

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710182

研究課題名（和文）不均質な地質構造をもつ岩盤中でのダイク発達メカニズムの解明

研究課題名（英文）Mechanism of dike growth within a mechanically-heterogeneous host rock

研究代表者

下司 信夫（GESHI NOBUO）

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：70356955

研究成果の概要（和文）：

火山体など不均質な地質構造を持つ母岩中に貫入するダイクの形状を、三宅島やレユニオン島における野外観察により実測し、非供給ダイク・供給ダイクにおける鉛直方向のダイク開口幅分布の特徴と両者の違いを明らかにした。実測された母岩の物性不均質性を考慮した有限要素法により、母岩の物性不均質の規模がダイク形状に与える影響について定量的に評価した。これらに基づき、ダイクの発達過程が割れ目噴火の位置や推移に与える影響を評価した。

研究成果の概要（英文）：

The shapes of dikes intruding the layered host rock of Miyakejima and Reunion Island are examined by the field observations. Structural difference between feeder and non-feeder dikes are revealed. Numerical FEM simulations indicate that the variation of dike thickness observed in Miyakejima and Piton de la Fournaise can be broadly explained in terms of layer-stiffness differences of one or two orders of magnitude. Based on the results, the effects of the dike propagation process controlled by the host rock structure on the location and process of fissure eruptions are evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、自然災害科学

キーワード：火山・噴火・マグマ・噴火推移予測

## 1. 研究開始当初の背景

岩盤中のマグマの移動は、マグマの圧力で岩盤中に割れ目が形成され、その中をマグマが移動する“ダイク”の形で行われる。マグマの通路であるダイクがどこに向かって成長

するかを予測することは、割れ目噴火の位置や噴火時期の正確な予測には欠かすことができない情報となる。

これまでの研究では、ダイクの貫入方向は広域の応力場に支配されるという考え方が広

く受け入れられているが、不均質な媒体中に形成されるダイクの構造やその発達過程はその観察事例が乏しいためほとんど扱われてこなかった。しかしながら地球内部におけるマグマの移動・上昇は、マグマとその周囲の岩盤との力学的な相互作用に強く支配されている。特に、地表直下の火山体内部は緻密な溶岩と脆弱な火山砕屑物の層からなり、また断層や割れ目などが多数存在するなど、物性の不均質が極めて大きく、ダイクの成長が岩盤の不均質な物性によって強く影響を受けている。実際、割れ目噴火をもたらした供給ダイクが、軟弱な堆積物層の分布によって方向を変えたり、既存の弱線で捕捉されたりする例が報告されている。従って、マグマの上昇メカニズムのより高度な理解とそれに基づく割れ目噴火の位置等の予測には、広域応力場の効果のほかに、地質・物性的に不均質な岩盤の影響を十分考慮したダイク貫入メカニズムの理解が不可欠である。

これまで、過去に形成され地表に露出したダイクの構造解析やその中のマグマの運動方向の復元 (Geshi, 2000, 2005, 2008) を行い、ダイク貫入メカニズムの理解が進められてきた。その過程で、ダイク周辺の母岩の地質構造や物性構造を反映して、ダイクの規模 (厚さ) や貫入方向が変化する事例があることを見出した (たとえば Geshi, 2008)。そこで、周辺母岩の地質構造や物性構造とダイクの形状 (姿勢、厚さやその延長方向への変化など) やその形成過程との関係を精査し、ダイク発達プロセスを野外の露頭観察から明らかにすることにより、不均質岩盤中のダイクの成長メカニズムを明らかにする。本研究によって、より精密なマグマの移動過程の理解を進めるとともに、山腹割れ目噴火の短期・長期予測に貢献し得るダイク成長モデルの構築を目指す。

## 2. 研究の目的

マグマの移動・上昇は、マグマとその周囲の岩盤との力学的な相互作用に強く支配されている。特に、地表直下の火山体内部は緻密な溶岩と脆弱な火山砕屑物の層からなり、また断層や割れ目などが多数存在するなど、物性の不均質が極めて大きく、ダイクの成長が岩盤の不均質な物性によって強く影響を受けている。

ダイクの形状や発達プロセスは、母岩の物性の不均質の影響を強く反映する。ダイクの開口厚さは、ダイクを満たすマグマの過剰圧と、周囲の母岩のヤング率、ポアソン比などの物性に依存する。物性的に均質な弾性体中で一様な過剰圧をもつマグマで満たされたダイクの形状は、中心部で最も厚く末端に向かって薄化する、いわゆるレンズ状となる。しかし、十分圧密を受けていない地殻浅部で

