

箱根山の火山活動シナリオ試案とそこに付された 噴火確率に対する危険度認知*

A probability tree for the volcanic activity of Hakone Volcano and its effect on risk perception of the public

静岡大学防災総合センター**

CIREN, Shizuoka University

1. はじめに

2015年4月下旬に始まった箱根山の一連の火山活動は、箱根山として初めての噴火警戒レベル2への引き上げ（5月6日）および6月29日の噴火発生とそれに伴う噴火警戒レベル3への引き上げ（6月30日）によって大きな社会的関心を呼んでいる。

しかしながら、確率を併記した火山活動シナリオが呈示されていないため、安全側と危険側の両極端に偏った主観的な見解がマスメディアを賑わし、一般市民の適切なリスク認知を困難にしていると考えられる。たとえば、安全論者は規制範囲の外に一步出ればリスクがゼロになるがごとき言説を展開し、危険論者は6万6000年前に起きた箱根東京軽石に伴う火砕流を例とした噴火史上最悪のシナリオを強調する。一方、伊豆東部火山群では、確率を併記した火山活動シナリオ¹⁾が地域防災計画²⁾や噴火警戒レベル表³⁾に呈示され、ジオパークと連携した市民への普及活動もなされている。

以上の状況を鑑み、伊豆東部火山群の火山活動シナリオの作成方法¹⁾を参考にして、発生確率を併記した箱根山の火山活動シナリオの作成を試みた。また、適切なリスク情報伝達のためには、住民や観光客が噴火確率や火山活動シナリオをどう捉えるかを知る必要がある。そのための予察的な質問紙調査も実施したので併せて報告する。

2. 主要な事象の発生頻度

過去およそ7万年間の箱根火山の噴火史^{4)~6)}ならびに歴史時代の群発地震の履歴^{7)~9)}を基礎資料として、まず主要な事象の平均的な発生頻度を考えた（第1図）。各事象の発生頻度の求め方を以下に記す。なお、本論では溶岩ドーム起源の火砕流（block and ash flow）を「熱雲」、カルデラ形成を伴う規模の大きな火砕流（pumice flow）を「軽石流」と記す。

・プリニー式噴火（準プリニー式噴火を含む）の頻度は、単純計算すると過去7万年間に10回（TP、SP、CC1~CC4、CC5a、CC5b、CC6、CC7）すなわち7000年に1回程度となるが、過去4万年間のマグマ噴火は溶岩ドーム形成（およびそれに伴う熱雲）が主体であることを考慮し、4万年に1度程度と考えた。なお、10回のプリニー式噴火のうちの1回（TP）が軽石流（TPf1）を発生させた。

・溶岩ドームの形成が過去4万年間に14回（台ヶ岳、小塚山、丸山、古期神山-Km1、古期神山-Km2、芦之湯-As、駒ヶ岳-Ko(下位)、陣笠山、新期神山-Km3、新期神山-Km4、新期神山-Km5、駒ヶ岳-Ko(上位)、

* 2015年8月10日受付

** 小山真人・村越 真

二子山-Ft、冠ヶ岳-Kn) 確認されていることから、同様の噴火の発生頻度を 3000 年に 1 度程度と考えた。なお、14 回の溶岩ドーム形成のうちの 9 回が熱雲（上記のうちで-Km1 などのテフラ名を付したものを）を発生させ、1 回が山体崩壊 (Km d. a.) の後に熱雲 (Kn) へと推移した。

- ・大涌谷付近においては過去 3000 年間に 5 回の水蒸気噴火 (0w1~0w5) が確認されているため、同様の噴火の発生頻度を 600 年に 1 度程度と考えた。なお、5 回の水蒸気噴火のうちの 1 回 (0w2) で火砕サージの発生が確認されている。

- ・群発地震活動の発生頻度に関しては、1990 年代の大涌谷付近の群発地震活動が静穏であり、現在のよ様な火山性群発地震の頻発は 2001 年以降に始まったこと⁸⁾ から、2001 年以降の群発地震の性格と発生頻度⁹⁾ のみを参考にして以下のように考えた。

