

火山のめぐみと災い

北村良介

1. まえがき

我が国は世界の1割に当たる86の活火山が存在する世界で2番目の火山国である。1934年に我が国最初の国立公園として、雲仙、霧島国立公園が誕生したように火山はほとんどの国立公園に存在し、その美しい景観は観光地となっている。また、温泉、地熱や鉱物資源、豊かな火山灰土壌など、恵みと潤い（正の因子）を人間生活にもたらしている。

桜島火山は1955年の噴火から40年以上も継続して活発な活動をしている。雲仙岳では、1990年に噴火活動が始まり、火砕流等の発生によって災害が発生したが、1995年になって溶岩の湧出が止まり、1997年5月現在、火山活動は終息の方向にあり、防災対策工事が進んでいる。このような地域では、火山に関する様々な問題（負の因子）が生じており、工学の立場からそれらを解決していく時期に来ている。

ここでは、このような火山活動に伴う正の因子や負の因子を総合的に捉えようとする学問領域を火山工学と名付けている。そして、火山工学が火山地域における諸問題の解決や潤いのある生活環境の創出を目指して研究を行う総合工学であり、一つの学問分野として確立させる必要性があること、および、火山工学がこれから行うべき研究課題について説明を加えている。

2. 火山工学の必要性

活火山地域では火山噴火に伴って降灰、溶岩流、火砕流等が発生する。時には火山性地震が発生し、地盤の液化化現象も生じる。降雨時には斜面崩壊、土石流が発生しやすい。活火山地域に人間が生活をしている場合、これらの自然現象は人間生活に不都合をもたらす。我々はそれらの不都合を火山活動によって生じた自然災害と総称している。陶野¹⁾はこれらの災害を複合災害として総合的に把握し、研究する視点が必要であることを指摘している。ここでは、火山活動や地震のような自然現象とそれらの現象による自然災害とは明確に区別している。自然現象は地球上のいたるところで発生する。しかし、自然災害は人間が係わらない場合は発生しない。

前述のように国立公園の自然景観は変化に富み、人間の心に安らぎを与え、古くから信仰の対象ともなっている。火山地域には人間の健康回復・維持に貢献している温泉があり、地熱や鉱物資源を供給し、さらには、火山灰土壌からは豊かな農林産物が生産されている。このように火山は人間生活に恵みと潤いをもたらしてくれている。

地震と火山活動という自然現象はよく並び称される。ともに地殻プレート境界の活動に起因して発生することが多く、人間生活に係わると著しい災害をもたらすことなどの類似点が多い。しかし、地震は我々に一方的に災害をもたらし、ほとんど恵みをもたらしてくれないのに対し、火山は大災

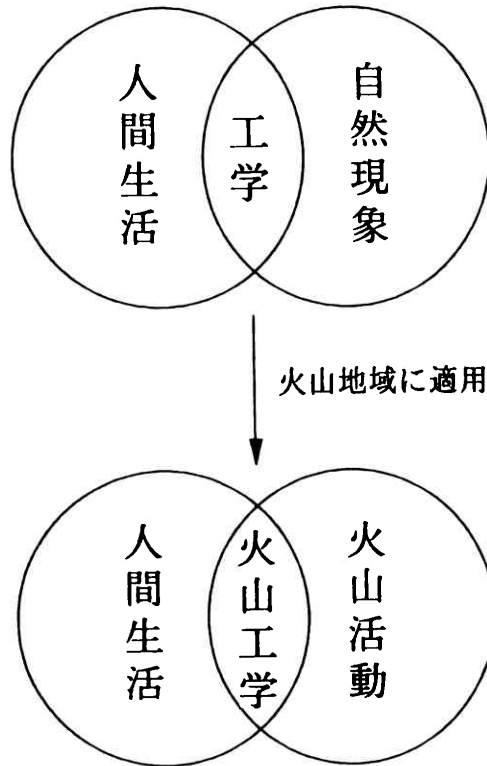


図1 工学，火山工学の役割

害をもたらすこともあるが、様々な恵みをもたらしてくれるという相違点もある。雲仙岳噴火、兵庫県南部地震を契機に火山活動や地震という自然現象に由来する人間に不都合を与える事象に対する工学的研究が従来にもまして行われてきている。