は、物性の不均質が大きいため、ダイクは母岩の物性不均質を反映した構造となる。とりわけ、強度の大きい溶岩流と、未固結の火砕物の成層構造をもつ火山体内部は大きな物性の不均質が予想される。

マグマの上昇メカニズムのより高度な理解とそれに基づく割れ目噴火の位置等の予測には、広域応力場の効果のほかに、地質・物性的に不均質な岩盤の影響を十分考慮したダイク貫入メカニズムの理解が不可欠である。そこで、本研究では周辺母岩の地質構造や物性構造とダイクの形状 (姿勢、厚さやその延長方向への変化など) やその形成過程との関係を精査し、ダイク発達プロセスを野外の露頭観察から明らかにすることにより、不均質岩盤中のダイクの成長メカニズムを明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

火山体の断面に露出するダイクの構造 (姿勢・厚さ・貫入方向など) と、ダイクが貫入する岩盤の地質構造 (構成岩石の種類や物性、亀裂系の発達) の関係を、多数のダイクが露出する大規模な連続火山断面が観察できる三宅島等の火山で記載し、野外調査で採取したダイクおよび母岩の各種物性の測定結果と総合して、ダイクと母岩の力学的相互作用について定量的な評価を試みた。

三宅島及びレユニオン火山の陥没カルデラの壁に露出する多数のダイクの厚さ分布を遠望観測により測定した。それらの母岩はスコリア質の火砕物と溶岩流からなり、大きな物性不均質が予想される。さまざまな厚さの溶岩流を挟む火砕物中に貫入しているダイクの厚さを測定し、また遠望観測によりダイクの母岩の岩相も合わせて記載し、母岩物性のコントラストがダイクの形状に与える影響を評価した。遠望観測においては対象物との距離の正確な測定が必要となる。そのため簡易型のレーザ測距計を使用し、ダイクと観測点との距離の測定を行った。

また、野外におけるダイク構造の発達過程を定量的に評価するため、母岩の物性を用いたダイクの開口幅の分布のシミュレーションを行なった。数値シミュレーションには、有限要素法解析ソフトウェア ANSYS を使用した。

## 4. 研究成果

(1) 遠望観測によるダイク厚さの定量的測定方法の開発

三宅島およびレユニオン島に露出するダイクの厚さを遠望観測による写真測定によって測定した。測定地点から対象とする露頭までの距離は 1 km~1.5 km であるため、望遠写真による対象物の大きさの測定方法を検討した。レンズによる画像の歪みの評価とその低

減方法を検討し、大きさが既知の対象物の測定を行い画像処理を行うことで、写真測定による誤差を 20%程度にできることを確認した。

三宅島におけるカルデラ壁の遠望観察及び写真計測により、カルデラ壁に露出するダイクを約 200 枚識別した。これらをその地質構造から、当時の地表面に到達し割れ目噴火を引き起こした供給ダイクと、火山体中で貫入を停止した非供給ダイクに区別した。観察したダイクの 90%以上が非供給ダイクであった。

### (2) ダイク鉛直方向形状の実測

非供給ダイクの形状を把握するために露頭面に沿って鉛直方向にダイクの厚さ分布を測定した。観察されたダイクは長さ 65~350m、最大開口幅 0.5~2.5m である。第一近似的な非供給ダイクの形状は、上端部から離れるにつれてダイクの開口幅が増加し、先端から数 10m の地点で最大となる。それより下方では緩やかにダイクの厚さが減少する。

