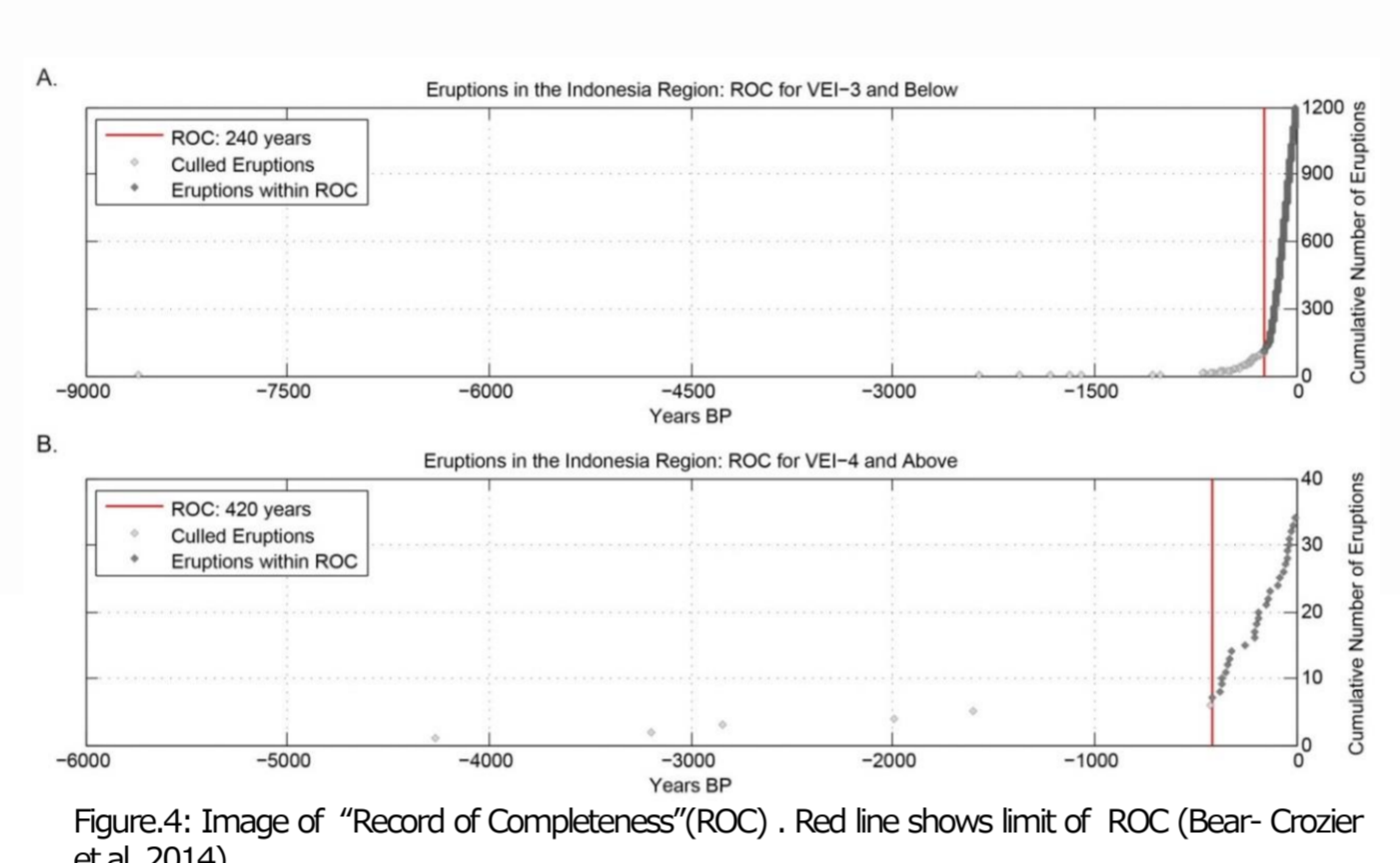


Figure.4: Image of "Record of Completeness"(ROC). Red line shows limit of ROC (Bear-Crozier et al., 2014).