産業革命以来の工学の役割は自然現象と人間生活の接点において眼前の効率のみを追求してきたが、21世紀を目前に控え、工学の新たな位置づけが必要となってきた。このような状況を背景とし、火山活動に伴う正の因子と負の因子を総合的に捉えようとする工学の体系化の必要性を認識し、ここでは火山工学と名付けた（図1参照）。表1は陶野²⁾が示した火山工学がカバーすべき範囲を示したものである。表中の項目を見ればわかるように、火山工学は活火山地域における人間生活にかかわるすべての事象を包含しており、従来の理学、農学、医学、社会学、教育学、法学、経済学等の学問領域の成果を基礎にして、横断的に総合工学としてのシステムを確立することを目指している。

3. 総合工学としての火山工学の研究課題

火山工学は従来の縦割りの工学の各分野のみならず、人文科学、自然科学の幅広い分野の研究

表1 火山工学の範囲

I. 火山に関する基本事項	1. 火山の概要 2. 噴火様式	①火山の分布 ②火山地形と形態 ③火山の生成 ④活火山の分類 ⑤火山活動 ⑥火山災害史 ①噴火機構 ②噴火履歴 ③噴火に伴う災害種別
II. 正の因子に関わる火山工学	1. 材料としての恵み 2. 情緒的恵み 3. 利活用計画	①鉱物資源 ②工業資源 ③熱エネルギー資源 ④農業資源 ⑤地盤資源 ①観光 ②景観 ③信仰 ④文化 ⑤健康 ①地域計画 ②施設計画 ③施工計画
III. 負の因子に関わる火山工学	1. 火山災害 2. 2次的影響 3. 火山災害予測 4. 災害防止復旧対策	①噴火に伴う1次災害 ②噴火に伴う2次災害 ③噴火後の災害 ④火山性地震による災害 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 ①火山災害履歴 ②火山災害予測手法 ③火山災害予測図 ①災害防止手法・対策 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 ⑥噴火規模の低減
IV. 火山に関する付随事項	1. 火山噴火予知 2. 災害教育と法規	①噴火予知手法 ②噴火予知の適用性 ①災害教育と啓発 ②火山災害基本法 ③関連法規の整備