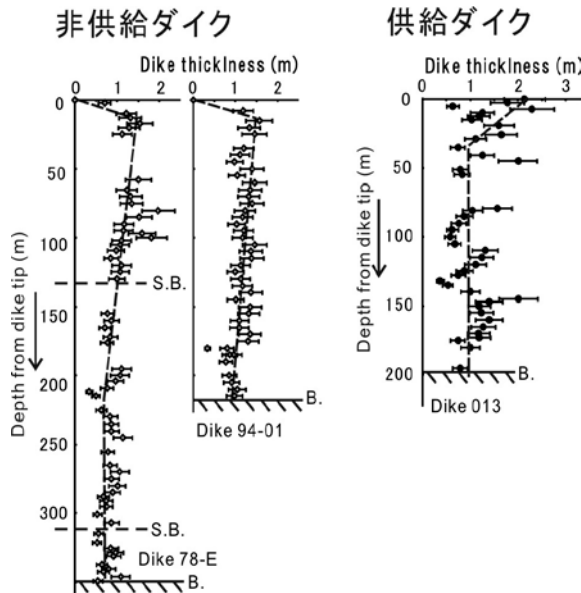


図 1 三宅島における非供給ダイクと供給ダイクの鉛直方向の厚さ分布の例。Geshi et al., 2010 より改変。

一方、供給ダイクの場合にはそのようなダイクの厚さの変化は顕著ではなく、火口直下から数 10m の範囲で次第にダイクの開口幅が小さくなり、ある程度より深い領域ではほぼ一定の開口幅を持つことが明らかになった。本研究で明らかにされたダイクの形状は、ダイク貫入から固結までのプロセスの累積であり、ダイク貫入時の動的な形状のスナップショットではないことに留意する必要があるが、地表に到達したダイクと地下で停止したダイクの間形状の違いを明らかにす

ることができた。

このような非供給ダイクと供給ダイクの形状の違いは、非供給ダイクがその貫入過程ではダイク先端部に大きな過剰圧が加わり、ダイクを満たすマグマの浮力によってダイク上部での開口幅が大きくなることを反映している可能性がある。また、地表に向かって開口した供給ダイクの場合には、ダイク壁の弾性変形が解消された結果、一定のダイク厚さを保持したものと考えられる。

ただし、そのダイクの厚さの変化は通常の母岩の物性を仮定するとダイクの長さに対するダイク厚さ変化が大きいため、極めて小さいヤング率を仮定しなければならない。これは、一般的な地殻を構成する岩石に比べ、若い火山体浅部の母岩が未固結で極めてやわらかい物性を持っていることを示唆していると考えられる。

### (3) ダイク母岩の岩相・物性とダイク形状の関係の解明

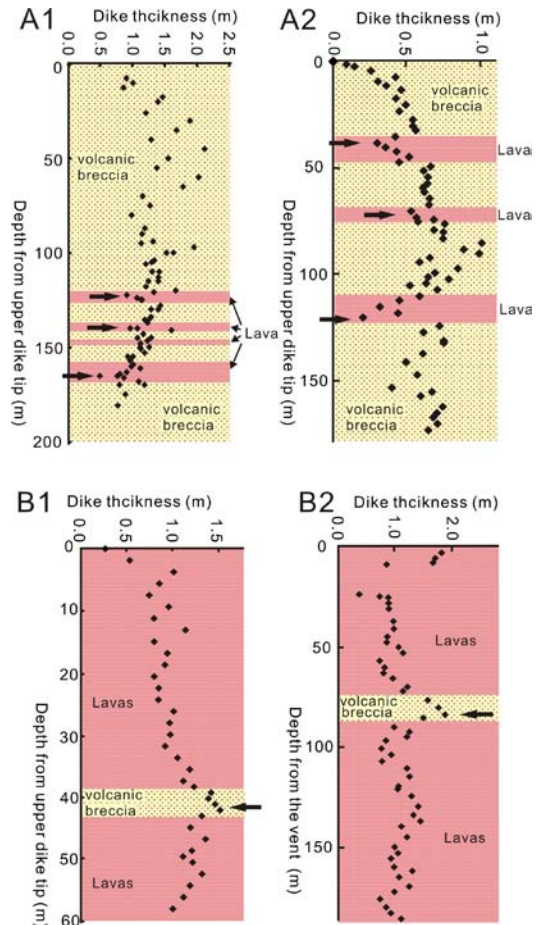


図 2 母岩の岩相不均質とダイク厚さの変化。母岩の不均質性に対応したダイクの局所的な厚さの変化を矢印で示す。(Geshi et al., 2012 より改変)

三宅島におけるダイクの母岩はおもに火砕

岩からなり、その中に厚さ1m~12mの溶岩流が挟まれる。またレユニオン島のダイクの母岩は溶岩流からなり、その中に薄い火砕物の層が挟まる。ダイクの厚さ分布は、おおむね中央部が最も厚く、上下端に向かって緩やかに減少するレンズ状をしている。これは弾性変形をする母岩中における理論的な割れ目の形状と一致する。

しかし、実際の火山体のように母岩中に溶岩流や火砕物からなる物性的に不均質な構造が存在する場合、溶岩流の部分では局所的にダイクの厚さが半分程度にまで減少する。また逆に、火砕岩の部分では局所的にダイクの厚さが数10%程度増加する(図2)。ダイクの厚さの局所的な現象が顕著になるのは、不均質な層の厚さが約2m以上の場合であり、それよりも不均質層が薄い場合にはその影響は顕著ではない。ダイク母岩を構成する溶岩流及び火砕岩の物性強度を火山体のほかの部分に露出する同様の岩相の部分から推定すると、均質・緻密な溶岩層と、固結度の低い火砕物の層間のヤング率コントラストは数倍から100倍に相当すると考えられる。