- ・噴気異常と地殻変動を伴う群発地震の発生頻度については、箱根町火山防災マップの作成時点 (2004 年) では 50 年に 1 度程度と考えていた (本論の第 1 著者は同マップの検討委員会委員)。しかしながら、上記のように 2001 年以降は群発地震の性格が変わったことや、2001 年からおよそ 14 年を経た 2015 年に、2001 年と同様の噴気異常と地殻変動を伴う今回の群発地震が発生したことを重く見て、噴気異常と地殻変動を伴う群発地震の発生頻度を 20 年に 1 度程度と考えた。

- ・地殻変動を伴うが噴気異常を伴わない群発地震 (2001 年以降の顕著なものは 2006 年、2008 年、2009 年、2013 年の 4 例) の発生頻度を 3 年に 1 度程度と考えた。また、噴気異常と地殻変動のどちらも伴わない群発地震 (2001 年以降の顕著なものは 2011 年の 1 例のみ) を、火山性・非火山性を問わずに「その他の群発地震」として一括し、その発生頻度を 10 年に 1 度程度と考えた。

3. 火山活動の発生確率とシナリオ

以上の各事象の発生頻度をもとに、各分岐時点での各事象の発生確率を以下のように算定した (第 1 図)。各事象の発生頻度にもとづけば、今後 4 万年間の平均的な噴火の内訳として、プリニー式噴火が 1 回、溶岩ドーム形成が 4 万年/3000 年 \approx 13 回、水蒸気噴火が 4 万年/600 年 \approx 67 回起きることになる。すなわち火山噴火の総数は 81 回 (平均して約 500 年に 1 度) となり、上記事象への確率配分はそれぞれ $1/81 \approx 1\%$ 、 $13/81 \approx 16\%$ 、 $67/81 \approx 83\%$ となる。

次に、噴気異常と地殻変動を伴う群発地震の発生頻度を上述のように 20 年に 1 度程度と考えれば、今後 500 年に 25 回発生することになり、そのうちの 1 度が噴火にまで発展すれば、噴火履歴から求めた 500 年に 1 度の噴火となる。つまり、噴気異常と地殻変動を伴う群発地震が発生した時点で、それが噴火にまで発展する確率は $1/25$ で 4%となる。

以上の確率をもとに、平常時における主要事象の年間発生確率 (平常時の任意の時点から 1 年間の発生確率) を計算した図も添えた (第 2 図)。平常時には 0.2%だった噴火確率が、異常発生時に 4%へと高まったので、それに応じて噴火警戒レベルが引き上げられたと考えれば、2015 年 5 月 6 日以降の箱根山の状況を理解しやすい。

水蒸気噴火、溶岩ドーム形成、プリニー式噴火のそれぞれが生じた場合の、その先の各事象への確率配分は次のように求めた。

・前節で述べたように、過去 3000 年間に大涌谷周辺で発生した 5 回の水蒸気噴火のうち火砕サージを伴うものが 1 例あることにもとづき、火砕サージあり 20%、火砕サージなし 80%とした。

・前節で述べたように、溶岩ドームを形成した 14 例の噴火のうち、山体崩壊の後に熱雲が生じた事例が 1 例、熱雲のみが生じた例が 9 例、溶岩ドーム形成しか確認できない例が 4 例あることから、それぞれの確率配分を $1/14 \approx 7\%$ 、 $9/14 \approx 64\%$ 、 $4/14 \approx 29\%$ とした。

・前節で述べたように、プリニー式噴火 10 例のうちで軽石流を伴ったものが 1 例あることから、軽石流あり 10%、軽石流なし 90%とした。

こうして作成した火山活動シナリオには、現時点で以下の課題があることを付記しておく。

・堆積物として残らない程度の小規模な水蒸気噴火を想定できていない。本論を寄稿した 8 月 10 日時点までは、未だ微小な噴火しか発生していないため、この「想定外」のケースに相当する可能性が高い。

・大涌谷以外の地熱地帯（早雲地獄、湯ノ花沢）での水蒸気噴火を想定できていない。

・先神山や神山の形成時期などに起きた小規模な溶岩流出事件を想定できていない。

・火山性の地すべりやラハールを伴う場合を表現できていない。

4. 噴火確率・危険度に対する認知

静岡大学教育学部の学生 252 名（文系・理系・芸術体育系の混成集団）に対し、質問紙による調査を実施した。まず、「向こう 1 年程度の箱根山の噴火確率」の現時点での印象（値を%で記入）を尋ねた後、箱根観光についての危険度の印象を、次の 5 選択肢からひとつ選ばせた。