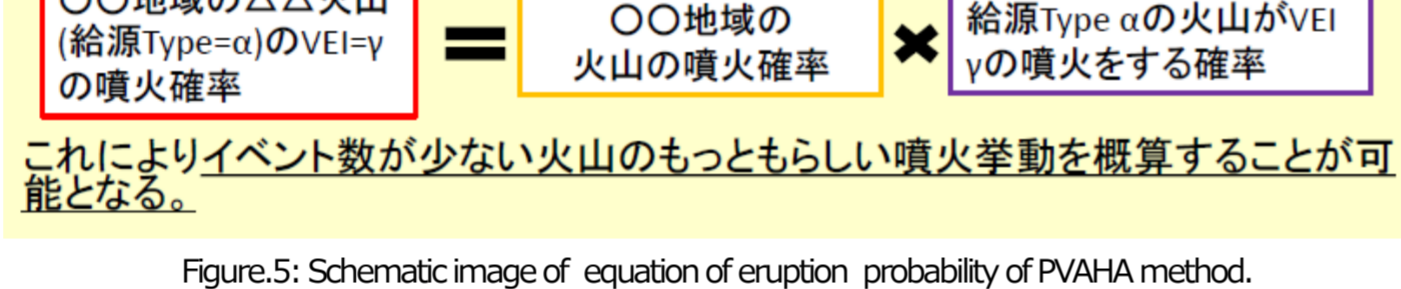


Figure.5: Schematic image of equation of eruption probability of VPAHA method.

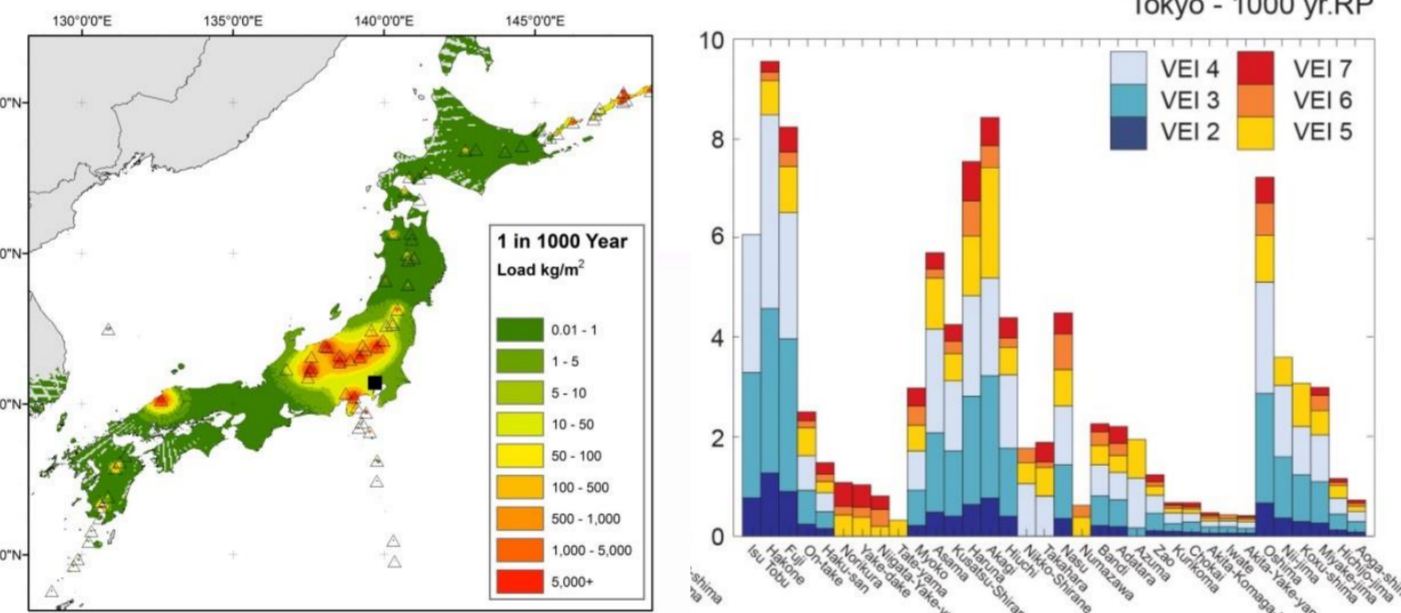


Figure.6: Result of VPAHA method. LEFT; Estimated maximum ash load for sites in Japan at the 1000 year return period. The colour bar indicates the maximum ash load in kg/m². RIGHT; Estimated maximum ash load % contributions disaggregated by volcanic source and magnitude of eruption (VEI - as indicated by the colour bar) for Tokyo at the 1,000 year return period (Bear-Crozier et al., 2014)