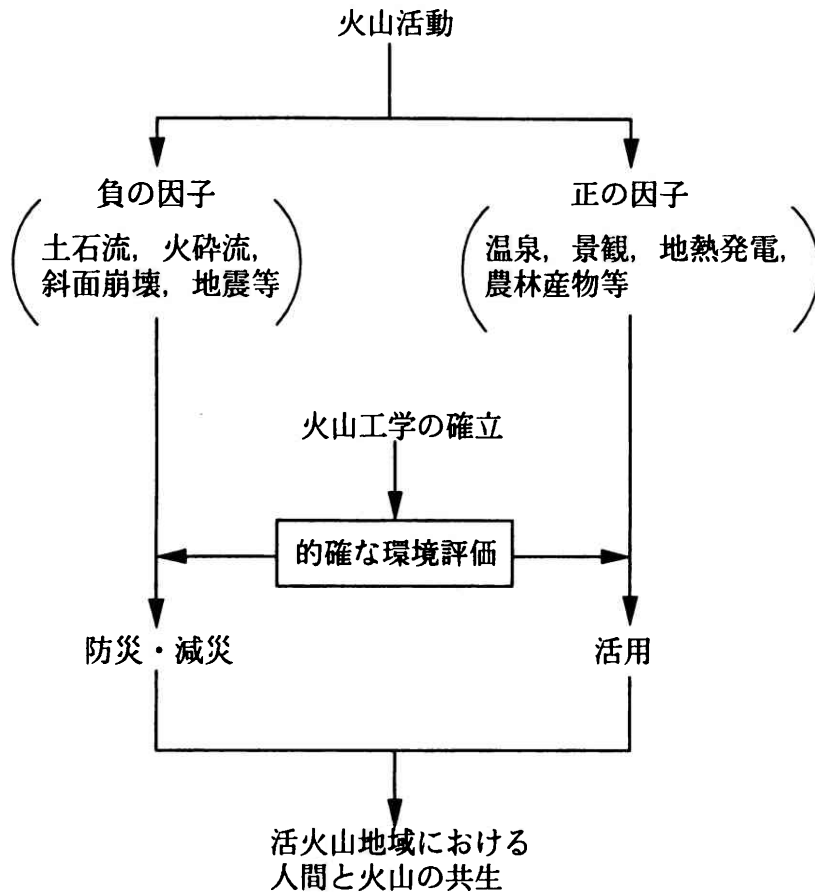


図2 火山の恵み（正の因子）・災い（負の因子）と火山工学の関係

を火山というキーワードによって有機的に結び付け、火山地域での人間と火山の共生を目指す総合工学である。

例えば、九州では雲仙、阿蘇、九重、霧島、桜島等の火山が活発な火山活動を続けている。このような火山地域では人間生活に恵み（安らぎを与える自然景観、健康を増進させる温泉、地熱発電、豊かな土壌が生産する農林産物等）と災い（火砕流、土石流、泥流、斜面崩壊等）をもたらしている。図2は火山の恵み（正の因子）・災い（負の因子）と火山工学の関係を示している。図に示すように人間と火山が良好な関係を保ちながら共生していくために火山工学が解決していかなければならない課題が多数存在している。