- 1) まったく心配を感じないので、立入規制の範囲外であれば、ぜひ観光に行きたいと思う
- 2) あまり心配を感じないので、立入規制の範囲外であれば、観光に行きたいと思う
- 3) やや心配だが、立入規制の範囲外であれば、観光に行ってもよい
- 4) 少し心配なので、立入規制の範囲外であっても、なるべく観光に行きたくない
- 5) とても心配なので、立入規制の範囲外であっても、ぜったいに観光に行きたくない

調査は 2015 年 6 月後半～7 月上旬の授業中に実施し、その場で回答を回収した。6 月 29 日の噴火後は、「向こう 1 年程度の箱根山の噴火確率」の代わりに「大規模な噴火に発展する確率」を尋ねた。

その結果、約 8 割の回答者の危険度認知が上記の 3)～4) の範囲にあった（第 3 図右）。しかしながら、確率認知は 1～90%の範囲に広くばらつき（第 3 図左）、危険度認知と噴火確率認知の間には、これといった相関が見られなかった（第 4 図）。このことから、噴火に対する主観確率には大きな個人差があることがわかる。

次に、同じ質問紙上で、第 3 節で述べた箱根の噴火確率の試算値 4%を「箱根山の過去の火山活動のデータから、今回の活動が噴火にまで発展する確率は現時点で 4%程度と試算されています（6 月 15 日に開催された火山噴火予知連絡会の資料）」（注：6 月 29 日の噴火後は文中の「噴火」を「本格的な噴火」とした）として呈示した上で、再度同じ質問をくり返して確率認知と危険度認知の変化を調べた。その際、「上の確率試算によって箱根観光に対する考えを変えた人は、変えた理由を書いてください。変えなかった人も、変えなかった理由を書いてください」として自由記述も書かせた。

その結果、噴火確率の試算値4%の呈示によって、回答者の約9割の確率認知と約半数の危険度認知が低下した（第5～7図）。確率認知については、低下者の約8割が5～40%の低下、危険度認知については低下者の約9割が1段階の低下を示した。このことは、確率の呈示が過剰なリスク認知を是正する一定の効果をもつことを示している。

ただし、第4図と第6図の比較から明らかなように、危険度認知の低下者数と低下割合は、確率認知のそれらに比べて小さい。このことは、回答者の自由記述（第1表）から判断して、たとえ確率が小さくてもあえてリスクを冒してまで観光したくないという意識の反映と考えられる。

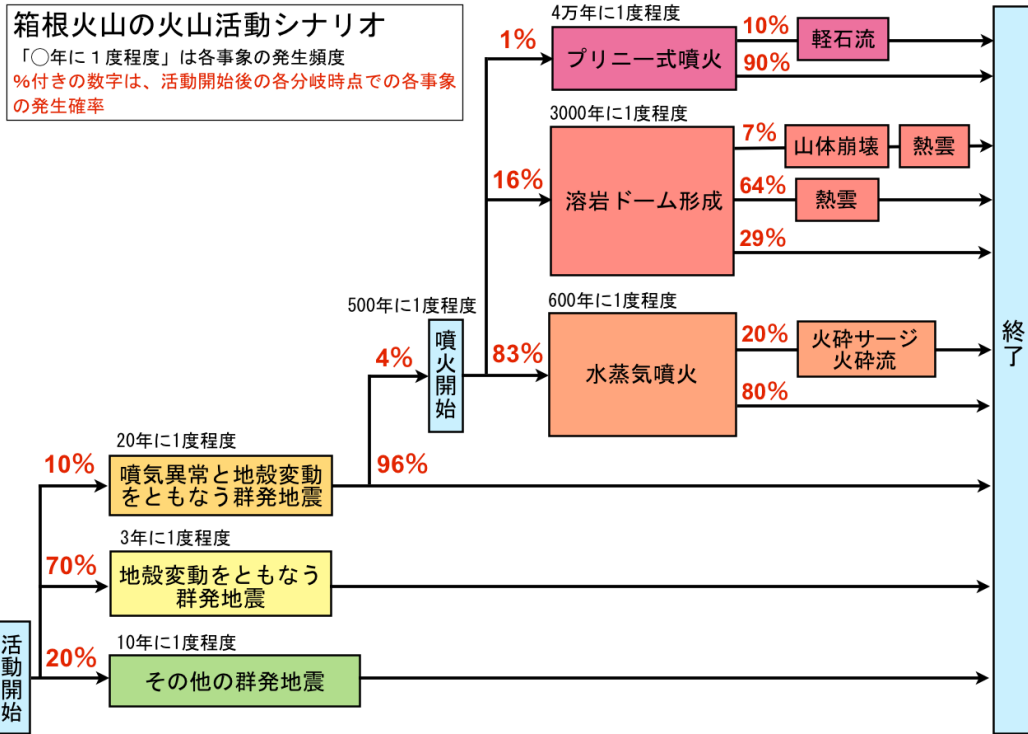
以上のように、噴火確率とその危険度の認知について興味深い予察的結果が得られており、今後の詳細な検討が必要である。

