火山地域の地形・地質の特徴と自然災害に対する リスクマネジメントによる土地利用

—那須火山地域を例として—

稲垣秀輝*・小坂英輝**

要 旨

1990年11月の雲仙普賢岳の噴火や2000年3月の有珠山噴火,あるいは2000年7月の三宅島の水蒸気爆発や火山ガスの噴出など過去幾多の火山活動は人々の生活を苦しめている。一方,火山地域では温泉や自然豊かな景観など観光資源に恵まれているほか,火山地形特有の裾野の広い高原地形が分布しており,ここでは酪農を中心とした農業や,別荘地などのリゾート施設がある。火山地域の人々は,これらの自然災害がもたらすリスクを知ることは重要であり,自然災害の特徴を把握し,自然災害のリスクをいかに減らすかはわれわれ技術者が考えていかななくてはならない。したがって,本論文では火山地域の地形・地質の特徴とそれに起因する自然災害とその対応方法を明らかにすることを目的とし,調査を行った。調査方法は那須火山地域およびそれに隣接する足尾山地の地形判読と,その地形データの解析・地質情報・土地利用情報の分析およびこれらの総合解析である。これらの解析により,以下に示す結論を得た。

- 1) 急峻な斜面の多いわが国の山地部の中でも火山地域では,その山麓に人の生活の場になり得る広い緩斜面があることが定量的に把握できた。
- 2) ただし,火山地域の緩斜面はその成因上いろいろな自然災害が発生する可能性があることがわかった。
- 3) さらに,これらの自然災害は火山噴火に伴うものと豪雨による土砂災害などがあり,それぞれの自然災害に対応しながら,平時時の豊かな自然を楽しむためには時間の概念を入れたリスク管理や土地利用の工夫が必要であることを提案した。

Key words: 那須火山 Nasu volcano, 地形解析 Topographical analysis, 土地利用 Land use, リスク管理 Risk management

1. は じ め に

国土が狭く土地を集約的に利用しなければならないわれわれ日本人にとって,国土の1/10を占める火山地域をいかに利用するかは重大な問題であり,古来よりさまざまな土地利用がなされてきた。

火山地域では火山噴火に伴う堆積物が広く分布しており,周辺の山岳地域に比較して人々の生活しやすい緩斜面を形成することが多い。とくに,現在も活動を続けている第四紀火山では,その周辺は火山活動に伴う温泉などの観光資源に恵まれているほか,火山地形特有の裾野の広い緩斜面や高原地形が分布しており,ここでは酪農・畑作を中心とした農業を営み,数多くの集落のほか,温泉街や別荘地,

ゴルフ場等の豊かな生活の場となってきた^{1),2)}。

しかしながら,1990年11月の雲仙普賢岳の噴火³⁾や2000年3月の有珠山噴火^{4),5)},あるいは2000年7月の三宅島の水蒸気爆発やそれに引き続く同年7月の新島・式根島・神津島の火山活動に関連した地震^{6),7)}など過去幾多の火山活動はこれらの生活の場を破壊するとともに,多くの人命を奪ってきたことも否定できない。そもそも火山地域特有の緩斜面は噴出溶岩の溶岩流原面や火山噴火に伴う火砕流堆積面であったり,それらの二次堆積による土石流堆積面や泥石流堆積面である。さらに,これらの緩斜面上には降下火山灰などが厚く堆積していることが多い。したがって,人々の暮らしやすい土地である火山山麓の緩斜面は,そこに住む人々にとっては火山噴火に伴う溶岩流や火砕流,降下火山灰,泥石流,あるいはその後の豪雨に伴う土石流などによって形成されたものである。つまり,長い目で見たところでの人々の生活の場とは,火山噴火災害や1998年台風4号による那須火山周辺地域のような土砂災害^{8),9)}の

* (株)環境地質 Kankyo Chishitsu Co, Ltd (会員)

E-mail: inagaki@kankyo-c.com

** (株)環境地質 Kankyo Chishitsu Co, Ltd

E-mail: kosaka@kankyo-c.com

繰り返しのもとに新しい土地が提供されてきたことになる。

ここでは、那須火山とそれに近接した足尾山地との地形・地質や土地利用などを比較することによって、火山地域での豊かな暮らしの場を提供する火山緩斜面などの地形の特徴や土砂災害に弱い地質の特徴について述べるとともに、火山地域での時間の概念を入れた自然災害からのハード・ソフト面での対応を含めたリスク管理と豊かな自然を享受した土地利用の仕方について報告する。

2. 火山地域特有の緩斜面の発達

われわれが暮らしている火山の地表面はすべて一様ではなく、さまざまな時代に噴出したいろいろな性質をもつ噴出物、あるいはその二次堆積物により形成されている。

これらの地表の中で主として生活の場となる緩斜面は、溶岩流原面、火砕流堆積面、岩屑流堆積面、カルデラ底、土石流堆積面(扇状地面および泥流堆積面を含む)、地すべりや崩土の堆積面などである。

また、浸食が進んでいない火山緩斜面の多くは、火山噴火によって生じた現地形である溶岩流原面や火砕流堆積面からなり、浸食の進んだ火山では、土石流堆積面、扇状地面、泥流堆積面などの二次堆積面が多くなる。図-1には日本の代表的な火山の地形区分の分布頻度についてまとめた。支笏では火砕流堆積面が多く、伊豆高原では溶岩流原

面が多い。また、赤城や那須では土石流堆積面などの二次堆積面が多く、火山によってその分布する緩斜面にも成因的な違いがあるのがわかる。つまり、カルデラや成層火山、単成火山など火山の構造の違いや、その後の降雨などによる浸食・開析の程度により、多様な形態の緩斜面が形成されている。

