

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 5 月 31 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21510186

研究課題名（和文）火山地域における巨大地すべりと水蒸気爆発の発生要因・頻度・関連性

研究課題名（英文）Causes, frequency, and relationship between huge landslide and steam eruption in volcanic fields

研究代表者

大場 司 (OHBA TSUKASA)

秋田大学・工学資源学研究科・准教授

研究者番号：10272014

研究成果の概要（和文）：地質、年代測定、岩石学的調査により、火山地域での水蒸気爆発と地すべりの発生要因、頻度、関連性を明らかにした。水蒸気噴火と地すべりが相互に関連する場合としない場合があり、さらに、マグマ上昇と関連する場合もある。鳥海火山については、精査に基づき過去 4500 年間の発生頻度と巨大地すべりの関連性を明らかにした。蔵王火山については、1895-96 年噴火の発生要因や短期間での噴火推移を明らかにした。（200 字）

研究成果の概要（英文）：On the basis of geological, chronological, and petrological observation, we investigated the geneses and frequencies of phreatic eruptions and landslides and their relationships. Some phreatic eruptions intimately relate to landslides but others do not; ascending magma also relates to their occurrences. Detailed study revealed the frequencies and relationship of phreatic eruptions and landslides during the last 4500 years at Chokai. Genesis and history of the 1895-1896 eruption at Zao volcano was also studied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
平成 22 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
平成 23 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：自然災害，火山，土砂災害

1. 研究開始当初の背景

火山地域における巨大地すべりは、St. Helens 火山 1980 年噴火のように、マグマ活動に伴って火山体が崩壊する現象がよく知られており、古くから研究が行われている (Siebert et al. 1987)。一方、マグマ活動と直接関係しない大規模地すべりも、しばしば火山地域で発生している (例えば木曾御嶽山 1984 年御岳崩れ、澄川温泉 1997 年地すべり、

荒砥沢・ドゾウ沢など 2008 年宮城岩手内陸地震による栗駒山周辺の斜面崩壊)。火山周辺に多数認められる古い地すべりの原因は、火山活動や熱水活動 (温泉地すべり) であると考えられることが多い (例えば角他, 1987)。ところが近年の地すべりのうち、御岳崩れや栗駒山荒砥沢・ドゾウ沢の斜面崩壊は、地震が引き金となって発生したものであり、温泉地すべりと考えられている過去の地すべり

の中には、地震が要因となっているものも多そうである。地震ともマグマ活動とも関係無く生じた澄川温泉地すべりのような例もあり、火山地域における大規模地すべりの要因は多様であるらしい。今後の大規模な地すべりに対する防災のためには、過去の地すべりの要因を正しく理解する必要がある。地すべりの要因を解明するため、研究代表者と研究分担者らは、すでに栗駒山（岩手宮城内陸地震に伴うものを含む）およびその他の火山で生じた地すべりの発生要因調査を開始している（大場・林，2008；天野他，2008）。

今回我々が着目したのは、水蒸気爆発と地すべりの関連性である。火山での地すべりは、しばしば水蒸気爆発を伴う。規模の大きなものとしては1888年磐梯山噴火(Fujinawa et al. 2008)、比較的小規模なものでは1997年澄川温泉地すべりが良い例である（林他，1997）。我々は両者の関連性に興味があるが、水蒸気爆発の発生機構が良く理解されておらず、現状では関連性の議論が困難である。我々の研究組織は、これまで水蒸気爆発の噴火機構に関する研究を世界的にリードしており、過去数年にわたって高い研究成果を挙げている（林他，1997；Ohba and Kitade, 2005；Ohba et al. 2007；Fujinawa et al. 2008）。水蒸気爆発という現象は、大きな災害をもたらす可能性があるにもかかわらず、ルアペフ火山など限られた研究例（Christenson, 2000）を除き、世界的に注目されていない研究対象である。そのため、水蒸気爆発の発生機構を理解するには我々の従来の成果だけでは不十分であり、さらなる調査研究が必要である。とりわけ地すべりに関連した水蒸気爆発については一層の研究が必要である。岩手宮城内陸地震以降、我々は火山地域の地すべり調査を行っており、これを機として、水蒸気爆発との関連性を系統的に調査するという本研究の着想に至った。また、この研究の性質上、研究成果は防災対策へ生かされるべきである。防災上は、メカニズムや因果関係のみならず「次はいつ発生するのか」という点が極めて重要となる。そのため、発生頻度の評価を行う必要があると判断した。発生頻度評価は、地質・地形調査、年代測定等の基礎的な地球科学的調査を基に遂行できるものであり、本研究の目的の一つとした。