【ベイジアンイベントツリー】

項目	諸元
概要	<ul style="list-style-type: none"> ベイズ統計理論に基づくリスクの確率評価 短期的な噴火予測を目的としたBET_EF (Eruption Forecast) と、長期的な火山災害リスク評価のためのBET_VH (Volcanic Hazard) の2つがある。 基本概念は、イベントツリーによるものである。イベントツリーは火山活動について異常発生を出発点として、どのように事象が分岐していく可能性があるかを系統的にまとめたものである。
*評価対象確率	噴火確率、到達確率、発生確率
評価内容	イベントツリーによる火山不安定状態から噴火、それに伴い発生する現象と被害地域まで総合評価
評価可能時間	不安定状態の発生から噴火まで
評価最小単位	任意
使用データベース	過去の噴火記録、リアルタイム観測データ
評価事例	イタリア(エトナ山など)
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> Jacopo Selva, Warner Marzocchi, Laura Sandri, Antonio Costa, (2015), Chapter 9 - Operational Short-term Volcanic Hazard Analysis: Methods and Perspectives Warner Marzocchi, Laura Sandri, Jacopo Selva, (2010), BET_VH: a probabilistic tool for long-term volcanic hazard assessment etc

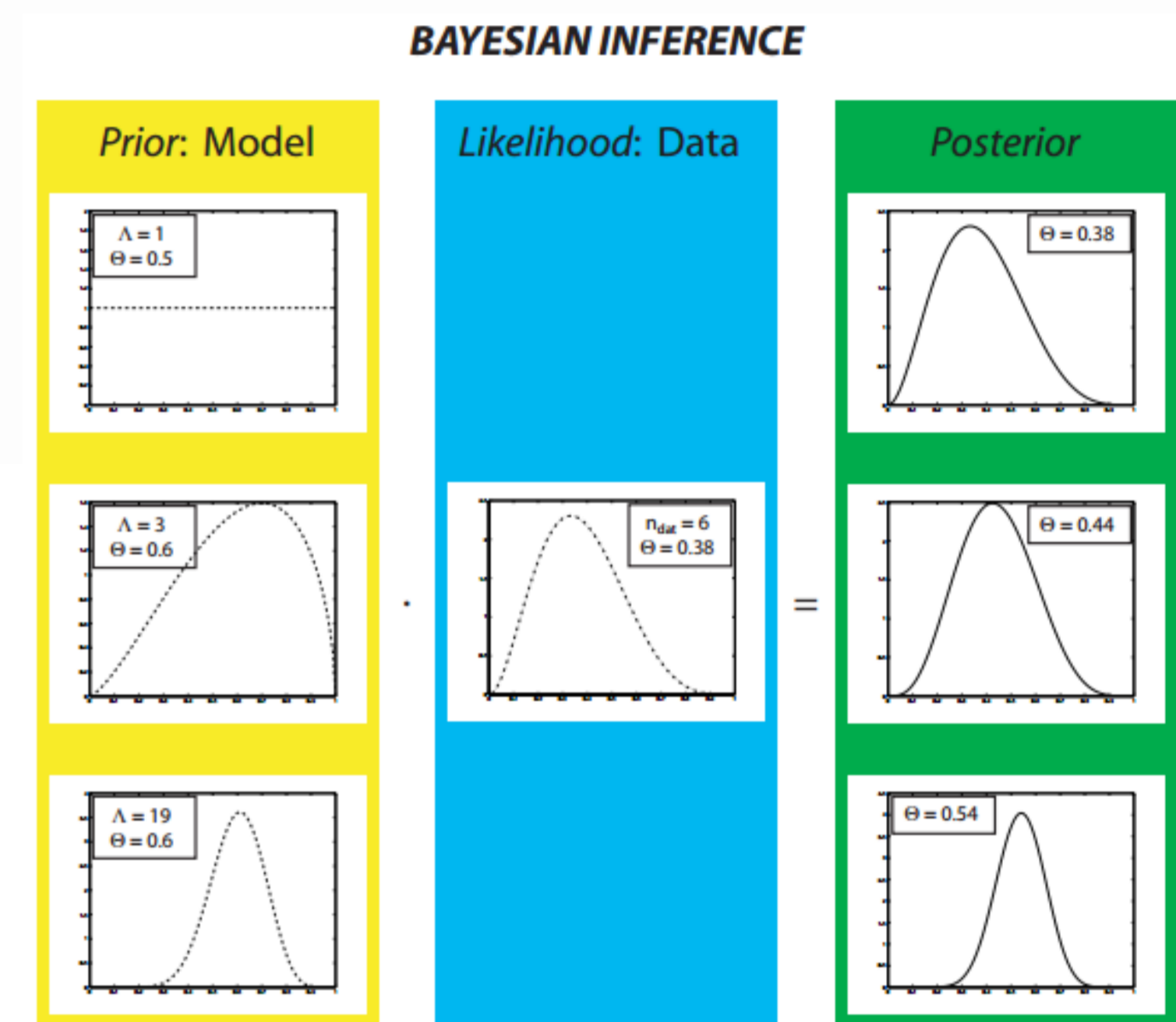


Figure.10: Schematic image of Bayesian inference(Marzocchi et al., 2008).

