

卷頭言 日本の自然と社会を考える

滋賀大学教授  
生活経済学会会長

酒井泰弘

1

## 小特集 リスクマネジメント

リスクマネジメントの時代と社会基盤整備の  
新潮流

岡田憲夫 2

地震災害リスクマネジメント

星谷 勝 7

火山災害のリスクマネジメント

高橋和雄 14

地下水・土壤汚染のリスクマネジメント

中杉修身 21

# 日本の自然と社会を考える —リスクマネジメントは長く遠い視点から—

滋賀大学教授 酒井 泰弘  
生活経済学会会長

日本は小さく狭い国だと時に言われる。確かに、面積で測ると、日本の国土はフランスやカリフォルニア州に及ばない。だが、飛行機に乗った実感では、日本は存外「長く遠い国」なのである。日本の国土は、北は北海道の礼文島から南は沖縄の石垣島まで、長く遠く伸びているのだ。昨年の年末には、私がリスク経済学の集中講義を行うために、東京から沖縄へ出かけたが、飛行時間は2時間半ほどかかった。皇居周辺ではうすら寒くコートが必要だったが、首里城では燐々と太陽が眩しく、半袖の上着で十分な温かさであった。

数年前に、日本からハワイへ学会出張したが、成田空港を離陸してからホノルル空港に着陸するまでの7時間ほど、眼下に広がる空間にはめぼしいものは何もなく、ただ遙かに青い海だけが広がっていた。理屈の上では、私は日本の領土を20分ほどで脱出したはずであるが、気持ちのうえでは自分はまだまだ日本国内にいる感じだった。領土や領海などは人間が勝手に作ったものである。だから、渡り鳥や回遊魚たちにとって、日本は長く広い国であるに相違ない。

日本は自然が美しい国である。もっと正確には、「美しい国であった」と過去形で表現すべきかもしれない。ところが、昨年秋に何十年ぶりに来日したイギリス人は、迎えに出た私に対して発した第一声がこうだった。「ミスター・サカイ、私は本当にびっくりしました。成田空港に近づいたときに眼下に広がる景色を見て、〈これがかの日本か〉と思わず絶句してしまいました。あちらの山もこちらの丘も、人工的なゴルフ場の連続体という有様なのですからね」

日本はまた歴史が古く、人情厚く安全な国であった。私が今年4月以降に住む彦根は「小江戸」と呼ばれるほどに、小さく古く美しい城下町であった。「やあ、花の東京からよくお帰りやす。お宅様とわしの家とは、400年来のお付き合いをしておりますわ」と、近所の長老の方が歓迎してくれなった。しかし、長老は嘆き節を追加することを忘れなかった。「でもなあ、最近の彦根は元気がないんですわ。けど、わしは諦めへんで」

昔の日本と今の日本——ここ30年ばかりで、状況は一変した。「日本は危ない」という声すら聞こえる。日本はかつては「安全と水がタダの国」として賞賛された。ところが、21世紀に入って、日本の現実は厳しく、まるで暗闇の中に

いるかのようである。

世界的な週刊誌『タイム』2002年2月18日号の表紙には、一粒の大きな涙を流している美しい芸者娘が描かれていた。「日本の涙の物語。失業、不況、ひどい政府。そして、日本の長い悪夢はさらに悪くなるとさえしている」日本はとにかく元気がない——経済的にも、社会的にも、そして文化的にも。だが、「駄目だ、駄目だ」と塞ぎ込むだけでは、将来の展開は開けてこないだろう。「逆転の発想」をすれば、ピンチはチャンスなのだ。私たち日本人はここでちょっと立ち止まり、新たな方向性を見出す転換点を迎えているのではないだろうか。

21世紀の日本社会の状況を考える場合、重要なキーワードは「リスク」、「環境」および「経済」の三文字である。昔からの言葉に、「地震、雷、火事、親父」というのがあるが、状況は今や大きく変化した。「雷親父」は、もはや過去の遺物だ。昔と違って現代では、人間のほうが大いに威張りだし、周囲の自然環境に対して悪影響を及ぼすことが顕著である。今のリスク観を端的に言えば、「放射能、温暖化、ゴミ、エイズ」とでも表現できよう。最近の日本では、東海村の原発関連施設で放射能漏れ事故があり、地元の魚が売れないなどの「風評被害」が出ている。現代人は石炭、石油など、化石燃料を大量に使用する。アメリカは、人口が世界の5%に満たない国だが、エネルギー消費量が世界全体の20%を超えているのだ。また先進国の人々は大量生産、大量消費、大量廃棄に慣れてしまっている。さらにエイズの世界的な流行という深刻な事態を迎えている。

要するに、現代社会においては、経済や効率が調和や品性よりも優先される傾向にあり、環境と生活のリスクはますます多様化し深刻化している。大都会の摩天楼に住み、ジェット機や新幹線に乗るようになると、人間は高慢になり、自然破壊を意に介しなくなりつつある。だが、人間はあくまで自然の一部にすぎないことを悟るべきである。

日本は「経済大国」だが、「生活大国」ではないと言える。これからは、金銭的・経済的な豊かさだけでなく、精神的・文化的な豊かさが一層重要となる。美しい自然の中で、ゆとりのある人間生活を営むことが、日本再生の本筋であろう。

日本は国土が長く遠い。リスクマネジメントも長く遠い視点から考えることが肝要だと思う。

# リスクマネジメントの時代と 社会基盤整備の新潮流

おか だ のり お  
岡 田 憲 夫\*

## 1. はじめに

リスクマネジメントがこのように衆目を集めようにならるのはどうしてであろうか。しかも、本誌がずばり「リスクマネジメント」を特集として取り上げることに象徴されるように、国土計画・都市計画・まちづくり、防災、環境マネジメントやその他の社会基盤システムなど、さまざまな公共的・公益的サービスの分野においても、リスクマネジメント志向が急に顕著になってきている<sup>1)</sup>。それはどうしてであろうか。そしてそもそもなぜ今になって「リスク」が問題になるのであろうか。それは単に言葉の言い換えや言葉遊びにすぎないのであれば、そのうち流行は去っていく運命なのだろう。

いやそうではない。それは「リスク」や「リスクマネジメント」にふさわしい適切な言葉や統一的概念が日本語から欠落しているからであり、またそのようなこだわりで、それに相当する鍵語を系統的に磨き上げてこなかったためでもある。ただし、リスクやリスクマネジメントに該当する実体がこれまでにわが国に実在しなかったということではない。また、欧米にあっても、特に「リスクマネジメント」は現段階でもまだ学問としては歴史が浅い研究分野であることも事実である。筆者もそれに関わる研究者の一人として、日々修行の身にある者である。

以下は筆者が、そのような新領域に足を踏み入れながら、いろいろとひっかかり、自問自答している事項を紹介することにより、読者への誘いとすることにしたい。

## 2. 危険とリスクはどこが違うか

「リスク」に代わる言葉と言えば、まず思い浮かぶのが「危険」である（ちなみに、現代中国語では「危険」に対して、「風險」あるいは「險情」という言葉があり、これらが「リスク」の意味で、危険と区別して使われるということである）。なお、ここではいわゆる自然災害や事故などのほかに、公団や第三セクターなどの公的・公益性の高い企業や組織の倒産、長良川や吉野川可動堰などに象徴される、計

画・プロジェクトの頓挫や破綻なども含めて考えることにしよう。

### (1) 「危険」が「危害」に転じる距離が関係するのが「リスク」

ふと気がついたら眼前に何かの「危険」が降って沸いてきたように起こったら私達はどう振舞うであろうか。もちろん、すぐにその危険から身を守ろうとするであろう。さもないに、次の瞬間その危険の餌食になって命を落とすか、怪我をするか、ともかく何らかの危害（損失）を受けてしまうかもしれないのだから。しかしそのよう逃げるという余裕すら与えられていないこともある。そのようなときは当人にとって「リスク」をうんぬんすることはまったく意味がない。つまり選択の余地がなく、危険が発生したことの結果を甘受し、運を天に任せるしかすべがない。このようなときは、リスクは議論の対象となりえない。当然その対応の仕方の方法論としてのリスクマネジメントも問題にならない。

ただし、少しでも「逃げる」という選択やその「逃げ方」を選び取る時間的・精神的ゆとりが与えられているときは、その緊急事態への対応の良し悪しが問題となる。つまり対応のしかた次第で結果としての損傷の程度がいろいろと変わり得るので、その意味でそこには「リスク」が存在し、その対応の仕方も問題になる。このような緊急事態発生下でのリスクへの対応の仕方を系統的に検討するのが緊急マネジメント（emergency management）やクライスマネジメント（crisis management）である。

それではその対極の場面として、はるか遠く手の及ばない向こうに「危険な情景」が眺められるとしたら、どうであろう。そう、このときも当人にとっては危害が及ぶはずがないのだから、「リスク」と呼ぶべき状況にはいないのである。いわゆる「対岸の火事」はその典型的なケースである。興味深いことに、危険との距離からみて、その人が直近にいて危険の生起が確定的か、逆にはるか遠方にいて危害が及び得ないか、そのいずれの状況にあっても当人はリスクの状況下にはないのである。

それでは、直近から少し離れてみよう。危険が起これば、それが危害につながる可能性がある。さて逃げるべきか、

\* 京都大学防災研究所 教授

逃げないでいるべきか。そこには選択の余地と時間が当人には与えられている。このようになって初めて「リスク」が顔をのぞかせてくる。そして、その選択の結果が後で、当人の明暗を分けるのだ。

さらに危険から距離を置いてみよう。するとその分だけ、危険の生起が自身の危害となり得ることが切実でなくなってくるだろう。それだけリスクは当人にとって小さくなってくる。ここで注意したいのは、このような「危険が危害に転じる距離」は物理的距離だけで決まるものではない。当人の距離の感じ方、つまり心理的距離にもたぶんに関係している。この意味で、リスクは客観的にこれと決められるものとは限らない。むしろ主観的で認知的なものもありうるのだ。また後述するように、この種の距離は、当事者にとっての「危険と危害の機能的な関係」によって決まるものもある。

### (2) 当事者がいてこそ「危険」は「リスク」となる

上の議論すでに明らかのように、「リスク」は「当事者」がいてこそ意味をもつのである。「当事者」とは危害を受けるかもしれない当人である。同時に、そのような危害を避けたり、小さくしたりするための対策を講じる（リスクマネジメントをする）主体ともなり得る。そして当事者はひとり（1グループ）とは限らない。むしろ社会基盤整備に関わるリスクは複数の当事者が関与していることが普通である。そしてその傾向は、昨今とみに強くなっている。この場合、個々の当事者に対するリスクと、それを集合的にとらえた（社会的な）リスクとが考えられることになる。

### (3) 「危険」と「危害」に「かもしれない」が付いてこそ「リスク」となる

このことも上の説明で暗に想定されていたことであるが、「危険」が起きること、そしてその結果として「危害」が当事者に及ぶにしても、それに「かもしれない」が付いていてこそ、当人にとって「リスク」となるのである。つまり、「危険」と「危害」が不確定な事象であってこそ、「リスク」が問題となる。不確定な事象は、数理的には、中心的性向を表わす平均値やバラツキの程度を示す分散などで代表される確率分布に従うものとして解釈できる（ただし、いつもいつも確率分布で数理的に表わされるとは限らないのが、リスクのまたやっかいな点でもある。）。事象が起こる確率の大きさと、それによって生じる「危害の大きさ（損失）」との見合い（「掛け合いの程度」）がリスクを評価する上で問題になる。確率分布の裾野のところでしか起こらない、つまりめったにしか起こらないかもしれないが、いつたん起こると甚大な損失が生じるようなリスクの問題は、「カタストロフなリスク」と言われる。1995年兵庫県南部地震のような低頻度・甚大被害型の自然災害はまさにこのようなカタストロフなリスク問題の典型であろう。2001年9月11日にニューヨークで起こったテロリズムの惨劇もある意味ではカタストロフなリスク問題であると解釈できる。

また、平均値が同じであっても、バラツキの程度（分散

または標準偏差）が小さいような場合と、その逆に大きい場合とでは、いわば「リスクのやっかいさ」が異なるであろう。したがって、バラツキに対してどのような手を打っていくかということもきわめて重要なリスクを扱う問題となることがわかるであろう。あるいは価格が時間とともにダイナミックに変化しているような現象の場合は、「変動率の標準偏差」がその「変動の激しさ」を表わす一つのものさしになり得るであろう。これは特に金融リスクマネジメントの分野では「ボラティリティ（volatility）」と呼ばれるが、その他の現象にも当てはまる有効な概念である。

### (4) 「危険」に対して「手をこまねいていない」のが「リスクマネジメント」である

このように考えてみると、リスクの特徴がどのようなものであれ、それをどのように扱うかが本質的に重要であることになる。つまり危険であることがわかっていても、それに対して何ら手を打てないのであれば、「リスクマネジメント」にはなりえないのだ。つまり「危険」に対して「手をこまねいていない」のが「リスクマネジメント」なのである。またそれには選択肢が複数あることが望ましい。しかも昨今は社会基盤整備の場面に当事者が複数いることが普通になりつつあるのだから、リスクマネジメントを担う主体も複数あり、リスクのどちら方も多様であって不思議はない。いきおい、利害の不一致や衝突、あるいはリスクの認知の仕方のズレがない方がまれであり、その調整のためのやり取りや、すり合わせのためのコミュニケーションが重要となってくる。このような複数の主体間のコミュニケーションを想定したリスクマネジメントを「リスクコミュニケーション」という。近年、このような研究分野の重要性がますます注目を浴びてきている。

### (5) 危険の影に果実があることを見るのもリスクマネジメントである

人が、危険がそこにあるのを知りながら、そこから大きな距離を取らないことがあるのはなぜであろうか。それは危険の影に果実があることを見ているからに他ならないであろう。仮に危険が起こらずにすむのであれば、その影にある果実を取り出して、利益や利潤を得ることができるかもしれない。仮に危険が大きな危害をもたらし得るものであっても、その裏で、それにも増して大きな見返りが得られるのであれば、人はあえてその危険を冒すという選択をするかもしれない。これはハイリスク・ハイリターンと言われるリスク問題で、典型的な果実追及型（投機型）リスクのマネジメントである。一方、もっぱら危険と向き合い、その危害をいかに小さくするかにこだわるリスクマネジメントは純粹リスクのマネジメントと言われる。ただし、後者の場合であっても、それは単に「後ろ向きのうつとうしいことのみをマネジメントすること」と解釈するのは誤りである。そのマネジメントのよしあしにより、結果しだいではより好ましい状況をもたらしうるわけで、「うつとうしい霧をいかに晴らすのがという前向きのマネジメント」ととらえるべきである。

### 3. リスクマネジメント概念の基本図式

以上の議論を補足・整理するため筆者らが提案しているリスクマネジメント概念の基本図式を紹介しておこう。図1はリスクマネジメントの分野で比較的一般的に用いられている用語を用いて、上述した「危険」と「危害」とのもっとも基本的な関係を図式化したものである。ここでは、「危険」が「ペリル（危険事象）」、「危害」は「損失」と言い換えられている。危険に対する「対応」とそれを担う「行動主体」という概念が提示されているが、「対応」はある種の「マネジメント」、「行動主体」は「当事者」と読み替えれば、上述した議論と整合するであろう。なお、根幹的な「危険」以外に、もちろんの危険介在因子が存在するであろう。このようなわざ間接的危険因子を「ハザード（危険事情）」と呼んで、ペリルとは区別することにする。また、ペリル、ハザードや、対応を介して損害が生起することには、さまざまの不確定性が関係していることは言うまでもない。