謝辞

噴火シナリオの作成にあたっては、小林 淳（ダイヤコンサルタント）と宮岡一樹（気象研究所）の両氏に貴重な意見を頂いた。

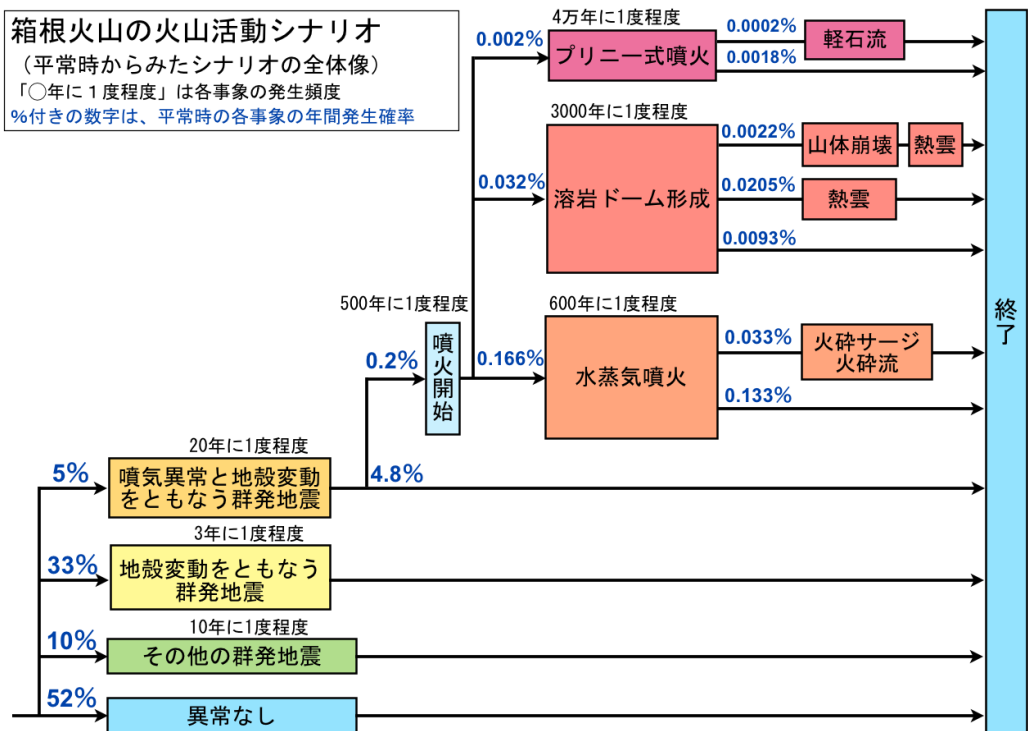
参考文献

- 1) 静岡県・伊豆東部火山群の火山防災対策検討会（2011）：伊豆東部火山群の火山防災対策検討会報告書。静岡県地震対策資料，No. 256-2011，54p.
https://www2.pref.shizuoka.jp/all/file_download101600.nsf/pages/452C6822D34DD8E249257AF0002D532B
- 2) 静岡県（2013）：伊豆東部火山群の火山災害対策計画。静岡県地域防災計画，30p.
<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/kazan/documents/01.pdf>
- 3) 気象庁（2013）：伊豆東部火山群の噴火警戒レベル。
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/Izu-Tobu%20Volcanoes.pdf>
- 4) 小林 淳（1999）：箱根火山の最近5万年間のテフラ層序と噴火史。第四紀研究，38，327-343.