3. 地形解析とデータベースの作成

調査は図-2に示した那須火山と、それにほぼ近接する堆積岩分布地域である足尾山地をモデルとして行った。那須火山は火山地域の例であり、足尾山地は那須火山に近接する非火山性地域の例である。いずれの地域も標高が類似している。まず両地域の地形解析として1/20,000程度の縮尺の空中写真を利用し地形区分を行った。那須火山地域で分類した地形区分は、山腹斜面、沖積低地面、崩積土面、土石流堆積面、地すべり堆積面、段丘面、扇状地面、古期崩積土面、古期土石流堆積面、古期扇状地面、現在も噴気などの火山活動のある茶臼岳の溶岩流原面や溶岩円頂丘、現在火山活動の認められない茶臼岳以外の溶岩流原面(調査地域には朝日岳、南月山、三本槍岳および甲子朝日岳の溶岩類がある¹⁰⁾)、黒礫岩屑流堆積面および御富士山岩屑流堆積面の14種類である。なお、古期としたものは段丘面に続くか、明らかに段丘面より古い更新世にできたと考えられる堆積面である。足尾山地には山腹斜面、沖積低地面、崩積土面、古期崩積土面、段丘面、地すべり堆積面、土石流堆積面が分布する。次に両地域での土地利用を、ダム、牧場、リゾート施設(スキー場やゴルフ場など)、集落、別荘地および温泉街、田、畑、広葉樹、針葉樹、草地および裸地の11種類に区分した。ここで、1/50,000の地形図(国土地理院発行)を用いてそれぞれ13km×18kmの範囲で250m×250mのメッシュで区切り、そこでのこれらのメッシュマップを作成した。メッシュの数は52×72=3744である。また、これらのメッシュマップ内では斜面の傾斜、標高についてメッシュごとに区分し集計を行った。

斜面の傾斜(メッシュ内の最大標高から最小標高を引い

図-1 火山地形区分頻度図(単位: km²)¹⁾

図-2 調査地位置図

た値を 250m で割って求めた)は、 $0\sim 3^\circ$ 、 $3\sim 8^\circ$ 、 $8\sim 15^\circ$ 、 $15\sim 20^\circ$ 、 $20\sim 30^\circ$ 、 $30\sim 40^\circ$ および 40° 以上の 7 種類に区分した。

標高は、200～400m、400～600m、600～800m、800～1,000m、1,000～1,200m、1,200～1,400m、1,400～1,600m、1,600～1,800m および 1,800m 以上の 9 種類に区分した。

これらのメッシュマップをデータベースとし、地形区分、土地利用区分、傾斜区分および標高区分について集計を行った。図-3 および図-4 にはそれぞれ那須火山と足尾山地の地形区分図を、図-5 にはそのメッシュマップを示す。また、図-6～8 にはそれぞれ両地域の土地利用、傾斜区分、標高区分のメッシュマップを示す。

図-3 那須火山地域の地形分類図

図-4 足尾山地の地形分類図

4. 火山地域での地形・地質の特徴

那須火山は安山岩を主体とした火山であり、溶岩流・火砕流・溶岩円頂丘からなる南北に伸びる峰を主稜としている¹⁰⁾。那須火山は第四紀更新世末期以降にプリニー式噴火(爆発的)を繰り返し起こしており、風下では広範囲に軽石や火山灰が降下・堆積し、火砕流の発生を伴うことが多く、少なくとも2回の山体崩壊も発生している¹⁰⁾。活動時期は更新世中期より噴火が始まったと推定されており、茶臼岳の火山活動が最も新しく現在も活動が継続している¹⁰⁾。

図-1に示したとおり、那須火山山麓には主に扇状地面や岩屑流堆積面が分布し、河川沿いに沖積低地面、崩積土面、土石流堆積面および段丘面が分布している。斜面には崩積土面、地すべり堆積面が分布している。今回分類した那須火山の地形・地質についてその特徴を、主として砂岩、砂岩頁岩互層、チャート、石灰岩などの堆積岩からなる足尾山地と比較しながらまとめる。なお、図-9は両地区の地形区分を比較したものである。ここでの那須火山の地形区分の頻度分布が図-1のものとやや異なるのは、地形解析した範囲が異なっていることと、図-9では地形区分が細分類されているためである。まず、急傾斜を示す山腹斜面は那須火山では火砕丘、溶岩の末端崖および浸食崖に認められるが、これらの急斜面の面積は足尾山地の1/3程度と狭い。それに対して、溶岩流原面や岩屑流堆積面、土石流堆積面、扇状地堆積面などからなる緩斜面の面積は、足尾山地の約3倍である。開析を受けてできた沖積低地面や崩積土面、地すべり面、段丘面などの分布面積については両地区で大きな差異はなかった。

図-9 地形区分比較図

図-10は傾斜区分を両地域で比較したものである。那須火山では3~8°の傾斜が最も多く、約50%の面積を占めており、次いで8~15°の傾斜である。30°を超える斜面は少なく、火砕丘や溶岩円頂丘、溶岩の末端崖あるいは緩斜面の浸食前線の急崖に限られている。一方の足尾山地では、30~40°の斜面が全体の約35%と最も多く、8°以下の緩斜面の比率は17%以下である。このことは先に述べた地形区分の結果をよく反映している。また、那須火山の方がやや標高が高い分布となっているものの足尾山地と大きくは変わらない(図-11参照)。つまり、平地部の少ないわが国にとって、急斜面の多い山地でも火山地域の方が緩斜面が多く、土地利用がしやすいということがいえる。しかしその反面、火山地域ではその緩斜面の一般的な成因¹¹⁾から考えて、噴火による災害や土砂災害を受ける可能性が高いことも事実である。

以下に、那須火山での個々の地形区分の特徴についてまとめた(図-12参照)。

(1) 山腹斜面

地形解析において、緩斜面として区分されない部分で、傾斜角が隣接する面より急な斜面であり、火砕丘や溶岩円頂丘、溶岩の末端崖、緩斜面の浸食前線の急崖である。ただし、尾根部については面積が狭く、便宜上この中に入れた。これらの山腹斜面は浸食の場であり、そこに分布する地質が柔らかい場合には斜面崩壊・地すべりを発生する場所である。とくに、火山噴火や地震の際、斜面災害の発生する可能性が高いと考えられる。足尾山地と比較すると斜

図-10 傾斜区分比較図

図-11 標高分布比較図

面の面積は1/3程度である。

(2) 沖積低地面

河川沿いに分布し平坦な面をなし、運搬・堆積の場である。洪水時に浸水する可能性がある。また、茶臼岳に続く谷地形沿いでは、溶岩流・火砕流・泥流および岩屑流が流下する可能性が考えられる。足尾山地と比較すると沖積低地面の面積はほぼ同じである。