一方、防災の分野では、比較的最近の学際的研究成果の一環として、リスクマネジメントとしてみた防災の基本図式が整理されつつある<sup>2),3)</sup>。図2はそれを示したもので、図1とある程度の対応関係が読み取れる。すなわち根幹的な「危険の生起」がきっかけとなって、それが危害の発生につながれば、それはある種の「災害」が生じたものととらえることができる。このとき、この種の「危険」を災害科学・防災工学の分野では、「ハザード」と呼び習わしている。これは図1における「ペリル」に対応している。一方、「ハザード」とは別に、多様な危険誘引・阻害介在項が存在するが、このうち、主として被害客体がその種の危険に空間的・時間的分布に依存して暴露される程度を「暴露度（エクス

ポージャー）」と呼ぶ。一方、その被害客体そのものの、危険や暴露度への抵抗力のなさを「脆弱性（バルナラビリティ）」と称する。ただし、より広義には、「脆弱性」は「暴露度」も含めてされることもある。災害に対する地域の脆弱性といったときがそのような場合である。結局、ハザードの生起が損害の発生につながることによって災害になるためには、暴露度や脆弱性がどのように中間項として効いてくるかが鍵になる。このことが、本図式を用いて説明できる。

### 4. 世の流れは、リスクマネジメントの発展を求めている。

以下、2. の(1)～(5)に対応する形で説明することにする。

#### (1) 「危険」が「危害」に転じる距離が抜き差しならなくなってきた。

その典型は環境問題と防災に見出すことができる。急激で無秩序な都市化などのために、人口密度や都市活動が過度に空間的集中し、それだけリスクに曝される度合い（暴露度）が増している。それにより、「危険」が「危害」に転じる距離が抜き差しならなくなってきた。あるいは都市の内部において土壤汚染の進行が深刻化し、その分だけ、土地空間がはらむ環境リスクへの都市生活者の暴露度は増大している。一方、密集市街地などに代表されるように、老朽・不良住宅や狭隘な生活道路などが危害に対抗する上での「潜在的に脆弱な被災対象」となってきている。また、積極的な新陳代謝の戦略を欠いてきた我が国の社会基盤整備は、たとえ今は新品のシステムであろうとも、いずれは同じような「潜在的に脆弱な被災対象」となりうるものを見日々再生産しつつあるとも言えるのだ。このような都市や地域が抱える脆弱性は、リスクへの暴露度の増大と互いに複合しあいながら、「危険」が「危害」に転じる機能的な関係の距離をひたすら縮めてきている。これが、都市マネジメントや社会基盤整備にリスクマネジメントを引き入れざるをえない社会的背景となっている。

#### (2) 都市マネジメントや社会基盤整備に多様な当事者が参入してきている。

経済的にも社会的にも成熟型社会を迎えた我が国では、まちづくりに代表される参加型の都市マネジメントや社会基盤の計画プロセスが求められるようになってきている。また、すべての公的なサービスの提供を行政が担うのではなくて、民間の経営・技術ノウハウや資金力を活用して分担していく、いわゆる政府・民間のパートナーシップが重要なになってきている。その一つが昨今注目を浴びているPFI (Private Finance Initiative) 方式である。その結果、従来は公共セクターがもっぱら行っていた分野に民間の企業、NPO・NGO や市民がマネジメントを分かち合う当事者（ステークホルダー）として参入しつつある。これに伴い、

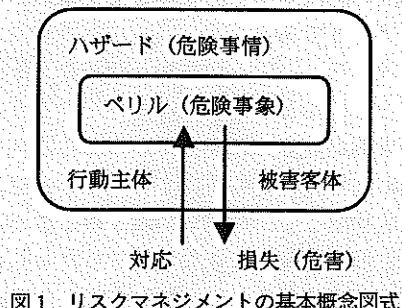


図1 リスクマネジメントの基本概念図式

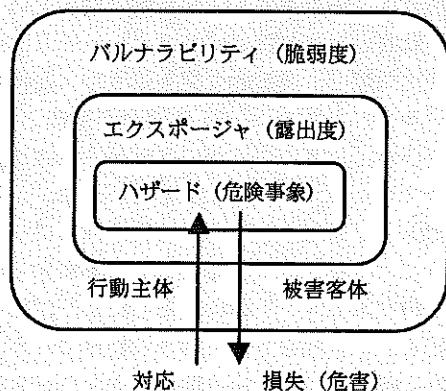


図2 災害リスクマネジメントの基本概念図式

これまでのマネジメントの対象領域（スコープ）が広がっている。またあらかじめ固定的・定型的にその領域設定を確定しておくことが困難な場合が増えている。その結果、危険と危害との機能的・心理的関係が複雑かつ多様になるとともにますます適切なリスクマネジメントが求められるようになってきているのである。

### （3）世の中はますます不確定な要因が増えてきている。

21世紀に入った今、未来のことについては、いくつも、いくつも「かもしれない」が付いて来ざるをえない。たとえば、昨年（2001年）の9月11日にニューヨークとワシントンで起こったテロとその結果起こったビル倒壊の大惨事、それに続く世界の枠組みの急激な再編成がその典型であろう。また、ITに代表されるように、技術革新の進展が都市マネジメントや社会基盤整備をとりまく環境を大きく変えようとしている。情報革命の進展や、生活スタイルの変化、政治・行政と市民との関わり図式の塗り替え、等々がそのインパクトの一端だ。これにより、市民・顧客参加型のマネジメントが必要性と可能性の両面で現実のものとなりつつある。また情報公開や適切な告知を前提とした社会システムのマネジメントが社会常識的にも、法制度的にも不可欠のものとなってきている。このような社会の変化が、リスクマネジメントを表舞台に引き出しつつあるのだ。

### （4）他人事としてすましてはいられなくなってきたいる。

「それはお上に任せておけばよい」、「それは専門家にお任せしよう」、「それで万一何か問題が起これば、後から文句を言ったり、保証してもらえばよい」といった住民や生活者、企業などのこれまでの政府・専門家・中央依存体質は、早晚通用しなくなるであろう。たとえば、住民・生活者・企業などにとっても、都市マネジメントは「他人事として手をこまねいていること」が許されない状況が生まれつつある。それは上述した情報革命の下での新たな情報共有・コミュニケーションシステムの到来とも無関係ではない。注目すべきことは、これにより新しいタイプの市民社会と準直接民主主義が、国情・地域性や文化伝統の多様性を踏まえる形で、芽吹きつつあると解釈できることだ。このことは、さまざまなりスクの増大の下で、ますます多くの当事者が参加・参画するための情報とリスクの共有の場（コミュニケーション・プラットフォーム）が、都市マネジメントや社会基盤整備のための新たな社会システムとして醸成されなければならないことを意味している。政府・専門家と市民との関係では、説明責任（accountability）の制度化やパブリックインボルブメントなどの実験的導入、そのための場づくりの手段としてのワークショップ方式の実践などが、すでに現実のものとなってきている。また防災分野におけるハザードマップの作成と公開の義務づけなどもその一環の社会的潮流に即したものと言えよう。

重要なことは、このようなコミュニケーションの促進には、当事者間のリスク認知のズレや多様な価値や利害の衝

突（コンフリクト）が付き物であるということだ。これは、先にも触れたように、リスクコミュニケーションと呼ばれるリスクマネジメントの先端的研究領域の基本的な問題規定と通じるものがあり、この意味でもリスクマネジメントの研究のさらなる発展と、その社会的還元が求められている。

### （5）総合的なリスクマネジメントが必要になってきている。

都市マネジメントや社会基盤整備は本来、社会や地域における生活の質を総合的に高めるための社会システムの提供とその向上を目指していると言える。したがって、それに伴う総合的なマネジメントは「社会の幸せ度の向上」を目標の果実として、多様なリスクを適切に処理することと解釈しても良いであろう。しかしながら、これまでではそのような視点から、リスクマネジメントを積極的にとらえ、計画・マネジメントの仕組みにシステム的に組み込んで活用するという発想が決定的に不足していた。このような通へいがもはや通用しないことは本稿でもすでに説明しつくした感があるが、ここでは「純粹リスクのマネジメント」と「投機リスクのマネジメント」という観点から少し、説明を補足しておこう。

生活の質のうち、利便性やアメニティ・快適性などの社会サービスの質の向上に関わる事業は、たぶんに量的整備に偏った形であるが、これまでの社会基盤整備の主流を占め、一定の成果をあげてきたと言えよう。しかし、より総合的にサービスの質的向上を求める昨今の時代にあっては、それだけ多様なリスクを複合的に抱え込むことは記述したとおりであり、ひいては「社会の幸せ度の向上」を目標の果実とした総合的なリスクマネジメントとして再定義しておく必要がある。そこには、後述するように「投機リスクのマネジメント」も含まれるべきであろう。たとえば金融リスク工学的視点から適切に「勘定に入れて（アカウントして）おく」ことがどうしても必要である。事実、PFIの導入は、すでにそのようなアプローチが必須のものとなってきていることを示唆している。ただし肝心なことは、全体として、社会的・公共的・公益的視点を欠いたりリスクマネジメントであっては、都市マネジメントや社会基盤整備の性格上、本末転倒であろう。そのような議論を総合的かつシステム科学的に議論するためにも、公共性を保証し、投機リスクも視野に入れた、総合的なリスクマネジメントが求められているのだ。

一方、防災の分野にあっては、危険と危害は伝統的に基本的テーマとして据えられてきたので、防災は昔から、「純粹リスクマネジメント」はお手の物という印象や思い込みが、門外漢の者にも、防災の専門家の中にも広く見受けられる。しかし、果たしてそう言い切ってよいのか、というのが筆者の問題提起である。この問い合わせるために答えるためには、これまで述べてきた論点を思い起こせばよいだろう。たとえば、「危険」が「危害」に転じる距離が関係するのが「リスク」という観点から検討してみよう。たとえば、堤防のすぐそばに家を構える住民は、高水（危険）が危害（洪水

被害)に転じて少しも不思議はないほどの距離に住んでいるという認識がはたしてどれくらいあるのか。そこに住まうことにはリスクがあるということが、どれくらい深刻に受け止められているのか。その意味では、住民はリスクマネジメントの当事者ではなく、遠距離からそれを風景として眺めているかのようである。

一方、行政の方もむしろそのような住民の危険と危害の認知距離をわざと広げることに手を貸してきたのではないか。いや物理的にも、そのような距離を大きくすることを暗に助長してきたのではなかろうか。その結果、当事者は専門家を任じる行政当局者だけとなってしまった。そして、彼らもそのような危険と危害の関係を学習するための、〈情報提供や河川利用の機会〉をともすれば避けてきたのではなかろうか。もちろん、そのような傾向を研究者自身(筆者も含めて)も追認してきたきらいがある。また、河川の治水計画に〈複数の選択肢がオープンに与えられてきたか〉、というと、それも疑わしい。それにはそれなりの事情と理由があるのだが、今となってはそれ自体が限界にきていることは否めないであろう。このように考えてくると、いくつかの点で、防災の現実は基本的なリスクマネジメントを行う条件設定にはなかったと言わざるをえない。また、これから防災、たとえば河川のマネジメントにあっては、単に純粋リスクのマネジメントというだけではなくて、日常的にもより親しめて、しかもその川や周りの地域のこととも視野に置いた、総合的なリスクマネジメントが求められると言えるのだ。

## 5. むすび

以上、議論してきたように、都市マネジメントや社会基盤整備には今後、リスクマネジメントの考え方や方法論の適用が必須のこととなるであろう。その場合に、この種の空間的広がりと時間の推移によって多様で生体的な様相を呈する都市システムの重層構造は、図3のような五層モデルによって概念的にモデル化できる<sup>2)</sup>。この場合、下層にいけばいくほど、時間変化はゆったりとしているが、その逆に、上にいけばいくほど、時間変化は急である。たとえば、土木構造物に代表される社会基盤と、建築空間・土地利用

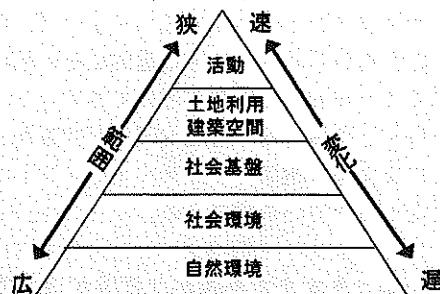


図3 層システムとしてみた都市・地域

とは、その変化のペースが異なることが普通であるので、いきおい、そのペースの不整合がいろいろな都市リスクを生成することになる。たとえば密集市街地に蓄えられたさまざまな災害リスクは、このような異なる層の時間変化的同期がうまく機能しないことからくるものが多いのではないかろうか。

このように見えてくると、都市マネジメントや社会基盤整備は、総合的な空間的かつ時間的マネジメントが求められており、そのためにも、リスクマネジメントの方法論は、これまで以上に、総合化する方向で研究が進められていく必要があるのである。筆者らはそのような観点から、総合的な災害リスクマネジメントの構築にむけて研鑽を続けているが、総合化はそのような研究者の世界だけにとどまるこでは達成しえない。そのためには実務者、行政担当者、政治家など多様な職種や技能、役割などが一同に糾合されることにより、今後、より社会的還元が可能なような情報交換と知識技術の共有の場づくりが求められていると言えよう。

## 参考文献

- 1) 草野直幹：土木分野におけるリスクマネジメントの必要性、土木学会誌, pp. 6-12, vol. 85, 2000.
- 2) 岡田憲夫：どうして今、社会基盤整備にリスクマネジメントが必要なのか、技術研究所報, vol. 1, 2001.
- 3) 岡田憲夫：都市マネジメントの総合能力とリスクマネジメントとしての都市防災、土木学会誌, pp. 65-67, vol. 85, 2000.
- 4) 吉川肇子：リスクコミュニケーション—相互理解とよりよい意思決定をめざして、福村出版, 1999.