本節では、表1を参照しながら火山工学が対象とする研究課題を列挙し、説明を加える。

3.1 火山体の構造と噴火予測に関する研究

火山地域における地下の状態を知るためには、図3に示すように火山体の構造と火山の成長の解

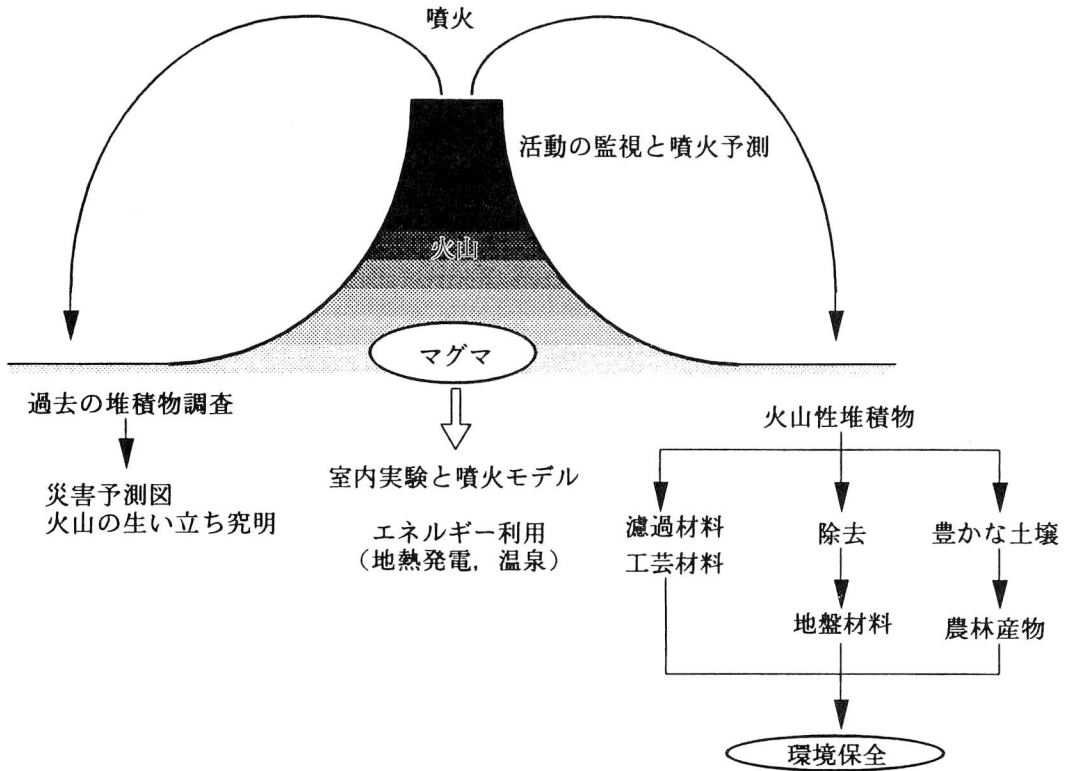


図3 火山体の構造と噴火予測，火山地域の環境特性の評価手法に関する研究内容

明，噴火履歴の解析，噴火様式の多様性を調べるためのモニタリング，実験的手法を含んだ噴火のメカニズムの解明に関する研究を行なう必要がある。噴火予知と噴火様式の予測は，突然やってくる火山災害を事前に避けたり，軽減する上で最重要課題である。

3.2 火山噴出物，マグマ溜まりのエネルギーの利活用に関する研究

図3は本研究課題を模式的に示したものである。噴火によって火砕流や降下火山灰等の火山噴出物が厚く堆積した地盤や環境は噴火前とは一変し，荒廃している。このような火山噴出物を取り除き，利用すれば環境復元が早まるばかりでなく，人間生活に必要な用地，好ましい景観等を与えてくれる。火山噴出物は現在，地盤材料，建築資材，濾過材料，工芸材料などに利用されているが，その程度は低い。新たな利活用分野を開拓するためには噴出物の鉱物組成，物理・化学的性質，力学的性質を把握する必要がある。細粒の火山灰は農耕に適した肥沃な土壌を供給してくれる。そのメカニズムを定量的に把握するためには火山性の細粒物質の発生機構の解明が必要である³⁾。マグマ溜まりの持つ熱エネルギーを取り出せれば，人間生活に必要な多量のエネルギーを供給することができるだけでなく，噴火の規模をわずかながらも縮小できる。

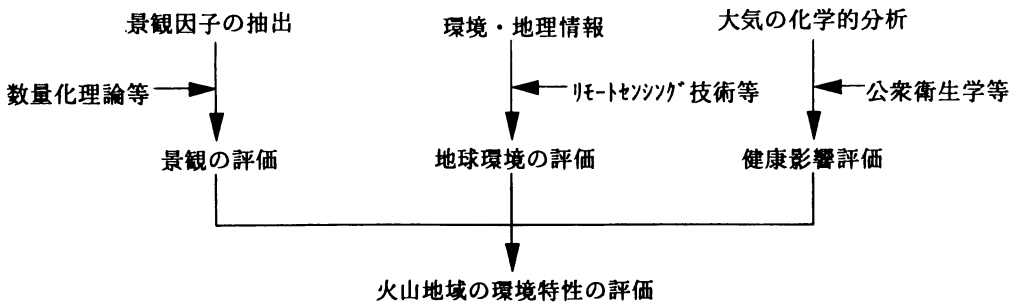


図4 火山地域の環境特性の定量化とその評価手法に関する研究内容

以上のことは次のようにまとめられる。

- 1) 物理的性質を活用した利用方法
- 2) プレート、マグマ溜まりのもつエネルギーの利用方法
- 3) 地盤材料としての新たな活用方法
- 4) 火山性の細粒物質の発生と土壌化への機構解明
- 5) 火山噴出物の利活用に伴う環境保全

3.3 火山地域の環境特性の定量化とその評価手法に関する研究

火山地域の自然景観は変化に富み、人間の心に安らぎを与える風光明媚な観光地となっており、地獄と極楽を表現できる景観は古代から信仰の対象ともなっている。この研究課題がカバーすべきテーマは次のようなものであり、それらの関係が図4に示される。

