

低頻度巨大災害のリスクを 定量評価する

——合理的な「想定外」対策へ向けて



小山真人 こやま まさと

静岡大学防災総合センター

合理性を欠く従来の「想定外」対策

低頻度巨大災害の想定に関して、理学と工学の間に横たわる溝が、しばしば話題になる¹。「工学者の想定は甘すぎる。起きうる現象すべてを想定して設計すべき」(理学者)、「理学者の言い分を真に受けると対策時間もコストも莫大になるため、どこかで割り切らないと設計できない」(工学者)が、両者の代表的な言い分であろう。

理学部出身の筆者ではあるが、こうした議論を聞くたびに感じるのが、現象の被害規模と発生確率の定量化に対する理学者側の意識の欠如である。低頻度巨大災害の規模や発生確率の推定には大きな不確実性がつきものだが、たとえ取りうる値の幅やオーダーなどの大まかな見積りであっても可能な限り概算・定量化し、他の現象と比較してわかりやすく示すことが重要である。そして、それは地質学的時間スケールの中での自然災害履歴をよく知る理学者の責務であり、理学者にしかできないことでもある。

かつて筆者は、各種自然災害の規模・頻度・進行速度間の関係を見積もった上で、1000年に1度程度以上の規模をもち、かつ発現から極大までが数年以内の災害を「破局災害」と定義した²。そして、破局災害のリスク認知が学術の世界に閉じており、現実世界の防災対策の「想定外」となっている点を指摘した。その後、東日本大震災の

発生によって、ようやく破局災害の一端が認知され、それまで「想定外」とされていた対策が検討されるようになった。つまり、それまで理学者が主張してきたことの一部が、行政ひいては社会に認知されたと言える。

ところが、被害規模と発生確率の定量化に対する意識の欠如はそのままである。たとえば、中央防災会議の報告書は、南海トラフで生じる津波を2つのレベルに分類し、レベル1を「発生頻度は比較的高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」、レベル2を「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」と定義したが、発生頻度の具体的な数値は記されていない³。にもかかわらず、「東日本大震災の教訓から、命を守ることを最優先として、この最大クラスの津波への対応を目指す必要がある」としている⁴。

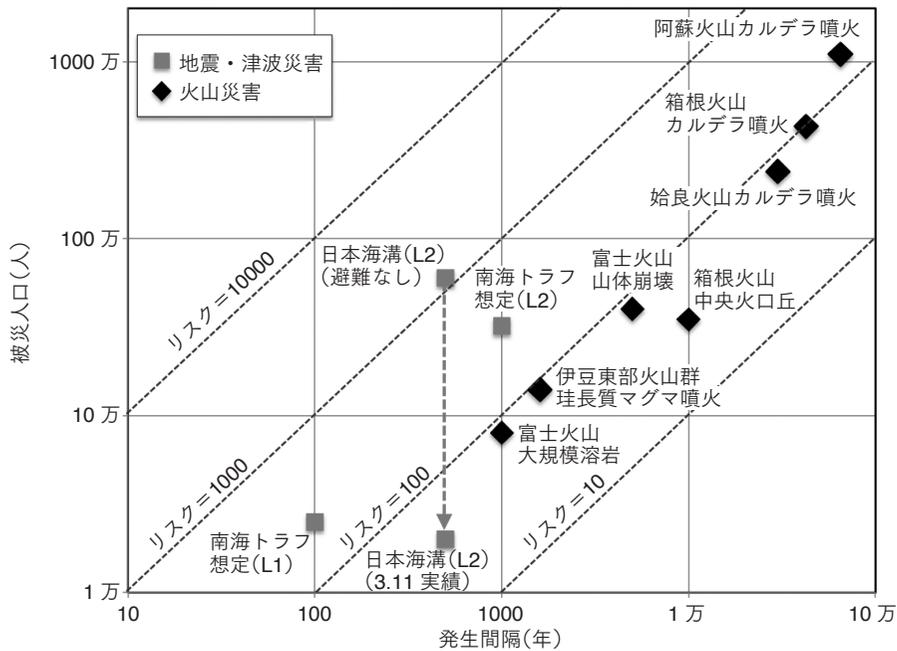
しかしながら、発生頻度が極めて低い災害には、直径10 km級の小惑星の衝突や近距離での超新星爆発などの数千万年に1度程度の現象も含まれる。ゆえに、災害の発生頻度を定量的に示したり、他の災害と比較することのないまま闇雲にレベル2津波への対策を求めることは、合理性・客観性を欠き、防災情報の発信としても無責任である。