# 地震災害リスクマネジメント

ほし や まさる  
星 谷 勝 \*

## 1. はじめに

土木施設は公共物であることから特に合目的性が問われる。ただ建設すればいいわけではなく国民の福祉に役立つと同時に環境にやさしく、かつ環境と調和のとれたものであることが強く求められる。現在、ダム建設計画、道路建設計画などの土木施設の見直しをはじめとして諸施設の建設計画の是非が国全体の話題として議論されている。このような状況下において、すでに建設された施設に対しては、少なくともそれらを効率的にかつ効果的に維持管理することが求められる。また、長期間にわたり使用していくものであるから、その間にいろいろな自然災害の危険にさらされるので既存、新設にかかわらず危険を最小限に抑える方策を立てることが必要である。そして、限られた財源を用いて効果的に防災管理をしていくにはハード技術一辺倒では解決できない。GIS や信頼性理論などの先端技術を駆使するソフト技術の展開が求められる。リスクマネジメントはソフト技術を用いてリスクを評価し、費用対効果を考慮した最適防災計画を立案し実施するマネジメント技術である。

本稿は、リスクとは何か、を明確に定義する。そして、地震災害に対するリスクマネジメントの基本技術を解説する。次いで、リスクの一部を地震保険に転嫁する場合のライフサイクルコストを最小化する方法を示す。最後に、リスクマネジメントの適用例を示す。

なお、リスクマネジメントは土木施設に限らず、ライフライン諸施設、農業水利システム、建築構造物、電子機器工場、石油精製プラントなどを対象に広く適用されるものである。

## 2. ソフト技術の必要性

リスクは、不安を連想するネガティブな言葉として受け止められているようである。ところが、最近は政治、経済、金融、環境問題など、さまざまな分野で耳にするようになった。土木建築分野でもリスクは頻繁に使われるようになった。

\* Ph. D. 武蔵工業大学教授 工学部都市基盤工学科

た。ネガティブな言葉でありながら、使われるようになつたのは、リスクを正面から見見える土壤が醸成されてきたからである。そのきっかけは、1995 年の兵庫県南部地震である。多くの建設技術者は、自分たちがつくった構造物が壊れる姿を想像だにしなかった。ところが、多くの住宅やビルそして道路などが破壊される様を目撃して「絶対はありえない」といった視点から構造物を見られるようになった。過去には、大きな地震のたびに新たな課題が示され、多くの研究は構造物をより丈夫にすることに注力された。つまり、壊れないようにすることであった。

ところが、兵庫県南部地震を機に、稀に起きる大地震では多少の被害は容認する、いわゆるリスクの存在を肯定する方向へと移り変わった。この進歩により、リスクを前提とした議論ができるようになり、合理的な耐震性能の評価、あるいは効率的な耐震対策のあり方について、利用者との共通な認識のうえに建設的な議論ができるようになってきた。いわゆる合意形成である。このような背景は、地震リスクを効率的にかつ効果的に管理するソフト技術、いわゆるリスクマネジメントを普及するうえで、大きな原動力となっている。

リスクマネジメントは、地震リスクを定量的な情報として記述し、費用効率の高い対策を選定するための支援ツールといえる。その基礎理論は、確率・統計学であり、GIS やエキスパートシステムなどの先端技術である。そして、地震工学、地震学、構造工学などのさまざまな分野の工学技術に肉づけされた実用的なツールとして体系化されたものである。

地震防災で問われるのは、新工法、新材料、あるいは構造挙動のモニタリングセンサーといったハード技術の開発だけでなく、それらを上手に使いこなしリスクを管理できるソフト技術である。

## 3. リスクとは

まず、“リスクとは何か”ということを定義することにしたい。ここでは、リスクを管理することが目的であるから、リスクを定量的に表現できるものでなければならない。漠然ととらえるのでは、対策の効果によりリスクがどの程度

低減されたのかを定量化できないからである。日頃よく使われる“リスク”あるいは“危険”という意味には、証券投資のように利得あるいは損失の両方が生じる可能性、自然災害のように損失だけが一方的に生じる可能性等に見られる不確定な事象の大きさを言うこともある。ここでは、リスクを量的に扱うために、(1)広義のリスクとして、発生確率を伴う損失の大きさ、(2)狭義のリスクとして、発生確率と損失の積、すなわち、損失期待値と定義する。

図1は、住宅1件当たりの出火による損失を示すイベントツリーである。火災発生の確率が0.001であり、発生した場合にそれが小火にとどまる確率が0.2である。半焼になる確率は0.3、全焼になる確率は0.5である。火災が発生しない確率は0.999である。この場合には、小火の発生確率は、火災が発生したという条件(確率0.001)で小火(確率0.2)だから、 $0.001 \times 0.2 = 0.0002$ となる。そして小火による損失が20万円である。同様にして、それぞれの損失発生確率と損失額が示されている。

この例で言えば、広義のリスクは、発生確率を伴うそれぞれの損失20万円、500万円等々である。狭義のリスクは、平均された値、すなわち損失期待値の1.154万円である。リスクマネジメントでは損失期待値に注目し、防災対策によりこの数値の低減を目指すことになる。しかしながら、損失の大きさの分布特性はこの数値からでは推察できな

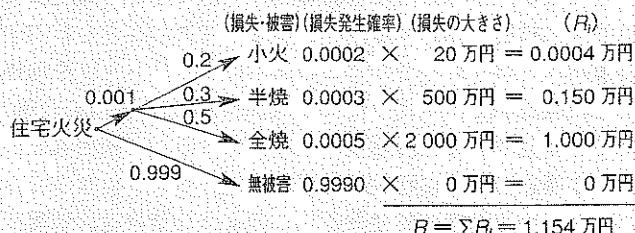


図1 損失発生確率と損失(住宅火災)

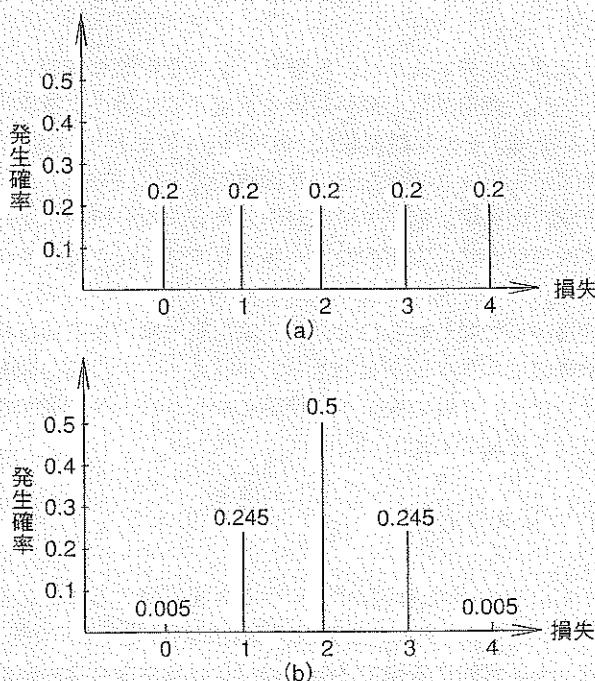


図2 損失の確率分布

い。発生確率は小さいが全焼による2000万円の損失が起これ得るし、一方、高い確率で無被害である。細かくリスクを検討する際には広義のリスクを用いることが必要である。図2は、二つのリスクを比較したものであるが、両者は狭義のリスクが0.2で同じだが、広義のリスクでは、損失の分布特性に見られるように大きな違いがある。[(注)筆者は、損失の分布特性を定量化し、かつ損失の大きさを表現できるリスクとして、損失期待値に情報エントロピーを併用することを考えている。]

#### 4. 地震災害リスクマネジメント

地震リスクマネジメントは、図3に示すように、(1)リスクの識別と分析を行い、損失の大きさと発生確率を評価する。(2)リスクを低減する方策を検討し、リスク低減の未処理分に対して、保有か、転嫁か、それとも回避かの方針を立てる。(3)方策の実行、の三つの段階から構成される。この方策をどの時点に対応させるかによって、リスクマネジメントはクライスマネジメントとリスクマネジメントに分類される。

クライスマネジメントは、地震発生事後の行動のために、事前に具体的な方策を立てておき、地震時には“被害やそれがもたらす損失をいかに拡散させず迅速に解消するか”を目指すものである。

一方、リスクマネジメントは、“被害や損失が発生する前に、科学的にそれらを分析して、損失を未然に最小に抑え

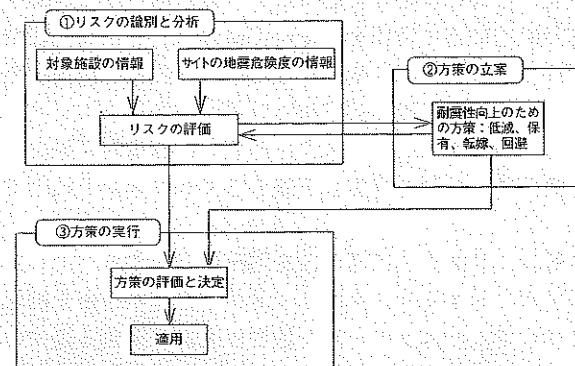


図3 地震リスクアセスメント

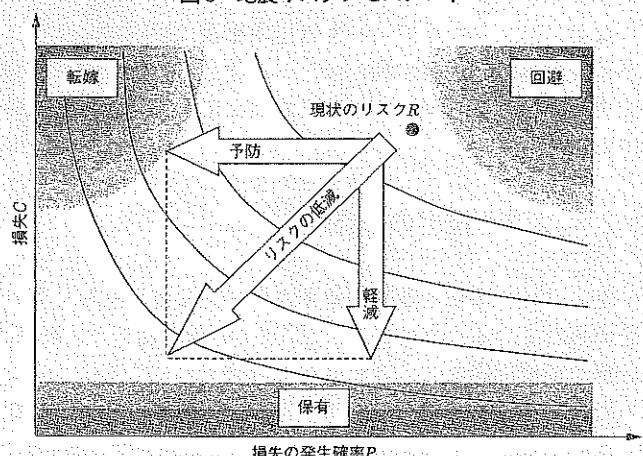


図4 リスクの概念

る”という危機管理である。

これは、1927年の世界恐慌を機にアメリカの保険分野から発し、1950年代には保険分野から原子力分野に至る広範囲にわたる包括的な危機管理へとその考え方が展開されたものである。二つの危機管理は、まったく別のものではなく互いに深く関連しているが、本稿では後者の事前対策を対象とする。

さて、リスクを低減する方策を図4で説明する。同図には現状のリスク  $R$  が  $P-C$  座標上にプロットされている。リスクマネジメントとは、損失を未然に最小に抑えるための危機管理であるから、現状のリスクの位置を何らかの方策により左下の位置へ移動させることである。すなわちリスクの低減である。移動させるには、リスクが損失の発生確率  $P$  と損失  $C$  の積であることから、 $P$  を左へ移動させる対策と  $C$  を下へ移動させる対策を組み合わせることである。左へ移動させることは損失の発生確率を小さくすることであるから予防対策である。下へ移動させることは損失を小さくすることであるから軽減対策である。

予防は、地震自体の発生を阻止できないが、損失要因を低減するために地盤を改良し、あるいは構造を強化することにより可能である。つまり、オフィスビルならば、柱、はり、壁を耐震的に強化することや基礎構造の補強などである。水道ライフラインならば、地盤を改良したり、管路を鋼管に変えたり、フレキシブル継手に更新することである。したがって、予防は多くの構造物や施設に求められる最も基本的な対策ではあるが、ある程度まで損失の発生確率を小さくするためには膨大な費用を必要とする。

軽減は、損失を小さくすることであるから、危機管理の教育や、緊急時的人材確保による復旧作業の早期回復や、緊急資材の確保などにより可能である。また、オフィス機能を複数の拠点へ分散させておくことも軽減対策である。水道システムならばネットワークの冗長性を高めておくことなどである。

同図には、リスクを保有する領域が示されている。リスクが損失の小さい保有領域にあれば、発生確率の大小にかかわらずリスクを低減することを試みずにリスクを保有しておくことが経済的に得策である。つまり、リスクを低減するための対策費がリスクに比べて非常に大きくなる場合には一切費用を使わず、相当額の対策費を緊急対応、応急復旧などの別の対策につぎ込む方が有効な場合である。

リスクが低頻度・大損失の転嫁の領域にあれば、共済、補償、保険、証券化といったリスクファイナンスにより万一の損失を転嫁するという対処が行える。つまり、この領域では損失が重大であるのに発生確率が小さいために、事業者が単独ではリスクに対応しきれない、あるいは費用便益的にみて対応しない方が有利な場合である。近年、政府や保険会社、学会などにおいても地震損害保険について議論されている。また、証券化とは、資産リスクを担保条件として社債を発行するものである。高利回りだが、損失が発生したときには一部または全部を投資家が負担することになる。しかし、これらの手段では事業者の金銭的損失は免れるが、リスクそのものを低減したことにはならない。

転嫁という手段に依存する前に、認識されているリスクを低減していくことは事業者の義務であろう。あるいはこの領域のリスクに対しては部分的にリスクを転嫁することを併用した低減策が好ましい。

リスクが大頻度・大損失の回避の領域にあれば、経営型リスクマネジメントの原則に従えばリスク対策を放棄、断念することになる。本来なら、この領域にプロットされるリスクを有するような施設は建設されていてはおかしいはずである。

リスク  $R$  を算定するには、損失の発生確率  $P$  と損失  $C$  の値が必要である。 $P$  の値を推定するには、実際には被害形態を軽微あるいは大破・倒壊などと定義したうえで、それぞれの結果として生じる損失の発生確率を評価することになる。その手法は信頼性理論による。 $C$  の値を推定するには、建物の倒壊や設備の被害を推定することによる。さらに、施設の使用が停止することによる営業損失や、水道供給停止による迷惑量や、水が得られないことによる心理的な影響や、人命の喪失など諸々の損失を含めなければならない。損失の値は、事業主体自身、すなわち、リスクを管理しようとする者が決定することである。最適な方策は、現状のリスクと対策後のリスクを評価することにより選択される。その際、対策に要する費用も考慮する。

## 5. リスク解析

リスクを定量化するには、各損失モードと損失の大きさ  $C_i$ 、と発生確率  $P_i$  の値が必要である。

$C_i$  は、施設や建物が被害を被ることの重大さを示す量である。そのためには、被害が起きたら何が困るのかを明確にしておかなければならない。損失には、施設が被害を受けたときの復旧費が考えられる。これは物理的な被害額だから評価は比較的容易である。しかし、損失には、機能低下による損失、派生被害による損失、人命喪失による損失も考えられる。さらに、同じ地震被害であっても、主体者が誰であるかによっても異なる。たとえば、道路施設の場合、主体者が道路を管理する自治体とすれば、利用者の生命、道路が不通になることによる経済的影響、利用料金の未収、施設修復費などが損失に計上される。一方、主体者が道路を利用する市民とすれば、自身の生命と道路が利用できなくなる不便さが損失である。企業の場合、主体者が企業を運営管理する側とすれば、物理的な被害による損失と機能低下による損失である。主体者を従業員とすれば、自身の生命と雇用問題が損失にかかわることになる。このように、人や立場によりリスク評価の内容は異なることになる。

$P_i$  を求めるには、まず、図1に示したようなイベントツリーを作成することからはじめる。このイベントツリーの分岐点に張り付く確率は地震損傷度解析（詳しくは、文献1）により求められる。これらの確率は地震動の大きさを与えたときの条件付確率である。イベントツリーが完成すれば、狭義のリスク、すなわち、損失期待値  $R$  が求められる。地震動の大きさを変化させて  $R$  を求めると、図5に示

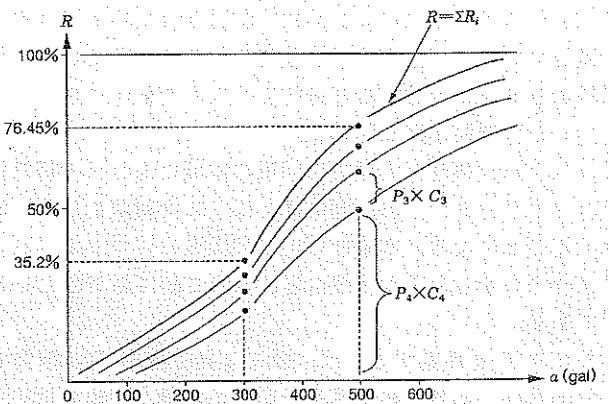


図5 地震ロス関数 (seismic loss function)

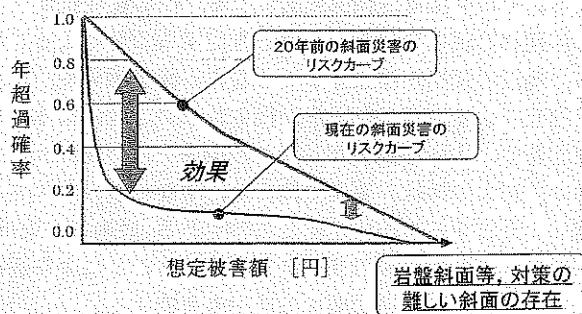


図6 リスクカーブの概念 (文献2)

す地震ロス関数が得られる。

一方、地震危険度の情報は、サイトに影響を及ぼす可能性のある過去の地震データ、活断層資料、地質構造、地球物理学の知見から得られ、その結果は地震ハザード曲線に集約される。

施設の脆弱性を示す地震ロス関数と、入力地震動の不確定性を示す地震ハザード曲線から、共通のパラメータの地震動の大きさを消去して  $R$  とリスク超過確率の関係を求めるとき地震リスクカーブが得られる。図6は斜面災害におけるリスクカーブの概念図を示すが、対策後のリスクカーブとそれ以前のリスクカーブとの差が対策の効果といえる(文献2))。