1) 火山の景観に対する定量的な評価

この研究は次のような手順で進められる。まず、活火山地域における景観要素を調査する。次に、火山のもつ風光明媚な自然景観に関する要因を分析する。そして、火山地域に特有な景観要素を抽出し、定量化を図る。最後に、汎用性のある手法を開発する。これらの手順をすすめるにあたっては、多変量解析の中の数量化理論を適用することが考えられる。

2) 火山噴火に伴う大気汚染の影響評価

火山の噴火に伴って微粒物質が大量に成層圏に放出されると、それから生成された硫酸塩等によって太陽光線が遮断され、地球規模で気温が低下するなど、長期に渡って地球環境に影響を及ぼす。このような影響を定量的に評価する必要がある。

3) 火山灰・火山ガスなどの健康影響と安全対策の確立⁴⁾

活火山地域で生活する住民は長期慢性的に火山灰・火山ガスの影響を受けている。したがって、住民の呼吸器への影響についての疫学調査を行い、有効な対策を立てる必要がある。また、有毒火山ガスに対する疾患については患者の性別、年齢、既往症、発作時の症状等とともに火山の活動状

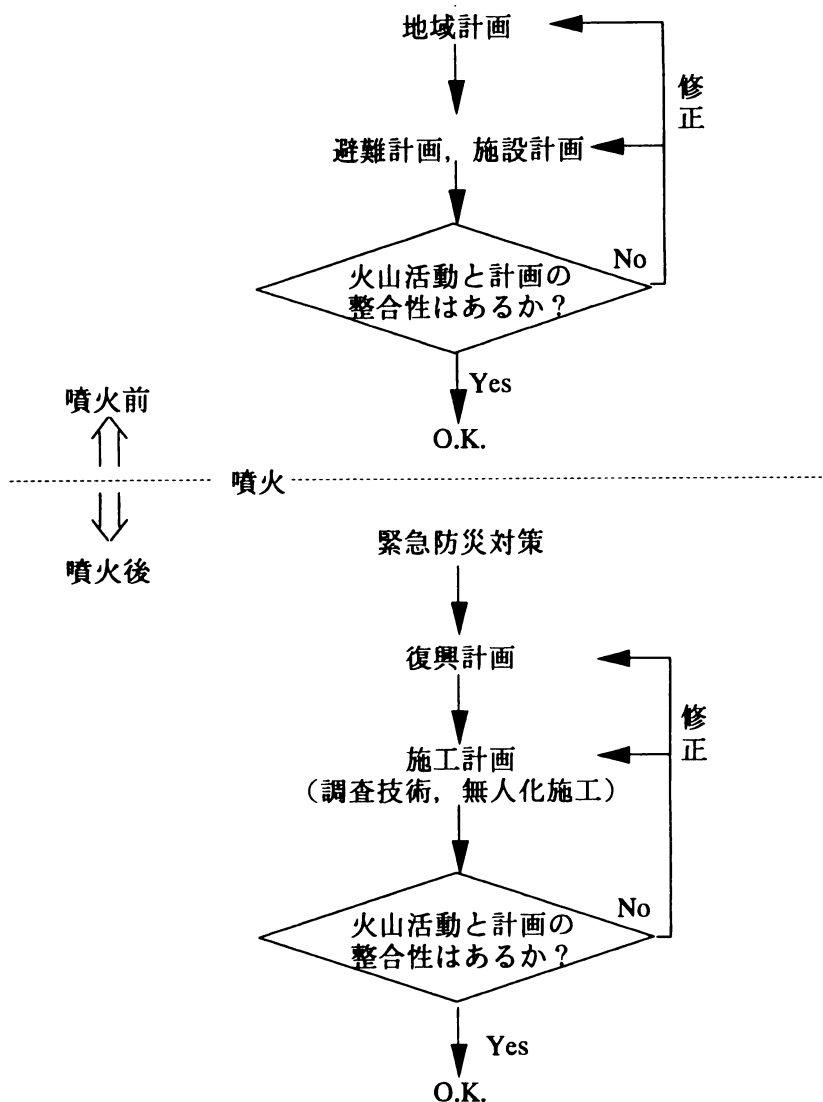


図5 火山地域における計画の階層と考慮すべき事項

況，気象状況などの情報についての解析を行う必要がある。

3.4 活火山地域における地域計画および各種構造物の計画・設計・施工技術に関する研究

3.3節で述べた研究の成果を基礎として，環境に適合し，景観に調和した地域計画と施設の配置計画，生態系などの環境に適合し，景観に調和する各種構造物の設計，および，無人化施工などの施工技術に関する研究を発展させなければならない（図5参照）。そのための研究テーマとして3つの研究を列挙した。