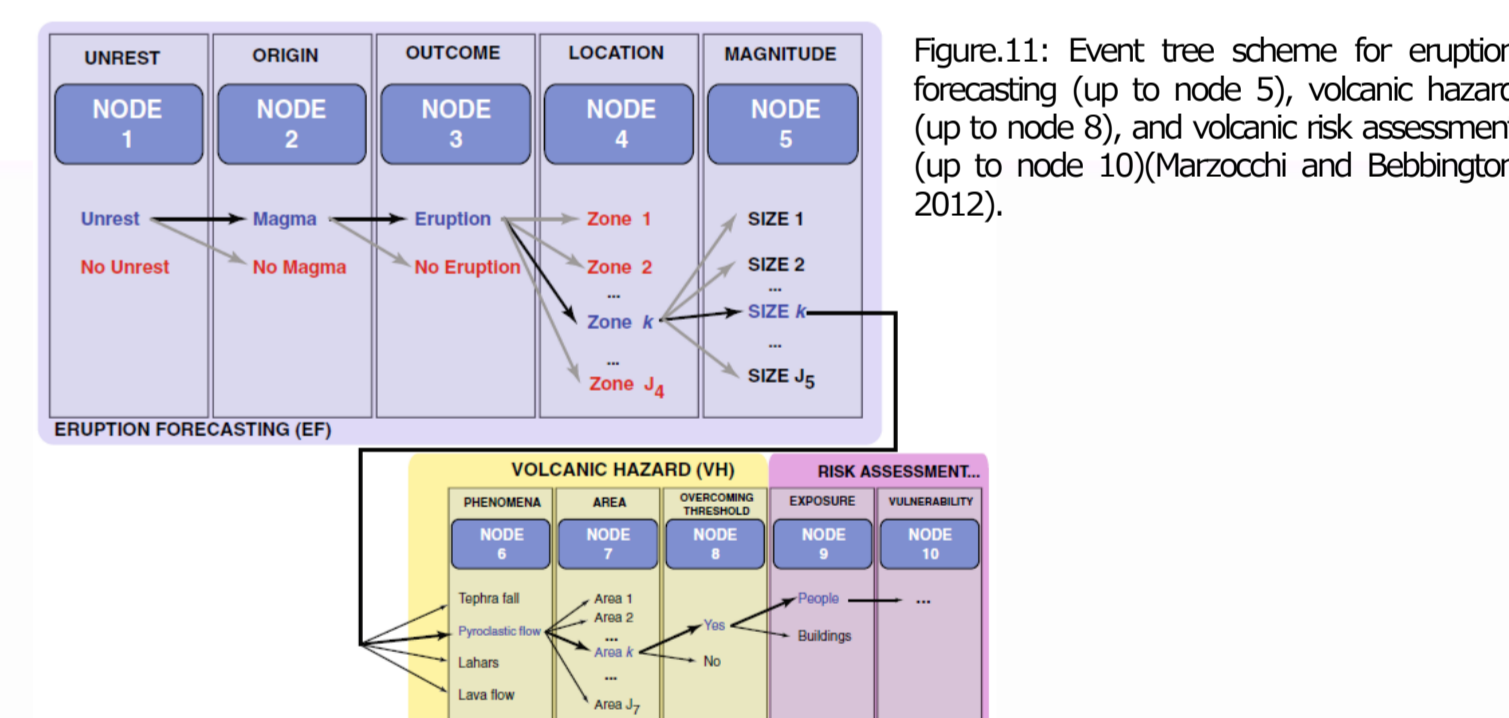


Figure.11: Event tree scheme for eruption forecasting (up to node 5), volcanic hazard (up to node 8), and volcanic risk assessment (up to node 10)(Marzocchi and Bebbington 2012).