(3) 崩積土面・古期崩積土面

崩壊地・崩壊跡地の下方、斜面の遷緩線の下部に分布する。主に堆積の場だが、河川沿いにあるものは、運搬・堆積の場である。緩斜面を形成することが多い。地震時・豪雨時に上方斜面から崩壊土砂が到達する可能性が高い場所である。また、茶臼岳に続く谷地形沿いでは、溶岩流・火砕流・泥流および岩屑流が流下する可能性が考えられる。足尾山地と比較すると崩積土面の面積はほとんど変わらないが、緩斜面の浸食前線下部にその分布が集中している。

(4) 土石流堆積面・古期土石流堆積面

古期土石流堆積面は土石流堆積面よりも5~20m高く、段丘面に連続している。これらの堆積面は、河川沿いの斜面に隣接して分布している。また支沢の出口に分布しているものもある。土石流は繰り返し発生するので、再度、土石流堆積物が堆積する可能性が高いところである。とくに、茶臼岳の山麓に多く分布しており、茶臼岳に続く谷地形沿いでは、地形形態から土石流のほかに溶岩流・火砕流・泥流および岩屑流が流下する可能性が考えられる。足尾山地と比較すると土石流堆積物の面積は多く2倍程度である。

(5) 地すべり堆積面

主に山腹斜面中にあり、緩斜面をなし、運搬・堆積の場である。分布面積は足尾山地とほぼ同様である。ただし、一般的に火山地域では規模の大きい地すべりが多いとされている(たとえば大八木ほか(2000)¹²⁾など)。

(6) 段丘面

河川沿いに分布する平坦地で沖積平野より10~20m高

図-12 傾斜区分と標高分布の関係図

い面である。かつて堆積・運搬の場であったが、現在は堆積・運搬作用がなく安定している。足尾山地と比較すると段丘面の面積は1.5倍程度である。

(7) 扇状地面・古期扇状地面

土石流や泥流などの二次堆積物で形成された扇状地である。古期扇状地面は扇状地面よりも10～20m高い面であり、段丘面に連続する面である。扇状地面は現河床に連続する面である。扇状地面は堆積の場であるが、古期扇状地面は現在は堆積作用が少なく安定している。ただし、山体崩壊が発生した場合は、その堆積の場になる可能性がある。斜面の傾斜はゆるく(3°～8°)、沖積低地面や段丘面と比較するとやや急である。足尾山地では分布範囲は狭いが、那須火山では山麓に広く分布している。

(8) 茶臼岳溶岩原面

茶臼岳の東側に溶岩流などからなる緩斜面を形成している。茶臼岳は最も新しい火山であり、現在も活動は継続しているため、再度噴火し溶岩流・火砕流などが流下・堆積する可能性がある。

(9) 茶臼岳以外の溶岩原面

茶臼岳より火山活動時期は古く、現在は活動をしていない。溶岩流などからなる緩斜面を形成している。

(10) 御富士山岩屑流堆積面

茶臼岳から続く河川沿いに分布し、茶臼岳付近が供給源である¹⁰⁾。扇状地の面と同様の標高に分布するが、流れ山などが分布し、起伏が多いのが特徴である。岩屑流堆積物として急激に堆積したもので、現在は安定している。ただし、黒磯岩屑流堆積面と比較すると、茶臼岳が山体崩壊が発生した場合、その土砂が到達する可能性が高い。

(11) 黒磯岩屑流堆積面

火山山麓に分布している。山麓の堆積物の中では扇状地堆積面と高さはほぼ同じだが、浸食が進み細かい谷が発達している。また、流れ山の痕跡を残すため起伏が多いのが特徴である。岩屑流堆積物が急激に堆積してきた面で、現在は安定している。供給源は西側の那須火山の山体だが、いくつかのカルデラ地形があり特定はされていない¹⁰⁾。

5. 火山地域の土地利用

火山地域では、周辺の山岳地域に比較して火山地域特有の緩斜面が発達するため、古くから土地利用が盛んである場合が多い²⁾。那須火山でも火山噴火に伴う火山砕屑物と二次堆積物が広く分布しており、足尾山地と比較して人々の生活しやすい緩斜面の占める割合が多い²⁾。那須火山では、その南東斜面には豊富な温泉を有する那須火山温泉郷があり、日光国立公園「那須」として広く親しまれている。また、山麓の岩屑流堆積面や扇状地面には別荘地が多く、この緩斜面を利用した酪農地帯が広がっている(写真-1 参照)。

農業では、地域の特性を活かした和牛生産や乳牛による山麓酪農地帯になっており、畜産物需要の増大とともに牧草地造成あるいは飼料作物が栽培されている。また、りんどう、スプレー菊などの花木を中心とした畑作も多い。

さらに、那須火山周辺には広く森林が分布する。これらの森林はさまざまな自然林や保安林として保全されており、地球環境の保護に貢献するとともに年間460万人の観光客を集めている。

図-13に那須火山地域と足尾山地の土地利用の比較図を示す。那須火山地域での土地利用の概要は足尾山地に比べて別荘地や温泉があること、ゴルフ場の面積も広く、農業では牧場、畑の面積がそれぞれ10%程度と広い。森林に

写真-1 那須火山山麓の緩斜面とそこに位置する牧草地などの大規模農場と広葉樹に囲まれたゴルフ場などのリゾート施設

図-13 土地利用比較図

については国立公園に指定されていることもあり、自然林に近い広葉樹が製材用に植林された針葉樹より圧倒的に広い面積を占めている。

今回分類した土地利用についてその詳細を以下にまとめた(図-14 参照)。

(1) 牧場

山麓付近に広く分布し、黒岩山岩屑流堆積面と扇状地面の緩斜面を中心として、それらの周辺の斜面、崩積土面の土地を利用している。

(2) ゴルフ場・スキー場

スキー場は、茶臼岳以外の溶岩流原面の緩斜面を利用し、ゴルフ場は山麓の御富士山岩屑流堆積物・扇状地堆積物等からなる緩斜面を利用している。ゴルフ場の面積は足尾山地の4.5倍である。