## 6. 保険によるリスクの金銭的転嫁とLCC

ライフサイクルコスト (LCC) は、初期建設費、維持管理費、自然劣化による不具合の補修費、さらに、自然災害による損失などさまざまな費用を累積したものであり、施工期間および供用期間中に生じる総費用である。この総費用を最小にするように、設計、施工、維持管理を実行することは費用対効果の原則から合理的である。ここでは、一般土木施設、建築物を対象として、LCCに含まれる諸費用のうち自然災害による損失の影響に着目し、施工期間と完成後の供用期間における自然災害による損失を考慮したLCCの最適化問題を構築する。なお、簡単に扱うために、維持管理費、補修費は対象外としている。そして、損失の一部を損害保険(以下、保険)により転嫁することを考慮した場合のLCCの最適化を考えてみる。過去のLCC最適

化問題では、LCCの中で保険料の支出は考慮されているものの、保険により軽減されたリスクは評価されていない。ここでは、損失に効用の概念を導入することにより、建設会社あるいは施設所有者にとって保険に加入することの意味を明確にし、軽減されたリスク、および保険の効果を定量的に評価する。なお、本稿のLCCに補修費などの諸々の費用を加算しても、モデルの骨格構造は本質的には不变である。

発生確率は低いが、損失が大きいリスクに対しては、リスクの一部を保険により金銭的に転嫁することが考えられる。保険料は損失期待値に対する損害保険会社(以下、保険会社)の負担分(純保険料)に手数料(附加保険料)を加算したものであるから、保険に加入すれば附加保険料の分だけ余計な支出となり、この分だけLCCは増加する。したがって、保険に加入することは期待値という確率概念から考えると意味をなさない。また、たとえ附加保険料が無い場合でも、“若しも”という事態の発生に対する人々の危険に対する態度によって保険加入は左右されることもある。保険加入が意味をなす理由は、効用理論から説明されることになる。効用は実際の金額に対する個人の満足感(損失に対しては、失望感)を表わし、保険加入の意思決定は損失に対する効用を用いて行われる。保険に加入した場合の損失期待値(自己負担+保険料)が、効用の値を認識しているにもかかわらず、保険に加入しなかった場合の損失期待値より小さければ保険加入が選好される。被保険者に許容される保険料の決定には効用を考慮したうえで、適切な免責限度額  $l_0$  と支払い限度額  $u_p$  の設定が必要である。文献3)では、以上の原則に基づき、年間当たりの地震ハザードを用いて土木施設・建築物の損失を評価し、同時に被保険者にとっての最適な保険料を算定する手法を提案している。

ここでは、文献3)の手法を拡張してLCCの最適化問題を検討してみる。そして、供用期間  $T$  年におけるLCCを最小化するように、施設の要求機能水準パラメータ  $x$ 、仮設工法パラメータ  $y$ 、リスクの建設工事保険(以下、工事保険)への転嫁パラメータ  $z_1=\{u_p, l_0\}_1$ 、供用期間中のリスクの地震保険への転嫁パラメータ  $z_2=\{u_p, l_0\}_2$  を選択するための数理モデルを構築する。

LCCは、初期建設費と供用期間中に発生する地震被害による損失期待値から構成され次式で与えられるものとする。

$$\begin{aligned} \text{LCC}(x, y, z_1, z_2, r, T) &= C(x, y, z_1) + \{E_0[L(x, z_2)] \\ &\quad + (1+k)E_1[L(x, z_2)]\}h(r, T) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $C(x, y, z_1)$ =初期建設費、 $E_0[L(x, z_2)]$ =施設所有者が自己負担する年間リスク、 $E_1[L(x, z_2)]$ =保険会社へ転嫁する年間リスク、すなわち、純保険料、 $kE_1[L(x, z_2)]$ =附加保険料、 $h(r, T)$ =現在価値への変換関数、 $r$ =変換率である。

現在価値への変換関数は

$$\begin{aligned} h(r, T) &= 1 + (1+r)^{-1} + (1+r)^{-2} + \dots + (1+r)^{-T+1} \\ &= [1 - (1+r)^{-T}] / [1 - (1+r)^{-1}] \end{aligned} \quad (2)$$

式(1)で与えられるライフサイクルコスト LCC

$(x, y, z_1, z_2, r, T)$  は、右辺第 1 項の初期建設費  $C(x, y, z_1)$  と第 2 項の損失期待値から構成されている。損失期待値は、式(1)により施設所有者が自己負担する損失期待値  $E_0[L(x, z_2)]$  と、地震保険へ転嫁され保険会社が負担する損失期待値  $(1+k)E_I[L(x, z_2)]$  に分けられる。後者には保険会社が要求する付加保険料が含まれる。保険は単年度契約として、毎年想定される損失期待値は、変換関数  $h(r, T)$  を用いて現在価値へ変換される。保険料  $(1+k)E_I[L(x, z_2)]$  は、施設所有者の損失期待値の中で保険会社の負担に相当する純保険料に付加保険料（手数料）を加算したものであり、施設所有者の支出として LCC に含まれている。なお、手数料は運営費や営業利益として保険会社が要求するものである。付加保険料は純保険料に一定の比率  $k$  を乗じたもので与えられるとする。

一般に、保険では小さな損失は自己責任とし、大きな損失には最大支払い額が設定されているが、これと同様に地震保険では免責限度額  $l_0$  と支払い限度額  $u_p$  が設定される。これらの限度額により、式(1)に示すように損失期待値の分担が施設所有者と保険会社へ振り分けられる。

## 7. LCC の最小化

式(1)に基づき、LCC を最小化することの意味を考察してみる。もし設計において要求機能水準(パラメータ  $x$ )を高く設定すれば初期建設費  $C(x, y, z_1)$  は高くなるが、その分だけ安全性が向上するから、第 2 項の損失期待値は小さくなる。逆に、建設費が安ければ、第 2 項は大きくなる。したがって、中間に最小値が存在することになる。一方、式(1)の第 2 項のみに注目し、仮に  $x$  を固定して  $z_2$  のみを変化させてみる。 $u_p$  を無限大に近づければ、保険会社の負担、すなわち保険料  $(1+k)E_I[L(x, z_2)]$  が増大し、施設所有者の負担する損失期待値  $E_0[L(x, z_2)]$  はゼロに漸近する。逆に、 $u_p$  を小さく設定すれば、 $(1+k)E_I[L(x, z_2)]$  は小さいが、 $E_0[L(x, z_2)]$  が増大する。しかし、両者の和は、振り分け前の損失期待値に付加保険料（手数料）を加算したものとなるから一定である。一方、施設所有者のリスクに効用を考慮すれば、後述のように第 2 項は、これらの中間に最小値が存在することになる。以上の考察から明白なことは、式(1)の最適化は第 2 項の最適化を内蔵した最適化問題となっている。実際には、右辺の第 1 項と第 2 項は共通に  $x$  の関数であり、さらに第 2 項は変数  $x, u_p, l_0, T$  の多変量関数となっているから、両者を区別して、別々に最適化することはできない。両者を一体として LCC を最小化することにより、(1)最適な要求機能水準パラメータ  $x$  と(2)施設所有者にとっての最適な保険料  $u_p$  を決定することができる。

ところで、初期建設費  $C(x, y, z_1)$  は、設計に要する諸費用および建設費が合算されたものだが、後者の建設費には、建設中のリスクが考えられる。すなわち、工事によっては数年を要し、その間に台風による自然災害や人為的災害などが考えられる。これらのリスクに対して工事保険を利用して工事を実施するものとする。この場合には、第 1 項の

$C(x, y, z_1)$  は、第 2 項と同様にブレイクダウンされ、それ自体が最適化問題を内蔵することになる。

施工期間は供用期間に比べて短いので、現在価値への変換を考えないとすれば、初期建設費は次式で表わせる。

$$C(x, y, z_1) = C(x, y) + G(x, y, z_1) + CI(x, y, z_1) \quad (3)$$

ここで、 $C$ =建設工事費、 $G$ =建設会社が負担するリスク、 $CI$ =保険会社へ転嫁するリスク、である。

この式においても、仮設工法パラメータ  $y$  によって、右辺第 1 項と第 2 項以下との間にトレードオフの関係が存在する。さらに、工事保険へ転嫁するパラメータ  $z_1$  により  $G(x, y, z_1)$  と  $CI(x, y, z_1)$  との間にトレードオフが行われ、最適化問題を構成する。

式(1)の右辺における施設所有者の負担する年間リスクは次式で与えられる。

$$E_0[L(x, z_2)] = \int_0^{\infty} E_0(x, u_p, l_0|a) f(a) da \quad (4)$$

ここで  $f(a)$  は、サイトに発生する年間地震最大加速度  $a$  の確率密度関数であり、地震ハザード曲線を用いてサイトごとに求められる。 $E_0(x, u_p, l_0|a)$  は施設所有者の負担する条件付損失期待値であり、損失  $L$  の効用関数  $u = U(L(x))$  を用いて次式で計算される。

$$E_0(x, u_p, l_0|a) = \int_0^{l_0} u p(u|a) du + \int_{l_0}^{\infty} u p(u + u_p|a) du \quad (5)$$

式(5)をグラフで示すと図 7 のようになる。右辺第 1 項は免責限度額以下の損失に対応し、第 2 項は支払い限度額を越えた損失の差額分に対応したものである。 $l_0$  と  $u_p$  間の損失は施設所有者の免責となる。損失がある程度大きいと、実感される損失、すなわち効用はさらに大きなものとなる。言い換えると、損失の効用関数は被保険者に導入され、不確実な損失よりも確実に損失を回避したく考えるから、危険回避的な行動に対応した効用関数となり一般に下に凸の不等式  $U(L(x)) \geq L(x)$  を満足するものである。 $p(u|a)$  は効用の条件付確率密度関数である。 $p(u|a)$  を求めるには、地震加速度  $a$  を条件として損失  $l=L(x)$  を介した効用  $u=U(L(x))$  の確率密度関数を求ることになる。それを求めるにはすでに述べたようにイベントツリー解析が有効である。

式(1)の右辺第 2 項の保険会社へ転嫁する年間リスク(保険料)は次式で与えられる。

$$(1+k)E_I[L(x, z_2)] = (1+k) \int_0^{\infty} E_I(x, u_p, l_0|a) f(a) da \quad (6)$$

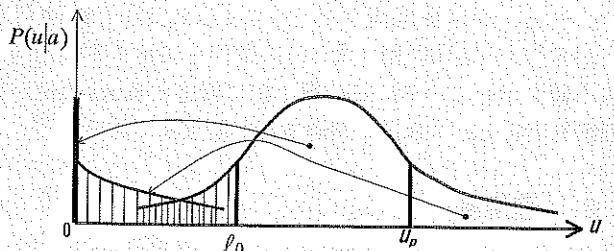


図 7 施設所有者の条件付損失の確率密度関数

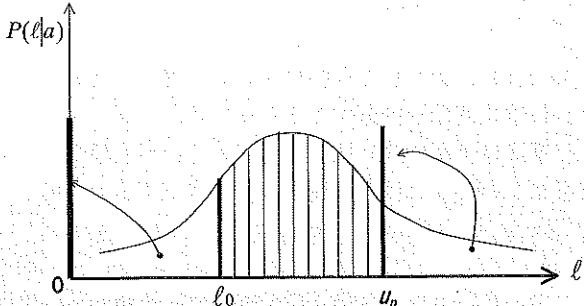


図 8 保険会社の条件付損失の確率密度関数

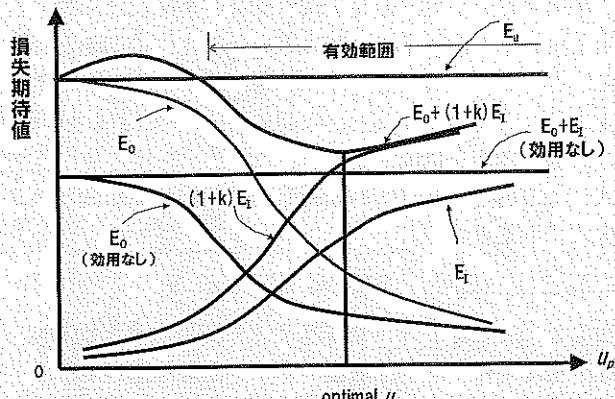


図 9  $u_p$  の最適値

ここで、 $E_l(x, u_p, l_0|a)$  は保険会社が負担する条件付損失期待値であり、損失  $l=L(x)$  を用いて次式で計算される。保険会社は危険中立的であるから、当然ながら損失に對して効用を考えない。

$$E_l(x, u_p, l_0|a) = \int_{l_0}^{u_p} l p(l|a) dl + u_p \int_{u_p}^{\infty} p(l|a) dl \quad (7)$$

式(7)をグラフで示すと図 8 のようになる。ここで、右辺第1項は損失の全額負担分、第2項は支払い上限額の分担分である。

さて、施設所有者に保険が選好される条件は、保険によりリスクの一部を転嫁した場合の損失期待値が、保険加入を避けた場合の損失期待値を下回ることであるから、

$$E_u = \int_0^{\infty} E(u|a) f(a) da \quad (8)$$

$$E(u|a) = \int_0^{\infty} u p(u|a) du \quad (9)$$

として、

$$E_u \geq E_0[L(x, z_0)] + (1+k)E_1[L(x, z_0)] \quad (10)$$

図 9 は式(10)の関係を図示したものである。この図は、保険加入が意味をなす式(10)の条件のもとで、保険料の支払い限度額  $u_p$  の最適値を示している。効用を考慮しない場合、施設所有者の自己負担分の年間リスク  $E_0[L(x, z_0)]$  と純保険料  $E_1[L(x, z_0)]$  の和は  $u_p$  に独立で一定値となっている。したがって、この限りでは最適な  $u_p$  は存在しない。一方、効用を考慮すると、 $E_0[L(x, z_0)]$  と保険料  $(1+k)E_1[L(x, z_0)]$  の和は式(10)の条件を満足する範囲内で最小値を示している。この最小値に対応する  $u_p$  の値が施設所有者にとって保険の最適支払い限度額である。

## 8. 適用例

ここでは、適用例の結果を示すに留めるが詳しくは参考

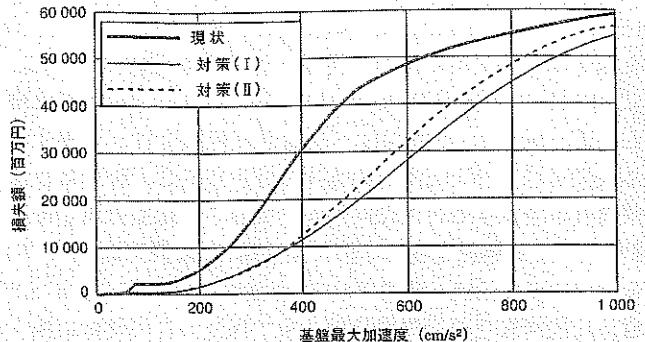


図 10 地震ロス関数で見た耐震対策の効果

表 1 年間当たりの損失期待値の比較

項目	年間当たりの損失期待値		
	物理的な損失	営業損失	トータル
現 状	36.63	461.25	497.88
対策 (I)	31.03	87.66	118.69
対策 (II)	31.13	93.24	124.37

(単位は百万円)