【点過程×カーネル密度推定】

項目	諸元
概要	<ul style="list-style-type: none"> ある対象地域において、いつ、どこで噴火が発生するのか噴火確率の時空間的評価を行う。 点過程とカーネル密度推定を使用する。点過程では次の噴火が生じる時間的確率を算出し、カーネル密度推定では次の噴火が起こる場所の空間的分布確率を評価する。 時間的評価と空間的評価は、噴火データが不足しているため、それぞれの関係性が説明できないので、それぞれを独立な要素として考えるものとする。
*評価対象確率	噴火確率
評価内容	対象地域において次の噴火が起きるまでの時間間隔、および噴火が発生する場所の確率密度分布
評価可能時間	次回噴火が起きるまでの期間を評価
評価最小単位	1 × 1km
使用データベース	過去の噴火活動に関するデータベース全般
評価事例	ニュージーランド(オークランド半島火山群)
参考文献	Mark. S. Bebbington and Shane. J. Cronin, (2010), Spatio-temporal hazard estimation in the Auckland Volcanic Field, New Zealand, with new event-order model.

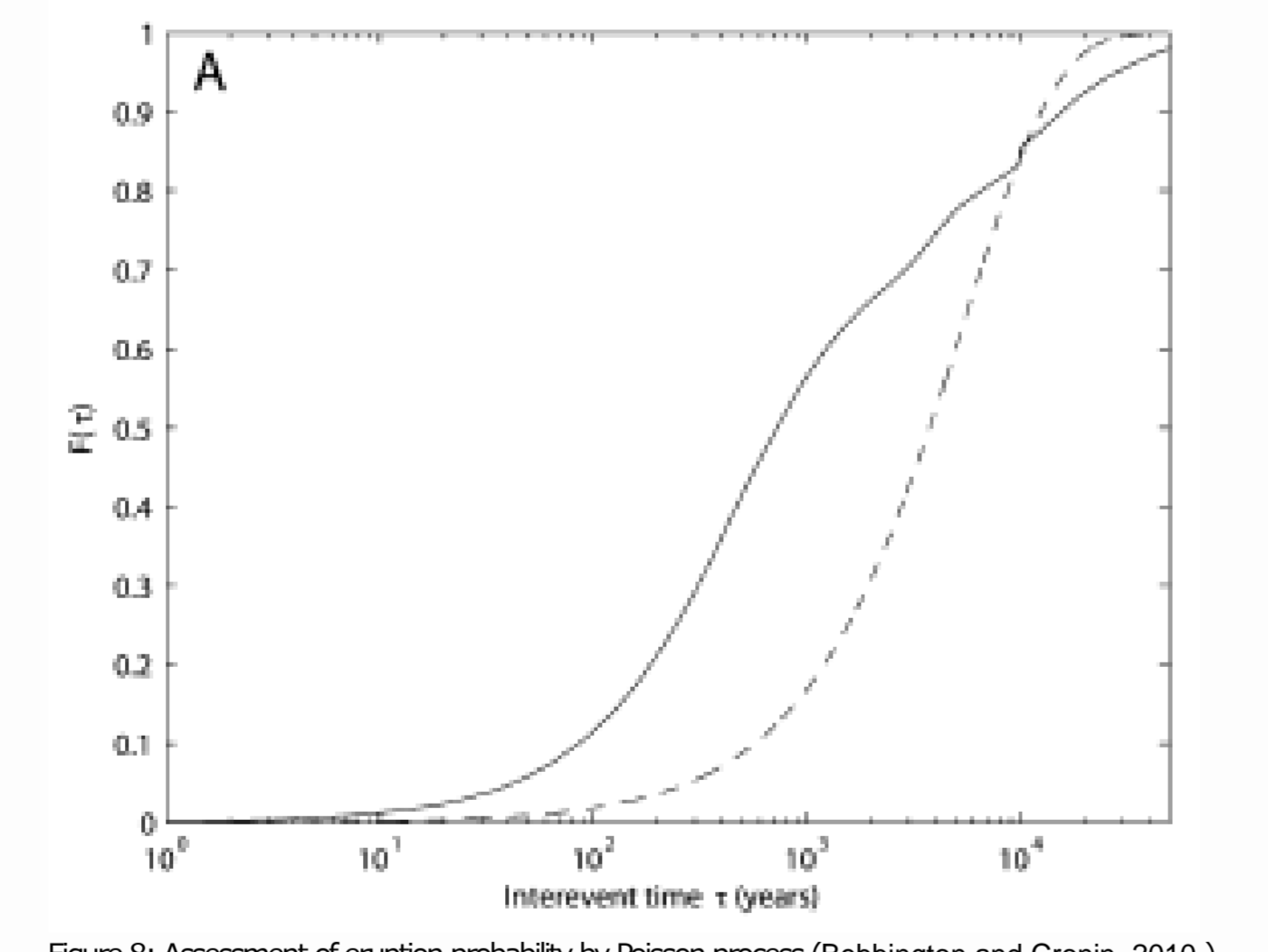


Figure.8: Assessment of eruption probability by Poisson process (Bebbington and Cronin, 2010).