(3) 集落

山麓の中でも比較的火山の中心から離れたところにある。主に段丘面や扇状地堆積物および岩屑流堆積物からなる平坦面、緩斜面に分布しているが、土地が低いことにより洪水や斜面災害の多い沖積低地面、崩積土面、および土石流堆積物からなる平坦面や緩斜面を利用している場所もある。足尾山地では平坦面や緩斜面が少ないので、洪水や斜面災害の多い沖積低地面、崩積土面、および土石流堆積面の平坦面や緩斜面を多く利用している。集落の面積は那須火山の方がやや多く足尾山地の1.2倍程度である。

(4) 別荘地・温泉街

主に山麓の扇状地堆積面に分布しているが、集落と比べ

火山の中心に近い場所に多く、火山活動の影響を受ける可能性が高い。さらに、土砂災害の多い沖積低地面、崩積土面、および土石流堆積物からなる平坦面や緩斜面を利用している場所もある。温泉街は茶臼岳溶岩類からなる緩斜面上にある。足尾山地には別荘地・温泉街は分布しない。

(5) 水田

主に沖積低地面に分布するが、崩積土面、土石流堆積面、段丘面、扇状地面および岩屑流堆積面にも分布している。いずれも土砂災害が多い場所である。足尾山地と比較して水田の面積は約6倍である。

(6) 畑

那須火山では、地盤内に水を透しやすい空隙の多い粗粒の堆積物からなる緩斜面が山麓斜面に多く、水田より水はけのよい地盤に適した畑作のほうが面積は広い。主に扇状地堆積面と岩屑流堆積面に分布するが、山腹斜面、沖積低地面、崩積土面、土石流堆積面、および段丘面にも分布する。足尾山地と比較して畑の面積は約5倍と広い。

(7) 広葉樹・針葉樹

広葉樹は主に斜面に分布しているが、地形区分に限らずあらゆる所に分布している。足尾山地では針葉樹の方が広葉樹よりも多く、製材用としての植林化が進んでいるが、那須火山では国立公園にも入っていることから、自然に近い広葉樹の面積は針葉樹の5.7倍と著しく広い。

杉・桧の針葉樹の植林は、主に黒磯岩屑流堆積面に分布していることが多いが、溶岩原面ではアカマツが繁茂している。那須火山では針葉樹は全体の面積の0.1%未満だが、

図-14 地形区分と土地利用の関係図

足尾山地では全体の面積の 58%を占める。

(8) 草地・裸地

草地は、山腹斜面や人工的に改変された緩斜面に小分布している。また、裸地は主に火山山体の上部の山腹斜面と茶臼岳溶岩類からなる斜面に分布する。足尾では主に石灰岩地域に多い。足尾山地と比較して裸地の面積は約 2.4 倍である。

6. 火山地域の自然災害と時間の概念を入れたリスク管理

5 章までに那須火山を例として、火山地域での地形・地質の特徴とそこでの土地利用についてまとめた。人々の生活の場を可能にする火山地域特有の山麓緩斜面の存在と、火山そのものの持つ優れた風景・資源が人を火山地域に引きつけてきた。これらの正の要因がある反面、火山地域では火山噴火や土砂災害が多く発生しており、これら負の要因を理解し、土地利用の方法やそこに住む人々の生活様式を工夫していくことは重要なことといえる。したがって、ここでは火山地域での正の要因と負の要因をまとめて表-1 に示す。

正の要因としては、農業や集落立地などの生活の場としての地形条件と鉱物資源や熱エネルギー資源などの材料としての恵み、観光や景観、健康などの情緒的な恵みがある。これらの正の要因の利用として地域開発(観光などを含む)

や地熱開発などがあり、その活用としては保養施設や自然環境保全などが考えられる。それに対して、負の要因としては火山噴火に伴う火山災害と、噴火後の二次災害としての土砂災害などがある。また、二次的影響被害として社会・経済への影響や環境への影響が考えられる。これらの負の要因に対する対応としては火山噴火予知、ハザードマップなどを利用した火山災害予測、災害防止対策施設などのハード面の対策や、情報伝達や避難計画などのソフト面の災害防止対策や復旧対策がある。また、災害教育やその啓発、火山災害基本法などの関連法規の整備も重要なことである。こうした負の要因の具体例として、西暦 1600 年以降の世界の火山災害による死亡者数を原因別に調べると表-2 のとおりとなる。1600 年から 1899 年の間には火砕流・岩屑なだれや津波、噴火後の飢饉・疫病が多く、全体で 186,200 人の死亡者の記録があり、1900 年から 1986 年の間には火砕流・岩屑なだれやその二次災害である火山泥流や洪水などの土砂災害が多く、全体で 76,000 人の死亡者が記録されている。つまり、近年世界中の火山災害による死亡者数は年平均 880 人となっている。

一方、1990 年以降のわが国では火山に関連する災害は、1990 年に噴火を開始し、43 名の死者を出した雲仙普賢岳のような火砕流、火砕サージやその二次土砂災害である泥流、土石流および洪水流などがあるほか、1983 年の三宅島の噴火のような溶岩流および火山灰や火山弾などの降下物の被害がある。また、2000 年 3 月の有珠噴火のように地殻変動や火山性地震による被害も発生する。2000 年 7 月には神津島、新島、式根島のように火山活動に関連した地震による斜面崩壊が多発し、1 名の死者を出した。そこで、これらの火山地域特有の自然災害を考慮したうえで、そこでの負の要因に対するリスクの管理について考えてみる。

そもそもリスク管理の理論が研究・実践されてきたのは企業経営や軍事戦略においてである。近年、それが培われた人的資源、物的資源および経済的資源の適正配分と有効利用を行うマネジメント手法は、今回対象とした火山地域での火山災害などの危機管理や、その災害復興への有力な手法として認められるようになってきた¹⁵⁾。とくに、火山