災害リスクをどのように定量するか

低頻度巨大災害の問題を考えるにあたっては、定量的なリスク評価・比較をおこなった上で、「ここまでは対策するが、ここから先は潔く諦め

Proposal of a quantitative risk evaluation: Comparison method for low-frequency megadisasters

Masato KOYAMA



図一災害リスクを定量・比較するためのIPプロット

る」という整理が必須である。それをしなかったことによって、逆に問題を複雑化・深刻化させた事例も散見される(福島原発事故による高濃度汚染地域からの避難や除染の問題など)。諦める決断が批判され、支持率等に悪影響が出ることを恐れるのかもしれないが、住民にいつまでも甘い期待を抱かせるほうがよほど冷酷・残酷である。

そもそも低頻度巨大災害を防ぐための堤防や導流堤などのハード対策を本気でやろうと思ったら予算がいくらあっても足りないから、そうしたリスクはなかったこと(認知外あるいは想定外)にしていたのが、東日本大震災以前の行政の姿だった。「想定外」現象への対策が震災後のブームになったとはいえ、所詮は予算的な限界があるし、遅かれ早かれ対策の優先順位をつけざるをえないはずである。

とはいえ、低頻度巨大災害の定量的リスク評価・比較の試み自体が現状では限られている。先駆者の一人である早川は、過去に起きた噴火がいま突発的に起きた場合の死者数を「破壊力」と定義した上で、災害規模と発生頻度の両者を考慮した巨大噴火のリスクを定量的に見積もった⁵。

本論では、早川の方法をより一般化したリスク定量・比較手法を提案する。そもそもリスクには、以下の4つの定義がある⁶。

- (1) 漠然とした(潜在的)危険(性)
- (2) 被害額とか犠牲者数などの具体的予測値
- (3) ハザード(加害要因・現象)の大きさ×社会の脆弱性(vulnerability)
- (4) ハザードの大きさ×生起確率

ここでは、発生頻度(生起確率)が明示されている(4)の定義を用いる。ただし、式の第一項には、あるハザード(加害現象)に覆われる範囲の居住人口を「被災人口」として採用する。この数字は、その現象の致死率が100%であれば死者数と一致する。第2項には生起確率の代わりに、その現象の平均的な発生間隔を採用する。そして、被災人口を発生間隔で割った数値、すなわち1年あたりの被災人口を「リスク」として定義する。

被災人口と発生間隔の取りうる値にそれぞれ数桁の幅があるため、リスク値の単純比較だけで個々のリスクを評価・比較するのは適切でないだろう。そこで、被災人口と平均発生間隔のそれぞれの対数をとった散布図(Interval-Population Plot: IP プ

ロットと呼ぶことにする)を描く(図)。この図で、リスクの等値線は右上がりの直線(リスク=1000など)となる。IPプロットによって、各種災害の規模(被災人口)、発生頻度(平均発生間隔)、リスクの3者を一覧・量的比較することが可能となる。

リスクの評価・比較例

実際にいくつかの地震・火山災害の被災人口と平均発生間隔を試算した結果をIPプロットに示す(図)。日本海溝のレベル2(L2)津波は869年貞観津波、1611年慶長津波、2011年3月11日津波の3度繰り返したとみて、平均発生間隔を500年とみる。3.11津波の発生時点でその浸水域には約60万人が居住していたので⁷、リスクは60万人÷500年=1200となる。しかし、実際の死者行方不明者数は周知の通り約2万人であり、事前の防災対策と避難によってリスクが1200から40(2万人÷500年)まで低減できたことになる。

同様に、南海トラフのレベル1(L1)とレベル2(L2)津波の発生間隔を、これまでわかっている発生履歴にもとづいて、それぞれ100年、1000年とみる。避難なしの被災人口は前者が数十万、後者が数百万人とみられるが、実際の最大想定死者数は前者が2.5万人⁸、後者が32万人⁹であり、避難を見込んだリスクがそれぞれ250(2.5万人÷100年)と320(32万人÷1000年)と低く評価されていることになる。しかし、どちらのリスクもまだ高いので、さらなる低減方策を進めることは合理的かつ妥当と判断できる。

図には富士山とその周辺の火山、ならびに九州のカルデラ火山を例にとって大規模災害のリスク試算も示した。まず、現行のハザードマップでは想定外(避難計画なし)の低頻度大規模現象である富士山の山体崩壊とそれに伴う岩屑なだれについて、過去の履歴により発生頻度をおおよそ5000年に1度とみる。その被災人口(岩屑なだれ、ならびに同時に発生する土石流におおわれる範囲に居住する人口)を総務省統計局のデータを用いて推計した結果、最大約40万人となり、リスクは40万人/5000年=80で