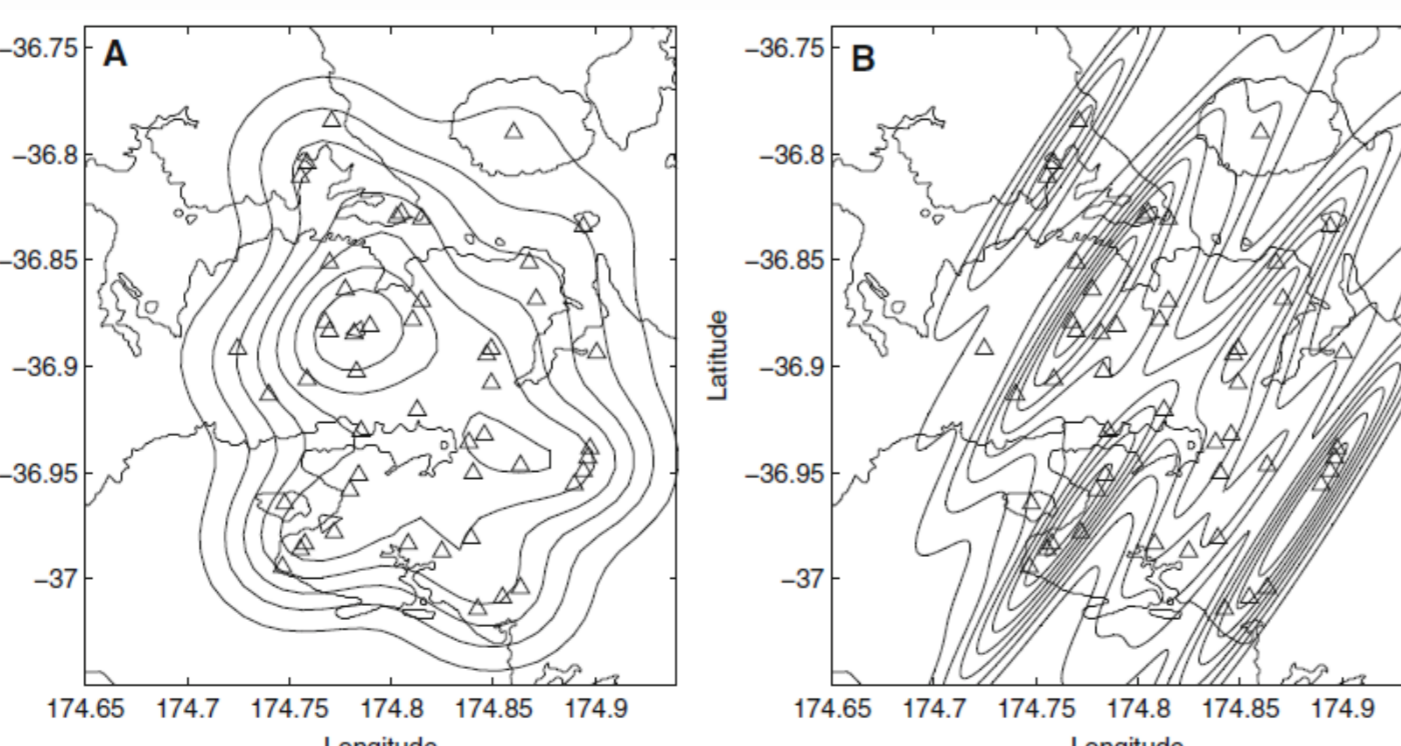


Figure.9: Spatial hazard density for the Auckland Volcanic Field via kernel density estimation using a least squares cross-validation criterion. A; Isotropic kernel; B; Anisotropic kernel. Contours are at intervals of 0.0005 (Marzocchi and Bebbington 2012).

【ベイズ推定】

項目	諸元
概要	<ul style="list-style-type: none"> ベイズ推定を用いて、次の火道が形成される位置を確率論的に評価する。 本手法は対象地域をセル(昇目)に分割し、そのセルごとに事前確率を設定し、事後確率を算出する。事前確率の設定にはその対象セル内において過去に発生した構造地質的イベント(断層形成・破砕帯形成)や火山噴火イベントの位置情報を入力する。 セルごとに求められた結果を統合し、地図上に表記することで次の噴火が生じた際に危険な場所を評価する事ができる。
*評価対象確率	噴火確率
評価内容	対象地域における次噴火時の火道形成位置
評価可能時間	数年~数十年以内先
評価最小単位	0.5 × 0.5km
使用データベース	過去の噴火活動、地震・断層運動に関する文献
評価事例	イタリア(キャンピ・フレグレイ火山)
参考文献	Selva et al., (2012), Probability hazard map for future vent opening at the Campi Flegrei caldera, Italy.