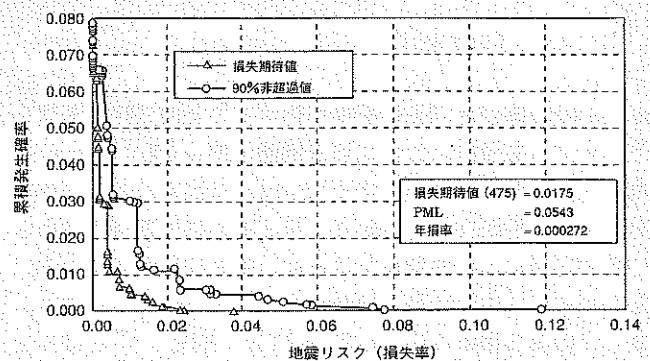


図 11 リスクカーブ

文献 1) に示されている。

### (1) 電子機器工場のリスクマネジメント

クリーンルームを持ち、精密な電子部品を生産する A 棟と B 棟から構成された工場があり、建物に比べ製造機器が高価であることが特徴である。地震リスクとして、年間の損失期待値を指標とし、この値を用いて費用効率の高い対策を検討している。地震被害の要因として地盤被害、振動被害、火災・爆発が考えられたが、これらによって引き起こされる損失の程度を推定した結果、大規模な液状化による損失のみを考慮している。この場合、各種機器の転倒、滑動被害、天井落下による製造機器と仕掛品の損傷を考慮している。以上より、物理的損失と生産停止に伴う損失の確率をイベントツリーにより算出している。そして、二つの対策による費用効率を検討している。対策(I)は、A 棟と B 棟を補強した場合、対策(II)は屋上機器を含め生産機器類の固定度を強化した場合である。図 10 は地震ロス関数で見た耐震対策の効果を示し、表 1 は損失期待値を比較したものである。

### (2) オフィスビルのリスク

不動産の証券化に伴い、一般投資家は原資である不動産

からの収益を得る権利と同時に自然災害によるリスクを負うことになる。このため、投資家は金融商品としてのリスク情報を知る権利を有し、そのための調査業務、いわゆる「デューディリジエンス」が必要になっている。ここでは、オフィスビルのリスク評価の結果を示す。図11は、地下2階、地上20階の鉄骨ビルの、シナリオ地震によるリスクカーブである。記号△は損失期待値、および記号○は90%非超過値であり、それぞれの累積発生確率を示している。なお、PML値は90%非超過値に相当する損失率である。

## 9. まとめ

地震災害リスクマネジメントの方法を解説したが、これは、あくまで意思決定のための支援ツールである。また、個々の施設を対象としているのか、所有施設群を対象にし

ているのか、主体者が個人か、公共機関か、利用者か、などにより損失の内容は異なることに留意し、さらに、適用範疇を定めて定量的にリスクを算定することが大事である。

本稿は、主として参考文献1)の内容を要約したものである。

## 参考文献

- 1) 星谷 勝・中村孝明：構造物のリスクマネジメント、山海堂、2002年4月。
- 2) 三木博史：岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術の開発、土木学会誌、Vol. 7, 37-40, 2002年5月。
- 3) 望月智也・中村孝明・木村正彦・星谷 勝：損失に対する主観金額を考慮した地震保険の最適化、土木学会論文集、No. 703/I-59, 203-210, 2002年4月。

# 火山災害のリスクマネジメント

たか はし かず お  
高 橋 和 雄\*

## 1. はじめに

火山災害のリスクマネジメントというテーマを頂いたが、リスクマネジメントとして一般に通用する考え方が火山災害対策にあるのだろうか。火山災害の特性を踏まえたうえで、整理して考えてみたい。また、1995年1月17日の阪神・淡路大震災の後に、国の危機管理体制が見直されており、対応が早くなっていることにも触れた後に火山災害ではハザードマップ、噴火シナリオ、防災ガイドラインの作成とリスクマネジメントが体系化してきていることを示し、これを支えるシステムが構築される必要性があることを述べる。一般論の展開は困難であるために、最近の雲仙普賢岳の噴火（1990～1995年）、岩手山の噴火（1998年）のおそれ、有珠山の噴火（2000年）および検討中の富士山の噴火対策を事例に、リスクマネジメントの実態を紹介するとともに課題とあるべき姿を示す。

## 2. 火山災害の特徴

火山地域の災害には、噴火が直接影響を与える火山活動期における災害と、火山非活動期（静穏期）における災害がある。火山活動期における災害は、噴火による現象の相違から多岐にわたる災害形態を示す。直接的（一次的）な災害要因だけでも溶岩流、火碎流、火山泥流、降下火碎物（火山灰、火山礫など）、火山ガス（硫化水素、亜硫酸ガスなど）などがある。歴史的に知られている大噴火の多くは、上述の災害要因が重複して発生して地域に災害をもたらしている。付随的（二次的）災害として、山体崩壊、土砂移動による津波、火山性地震、空振、地盤変動などがある。

火山非活動期の災害としては、降雨による土石流、地震などによる火山体の大規模な崩壊、地すべりによる災害などがある。また、火山によって活動様式が異なるため、発生する災害にもそれぞれ差異が現れる。火山災害に対する防災対策を策定する場合には、有史以後の災害履歴だけでなく、有史以前の活動歴も参考にされてきている。

以下、火山活動期の災害に絞って議論する<sup>1)</sup>。火山災害に

は溶岩流のように発生してから対処すれば間に合うものと、土石流のように砂防ダム、遊砂地、導流堤などの砂防施設で対処できるものがある反面、火碎流や山体崩壊のように施設による防御では技術的もしくは経済的に対処できない場合がある。ハード対策が不可能な場合には、警戒避難対策、警戒区域の設定による立入制限などのソフト面の対応が不可欠である。さらに、安全確保のために住宅や工場などの移転や土地利用の規制が必要となる場合もあるが、まだ合意形成を図るまでには至っていない。

火山災害の規模によっては、広範な地域に被害が及んだり、壊滅的な被害となるおそれがある。災害の社会的・経済的な影響が非常に大きくなる可能性がある。場合によつては、復興が困難となる災害規模になる。

火山は発生、発達そして解体、消滅の過程のライフサイクルをたどるが、そのタイムスケールは数万年に及ぶ。人間の一生に比べていかにも長い。しかも、火山活動期の火山災害はその火山としては希な現象であるため、その発生頻度は地震や風水害などの他の自然災害と比べてはるかに低い。このため、危険地と認識されないままに土地が利用され、また火山災害対策が整備されていない。また、火山噴火が発生した場合には、規模、速度および範囲の大きさもさることながら火山活動が長期間に及ぶ特性をもつ。

一方、火山災害の発生は活火山の周辺の地域に限られる。このため、ハザードマップ（火山災害危険区域予想図、火山災害予想区域図）の作成による警戒避難対策や都市防災などの事前対策が可能である。火山災害が始まつてからの対策では間に合わないが、前もって火山防災対策を行うことは今後必要と思われる。火山の噴火予知は観測技術の進歩などによってある程度可能になってきているが、終息の予測技術はまだ確立していない。

噴火が終った後も山腹に堆積した土砂による土石流は10年間程度発生することが知られている。さらに、火山体は力学的に不安定な構造をもつてゐるため、地震などによる山体崩壊への注意が必要である。このように火山災害の長期化およびその影響が長期間に及ぶことも、風水害や地震などの一過性の災害と大きく異なる点である。我が国の災害対策は、主として一過性の災害を対象として立案されており、長期継続災害や大規模災害に対する災害対策は確

\* 長崎大学教授 工学部社会開発工学科

立していない。以上のような火山災害の特性を十分に把握したうえでの火山災害対策、防災対策および地域づくりが必要である。

### 3. 危機管理例—雲仙普賢岳の火山災害—

(1) 雲仙普賢岳の火山災害における危機管理支援体制  
長崎県島原半島の雲仙普賢岳の火山災害（1990～1995年）では火碎流が発生した。火碎流は溶岩ドームの崩壊によって発生したが、発生の予知や防御は不可能でしかも高温の岩屑・粉体流が高速で流下するために発生してからの避難は不可能であった。このため、火碎流到達危険区域に対して災害対策基本法第63条に基づく警戒区域が設定され、住民の生命の安全は確保された。しかし、警戒区域内には住宅、農地、商工業施設、道路、通信施設、ライフラインなどの生活関連施設が含まれており、生活や経済的基盤の使用や維持管理が不可能となった。このため、直接・間接的な物的・経済被害は甚大となってきた。当時の災害被災者支援システムは、災害救助法に基づく支援と全国から寄せられた義援金をベースにしており、個人に対する経済的支援システムはきわめて貧弱なものであった。九州大学島原地震火山観測所（現：九州大学地震火山観測研究センター）太田一也教授（当時）の報告<sup>2)</sup>にあるように、人命の安全を重視する火山観測研究陣と住民の生活の苦しみを早く緩和しようとする行政の対立が心配された。特に雲仙普賢岳の火山災害では火山噴火が長期化し、生活や経済に与える影響が大きいため、警戒区域の範囲と設定期限の決定が安全と生活の両面から議論する場が必要となった。

雲仙普賢岳の火山災害では火山観測結果に基づいて行政側が客観的な判断ができる場として協議会が設けられた。この協議会には長崎県、島原市、深江町、気象庁雲仙岳測候所、九州大学島原地震火山観測所、防災関係機関（長崎県警察本部、島原警察署、陸上自衛隊、長崎海上保安部）が参加している。ここで議論され、同意された内容が警戒区域の設定・解除の権限をもつ島原市および深江町の災害

対策本部会議で追認決定された。協議の過程では激しい意見の対立もあったようであるが、最終的には市や町の独走は回避された。島原市および深江町による警戒区域の設定延長の説明文には、火山活動の状況と苦渋の決断のようすなどがよく現われていた。

しかし、九州大学太田一也教授（当時）の報告<sup>2)</sup>にあるように、生活上の問題、道路の使用、下流部の土石流対策工事などのために、警戒区域の設定範囲は最小限にせざるを得なかった。このために、火碎流の到達範囲が経験則を上回って拡大する可能性があった。雲仙普賢岳の火山災害では火碎流が警戒区域を3回突破した。さらに、警戒区域内で住民の1次帰宅による荷物の持出し、国道通行、災害の拡大に備えての上流部の応急的な土石流対策、治山・砂防工事などのために住民、道路管理者、防災関係者が警戒区域に入域せざるを得ない状況が生じた。

### (2) 陸上自衛隊による危機管理支援体制

火山災害では溶岩ドームの監視、溶岩ドームの温度計測、耐熱性のある資機材、レーザー、暗視装置、測定器などの装備が必要であるが、これらを装備できる機関は陸上自衛隊のみであったといつても過言ではない。陸上自衛隊第16普通科連隊は噴火活動が活発化する以前から、九州大学島原地震火山観測所に協力して、火口観測のヘリコプター運行支援を行い、1991年6月3日の火碎流によって人的被害発生後は、長崎県の要請によって島原派遣隊として約1,000人が常駐していた<sup>2),3)</sup>。陸上自衛隊の協力を得て、火碎流発生を即時に把握し、1分間でその危険性を判断のうえ、工事現場や主要道路に達するまでの4～6分間の時間差を利用して避難させる確実な安全対策システムが導入された。

陸上自衛隊は図1、2に示す火山監視体制と九州大学島原地震火山観測所の地震計を活用して、火碎流発生の瞬間から流下方向とその規模を追跡し、その実況状況を即時無線で発信した<sup>2),3)</sup>。長崎県、島原市、深江町の災害対策本部、消防署、警察署、防災工事現場のみならず民間の輸送会社

などや個人も無線機を購入してこれを傍受した。これらの情報は主に警備や安全対策に活用された。さらに、これらのリアルタイムな情報は監視カメラによる映像とともに、民間の有料ケーブルテレビの防災チャンネルを通じて、関係機関や一部住民にも提供された（図2）。

また、国立大学合同観測班の火山観測陣と陸上自衛隊は、連日、陸上自衛隊のヘリコプターによる空中観測を行い、溶岩ドームの成長状況や火碎流の流下状況を把握するとともに、その現況をケーブルテレビや報道機関を通じて公開し、パニック防止に役立てた。さらに、陸上自衛隊による溶岩ドーム測量結果と大学の

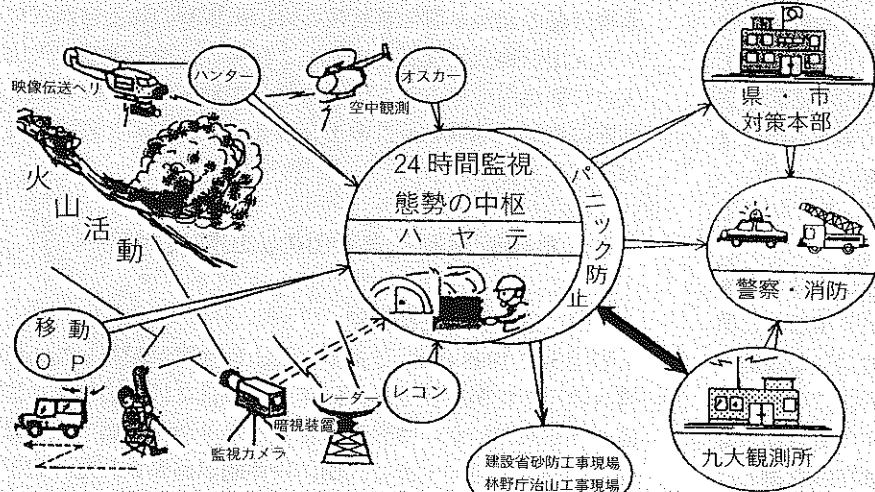


図1 陸上自衛隊島原災害派遣隊火山監視体制（自衛隊資料）（文献2を引用）

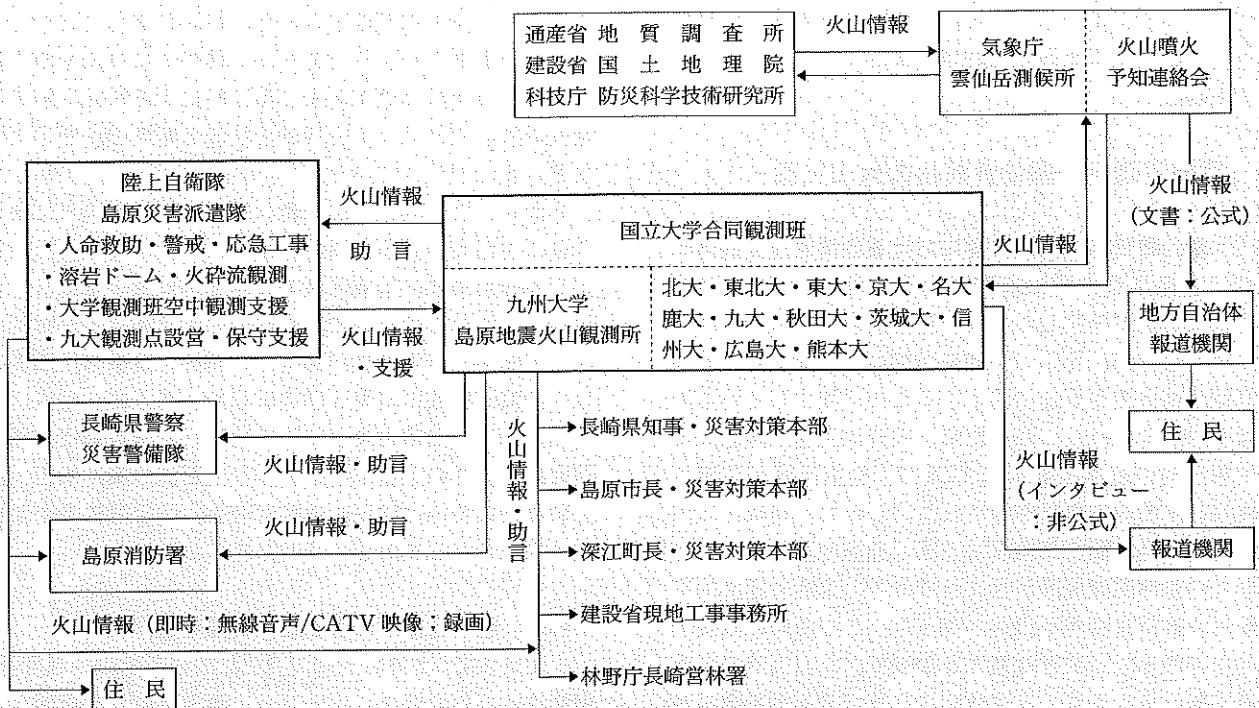


図2 雲仙岳噴火時にとられた陸上自衛隊と大学観測陣の危機管理支援体制（文献2を引用）

諸観測データをもとに、噴火活動の実態の把握、大局的な推移を予測して防災関係機関に安全対策の助言がなされた。陸上自衛隊のもつ観測装置と24時間監視態勢が九州大学島原地震火山観測所とともに、火山災害発生時の危機管理に最大限活用されている。両機関は雲仙普賢岳の火山災害では危機管理を支える信頼できる情報を提供した。雲仙普賢岳の火山災害で生まれた画期的な取組みであった。しかし、このシステムは陸上自衛隊の現場の責任者と九州大学太田一也教授の信頼関係とリーダーシップによって必要に迫られて生まれたものであり、国や長崎県の正式な手続きを経て実現したものではない。