ある¹⁰。同様に、富士山の1立方km級の溶岩流出の発生間隔を1000年とみなすと、その被災人口は最大約8万人となり、リスクは8万人/1000年=80となる。同様に、箱根火山の中央火口丘での溶岩ドーム形成とそれに伴う火砕流、伊豆東部火山群の珪長質マグマ噴火のリスクも、それぞれ35万人/1万年=35、14万人/1600年=88と計算される。

一方、日本列島には桁違いに大規模な噴火を起こしてきたカルデラ火山が複数ある¹¹。カルデラ火山は、100~1000立方km級の巨大火砕流(雲仙普賢岳1990~95年噴火で発生した最大規模の火砕流の2万~20万倍の体積)を一気に噴出させることがある。たとえば、阿蘇カルデラから約9万年前に噴出した阿蘇4火砕流は、九州中~北部の全域と山口県南部をおおい、そこに住む生物を死滅させた。阿蘇カルデラの巨大火砕流はおよそ26万年間に4回生じているため、平均発生間隔を6.5万年とみる。被災人口は約1100万人なので、リスクは1100万人/6.5万年=169となる。同様に、9万年間に3度のカルデラ噴火またはその未遂事件を起こし、2万8000年前には入戸火砕流によって南九州全域を壊滅させた始良カルデラ(鹿児島湾北部)の巨大火砕流リスクを、240万人/3万年=80とみる。また、箱根火山のカルデラ噴火(25万5000年間に6回)のリスクも、6万5000年前の最大規模の被災人口に注目して430万人/4万2500年=101とみる。

ここで注目すべきは、性格の異なる火山で生じる異種の噴火現象(溶岩流、岩屑なだれ、火砕流など)の最大級の災害リスクの多くが、日本の人口密集域では80前後となることである。一方で、それらの発生間隔は1000年から数万年と大きな開きがある。これは、発生間隔の大きな噴火ほど規模が大きくなって被災人口も増えるからである。前節でも述べたように、リスク値が似通っていても発生間隔に大きな幅のある現象に対しては、リスク値の単純比較のみで対策の優先順位を決めるのは合理的でない。低頻度で規模の大きい現象ほど費用が莫大となるハード対策の優先順位は、より高

頻度・小規模な現象から付されるのが筋であろう。

しかしながら、ここで忘れてはならないことは、今後、高頻度現象から順に災害が起きていくとは限らないことである(東日本大震災の教訓はまさにそこにあった)。そこで、「10万年に1度より稀な災害は諦める」などの上限を設けた上で、ハード対策ほどの費用を必要としない避難計画や長期的な国土利用計画(原発の廃炉計画や首都の移転計画などをふくむ)のソフト対策は、リスク値に応じて、たとえ低頻度現象であっても平等に整備していくべきだろう。

以上述べたように、IPプロット(図)を用いたリスクの定量的評価・比較によって、被害軽減対象や軽減目標、対策の優先順位などの合理的設定が可能となる。本論の最初に述べたような、「発生頻度は極めて低い」と言いながら「対応を目指す」とする情緒的で矛盾した考え方は不要となる。

文献

1—たとえば日本経済新聞 2012年10月29日付記事「せめぎ合う理学と工学 原発が問う活断層の意義」

2—小山真人: 月刊地球, 25, 821(2003)

3—中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震対策について(中間報告)(2012)。その後、2013年5月の同グループの最終報告は、レベル2津波の発生確率を「千年あるいはそれよりも発生頻度が低いもの」としている。

4—内閣府(防災担当): 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について、2012年8月29日報道発表資料

5—早川由紀夫: 月刊地球, 25, 853(2003)

6—小山真人: 火山, 50, S289(2005)

7—総務省統計局: 浸水範囲概況にかかる人口・世帯数(平成22年国勢調査人口速報集計による), 総務省 Web サイト(2011)

8—中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第14回): 東南海、南海地震の被害想定について(2003)

9—中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)(2012)

10—富士山の山体崩壊には津波を伴う場合があるが、おおそ五合目よりも上の10立方kmの山体を崩し、その土砂の1/10が南西側の駿河湾に入るという厳しい条件を付してもなお駿河湾内の津波高は3m以内にとどまったため(原田賢治・小山真人: 日本地球惑星科学連合2013年大会予稿集, HDS26-19), ここでは津波被災人口を考慮しない。

11—たとえば、本誌2014年1月号特集「日本をおそった巨大噴火」