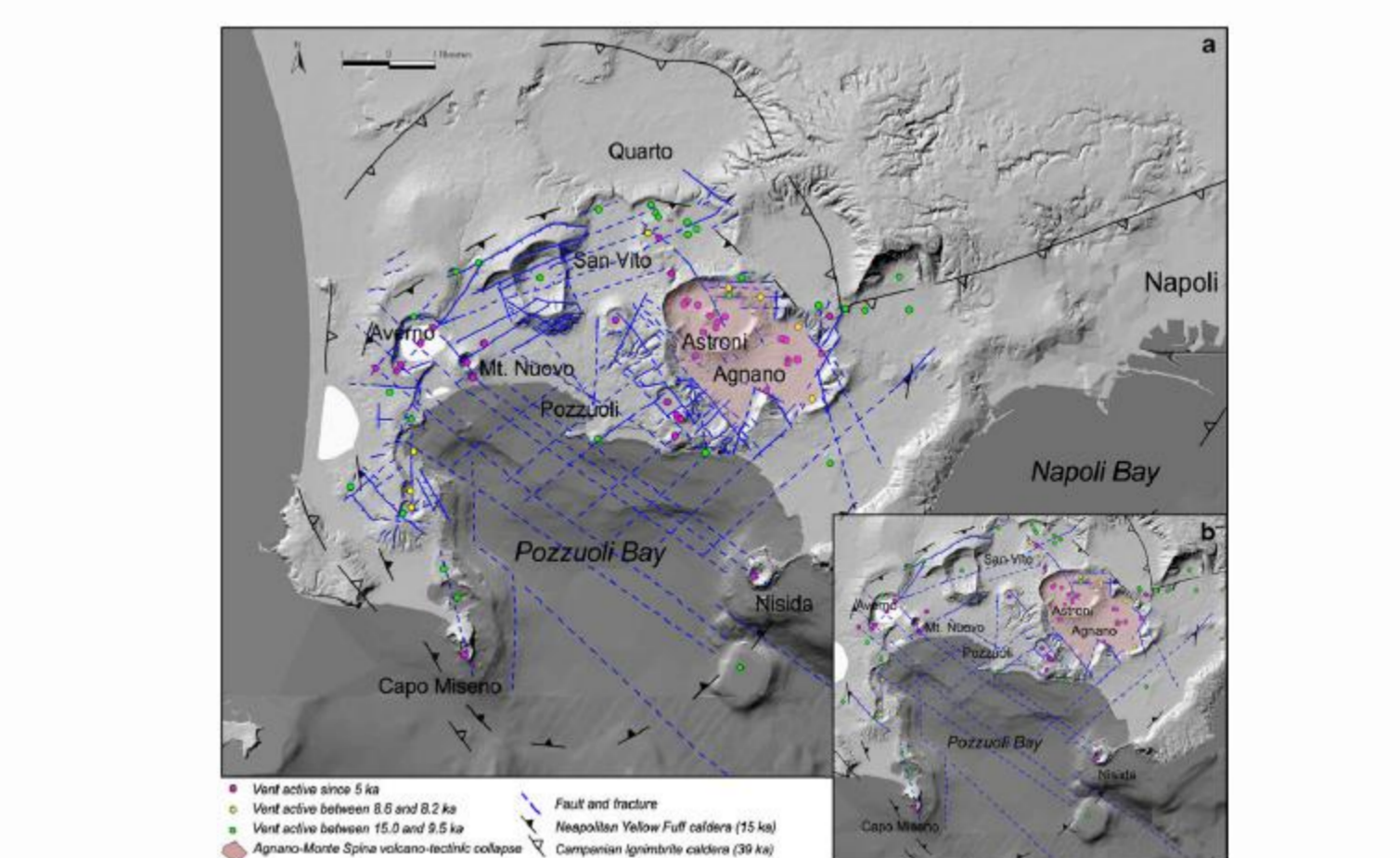


Figure.10: Structural sketch map of the Campi Flegrei caldera (a). In (b) are reported only the principal faults and fractures (Selva et al., 2012).