### (3) 地域防災計画への位置付け

長崎県地域防災計画によれば、火山情報の情報収集機関は気象庁雲仙岳測候所であるが、上述のように火碎流の監視については陸上自衛隊と九州大学島原地震火山観測所が主体となった。この2機関の収集した情報を公的に活用するために、1992年度版の長崎県地域防災計画<sup>4)</sup>では、陸上自衛隊と九州大学島原地震火山観測所を臨時的な情報収集機関として記載した（図3）。この2機関は必要・不可欠な情報収集機関であり、記載すべき内容である。

### (4) 雲仙普賢岳の危機管理支援の評価

雲仙普賢岳の火山災害における危機管理には、陸上自衛隊の火碎流発生の監視情報が道路交通、防災工事などに最も必要かつ重要な役割を果たした。また、放送局が設置した監視カメラも火山観測などに役立っている。この他にも似たような事例があると思われるが、あくまでも雲仙普賢岳の火山災害の現地のみに適用され、いわば特殊な例として取り扱われている。国の機関の話合いで正式に決まったものではなく必要に迫られて実現した。現地の自主性が尊重

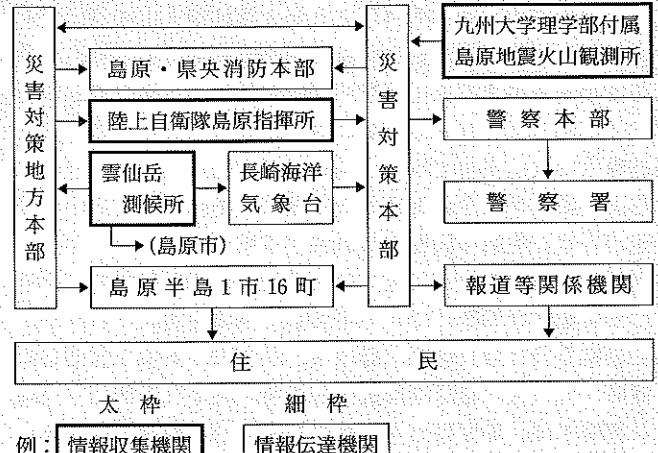


図3 火山情報（火碎流を含む）伝達方法（長崎県）（文献4を引用）

されたともいえるが、迅速に立ち上がったわけではない。危機管理の面から雲仙普賢岳の火山災害時の陸上自衛隊による火山監視活動などをきちんと評価し、他の地域の火山災害にも活用できるシステムづくりが望まれる。国の機関、地方の機関、地域の連携のあり方としてきちんと議論しておくべきである。

## 4. 危機管理例—岩手山の火山防災対策—

### (1) 危機管理支援体制

岩手山で1998年2、3月から火山性地震が頻発し始め、噴火の可能性が指摘され、同年7月1日には入山禁止の措置がとられた。幸い噴火には至らなかったが、岩手山では噴火に備えて急ピッチで火山防災体制が整備された。岩手山は近年噴火が起きていないため火山防災はゼロからのスタートであったが、考えられるすべての火山防災対策が研

究者、防災関係機関、報道機関の連携のもとに組み立てられている<sup>5)</sup>。この間の防災対策の推進には、研究者・防災関係者が連携し、頂点の住民の安全を確保する「減災のテトラヘドン（正四面体）」<sup>6)</sup>の基本理念を岩手山の火山防災で実現させようとする挑戦がなされ、実現されている。雲仙普賢岳の危機管理の事例と似た側面があり、地元の研究者の強いリーダーシップで火山防災システムが立ち上がっていいる点が特徴である。

## （2）火山防災ガイドラインの作成

岩手山は噴火に至らなかつたが、噴火に備えての対応はその時点での火山対策の到達点として評価されている。特に、火山防災ガイドライン<sup>7)</sup>を噴火前に作成したことは、我が国で初めて実現した取組みである。ガイドラインでは①岩手山の噴火前の異常データ観測、活動活発期（噴火前対策）から、②避難期（緊急対策）、③避難生活期（応急対策）および④生活再建期（復旧・復興対策）までの系統的かつ総合的な火山防災のガイドラインとなつてゐる。

ガイドラインの作成にあたつては、岩手山の火山活動と防災対応の仮想シナリオをもとに、必要とされる対応計画の全容を整理した火山防災の概要がまとめられている。対応計画にはその方針、背景および指針が理解しやすいように解説されている。また、対応計画には体制の整備や計画策定の他に、住民啓発や訓練といったソフト面、システムや機器の整備といったハード面の対策も含まれている。

このガイドラインでは、防災マップに示された全ての現象を対象とするとともに、火山災害の特徴を踏まえて、噴火は繰り返し発生し長期間に及ぶことも想定し、そのための具体的な対応についても示されている。さらに、このガイドラインの特徴は、対策の実施主体を明確に表現することで、行政（国・県・市町村）の連帶責任と防災関連機関および住民までの連携が理念として明記されている。

雲仙普賢岳の火山災害では198年前の眉山崩壊の再来が最初の想定シナリオであった。しかし、火碎流の発生は想定していなかったために、的確な対応計画がとれなかつた。また、繰り返す土石流・火碎流による被害の拡大や噴火の長期化などの対応計画も想定していなかつた。このことを教訓に、火山災害の被害想定や火山災害対策にあたつて、シナリオの必要性が指摘され、検討されてきた。

文献8)では、雲仙普賢岳および富士山の噴火災害歴に関する資料をもとに、富士山による噴火災害のシナリオ化が試みられた。ここで、近年東京のような大都市が直接火山活動によって損害を受けたことがないため、シナリオの作成がきわめて困難であることが判明した。その後、具体的な検討は後述のように内閣府に設置された富士山ハザードマップ検討委員会でなされつつある。

岩手山火山防災ガイドラインでは、国とは建設省東北地方建設局岩手工事事務所（当時）を主として指し、国の防災主幹を指すものではない。地方の自律的な計画といえるが、これらを支える国の組織全体のガイドラインが本来必要と思われる。

## 5. 危機管理例—平成12年有珠山噴火—

平成12年有珠山噴火における危機管理では、一般によく知られているように人的被害を未然に防いだ火山防災対策とともに、国の有珠山噴火非常災害現地対策本部の設置が代表例として挙げられる。

### （1）噴火予知と事前避難の2大成果

2000年3月27日から火山性地震が頻発していた有珠山では、翌28日からは有感地震や低周波地震の回数が増加していった<sup>9),10)</sup>。31日には小有珠の亀裂、洞爺湖温泉の断層群および洞爺湖から虻田町に抜ける国道230号沿いに新たな亀裂が確認され、31日13時7分頃、23年ぶりに西山西側山麓で噴火が始まった。4月1日には有珠山北西側の金比羅山西側山麓から新たな噴火が起り火山群を形成した。気象庁は29日11時10分に「今後数日以内に噴火が発生する可能性が高くなつておる、火山活動に対する警戒を強める必要がある」とする緊急火山情報第1号を発表した。現地では事前に作成・公表されたハザードマップをもとにして、避難勧告と避難指示を的確に発令し、30日までに住民の避難をほぼ完了した。31日の噴火時には国道230号、町道などに噴石が堆積したことから人的被害が発生したおそれがあった。このような噴火を予知し、事前避難のために既に完成していた火山予防マップを本格的に活用できたのは日本では有珠山噴火が初めてといわれている<sup>10)</sup>。

有珠山では1995年に火山予防マップが発行され地元で全戸に配布されるとともに火山知識の普及、講演会などの啓発行事が開催された。研究者、行政、マスコミ、住民一体となった取組みによって火山観測結果と防災マップをもとに、避難体制が確立できたと評価されている。北海道で地道に取り組んできた火山研究者と行政、マスコミ、住民の信頼関係が減災に役立った例といえる。雲仙普賢岳の火山災害における九州大学島原地震火山観測所と同様に、北海道大学有珠山観測所の存在が大きな役割をしている<sup>11)</sup>。文献12)には前兆地震から噴火に至るまでの経過がまとめられている。研究者が防災助言をして初動期の危機管理を担っていることが雲仙普賢岳や有珠山の噴火では減災に大きく寄与している。火山観測データは現地に常駐しなくても入手できるが、火山防災は現地に常駐しなければできない。これらの内容を分析して課題を整理してシステムにすることや、火山噴火予知連絡会や気象庁などとの連携をスムーズにすることが求められる。役割分担が明確になれば地元の研究者が活動しやすくなることが期待される。

### （2）有珠山噴火非常災害現地対策本部の設置

1995年1月17日の阪神・淡路大震災では国の初動体制の遅れが指摘され、これを教訓として防災基本計画の改訂および災害対策基本法の改正がなされた。国の災害対策体制のあり方の一つとして現地と中央との連絡調整を行うとともに、緊急事項について速断即決できるような非常災害現地対策本部を設置できるよう定められた<sup>13)</sup>。有珠山の噴火では3月31日、13時7分頃の最初の噴火後に直ちに閑

係閣僚会議が開催され、有珠山噴火非常災害現地対策本部（本部長：国土庁総括政務次官、設置場所：伊達市役所内の5階の仮設庁舎）が設置された。この現地対策本部の設置は、有珠山噴火時が最初である。構成団体は各政府機関の実務責任者、北海道、伊達市、虻田町、壮瞥町などの41機関から構成された<sup>14)</sup>（表1）。雲仙普賢岳の火山災害では現地の災害対策本部に常駐もしくは一時滞在した機関は消防庁、海上保安部および陸上自衛隊の3機関のみであったが、今回の火山災害対応では対策にあたる全ての機関が参加している。現地対策本部合同会議では①火山の状況について、②避難の状況について、③当面の検討議題、④当面の主要問題の現状と⑤今後の見通しの報告などが検討・報告された。災害発生当初における主要問題の対応についての責任機関と支援機関の一覧を表2に示す。従来の地元市町村→都道府県→国の行政機関の順で要望を上げていく通常システムよりも実施の対応は迅速になっていることは明白である。雲仙普賢岳の火山災害では、国の現地視察時の対

応と東京に戻ってからの対応の間にずれが見られたが、この点に関する改善にも役立つと思われる。即決を要する火山災害では、時間的に迅速で的確な判断・決断ができる点で、危機管理上の望ましい形になったといえよう。異なる機関の連携もスムーズにいく可能性が高い。雲仙普賢岳の火山災害では小人数のキーマンを中心に対策が進められ、ミス判断の可能性もあったが、このような状況は少なくなるメリットがある。しかし、地元の自治体や研究者の自主性が發揮できないおそれや、実務者レベルの対策では抜本的な新しい制度や取組みができないおそれもある。地元自治体がリーダーシップを発揮でき、かつ迅速な対応が可能なシステムに向けてレビューをしておく必要がある。

2001年の中央省庁再編により、防災担当は国土庁から内閣府がこの役を担っている。内閣府に防災部門を置き、内閣総理大臣を長とし行政内部の施策の統一を図るために企画、立案および総合調整を行うことになっている<sup>15)</sup>。防災担当政策統括官のもとに審議官、参事官(5)、企画官(4)が

表1 有珠山噴火非常災害現地対策本部構成団体名

構 成 団 体 名	
国土庁、内閣官房、総理府、警察庁、北海道開発庁、防衛庁、科技庁、厚生省、農水省、林野庁、通産省、資源エネルギー庁、中小企業庁、建設省、自治省、消防庁、気象庁、環境庁、北海道大学、室蘭気象台、北海道、伊達市、豊浦町、虻田町、洞爺村、壮瞥町、伊達市消防本部、西胆振消防組合消防本部、北海道開発局、北海道郵政局、北海道運輸局、NTT東日本、第一管区海上保安部、陸上自衛隊北部方面総監部、北海道警察本部、日本赤十字社北海道支部、日本道路公団北海道支社、北海道旅客鉄道(株)、北海道電力(株)、北海道医師会、全国消防長会北海道支部	

表2 当面の主要問題に対する対応について

平成12年5月1日現在

課 題	責 任 者	支 援 者
・救急医療の確保	北海道	厚生省、消防庁、警察庁、自衛隊、海保庁、国土庁
・短時間帰宅（ケース2）	内閣官房・国土庁	北海道、気象庁、自衛隊、警察庁、消防庁
・泥流対策	建設省	北開庁、北海道
・緊急避難対策	北海道	海保庁、自衛隊、警察庁、消防庁
・ホタテの養殖管理	北海道	農水省、海保庁、自衛隊、警察庁
・学校教育	北海道教育局	文部省
・虻田町支援	国土庁	各省庁、北海道
・制度金融関係	通産省、農水省、厚生省	北海道
・観測体制	気象庁	北開庁、自衛隊、消防庁、北海道、国土地理院、科技庁
・航空（ヘリ利用調整）	国土庁	建設省、北開庁、海保庁、自衛隊、警察庁、北海道、消防庁
・ビデオや回線による町の現況等映像配信	国土庁	北開庁、消防庁、警察庁、厚生省、北海道、NTT
・お知らせ	・システム構築 ・システム運用	郵政省、国土庁 各省庁
・帰宅問題（日中帰宅等ケース3）	北海道	警察庁、自衛隊、消防庁、海保庁
・交通規制	警察庁、北海道土現	自衛隊、消防庁
・医療・保健・福祉	北海道	厚生省、消防庁、自衛隊
・生活支援・用品供給	北海道	厚生省、自衛隊、警察庁
・家畜	北海道	農水省、警察庁
・ペット	・一般ペット ・危険ペット	農水省、警察庁 農水省、警察庁

※ 今後の状況によって随時見直しをすることとする。

配置されている。さらに新官邸地下1階に危機管理センターが設けられ、最新マルチメディア対応の情報通信設備の他に24時間対応型執務機能が備えられている。

## 6. 危機管理例一富士山の火山防災

富士山では2000年10月から12月、また、2001年4月から5月にかけて低周波地震が多発した<sup>16)</sup>。すぐに噴火に結び付くとは想定されていないが仮に富士山が噴火した場合には、首都圏まで被害が及ぶおそれがあることなどから、広域的な防災対策を確立することが必要とされた。そのために、2001年7月に「富士山ハザードマップ作成協議会」が設置され、富士山防災対策の基本となる火山ハザードマップが作成されつつある。ハザードマップ検討委員会において、これまでの火山対策の教訓と成果を踏まえた防災対策が本格的に検討中である。

富士山ハザードマップ検討委員会の中間報告<sup>17)</sup>によれば、仮に富士山が噴火した場合の初動対応の基本的な考え方を、臨時火山情報の発表の場合と緊急火山情報の発表の場合について、住民、観光客、防災機関の対応に分けて時間進行表型の火山防災シナリオを作成している。今後噴火が継続中、火山活動が長期化した場合などの防災機関やその他の関係機関などが火山活動などの時間的推移とともに、具体的にどのような行動を取るべきかを示す予定とされている。富士山が噴火すれば社会的なインパクトが大きくなることが予想され、考えられる対策をすべて挙げておくことが望まれ、火山災害の予防対策の確立が期待できる。