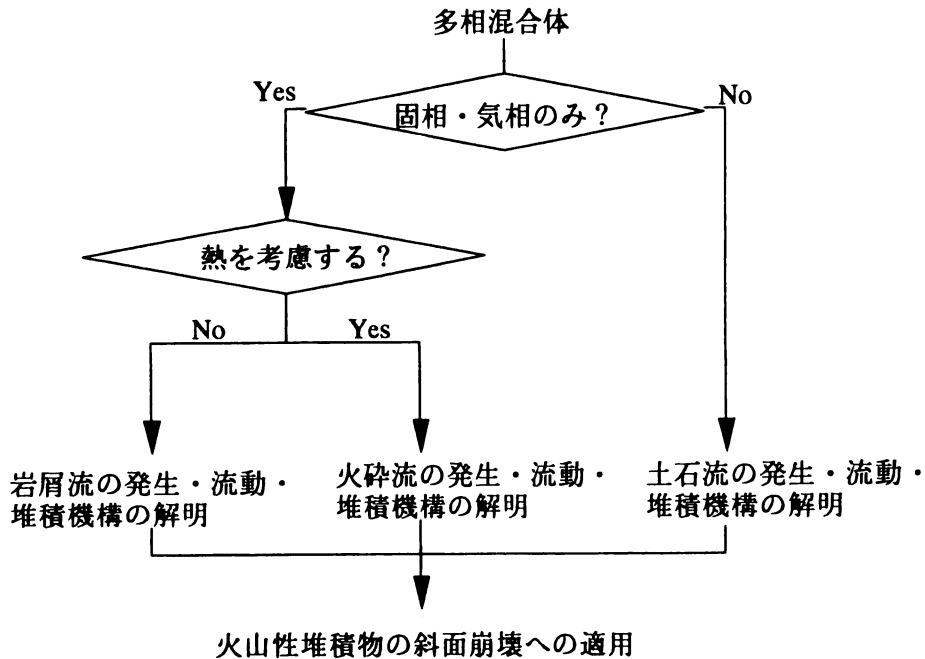


図6 火山噴出物の挙動に関する研究内容

1) 生態系などの環境、景観に調和した地域計画、各種構造物の計画・設計に関する研究
 地域計画を立案する際に、防災施設、公共施設、住宅などの配置を火山地域に特有な景観に調和させ、生態系などの環境にも配慮した方法を開発する。

2) 地域復興計画手法に関する研究

火山噴火により荒廃した地域を環境および景観を考慮して、迅速に復興させるための地域計画の策定手法を開発する。

3) 無人化による調査技術・施工技術の開発に関する研究

火山噴火時にも調査・施工できる技術など、火山地域特有の調査方法、施工方法の研究を行う。

3.5 火山噴出物の挙動に関する研究

火山体の地形は不安定であり、降雨等による浸食を受けやすい性質を有している⁵⁾。また、火山灰が不安定な状態で山体に堆積していることが多いため、地震や集中豪雨の際に斜面崩壊、土石流、火山泥流、岩屑流、粉体流等を引き起こす要因になっている。従って、本節では火山性堆積物の崩壊機構、火砕流、土石流、火山泥流などの発生・流動・堆積機構、溶岩の崩落機構等の解明に関する次のような研究課題を対象とする(図6参照)。