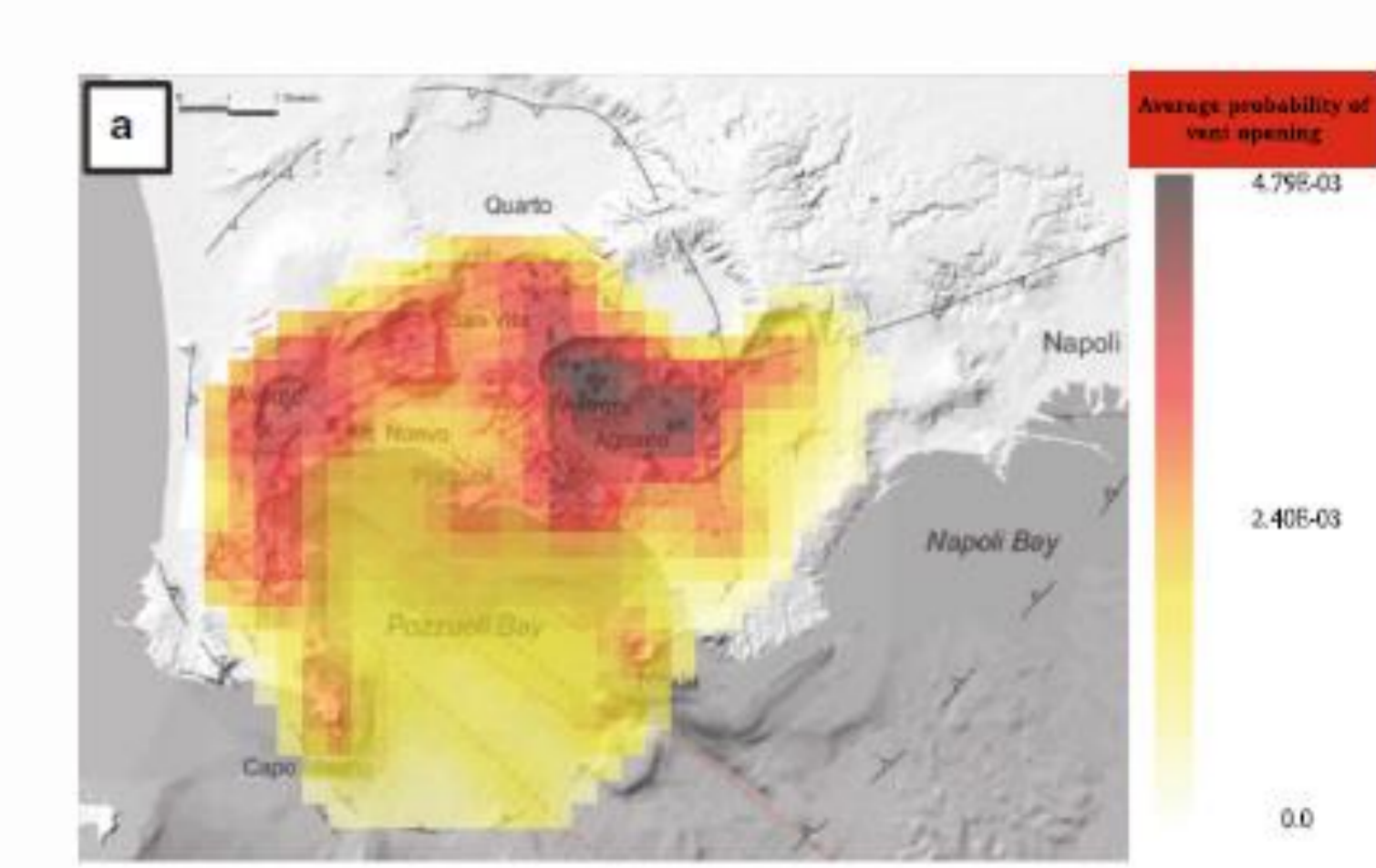


Figure.10: Conditional probability of vent opening at Campi Flegrei (Selva et al., 2012).

4. Conclusion

以下に本研究の内容をまとめた。
 > 国内外における確率論的火山危険度評価事例はイタリア、ニュージーランドで盛んに研究されている。また各々で対象とする火山の特徴に合わせた手法が開発されている。
 > 火山危険度評価に使用される主な確率論的手法として、ベイズ理論やカーネル密度推定、点過程が用いられている。

*噴火確率：噴火が発生する確率、到達確率：現象が到達する確率、発生確率：噴火に際してある火山現象が発生する確率

謝辞：本研究は地震保険調査研究費による調査研究事業の一環として実施致しました。ここに謝意を示します。

Japan Geoscience Union
May 22nd-26th
Makuhari Messe **MEETING 2016**
JpGU and AGU to Collaborate in JpGU Annual Meetings in 2016 and 2017