- 5) 小林 淳・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫・袴田和夫（2006）：箱根火山大涌谷テフラ群—最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物。火山，51，245-256.
- 6) 小林 淳（2008）：箱根火山中央火口丘群の噴火史とカルデラ内の地形発達史—噴火活動と密接な関連を有する地形—。神奈川県博研報，13，43-60.
- 7) 萬年一剛（2003）：文献による箱根群発地震活動の再検討（1917～1960）；箱根群発地震活動の地学的意義。火山，48，425-443.
- 8) 棚田俊收（2008）：箱根火山の地震活動（1990年～2007年）とその発生機構。神奈川県博研報，13，187-194.
- 9) 原田昌武・行竹洋平・宮岡一樹・本多 亮・板寺一洋・道家涼介・里村幹夫・吉田明夫（2013）：箱根火山における群発地震活動の分類。温地研報告，45，1-8.



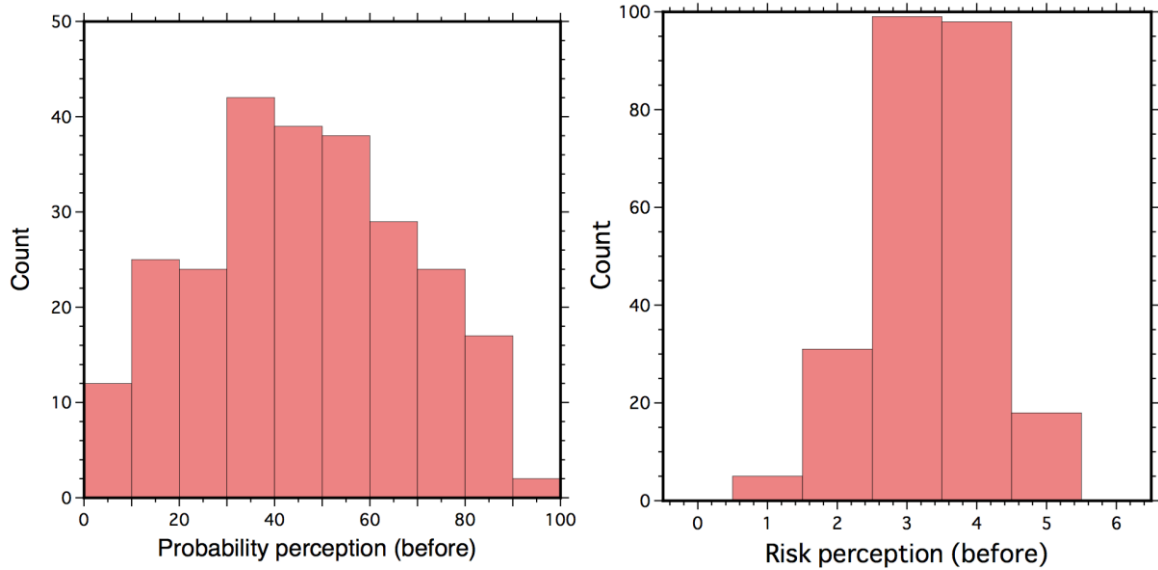
第1図 箱根火山の火山活動シナリオ。主要事象の発生頻度と各分岐時点での各事象の発生確率も示した。

Fig.1 Probability tree for the volcanic activity of Hakone Volcano. Each number (%) is an event probability of each phenomenon at each node.