表-1 火山地域での正の要因・負の要因

正の要因	生活場としての恵み	① 農業 ② 地盤 ③ 立地
	材料としての恵み	① 鉱物資源 ② 工業資源 ③ 熱エネルギー資源
	情緒的恵み	① 観光 ② 景観 ③ 信仰 ④ 文化 ⑤ 健康
正の要因の利活用	利用	① 地域開発 ② 鉱山開発 ③ 地熱発電
	活用	① 保養施設 ② 自然環境保全
負の要因	火山災害	① 噴火に伴う一次災害 ② 火山性地震による災害
	土砂災害	① 噴火に伴う二次災害 ② 噴火後の土砂災害
	二次的影響被害	① 社会・経済への影響 ② 心理・公衆衛生的影響 ③ 環境への影響 ④ 地球規模の環境影響
負の要因に対する対応	火山噴火予知	① 噴火予知手法 ② 噴火予知の適用性
	火山災害予測	① 火山災害履歴 ② 火山災害予測手法 ③ 火山災害予測図
	災害防止復旧対策	① 災害防止手法・対策施設 ② 情報伝達 ③ 避難計画・対策 ④ 健康対策
		⑤ 災害復旧手法・対策施設 ⑥ 噴火規模の低減
		① 災害教育と啓発 ② 火山災害基本法 ③ 関連法規の整備

本表は13)の資料を加筆・修正して作成した。

表-2 西暦 1600 年以降の火山災害による原因別の死亡者数¹⁴⁾

	1600 - 1899		1900 - 1986	
火砕流・岩屑なだれ	18,200	(9.8%)	36,800	(48.4%)
火山泥流・洪水	8,300	(4.5%)	28,400	(37.4%)
降下火砕物・噴石	8,000	(4.3%)	3,000	(4.0%)
津波	43,600	(23.4%)	400	(0.5%)
噴火後の飢饉・疫病	92,100	(49.4%)	3,200	(4.2%)
溶岩流	900	(0.5%)	100	(0.1%)
火山ガス・酸性雨	---	---	* 1,900	(2.5%)
その他・原因不明	15,100	(8.1%)	2,200	(2.5%)
合 計	186,200	(100%)	76,000	(100%)
年平均死者数	620		880	

*ニオス湖のガス災害を含む

地域におけるリスク管理では、先に述べた恩恵と災害を社会活動の中に活かし、地域の発展に役立てるといった視点が重要である¹⁵⁾。ここで、表-3はこれらの考え方に基づいて火山地域での自然災害のリスク管理の特徴と、一般的なリスク管理とを比較したものである。火山地域でのリスク管理は災害管理型に属し、危機の発生頻度は経営政策型より少なく、危機対応は一過性であり、災害対策も単発的となる。したがって、その実績は少なく、危機処理の計画(たとえばハザードマップ)や組織づくりまでの策定が多く、危機処理の指導や統制が弱く、結果的に災害時の人的・物的損害を大きくしている。このような問題点を解決するためには、危機発生頻度とその災害規模といった、時間の概念を入れたリスク管理や土地利用の工夫が重要といえる。この時間の概念を入れたリスク管理とは、表-4に示すとおり火山災害が1か月～1万年以上という災害頻度の多様性と長期性を持っていることから考慮したもので、それぞれの自然災害に対応した土地利用のあり方やその人的対応を示した。

先に述べたように、火山地域では山麓に広い緩斜面が発達し、このため雄大な景観や温泉、観光など恵みの多い自然環境を提供している。その反面、火山噴火や斜面崩壊などの自然災害が多い地域でもある。しかも、火山噴火については噴火の間隔が人の生活の時間の長さよりかなり長いことが多く、人の暮らしについては地震と同様に時間の概念を入れたリスク管理が必要である。いいかえれば、恵み

表-3 火山地域での自然災害のリスク管理の特徴と一般的なリスク管理との比較

対象	種類	危機発生頻度	危機対応	災害対策	実績	問題点	公共性
火山地域	災害管理型	少ない (数十年～数千年)	一過性	単発的	少ない	危機処理の計画、組織までの策定が多く、危機処理の指導、統制が弱い。結果として土地利用へのリスク管理を考慮した指導や統制がなく、災害時の人的・物的損害を大きくしている。このためには時間の概念を入れたリスク管理や土地利用が重要である。	高い
一般企業	経営政策型	多い (数ヶ月レベル)	継続的	反復的	多い	危機処理の計画、組織指導、統制までの一連の統制がとれている。	低い

15)を参考として作成した

を最大限享受したリスク管理による土地利用やくらしの工夫が重要となる。

SIMKIN *et al.* (1981)¹⁶⁾ の火山爆発度指数を町田・新井(1992)¹⁷⁾ が補訂して示した図-15のとおり、噴火規模と頻度についてその負の相関が示されている。つまり、頻繁に起こる自然災害は災害規模が小さく、そこでの土地利用は一時的で仮設的なものがよく、対応としては短期予測と避難のための情報伝達できれば人的被害はない。つまり、保険制度の利用はあるものの、物的損害は短期予測では対応できないが、人的損害は短期予測で回避可能である。

それに対して、1年～1世代(25年)という中程度の頻度で起こる災害は中規模のものが多く、その土地利用はキャンプや旅行のような小滞在か別荘地など常時生活を伴わないものがよく、短～中期予測と災害規模にあったハードな対策を行うことになる。この場合にも、避難計画や復旧計画、予防・避難のための情報伝達などソフト面の対応も重要となる。また、100～1000年という頻度の災害については大規模なものが多く、その土地利用は頻度にもよるが、住居や水田など常時生活する規模の集落や都市ができて、そこでは文化が育まれていくことになる。人的対応としては長期予測が重要で、この中でも規模の比較的小さいものについてはハードな対策を講じることも可能である。ソフト面では避難計画、復旧計画のほか、土地利用の法的規制や支援などが肝要で、とくに、災害発生前に被災状況を想

表-4 火山地域での時間の概念を入れた土地利用のあり方

自然災害の頻度	災害規模	自然災害の種類	土地利用のあり方	人的対応
1ヶ月	極小	河川内の増水	レクリエーション(日帰り)	短期予測、避難のための情報伝達
1年	小	小落石、河川内増水	小滞在	短期予測とハードな対策工、予防、避難のための情報伝達
1世代(25年)	中	斜面崩壊、落石、流水、土石流、火山性地震、小噴火、降灰	別荘地、観光、畑	中期予測とハードな対策工、避難計画と復旧計画
100年	大	斜面崩壊、岩石崩壊、小火砕流、大洪水、火山噴火、泥石流、降灰	住居、集落、水田	長期予測とハードな対策工、避難計画と復旧計画、法的規制や支援
1000年	大	斜面大崩壊、岩屑なだれ、火山噴火、火砕流、溶岩流	都市、文化	長期予測、避難計画と復旧計画
10000年～	超大	火山大噴火、気象変化	人類の生存、文明	過去の災害事例の研究による長期予測、災害情報の世代を超えた伝達