1) 岩屑流などの発生・流動・堆積機構に関する研究

- 2) 土石流等の発生・流動・堆積機構に関する研究
- 3) 火砕流などの発生・流動・堆積機構に関する研究
- 4) 火山性堆積物の崩壊機構に関する研究

北村らは南九州しらす地盤での斜面崩壊機構，土石流の発生・流動・堆積機構を解明し，それらに起因する土砂災害を予知，防災・減災するための，雨量，サクシオン，土中温度の現地計測システムの確立をめざし，さらには，それらの挙動を解析するための数値力学モデルの提案を行っている^{6), 7)}。

3.6 火山噴火に対する情報伝達および火山災害に関する教育・啓発の研究

火山噴火時の情報伝達と火山に関する教育・啓発についての研究を行なう必要がある。また，警戒区域の設定，長期避難，災害保障に関する諸問題など火山特有の対策を確立する必要がある。間欠的に生じる噴火の記録に書かれている内容を教育・啓発のために伝承することも重要である。火山が我々に災いをもたらすのは一時的であることが多く，大半の期間は我々に恵みをもたらしてくれる。このようなことを教育・啓発の中で取り上げていくことも大切である。従って，本節では次のようなテーマを研究対象とする。

- 1) 火山噴火時の情報伝達に関する研究
- 2) 火山災害に関する教育・啓発についての研究

4. 研究の波及効果（あとがきにかえて）

火山に関する工学的な研究を推進し，総合工学としての火山工学の確立を目指した学問体系に関する考察を加えた。このような学問分野が確立されると次のようなことが明かにされる。

- 1) 火山噴火に関する基礎的な研究が進み，噴火の予測精度が向上する。
- 2) 火山噴出物などの新たな利活用方法が開発され，また，火山噴出物が豊かな土壌となるプロセスが解明される。
- 3) 活火山地域の環境および景観に関する特性が明かになり，環境影響調査・評価手法が確立される。
- 4) 環境や景観と調和した地域計画，あるいは，防災施設をはじめとした各種構造物の計画・設計・施工手法が確立し，新しい施工技術の開発も期待される。
- 5) 火砕流，火山泥流，火山性堆積物の崩壊など，火山噴出物の様々な挙動が解明されていく。
- 6) 火山噴火の際の情報伝達の方法が確立したり，火山に関する教育・啓発の手法が確立され，活火山地域に住む住民，観光客が火山の恵み，災いについてのより深い理解を得ることができると期待される。

以上のことより，活火山地域における人間生活を快適にすることに貢献できるだけでなく，周辺

の環境や景観を保全することが可能となり、安全で豊かな生活基盤の創出に寄与できるものと考え
る。

謝辞

筆者は土木学会の「火山災害と防災・対策に関する研究小委員会」(委員長：陶野郁雄)、「火山工学研究小委員会」(委員長：陶野郁雄)に所属し、活動が続けてきている。陶野委員長以下、委員の皆様から本講座要旨に含まれる内容について貴重なご意見をいただいた。ここに、深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 陶野郁雄：複合災害と総合的災害予測図，第四紀研究，Vol. 32, No. 5, pp. 28-41, 1993.
- 2) 陶野郁雄：火山工学の確立を目指して，火山工学シンポジウム－火山工学の確立を目指して－
発表論文集，pp. 1-2, 1994.
- 3) 例えば，小野晃司，渡辺一徳，星住英夫，高田英樹，池辺伸一郎：阿蘇火山中岳の灰噴火とその
噴出物，火山，第40巻，第3号，pp. 133-151, 1995.
- 4) 矢野栄二：火山活動の健康影響，公衆衛生，第58巻，第9号，pp. 607-611, 1994.
- 5) 陶野郁雄：災害予測図作成手法に関する基礎的研究，文部省科研費報告書，126p., 1991.
- 6) 北村良介：熱的性質を考慮した不飽和土の力学特性のモデル化に関する研究，文部省科研費報
告書，1996.
- 7) 北村良介，宮本裕一：土中水の浸透と蒸発のモデル化について，雨水技術資料，Vol. 24, pp.
77-83, 1997.