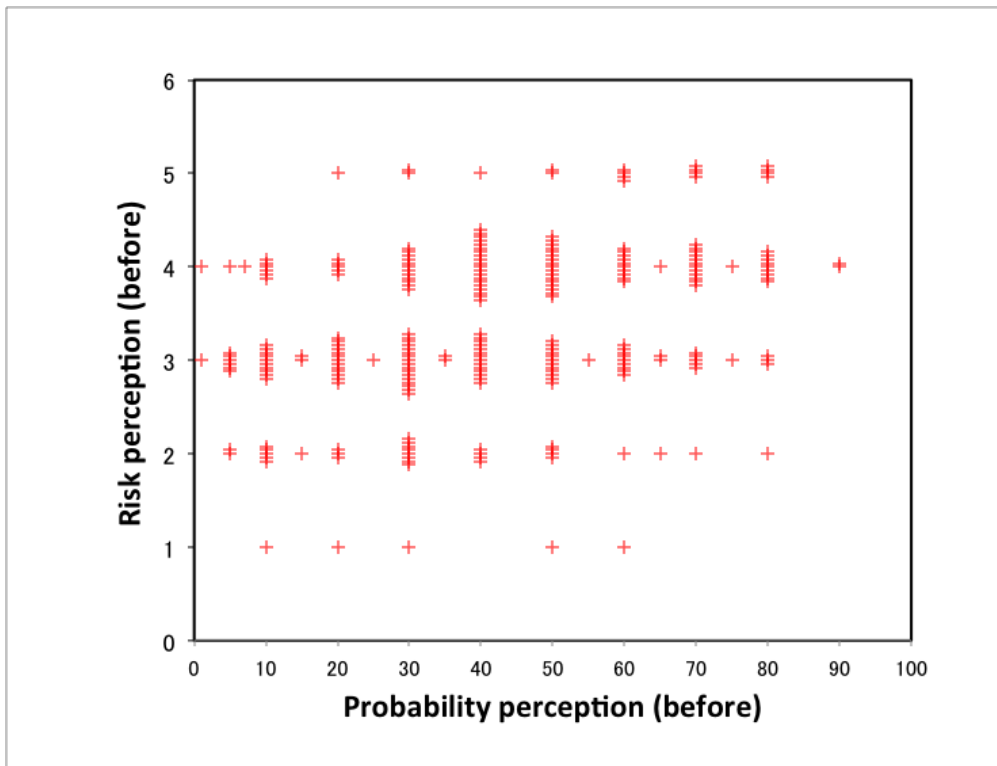
第2図 第1図の確率を平常時の各事象の年間平均確率に置き換え、「異常なし」(何も起きない確率)も加えたもの。

Fig.2 Another probability tree for the volcanic activity of Hakone Volcano including a non-eruption scenario. Each number (%) is an annual probability of each phenomenon at each node.



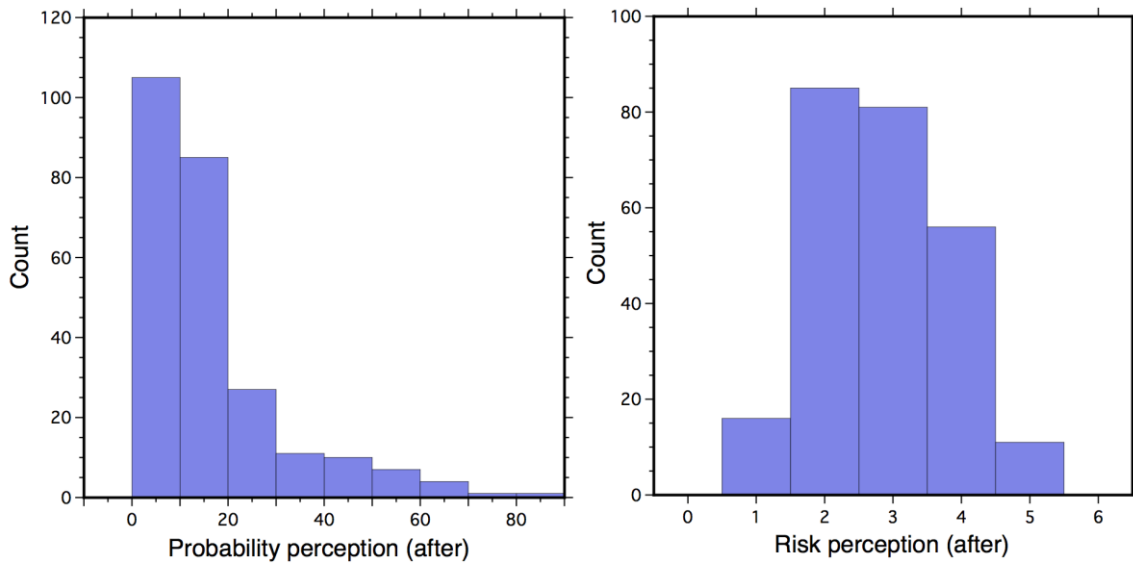
第3図 噴火確率（4%）を呈示する前の噴火確率認知（左）と危険度認知（右）のそれぞれの分布。

Fig. 3 Histogram for the perception of eruption probability (left) and histogram for the perception of risk of sightseeing (right) before showing the estimated value (4%) of eruption probability.