図-15 火山爆発度指数 VEI (Volcanic Explosivity Index)¹⁶⁾

定した事前復旧計画を立案しておくことや、注意・警戒など避難につながる情報伝達も必要となる。1 万年を超える間隔の自然災害については、その規模は超大となり、火山の大噴火やそれに伴う気象変化などまで問題となる。たとえば、西日本に広範囲に分布する鬼界カルデラの噴火に伴うアカホヤ火山灰を境として縄文土器の形式が明らかに異なっていること¹⁷⁾や、紀元前 1500 年ごろのエーゲ海のサントリニ火山の噴火に伴う山体崩壊や津波の発生、それに続く気候の寒冷化などによりミノア文明が滅亡し、その首都であるクノッソスが崩壊したといわれていること¹⁸⁾など、そこでは民族の生存や文明の存亡なども考える必要がある。人的対応としては、過去の災害事例の研究による長期予測や、それらの災害情報の世代を超えた伝達などが重要で、それを防止するハード対策をたてることは不可能である。ただし、これまでに火山噴火によって人類全体が滅びたということはなく、文化の中心都市や重要な施設配置などについて、これらの超大噴火の影響を少しでも軽減する努力は必要であろう。これらの考え方をまとめて、火山の自然災害に対するリスク管理と、火山の自然の恵みを享受した土地利用概念を図-16 にまとめた。

火山というのはそれぞれの火山で噴火の様式に特徴があり、個々の火山の噴火履歴を調べると、その火山の危険の種類・程度や危険な場所が判ってくる。これらの研究成果を踏まえて、活火山をもつ市町村では 1992 年の国土庁が策定した「火山噴火予測図作成資料」などを利用して火山ハザードマップを作っているところがある(表-5 参照)。こ

図-16 火山地域でのリスク管理・恵みの享受による土地利用概念図

れらの災害予測図には時間の概念が入っていないが、リスクの種類や大きさを知る有力な情報である。これらを利用することは 100%と合わないまでも、噴火予知や火山防災に使用することは現実的であり²⁰⁾、火山地域でのリスク管理と土地利用を有効にする鍵を握っていると考えている。

ただ、現実的にはこれらのハザードマップを無視した土地利用が実施されていることが多く、これらが火山地域での自然災害を大きくしている一因といえる。この場合には抜本的な地域計画の見直しが必要であるが、経済的にも時間的にも不可能なことが多い。そこで火山砂防施設の計画などハード面での対応も重要であるが、効率のよい情報伝達や避難計画の策定などソフト面での対応がより重要となってきた（たとえば、石橋ほか(1998)²¹⁾、大野ほか(2000)²²⁾など）。

2000 年 3 月 31 日に噴火した有珠火山では、火山ハザードマップに基づく噴火予知がほぼ成功し、一人の犠牲者もなく住民避難が行われた⁵⁾。その成果は大きいといえるが、

表-5 日本で公表された火山ハザードマップ¹⁹⁾

作成年度	火山名	作成機関	名 称
1985年	北海道駒ヶ岳	駒ヶ岳火山防災会議協議会	駒ヶ岳火山噴火災害危険区域図
1986年	十勝岳	北海道十勝支庁	かみふらの町防災計画緊急避難図
1987年	十勝岳	北海道美瑛町	びえい町防災計画緊急避難図
1989年	十勝岳	北海道十勝支庁	十勝岳噴火対策緊急避難図
1991年	雲仙岳	(財)砂防・地すべり技術センター	雲仙岳火山災害予想区域図
1992年	霧島山火山	高円町	霧島山火山防災の心得
		三宅島	三宅島火山防災マップ
		伊豆大島	伊豆大島火山防災マップ
1993年	桜島	鹿児島市、垂水市、桜島町	桜島火山防災マップ 桜島火山防災ポケットブック
	樽前山	苫小牧市、千歳市、恵庭市、白老町	樽前山火山防災マップ
	雲仙岳	雲仙復興工事事務所、島原市、深江町	防災マップ
1994年	北海道駒ヶ岳	駒ヶ岳火山防災会議協議会	みんなの防災ハンドブック 駒ヶ岳
	阿蘇山	一の宮町ほか9町村と阿蘇広域行政事務組合	阿蘇山噴火災害危険区域予測図
	浅間山	長野県佐久市ほか3市町、群馬県長野原町、嬬恋村	浅間山火山砂防マップ
	草津白根山	草津町、長野原町、六合村	草津白根山火山防災マップ
1995年	有珠山	伊達市、虹田町、杜野町、豊浦町、洞爺村	有珠山火山防災マップ
	霧島山火山	鹿児島県霧島市ほか3市町、宮崎県都城市ほか3市町	霧島山火山防災マップ
1997年	薩摩硫黄島	鹿児島県	火山災害危険区域予測図
	永良部島	鹿児島県	火山災害危険区域予測図
	中之島	鹿児島県	火山災害危険区域予測図
	諏訪之瀬島	鹿児島県	火山災害危険区域予測図
1998年	岩手山	建設省及び岩手県	岩手山火山防災マップ
1999年	雌阿寒岳	阿寒町	雌阿寒岳ハザードマップ

土地利用の点から考えると洞爺湖温泉という大きな町が深刻な物的被害を受け、一部の住民は長期間にわたって避難生活を強いられている。もう少し地形・地質の特徴を活かした土地利用の工夫が必要と考えられる。