ダイク母岩の物性を均質と仮定すると、ダイクの全体的な形状と母岩物性の推定値から、ダイクを満たしていたマグマの過剰圧を見積もることができる。測定したダイクの開口厚さの分布から見積もった過剰圧は1~7MPa程度である。

この過剰圧を利用し、ダイクの局所的な厚さの変化を評価した。溶岩流部分の物性をヤング率E=10GPa、火砕物部分をヤング率1GPaとして、有限要素法を用いてダイク形状を計算すると、両火山において観察された、不均質母岩層におけるダイクの厚さの変化を再現できた(図3)。

#### (4) 火山噴火推移予測への応用

本研究によって、母岩の構造不均質がダイクの開口幅に与える影響が明らかにされた。この結果を考慮すると、より強度の小さい母岩部分に大きな応力集中が起こることを示している。そのため、より強度の大きい母岩が局所的に分布している場合には、ダイクの進展が局所的に抑制され、より強度の弱い母岩部分により割れ目噴火が誘導される可能性があることが示された。また、ダイクの厚さはその中を流れるマグマの流量を規制するため、ダイクの厚さの厚い、より強度の小さい母岩部分にマグマの流量が集中する可能性を示している。これは、ダイクの伸展は母岩の強度の小さい部分に指向する傾向があることを示唆する。火山体内部の強度分布を地質構造から推測することができれば、ダイクがどの部分に貫入しやすいかを推測する手がかりとなり、割れ目噴火の場所の予測にも貢献する。

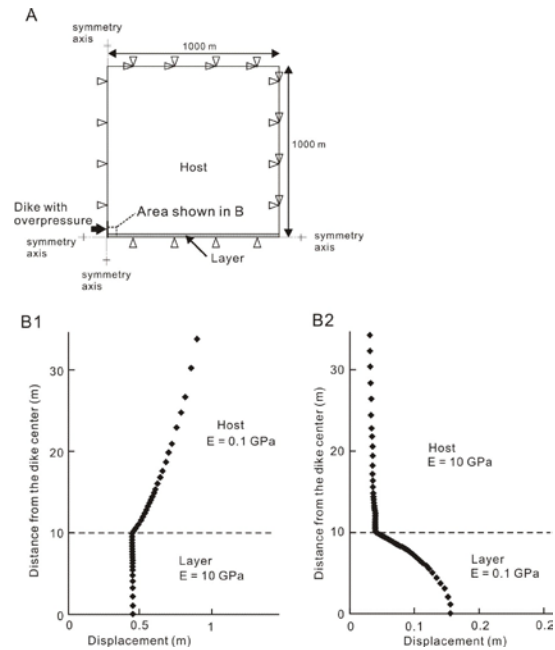


図3 有限要素法による母岩物性不均質状態におけるダイク厚さの局所的な変化. A: 実験の概要、B: 異なる強度の層を与えた時のダイクの開口幅の分布. (Geshi et al., 2012)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

Geshi N., Acocella V., Ruch J. (2012) From structure- to erosion-controlled subsiding calderas: evidence thresholds and mechanics. *Bulletin of Volcanology*. doi: 10.1007/s00445-012-0617-x 印刷中 査読有

Geshi N., Kusumoto S., Gudmundsson A., (2012) Effects of mechanical layering of host rocks on dike growth and arrest. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 223-224, 74-82. 査読有 doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.02.004

Geshi N., Nemeth K., Oikawa T., (2011) Growth of phreatomagmatic explosion craters: a model inferred from Suoana crater in Miyakejima Volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 30-38. 査読有 doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.11.012

Geshi N.、Kusumoto S.、Gudmundsson A.、  
(2010) Geometric difference between  
non-feeder and feeder dikes. *Geology*, 38,  
195-198. 査読有 doi:10.1130/G30350.1

〔学会発表〕 (計 2 件)

下司信夫、楠本成寿、A. ガドマドソン (2010)  
母岩物性の不均質を反映したダイクの発達  
過程. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会  
幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市)  
2010 年 5 月 23 日

Nobuo Geshi、Shigekazu Kusumoto、Agust  
Gudmundsson (2010) Dike thickness  
controlled by the layering of the host rock.  
European Geosciences Union General  
Assembly 2010(Austria Center Vienna) 2010  
年 5 月 5 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

下司 信夫 (GESHI NOBUO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情  
報研究部門・主任研究員

研究者番号：70356955