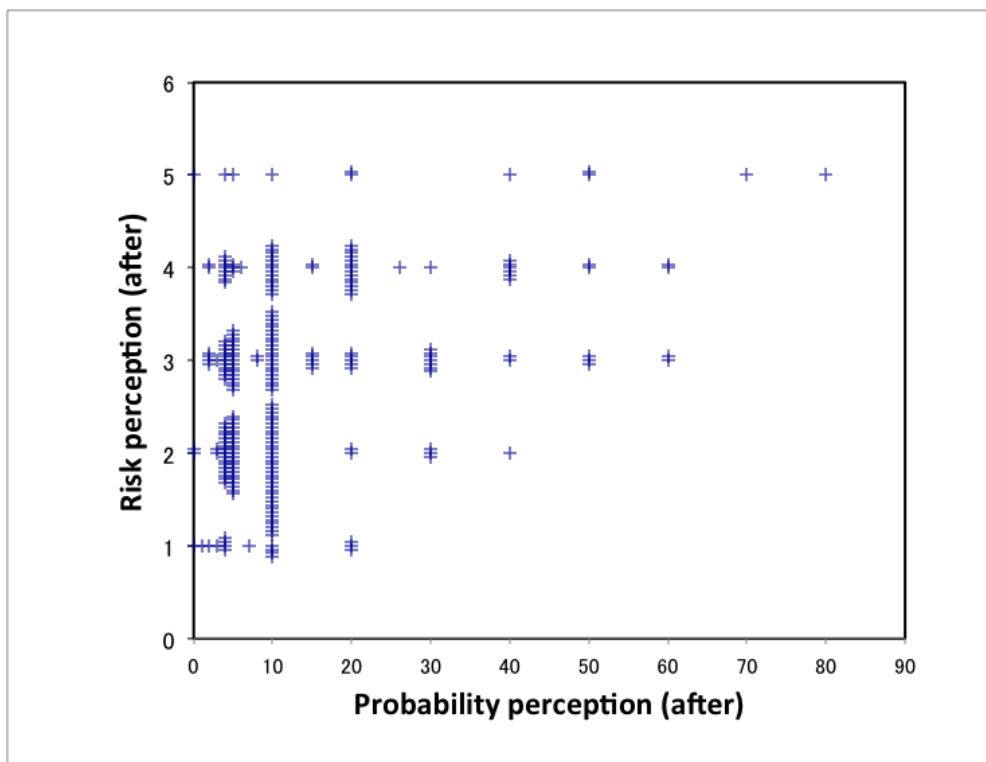
第4図 噴火確率（4%）を呈示する前の噴火確率認知と危険度認知の関係。縦軸はすべて整数での回答であるが、マーカー（十字）の数が回答者数を表すように、縦方向の位置をずらしてプロットした。

Fig. 4 Relationship between the probability perception and the risk perception before showing the estimated value (4%) of eruption probability. Some of the markers were given vertical offsets for showing the number of respondents.



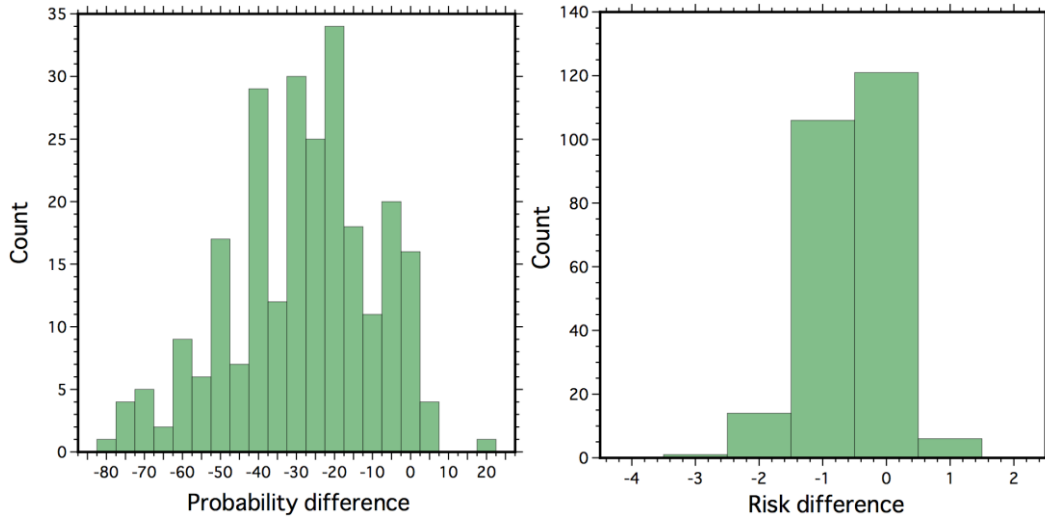
第5図 噴火確率（4%）を呈示した後の噴火確率認知（左）と危険度認知（右）のそれぞれの分布。