2000年7月の三宅島噴火では噴火予知が成功したとはいえないが、全島避難が実施されて人的被害は回避された。また、この噴火に関連した地震が多発した神津島での火山地形面と、そこでの土地利用を表-6に示す。これによると、溶岩円頂丘や火砕丘、溶岩急崖では自然林や裸地などの未利用地が多く、神津島の自然が残されていることがわかる。河川沿いの沖積低地は火山から多量の土砂がたびたび流入するため、ほとんど河原のまま手付かずとなっている。また、火山噴火の影響の少ない古期火砕流からなる開析小〜中起伏面はアシタバ畑や椿林に利用されているほか、島内唯一の空港が位置しており、島内の産業を支える場となっている。ところで、島の5%の面積しかない新規火砕流堆積面に、集落、学校、道路などの島民の主要な生活の場が集まっているというリスクを負っているが、神津島での火山噴火の間隔は長く、生活の利便性を考えるとやむを得ない選択であると考えられる。これらの土地利用はまだまだ問題点も多いが、離島という限られた土地での生活の利便性とリスク回避を可能な限り考えたものであり、生活と自然がうまく調和した例である。これらは小さな火山島の中で生きていくための生活の知恵が集約したためと考えられる。生活の場になりにくく、噴火災害のリスクが大きい急斜面や火山の中心部は自然のまま保全し、その生態系を守っている。また、土砂災害による危険が大きい河原はそのままレクリエーションの場として自然をそのまま残し、住民の生活の場は小高い火砕流堆積面の緩斜面のみ利用するという住み分けができています。もちろん、長い年月の間には大きな噴火の発生が考えられ、そのときには一時避難し、また、新しい生活の場で一から出直す必要があるが、その発生頻度は低い。2000年7月に発生した三宅島噴火に関する地震は火山噴火に比較してその発生頻度は高いものの、集落全体が壊滅したのではなく、立地上人家の少ない急傾斜面での崩壊が多発し、道路などのライフライン被害が著しかったものであり、人的被害は1名の死者にとどまっている。神津島という少し極端な火山島地域での土地利用の例であるが、火山地域でのこれからの土地利

用のしかたについて、自然との共存や時間の概念を入れたリスクの回避などまだまだ問題点を残すものの、1つの提案をしているように思う。

今回検討した那須火山では、過去に溶岩流、火砕流、火砕サージ、岩屑流、泥流、土石流、洪水流の発生および火山灰や火山弾などの降下があり、これらの災害を伴う地質現象によってさまざまな緩斜面が形成されている。また、有史以来たびたび噴火を繰り返しており、1410年には周辺住民に死者180余名の被害を与えたほか、1900年代にも5回の小噴火が認められている。また、1919年には観光地の殺生石で火山ガスが発生し、2名の死者を出している。このため、那須火山は火山噴火に関して気象庁による常時観測(普通観測と精密観測があり、重要度・緊急度の高いものは精密観測が行われている)のうち普通観測が行われている。また、火山噴火予知計画によると、那須火山は「火山活動および潜在的爆発活力を有する火山」(23火山)の一つに挙げられており、火山情報は気象庁から火山の活動状況に合わせて関係機関に発表され、これらの情報は引き続き一般住民に伝達されている²³⁾。さらに1998年9月の台風に伴う集中豪雨により、那須火山周辺の中小河川が至る所で氾濫し、多くの人的・物的被害が生じた(写真-2参照)。これらは、火山山麓に広く分布している火山噴出物の二次堆積物が雨水や河川水の浸食に弱いことが被害を大きくした原因の一つと考えられる。ここで時間の概念を入れた土地利用について考えてみると、1か月〜1世代の頻度の災害を対象とした場合、ゴルフ場や別荘地などが主に扇状地堆積面のうち火山の中心に近いところにある。このような中規模な火山活動の際には噴石・降灰、火山性地震のリスクが高く、理にかなった土地利用といえる。次に、集落、水田、畑などはもう少し発生頻度の小さい岩屑流堆積面や火山の中心より離れた扇状地堆積面などが適しているが、災害頻度の高い土石流堆積面、沖積低地面等の谷沿いも多く利用されており、こうした箇所は1998年台

表-6 神津島での地形区分と土地利用状況⁸⁾

地形区分	面積(m ²)	斜面急斜	土地利用
沖積低地	0.3	平坦面	河川沿いの低地で火山からの流出土砂が多く、ほとんどが河原となる。
新規火砕流堆積面	0.9	緩斜面	集落、学校、道路などの主要な生活の場であり、畑などにも利用。
古期火砕流開析小〜中起伏面	6.2	小〜中起伏面	アシタバ畑や椿林に利用されているほか、空港も位置する。
溶岩急崖	3.5	急崖	露岩で未利用。
溶岩円頂丘	6.9	円錐丘(急斜面)	自然林、裸地で未利用。
火砕丘	0.7	円錐丘(急斜面)	自然林、裸地で未利用。裸地ではガリー発達。

写真-2 1999年台風4号の際に発生した那須火山山麓の黒川沿いの土砂災害

風4号の被災のように、時間スケールに比べてリスクが高いと考えられる。ここでは、土地利用へのリスク管理を考慮した指導・啓蒙や法的な制限などにより災害時の人的・物的損害をできる限り少なくする努力が今後必要になると感じている。とくに、2000年に新たに制定された土砂災害防止法では、警戒避難体制の整備や土砂災害危険箇所からの移転に伴う補償など、ソフト面での支援体制も整ってきており、これらのソフト面の対応が今後重要になると考えられる。

7. ま と め

那須火山では火山噴火に伴う堆積物が広く分布しており、足尾山地に比較して多くの緩斜面を形成している。那須火山は活火山であり、温泉などの観光資源に恵まれているほか、火山地形特有の裾野の広い緩斜面や高原地形が分布しており、ここでは酪農・畑作を中心とした農業が営まれ、古くからの集落のほか、温泉街や別荘地、ゴルフ場等の豊かな生活の場となっている。

これらの火山地域特有の緩斜面は、溶岩流、岩屑流、火砕流および泥流や土石流などにより形成された山麓地形である。つまり、山地であるにもかかわらず、これらの自然災害を伴う地質現象により、緩斜面からなる豊かな土地が形成されている。しかし、これらの土地は再び同じような自然災害を被りうる場所でもある。こうした場所では、時間の概念を入れた災害管理型のリスク管理が必要となる。