## 7. 監視カメラの活用と情報の共有・一元化

火山の監視装置の技術的進歩は著しいことが知られている。有珠山の火山災害時のGPS観測や無人ヘリコプターの映像などが代表である。今後、ITの活用により観測体制が整備されることが期待される。

### (1) 監視カメラの活用と情報の共有化

雲仙普賢岳の火山災害では地震計や傾斜計などの計測器の他に、火碎流・土石流を監視するために監視カメラ、熱映像カメラが行政、防災機関およびマスコミによって設置されていた。それぞれのカメラの映像は各機関の対策のために当初使用された。消防署、警察署などの独自のカメラを持たない機関は地元のケーブルテレビと長崎県のカメラで雲仙普賢岳を監視していた。噴火開始後3年にして各監視カメラの映像を一括管理し、市や町の災害対策本部や自衛隊などに提供する映像ネットワークが整備された。映像を光ファイバーで接続し、動画で映像をモニターできるシステムである。これまで大きな火碎流や土石流などが観測された場合に、長崎県はホットラインで市や町などと連絡しあっていたが、この映像の配信で時間のロスがなく、また関係機関が同じ映像を見て判断できるため迅速な対応ができる。

火山災害のおそれがある地域では防災センターを整備

し、映像の他に情報の収集、情報の加工処理、伝達する中枢部にはあらかじめこのような機能を持たせておくことが望まれる。これをもとに情報の共有・一元化を図ることが可能である。雲仙普賢岳の火山災害では九州大学島原地震火山観測所が実質的に防災センターの役割を果たしたが、有珠山の場合には北海道大学有珠山観測所が避難せざるを得なかつたために、このような機能は果たせなかった。

### (2) 火山情報の一元化および24時間監視体制

気象庁は平成11年度から平成15年度の5カ年にわたる第6次火山噴火予知計画を実施中である。この中で火山活動を把握するために観測の強化を図ることを目的として、地域火山監視センター的機能などの体制整備の検討が挙げられていた。これを受けて2000年に噴火した有珠山や三宅島などでは、これまでの気象庁の機材による観測データの他に、大学や自治体などの観測データを火山監視に活用していた。雲仙普賢岳の火山災害時には、自衛隊が九州大学島原地震火山観測所に常駐して24時間体制で地震計を監視していたが、これはきわめて特異な例である。一般には、大学の観測は研究が主体で24時間の火山監視は不可能である。人命の安全のために火山情報を発表する気象庁が24時間の監視体制を作ることが自然である。このようなことを背景に、火山活動の異常の早期検知を行うために2001年度に火山監視・情報センターが東京(気象庁本庁)、札幌、仙台および福岡の各管区気象台に設置されている<sup>18)</sup>。このセンターで火山観測情報の一元化や24時間監視体制が実現されている。これまでの火山近傍の地方気象台が単独に行っていた業務が集約され、専門家の監視に基づく総合的な判断に基づく迅速で適切な火山情報の発表の基盤が整備されたことになる。雲仙普賢岳、岩手山、有珠山および三宅島の噴火対策の教訓が活かされた成果と評価される。

## 8. 火山災害のリスクマネジメントの確立に向けて

雲仙普賢岳、有珠山および三宅島の噴火や岩手山および富士山の噴火のおそれの事前対策によって火山防災に求められる内容はほぼそろいつつある。これをまとめると、

### (1) ハザードマップ、防災マップの作成

火山ハザードマップについては、2002年3月時点で「13の活動的で特に重点的に観測研究を行う火山」のうち海底火山である伊豆東部火山群を除く12火山、および岩手山などの「活動的火山および潜在的爆発力を有する火山」のうち12火山の計24火山についてハザードマップが作成されている<sup>19)</sup>。

### (2) 火山災害シナリオ、被害想定の作成

ハザードマップをもとに火山災害が前兆現象から火山噴火、被害の発生、活動の終息までを時系列的に記述する進行表型シナリオを作成する。火山噴火ではいくつかのパターン、繰り返し発生する場合や継続災害となる場合も想定することになる。これによって、災害のイメージの明確化、

対策の立案および事前対策の立案が可能となる。

#### (3) 防災ガイドライン

災害シナリオに基づく対策の時間展開の作成と国・都道府県・市町村の間の役割分担を明確化する。

#### (4) 予防対策・減災対策

火山災害では噴火が始まってからのハードな防災対策は間に合わない。ハザードマップをもとに社会基盤施設の防災対策や多量避難システムを整備しておくことが必要である。また、火山との共生を目指した地域住民の啓発活動(防災マップの作成配布、講演会の開催、避難訓練)による平穏時の活動が大切である。

#### (5) 法システムの検討と整備

火山災害が発生した場合、人命の安全を守るために迅速な避難が重要である。このためには、警戒区域を設定して立入制限を行う法規制をすることが有効で、雲仙普賢岳の火山災害では警戒区域が設定された。しかし、警戒区域内の個人の財産の運び出し、移転、管理などができないために、経済的被害が大きくなつた。行政は個人の被害の救済に苦慮した。このためか、有珠山の噴火では避難指示で粘り強く説得を続けて住民避難を行つてゐる。迅速な対応のためには警戒区域の設定の検討も必要で、市町村が警戒区域の設定を決断できるような個人の救済システムを検討しておくことが雲仙普賢岳の火山災害で指摘された。

現在のところ、個人に対応では被災者生活再建支援法が1995年5月に成立しているのみである。風水害時に土砂災害による死傷者が減少しないために、2001年4月に「土砂災害防止法」(正式名称：土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律)が施行されている。この法律では土砂災害のおそれがある区域を土砂災害警戒区域に指定し、警戒避難体制を整備するとともに、さらに土砂災害警戒区域のうち、建築物に損害が生じ住民に著しい危険が生じるおそれのある区域を、土砂災害特別警戒区域に指定できる。特別警戒区域については、特定の開発行為(住宅宅地分譲、災害弱者関連施設)に対する許可性、建築物の構造規制、建築物の移転などの勧告の措置がとられる。この法律を火山災害に近い将来適用できるように整備することが望まれる。

さらに、火山災害の場合、復興できないような規模の災害があることも想定しておくことが必要である。

#### (6) 応急・緊急的な防災工事技術の導入

雲仙普賢岳の火山災害では土石流被害の拡大防止のため、警戒区域内で防災工事を行う無人化施工や応急・緊急の砂防工事が導入された。また、無人化施工は有珠山の噴火時にも泥流による被害拡大防止に役立つ。火山災害では噴火継続中の被害拡大防止をする応急・緊急の砂防工事が大切で、噴火終息後の恒久対策とは切り離して実施すべきである。このような噴火継続中における防災工事のあり方もマニュアル化することが望まれる。

## 9. まとめ

火山災害のリスクマネジメントについて一般的に示すのは困難であるが、ハザードマップに基づいて、噴火シナリオとガイドラインを作成しておき、事態の推移に迅速に臨機応変に取り組める柔軟なシステムの構築が火山防災に望まれる。また、国の非常災害現地対策本部の設置ができるようになっており、ガイドラインの作成にあたってはこの非常災害現地対策本部の役割と責任を明確にしておくことが、よりスムーズな危機管理の支援に役立つ。また、平常時の防災活動とともに、火山災害に迅速に取り組めるシステムをさらに詰めていくことが必要である。

最後に、本報告をまとめるにあたり、太田一也九州大学名誉教授の報告をはじめ、斎藤徳美岩手大学教授、岡田弘北海道大学教授の報告を参考にしたことを見記す。

## 参考文献

- 1) 高橋和雄：雲仙火山災害における防災対策と復興対策－火山工学の確立を目指して－、九州大学出版会、全 580 頁、2000.2.
- 2) 太田一也：雲仙火山の噴火活動を振り返って、雲仙・普賢岳噴火災害誌、長崎県総務部防災課、pp. 435～449、1998.2.
- 3) 太田一也：1990～1995 年雲仙岳噴火活動の予知と危機管理支援、火山、第 42 卷、第 1 号、pp. 61～74、1997.1.
- 4) 長崎県防災会議：長崎県地域防災計画（平成 4 年 5 月修正）、1992.5.
- 5) 斎藤徳美・越谷 信・山本英和・野田 賢・佐野 剛・土井宣夫：報道機関と連携した岩手火山防災対策の取組み、日本災害情報学会第 3 回研究発表大会予稿集、pp. 28～49、2001.11.
- 6) 宇井忠英編：火山噴火と災害、東京大学出版会、pp. 112～116、1997.12.
- 7) 岩手山火山災害対策検討委員会：岩手山火山防災ガイドライン、全 110 頁、2000.3.
- 8) 損害保険料率算定会：地震保険調査研究 42 火山災害の研究、全 311 頁、1997.9.
- 9) 國土庁編：平成 12 年度版防災白書、pp. 43～45、2000.6.
- 10) 北海道開発局室蘭開設建設部：平成 12 年（2000 年）有珠山噴火災害報告、全 157 頁、2000.12.
- 11) 北海道新聞社編：2000 年有珠山噴火、全 287 頁、2002.7.
- 12) 岡田 弘・大島弘光・青山 裕・森 済・宇井忠英・勝井義雄：2000 年有珠山噴火の予測と減災情報の助言の活用（前兆地震発生から噴火開始まで）、有珠山 2000 年噴火と火山防災に関する総合的観測研究、平成 12 年度科学研究費補助金特別研究促進費報告書（No. 12800001）、pp. 34～57、2001.
- 13) 國土庁編：平成 8 年度版防災白書、pp. 36～52、1996.7.
- 14) 高橋和雄・藤田高英：有珠山火山活動に伴う初動期災害対策に関する考察、土木構造・材料論文集、第 16 号、pp. 185～190、2000.12.
- 15) 内閣府編：平成 13 年度版防災白書、pp. 38～42、2001.7.
- 16) 内閣府編：平成 14 年度版防災白書、p. 113、2002.7.
- 17) 内閣府：富士山ハザードマップ検討委員会中間報告、pp. 41～60、2002.6.
- 18) 科学技術・学術審議会・測地学分科会：第 6 次火山噴火予知計画の実施状況等のレビューについて（報告）、全 24 頁、2002.3.
- 19) 内閣府編：平成 14 年度版防災白書、pp. 112～113、2002.7.

# 地下水・土壤汚染のリスクマネジメント

なか すぎ おさ み  
中 杉 修 身\*

## 1. 地下水・土壤汚染のリスク

環境汚染は人の健康、生態系や生活環境にさまざまなりスクをもたらすが、地下水・土壤汚染も健康リスク、生態リスクと生活環境リスクが考えられる。土壤汚染対策制度を検討した検討会の中間とりまとめでも、土壤汚染による環境リスクの捉え方を①人の健康の保護の観点と②生活環境の保全の観点に整理し、生活環境の中には生態系への影響を含めている(表1)。

表1 土壤汚染による環境リスクの捉え方

	汚染土壤の直接曝露	他の環境媒体を通じての曝露
人の健康の保護	汚染土壤の摂食および皮膚吸収	地下水等への溶出→飲用等 大気中への揮散・飛散→吸入 公共用水域への土壤粒子の流出→魚介類への蓄積→摂食 農作物、家畜への蓄積→摂食
生活環境の保全	生活環境(不快感等)  農作物、農作物以外の飼料用植物の生育阻害  生態系の影響	生活環境(飲料水の油膜等)  生態系への影響(農作物等の生育阻害を含む)

表2 土壤中の有害物質の人への曝露経路

曝露経路	移行経路	化学物質の性状	汚染土壤の深度
汚染大気の吸入	揮発	揮発性	主に表層
	飛散	難揮発性	主に表層
土壤粒子の直接摂食	—	難揮発性	表層
付着土壤からの皮膚吸収	—	難揮発性	表層
汚染飲料水の飲用	溶出	水溶性	深層(帶水層付近)
	流出	難水溶性	表層
汚染水産物の摂食	流出→生物蓄積	生物蓄積性	表層
汚染農産物の摂食	植物吸収	水溶性	表層近く
汚染畜産物の摂食	植物吸収→摂食、直接摂食、皮膚吸収	—	表層近く

\* (独) 国立環境研究所

しかし、我が国では水俣病、イタイイタイ病など、環境汚染がもたらす深刻な健康被害を経験したことから、これまで健康リスクが中心に考えられてきた。地下水・土壤中の有害物質はさまざまな経路を経て人に曝露されるが(表2)、環境への侵入形態が異なり、性状によって環境中の挙動が異なるため、有害物質ごとに主要な曝露経路が異なる。

トリクロロエチレン等の揮発性有機化合物(VOC)は土壤に吸着しにくいことから帶水層付近まで浸透し、液状のままあるいは地下水に溶解して存在する。また、揮発性であるため、水で満たされていない不飽和層では揮発して土壤ガス中に存在し、表層土壤に吸着して存在している割合は小さい。土壤ガスが地表面から大気に侵入し、呼吸に伴って人に曝露されるおそれはあるが、地下水・土壤汚染に起因する高濃度の大気汚染の報告は見られない。一方、土壤から溶出したものも含め、地下水に含まれるVOCは主にそれを飲用することによって人に曝露される。VOC汚染については地下水摂取が最も重要な曝露経路と考えられ、地下水、土壤ともこれに伴うリスクに対しても環境基準が設定されている。

重金属類についてもこの曝露経路のリスクに対して地下水および土壤環境基準が設定されているが、土壤に吸着しやすく、表層土壤に留まりやすいことから、直接摂取によるリスクも問題となる。土壤汚染対策法では指定区域の判定基準として地下水等の摂取に対する溶出基準とともに、直接摂取に対して含有基準を設定している。また、農用地土壤であれば農作物に吸収され、それを食べることによるリスクが問題となり、カドミウムとヒ素についてこの経路のリスクに対して土壤環境基準が設定されている。水銀については、VOCと同様、揮発に伴うリスクも考えられるが、一般に他の経路に比べてリスクは小さいと考えられ

る。

表層土壤中の有害物質の曝露経路として懸念されるのが、表流水に侵入して魚貝類などに濃縮され、それを食べることによる曝露である。重金属類についてもこの経路の曝露が考えられるが、ダイオキシン類やPCBなどにとっては最も重要な曝露経路と考えられる。しかし、この経路のリスクについては科学的知見が十分に整備されていないとして環境基準の設定は見送られており、ダイオキシン類の土壤環境基準は直接摂取によるリスクを対象に含有量に対して設定されている。これらの有害物質についても地下水環境基準は飲用によるリスクに対して設定されており、PCBや農薬類については飲用によるリスクに対して土壤環境基準が設定されている。

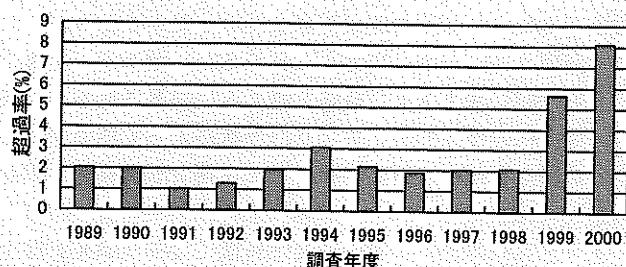


図1 地下水環境基準超過率の推移

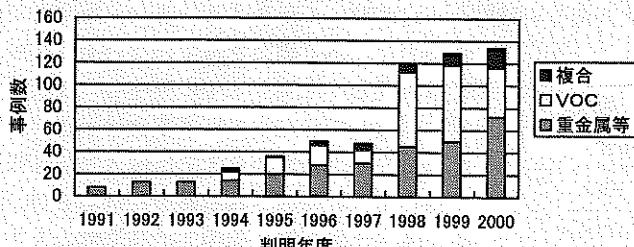


図2 土壤環境基準超過の判明事例の推移

表3 2000年度水質測定計画における地下水環境基準超過井戸数(本)