Fig. 5 Histogram for the perception of eruption probability (left) and histogram for the perception of risk of sightseeing (right) after showing the estimated value (4%) of eruption probability.



第6図 噴火確率（4%）を呈示した後の噴火確率認知と危険度認知の関係。縦軸はすべて整数での回答であるが、マーカー（十字）の数が回答者数を表すように、縦方向の位置をずらしてプロットした。

Fig. 6 Relationship between the probability perception and the risk perception after showing the estimated value (4%) of eruption probability. Some of the markers were given vertical offsets for showing the number of respondents.



第7図 噴火確率（4%）の呈示前と呈示後の確率認知（左）ならびに危険度認知（右）のそれぞれの差分（負号は減少を表す）。

Fig. 7 Histograms for the differences of the probability perception (left) and of the risk perception (right) before and after showing the estimated value (4%) of eruption probability. Negative number shows the decrease of each value.

第1表 危険度認知を変更した／変更しなかった理由に関する回答者の自由記述の例。数字→数字：噴火確率呈示前→呈示後の回答者の危険度認知。

Table 1 Examples of reason statement for change/no change of risk perception.

(危険度認知を低下させた回答者)
5→4「4%で少し安心したから」「4%なら少しくらい大丈夫と思ったから」
4→3「思っていた以上に確率が低かったから」「確率が想像よりはだいぶ低いため」「4%なら大丈夫と思ったから」「具体的な数字で印象が変わった」「4%と言っても25回に1回起きる」「専門家の値なので信頼に値すると思うから（でも相手は自然なので何が起きるかわからない）」「個人的な勘よりはデータ」
3→1「4%はかなり低いと思ったから」「意外と確率が低かったので」「資料を信用しようと思ったから」
3→2「4%にとっても低い印象を受けたから」「4%で安心したから」「公の機関が4%としているので」「火山活動に詳しい人が出した結果だから」「過去のデータを信頼するから」
2→1「4%であれば心配いらなかったから」「自分の予想よりはデータのほうが正しいはずだから」
(危険度認知を変化させなかった回答者)
5→5「噴火確率が出されていること自体が危険の合図」「活火山自体が嫌」「1%でも怖くて行けないから（大地震を体験したから敏感）」「一定の危険がある限りは近くに行きたくないから」
4→4「少しでも可能性があるので変えない」「異変がある以上は危険」「万が一を考えて行きたくない」「0%じゃないし、噴火する時はするから」「4%は低いけど過去に起きてはいるから」「火山はいつ噴火するかわからないから」「自分の命については自分で判断したほうが後悔がないから」「いくら4%でもレベル1で噴火した例があるから」「箱根自体に興味がないのでわざわざ危険を冒したくない」「リスクを冒してまで観光しようと思わない」「可能性がある以上観光はできない」
3→3「自然のことで確率はあてにならない」「どんな確率でも火山の危険はあると思うから」「立入り規制範囲外なら特別意識しない」「それほど危険性の高さを感じないから」「立入り規制を信じる」「あまりピンとこない」「実感がわからないので変更せず、他の火山と比較したい」
2→2「思ったより確率が低かった」「それほど危険はないと思ったから」「どちらにせよあまり心配する必要を感じない」「そんなに大きな問題と認識していない」「あまり実感がわからない」
1→1「データから得られた結果なので」
(危険度認知を増大させた回答者)
3→4「4%は低いようで高い気がしたから」