今後、総合科学としての火山工学を進めていくうえで、これらの豊かな環境を有効に利用し、火山という特殊な環境にあった保全・防災あるいは暮らし方の工夫について考えていく必要があると考えている。

引 用 文 献

- 1) 稲垣秀輝(1999): 火山地域の暮らしと防災, 平成11年度火山工学フォーラム「火山地域での建設と恵み」, (社)土木学会火山工学小委員会, pp.1-2.
- 2) 稲垣秀輝(1998): 火山地域での緩斜面の形成とくらし, 「火山とくらしと防災—火山工学の展望」, (社)土木学会火山工学小委員会, pp.12-15.
- 3) 長崎大学「火山災害」教育研究グループ編(2000): 火山—雲仙普賢岳がもたらしたもの—, 長崎出版文庫, 293p.
- 4) 稲垣秀輝(2000): 有珠噴火に学ぶ(その2)被害と防災, 平成12年度火山工学フォーラム「有珠噴火に学ぶ」, (社)土木学会火山工学小委員会, 6p.
- 5) 陶野郁雄・稲垣秀輝・今井博・片田敏孝(2000): 平成12年3月31日有珠山噴火緊急調査団報告—噴火の経緯, 被害状況, 情報伝達・避難—, 土木学会誌, vol. 85, Aug, pp.72-75.
- 6) 稲垣秀輝(2001): 神津島の地形地質の特徴と2000年7月火山性地震による被災状況, 土と基礎, vol.49, No.4, pp.125-127.
- 7) 稲垣秀輝(1999): 神津島火山における暮らしと斜面災害, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集「共通セッション」, pp.272-273.
- 8) 稲垣秀輝(1998): 火砕流堆積物分布域での斜面崩壊, 火山地域における地盤災害に関する研究発表会論文集, (社)地盤工学会八幡平地すべり・土石流災害調査委員会, pp.121-128.
- 9) 稲垣秀輝(1999): 1998年台風4号における福島県白河地方での表層崩壊の特徴, 応用地質, Vol.40, No.5, pp.306-315.
- 10) 加藤祐三(1964): 那須火山の岩石学的研究, 岩石鉱物鉱床学会誌, Vol.56, No.6, pp.233-243.
- 11) 守屋以智雄(1983): 日本の火山地形, 東京大学出版会, 135p.
- 12) 大八木規夫・清水文建・井口隆(2000): 東北地方の大規模地すべり地形と埋没カルデラ, 第39回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.557-560.
- 13) 火山工学研究小委員会編(1995): 火山とつきあう, (社)土木学会, p108.
- 14) Tilling, R. I. (1989): *Volcanic Hazards, AGU, Short course in geology. at the 28th IGC, vol.1*, pp.1-8.
- 15) 酒井嘉昭(1998): リスクマネジメントと地理情報システム—火山防災への応用—, 「火山工学の確立を目指して」, 土木学会火山工学研究小委員会報告書, pp.45-49.
- 16) SIMKIN, T., SIEBERT, L., McCLELLAND, L., MELSON, W. G., BRIDGE, D., NEWHALL, C. G. and LATTE, J. (1981): *Volcanoes of the world: A regional directory, gazetteer, and chronology of volcanism during the last 10,000 years*. Smithsonian Institution, Hutchinson Ross, 232p.
- 17) 町田洋・新井房夫(1992): 火山灰アトラス—日本列島とその周辺—, 東京大学出版会, 276p.
- 18) 大泉光一(1995): 災害・環境危機管理論, 晃洋書房, 278p.
- 19) 中筋章人(1998): 火山ハザードマップの作成と活用「火山工学の確立を目指して」, 土木学会火山工学研究小委員会報告書, pp.33-40.
- 20) 中田節也(1998): 火山活動と噴火予知, 「火山工学の確立を目指して」, 土木学会火山工学研究小委員会報告書, pp.16-21.
- 21) 石橋晃睦・小泉栄一・石井秀樹・中川一・宮本邦明(1998): 災害時の避難所と避難経路の評価に関する研究, 「火山工学の確立を目指して」, 土木学会火山工学研究小委員会報告書, pp. 63-71.
- 22) 大野博之・橋本裕司・堀伸一郎(2000): 火山泥流の発生情報の伝達—その現状と改良の方向性—, 普賢岳フォーラム発表論文集, pp.90-99.
- 23) 宇井忠英(1997): 火山噴火と災害, 東京大学出版会, 219p.

(2000年8月22日受付, 2001年3月14日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.42, No.3, pp.149-162, 2001

Features of Topography and Geology in Volcanic Area and Land Use due to Risk Management Against Natural Disaster —A Case Study of Nasu Volcano—

Hideki INAGAKI and Hideki KOSAKA

Abstract

An eruption of Unzen volcano on November, 1990, the Usu volcano eruption on March, 2000, and the past many volcanic activity, such as the phreatic explosion of Miyake-jima on July, 2000, are troubling the life of people. However, in the volcano area, a scene of a rich hot spring and rich nature is blessed with tourist attractions. And the agriculture consisting mainly of a dairying is performed here. Moreover, there are many resort institutions, such as a cottage ground, because plateau peculiar to volcanic topography are distributed.

People around a volcano area are important for getting to know the risk of these natural disasters. The engineers have to understand the feature of a natural disaster, and have to consider how the risk of a natural disaster is reduced. Therefore, in this paper, we investigate the geology of a volcano area, the natural disasters resulting from the geographical feature and the countermeasure for the disasters.

The investigation is carried by the geomorphologic analysis based on aerial photointerpretation, and the analysis of geology information and land use information at the Nasu volcano area and the Ashio mountains where is near by that volcano.

The conclusions are shown as follows.

1) Many steep slopes are located in the mountainous area of our country. However, it is clear quantitatively that there is large gentle slope which may become the place of people life at the foot of a volcano area.

2) However, the various natural disasters may occur on the gentle slopes of the volcano area as the origin of that slopes.

3) Furthermore, these natural disasters consist of sediment disaster and slope disaster by heavy rain and volcanic eruption disaster. We propose that the device of risk management and land use which put in the concept of time is required, in order to enjoy the rich nature at the time of peaceful, corresponding to each natural disaster.

Key words : Nasu volcano, topographical analysis, land use, risk management