項目	概況調査	汚染井戸周辺地区調査	定期モニタリング
鉛	10	3	13
六価クロム	1	2	9
ヒ素	65	83	238
緑水銀	2	2	16
四塩化炭素	2	3	24
1,2-ジクロロエタン	0	6	6
1,1-ジクロロエチレン	2	11	37
cis-1,2-ジクロロエチレン	12	46	156
1,1,1-トリクロロエタン	0	0	2
1,1,2-トリクロロエタン	0	2	6
トリクロロエチレン	22	47	292
テトラクロロエチレン	17	15	653
ベンゼン	0	1	1
硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	253	479	165
フッ素	25	112	19
ホウ素	16	4	5

## 2. 地下水・土壤汚染の現状

地下水や土壤は汚染物質の動きを目で見ることができないため、一定範囲の汚染状況を代表する地点の選定が難しく、一方で時間的な濃度変動が遅い。このため、大気や表流水のように定点を定めた継続的なモニタリングは行われておらず、このような汚染の特性に合わせた形で汚染状況が把握されている。

我が国で地下水汚染が社会的な関心を集めることになったのは、1982年の環境庁の調査で発がん性の疑いのあるトリクロロエチレン等による地下水汚染が全国的に見つかったことがきっかけである。その後、汚染の可能性の高い地点を対象として地下水汚染の広がりを確認する調査が地方自治体によって進められ、1989年からは水質測定計画に基づく体系的な地下水汚染調査が開始された。

この調査は、①地域の全体的な地下水質の状況を把握する調査(概況調査)、②概況調査等により新たに発見された汚染について、その汚染範囲を確認する調査(汚染井戸周辺地区調査)と③汚染井戸周辺地区調査により確認された汚染の継続的監視等、経年的なモニタリングとして定期的に実施する調査(定期モニタリング)の3種類の調査で構成されている。調査項目は1989年の12物質から始まり、水質環境基準の見直しや地下水環境基準の設定などに伴って見直され、現在は26物質を対象に実施されている。

2000年度には、4,911本の井戸で概況調査が、3,486本の井戸で汚染井戸周辺地区調査が、4,234本の井戸で定期モニタリングが実施された。基準超過率は汚染井戸やその周辺を対象とした調査で高く、概況調査で398本(超過率8.1%)、汚染井戸周辺地区調査で782本(22.4%)、定期モニタリングで1,388本(32.8%)の井戸でいずれかの項目が基準値を超過していた。概況調査の基準超過井戸の比率

は1993年度の鉛とヒ素の基準値の見直しと1999年度の硝酸性窒素および亜硝酸性窒素等の追加によって大きく上昇している(図1)。

2000年度の概況調査では、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の超過率が6.1%と最も高く、これに次いでヒ素が1%を超える井戸で基準値を超過していた(表3)。さらに、フッ素、ホウ素、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、cis-1,2-ジクロロエチレンと鉛が0.1%を超える井戸で超過していた。トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンは1982年度の環境庁調査やそれに続く地方自治体の調査では数%の井戸で基準値を超過していた。汚染の可能性の高い地点から調査されたため、最近の調査では基準超過率が低下しているが、これまでの累計では数千本の井戸で基準超過が見いだされている。

環境媒体の動きがほとんどない土壤汚染の実態把握は地下水以上に困難である。土壤汚染対策法の施行によって今後実態把握が進ん

表4 ダイオキシン類による地下水・土壤の汚染状況

年度	地点数	地下水			土壤			
		平均値	最小値	最大値	地点数	平均値	最小値	最大値
		pg-TEQ/l			pg-TEQ/g			
1998	188	0.17	0.046	5.5	286	6.5	0.0015	61
1999	296	0.096	0.062	0.55	—	—	—	—
2000	1,479	0.097	0.00081	0.89	3,031	6.9	nd	1,200

表5 我が国における地下水・土壤汚染対策の推移

1970年	「農用地の土壤の汚染防止等に関する法律」の制定。
1981年	「公有地取得の際の土壤汚染処理基準」の設定（東京都）。
1986年	「市街地土壤汚染に係る暫定対策指針」の策定（環境庁）。
1989年	「有害物質を含む排水の地下浸透の禁止」（水質汚濁防止法の改正）。
1990年	「有害物質等を蓄積した市街地土壤を処理する際の処理目標」を通知（環境庁）。
1991年	「土壤環境基準（重金属等10項目及び農用地土壤基準）」を設定。
1992年	「国有地に係る土壤汚染対策指針」を策定。
1993年	「水質環境基準」の改訂（15項目の追加、1項目の削除、2項目の基準強化）。
	「土壤環境基準」の改訂（15項目の追加、2項目の基準強化）。
1994年	「重金属等に係る土壤汚染調査・対策指針」および「有機塩素系化合物等に係る土壤・地下水汚染調査・対策暫定指針」の策定（環境庁）。
1996年	「特定事業場由来の地下水の浄化措置命令」（水質汚濁防止法の改正）。
1997年	「地下水環境基準」の設定。
	「地下水環境基準」の改訂（3項目の追加）。
	「土壤・地下水汚染に係る調査・対策指針」の策定（環境庁）。
1999年	「居住地等における土壤中のダイオキシン類に関する暫定的なガイドライン値」の設定（環境庁）。
	「ダイオキシン類対策特別措置法」の制定。
2000年	「ダイオキシン類に係る土壤環境基準」の設定。
2001年	「土壤環境基準」の改訂（2項目の追加）。
2002年	「土壤汚染対策法」の制定。

でいくと期待されるが、これまで農用地等が把握している土壤汚染事例について環境庁がアンケート調査を行うことによって、全国的な汚染状況の把握が試みられてきた。この調査で報告のあった土壤汚染事例は2000年度までの累計で、総事例数が1,903件、調査事例数が1,097件で、そのうち574件の土壤環境基準超過事例が報告されている。

調査事例数は土壤環境基準が設定された1990年度までは20件前後に止まっていたが、その後増え始め1998年度になって大幅に増加した。基準超過事例は土壤環境基準設定後になるが、調査事例数を上回る比率で増えている（図2）。汚染判明の経緯を見ると、1998年度以降の急激な増加は土地所有者による調査や条例、要綱等に基づく調査の増加によるものであり、ISO 14000の取得により事業者の自主的調査・公表が増えたことと土壤・地下水汚染に係る条例等を制定する自治体が増えたことを反映したものと考えられる。

超過事例の半数は重金属等の汚染事例であり、40%が

VOCで、残りの事例では両者の複合汚染が見られる。重金属等では鉛、ヒ素、総水銀、シアン、カドミウムの順に基準超過事例が多く、金属製品、化学工業などの業種で多く見られる。VOCではトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンとcis-1,2-ジクロロエチレンの超過事例が100件を超えており、クリーニング業や電気機械器具製造業などの業種で超過事例が多い。

ダイオキシン類については土壤も含めて1998年度に全国的な汚染実態調査が行われ、1999年のダイオキシン対策法の成立による環境基準の設定を受けて汚染実態調査が継続されている（表4）。土壤に吸着しやすいダイオキシン類は地下水に侵入しにくいと考えられるが、1998年度の調査では水質環境基準を超える井戸が見られた。しかし、その後は基準超過は見られていない。地下水から高濃度のダイオキシン類が検出されたのは、サンプリングの際に汚染された土壤粒子を取り込んだためと考えられる。

ダイオキシン類が社会的に高い関心を集め、ダイオキシン類対策特別措置法が議員立法で成立したのは、廃棄物焼却施設の敷地内や周辺で高濃度の土壤汚染が見いだされたのが直接的なきっかけである。その後も焼却施設周辺やPCBの管理が不適切であった事業場跡地などでは土壤環境基準を上回るダイオキシン類が検出されているが、一般環境の土壤では農用地で若干高い傾向が見られるものの、土壤環境基準を超える汚染は見られていない。農用地で濃度が高いのは過去に施用された農薬に不純物として含まれていたダイオキシン類が残っているものと考えられ、過去にこれらの農薬を製造していた事業場の敷地内土壤から土壤環境基準を超えるダイオキシン類が検出された事例も見られる。

### 3. 地下水・土壤汚染対策の流れ

地下水・土壤汚染への対応は大気や表流水に比べて遅れているが、新たな汚染が顕在化するたびに強化されてきた（表5）。まず、イタイイタイ病を引き起こしたカドミウムの主な曝露が汚染農地から収穫された米の摂取によるものであったことから、農用地土壤汚染に対しては1970年に「農用地の土壤の汚染防止等に関する法律」が制定されるなど、早くから法制度に基づく対策が進められてきた。しかし、市街地土壤や地下水汚染対策の制度化には長い時間がかかっている。

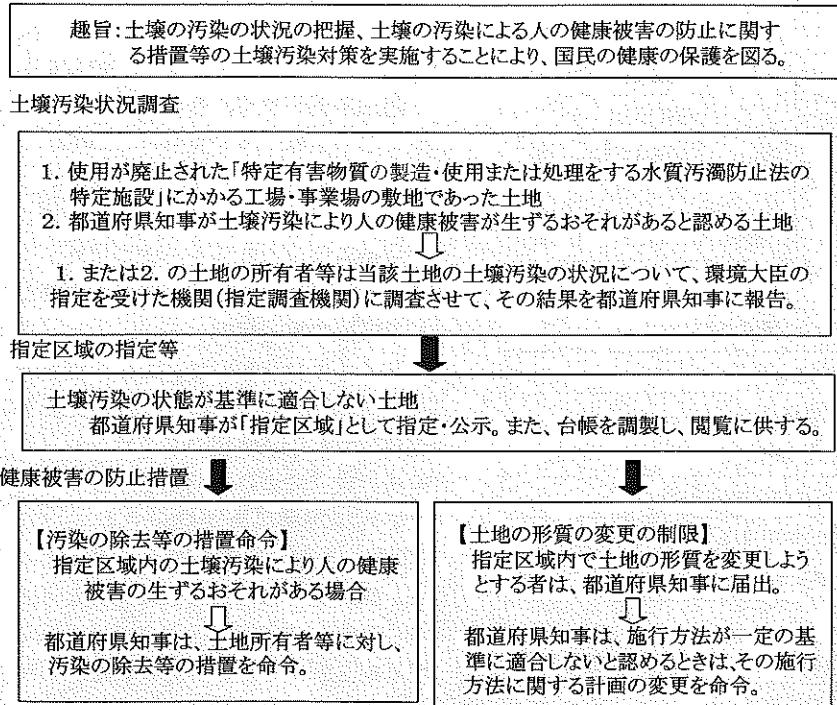


図3 土壤汚染対策法の概要

地下水汚染に対しては、1982年の全国的な汚染の発見を受けて1989年に有害物質を含む排水の地下浸透が禁止され、1991年には18年ぶりの水質環境基準の見直しを行い、広範な地下水汚染が見つかったトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンを含む15項目について水質環境基準が設定され、新たな汚染の発生を防ぐ対策がとられた。さらに、1996年の「水質汚濁防止法」の改正で、飲用に供する井戸などで地下水汚染が見つかった場合、都道府県知事が汚染原因となった特定事業場に浄化措置を命ずることができるようになり、その目安として1997年には地下水環境基準が設定された。

1980年代に入って国の試験場跡地等で次々と土壤汚染が見つかったことで、市街地土壤汚染対策の検討も開始され、1986年には国有地を対象とした「市街地土壤汚染に係る暫定対策指針」が策定され、浄化対策の必要性を判断する基準、対策の種類を選定するための基準と対策技術が示された。1990年には民有地の土壤汚染対策を指導する際に地方自治体が指導に当たって参考にするべく、「有害物質等を蓄積した市街地土壤汚染を処理する際の処理目標」が通知され、1991年には農用地土壤汚染の指定要件とあわせて土壤環境基準が設定された。

その後、たびたび指針の改訂が行われてきたが、土壤汚染の判明件数が増えてきたことと土壤汚染が土地取引を阻害する要因になってきたことから、2002年に「土壤汚染対策法」が制定された。この法律は「土壤汚染の把握に関する措置及びその汚染による人の健康被害の防止に関する措置を定めること等により、土壤汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護すること」を目的としている(図3)。

まず、土壤汚染の可能性のある土地について、一定の機会を捉えて、土壤汚染の状況を把握し、都道府県知事に報

告することを土地所有者等に求めている。この報告を受けて都道府県知事は、土壤汚染の状態が基準に適合しない場合は、その区域を指定区域に指定し、その旨を台帳に登録するとともに閲覧に供する。また、その土壤汚染により人の健康被害を生ずるおそれがあるときは、都道府県知事が土地所有者等にリスクを低減するための措置を命ぜることができる。また、指定区域内の土地の形質変更について都道府県知事への届け出を義務づけ、施工方法が基準に適合しない場合は、施工方法の変更を命ぜることができる。

土壤汚染調査は、有害物質使用特定施設の使用が廃止される時、あるいは土壤汚染により人の健康被害が生ずるおそれがあるとして都道府県が命じた場合に行われる。指定区域の指定基準は地下水等の摂取によるリスクと直接摂取によるリスクに対して設定されている。都道府県知事が命ずるリスク低減措置はそれぞれのリスクと有害物質の性状や汚染の程度に応じて複数の代替案が示されている。

また、土壤汚染の調査も有害物質の性状に応じた方法が示されている。

ダイオキシン類については廃棄物焼却施設周辺土壤から高濃度で検出されたことから、直接摂取のリスクに対して1999年に「居住地等における土壤中のダイオキシン類に関する暫定的なガイドライン値」が示された。この後、議員立法により制定された「ダイオキシン類対策特別措置法」の下で、改めて土壤環境基準として設定され、環境基準を超える土壤汚染に対しては都道府県知事が計画を策定して浄化対策が実施されることになっている。

#### 4. 地下水・土壤汚染対策の今後の課題

土壤汚染対策法の施行によって、すでに制度化されている地下水浄化措置命令の規定と合わせて、過去の人間活動が残した負の遺産を解消する取り組みが本格的に始められることがあるが、まだ残されている課題も多い。

まず、調査やリスク低減措置のコストが高いことである。このため、土壤汚染対策法が定めた調査方法も汚染が存在しないことを十分に証明できるものにはなっていない。また、本来は地下水・土壤から有害物質を取り除くことが望ましいが、特別な場合を除いて曝露を防ぐことが標準的なリスク低減措置とされている。より低コストの調査および浄化技術を開発することが、地下水・土壤汚染問題を根本的に解決する上で不可欠な要素である。曝露を防ぎ、自然の浄化機能も活用しながら、長い時間をかけて浄化する技術や方法論の確立が求められている。

2つめは、現時点では対応が先送りされているリスクへの対応である。人の健康被害を防ぐ観点からも未検討の曝露経路についてのリスク評価が必要である。たとえば、ダイオキシン類などについては土壤粒子に吸着して表流水に

侵入し、魚介類に濃縮される曝露経路のリスク評価が必要である。一方、生態リスクを含め、生活環境に対するリスクへの対応も必要である。とくに、油による土壤汚染はあまり表面化していないものの、数多くの汚染事例が存在するものと考えられ、早急な対応が求められる。そのためにはまず必要となるのが油汚染の評価方法の確立である。含有成分による健康被害だけでなく、植物の生育阻害、揮発成分による悪臭、油膜の発生、飲料水や魚介類の着臭など、多様な影響を考慮した基準作りが必要となる。

最後に残るのが自然由来の汚染への対応である。基準超過率の高いヒ素、フッ素、ホウ素や鉛などの地下水汚染の多くは自然由来と考えられる。インドや中国などでは自然由来のヒ素やフッ素の汚染で深刻な健康被害が発生している。人為由来の汚染と異なり、広範囲に及ぶため、浄化対策を実施することは困難であるが、曝露を防ぐために自然環境での有害物質の存在状況を把握しておくことが不可欠と考えられる。