2. 研究の目的

本研究では、火山地域における水蒸気噴火と地すべりの発生要因、頻度、関連性を明らかにする。特に火山熱水系の関与、マグマ上昇率、構造場の影響などに着目し、地質学的・地球物質科学的な観点に基づいた解析を行う。主に東北日本の活火山を対象とし、本地域における火山防災への基礎情報を提供

する。

3. 研究の方法

本研究における主要な研究手法は、(1)地質・地形調査、(2)年代測定、(3)採取試料の顕微鏡観察および化学分析である。

(1) 地形・地質調査

地すべりについては地すべり地形観察を重視し、地すべりに伴う山麓堆積物の地質調査も行う。水蒸気噴火については火山火口付近における精緻な地質調査を重点的に行う。水蒸気噴火は小規模である場合が多いため、その火山灰は火口近傍に薄く堆積するだけである。そのため、火口近傍での精査が必要となる。

(2) 年代測定

火山灰等の試料の直下より有機質試料を複数採取し、AMS 放射性炭素年代測定を行う。これにより、噴火・斜面崩壊の年代を明らかにする。一露頭から層序に従って連続的に採取した試料の年代測定を行うことにより、発生頻度が明らかとなる。

(3) 分析

採取した試料については、電子顕微鏡や分析機器を用いて化学分析、鉱物同定、組織観察、粒度測定等を行う。基本的には火成岩岩石学と同様の手法を用いるが、水蒸気噴火噴出物や斜面崩壊堆積物の生成過程や生成条件を明らかにできる分析を行う。これにはSEM-EDSによる組織観察・組成分析、XRDによる鉱物同定、粒度分析などが含まれる。

上記(1)～(3)の結果を総合的に解析し、水蒸気噴火と地すべりの発生要因と関連性を明らかにする。東北地方の複数の火山を研究対象とし、助成期間初期にはできる限り多数の例を概観し、概要を把握する。その結果を検討し、期間後半に精査を行う火山を選定する。

4. 研究成果

統研究グループによる期間前からの研究成果を基盤とし、助成期間前半に多数の火山について概要調査を行った結果、本研究の目的の大部分が達成された。特に水蒸気噴火の発生要因、地すべりの発生要因、両者の関連性について重要な知見が得られ、その内容を2011年に査読付論文（下記雑誌論文3）として公表した。その概要は次の通りである。

水蒸気噴火噴出物の産状や構成火山灰粒子の組成（鉱物組成、化学組成）から、次のことが明らかとなった。水蒸気噴火は火山体内部に発達した熱水系を起源とする場合が多い。山体内部の熱水が火口から水蒸気（+液体の熱水）として放出される際に水蒸気噴火が起きる。その際、熱水系を構成する熱水変質岩の破片や熱水から沈殿した鉱物を多く含んでいる。水蒸気噴火の発生には、マグ

マ上昇と斜面移動現象（地すべりなど）の観点から次の4パターンが考えられる。（1）マグマ上昇と斜面移動の両方に伴う場合（セントヘレンズ1980年噴火など）、（2）マグマ上昇を伴い、斜面移動を伴わない場合（2000年有珠山噴火や1990年雲仙普賢岳水蒸気噴火）、（3）マグマ上昇を伴わず、斜面移動を伴う場合（おそらく1888年磐梯山噴火がこれにあたる）、（4）マグマ上昇と斜面移動の両方を伴わない場合（秋田焼山1997年噴火や「噴気爆発」とされる噴火）である。巨大地すべりなどの斜面移動現象の発生要因は多様である。マグマ上昇に伴って斜面移動現象が発生する場合は、上昇マグマによる力学的変形（地殻変動）、マグマからの熱や火山ガスによる火山体内部圧力の上昇、火山性地震が要因となる。上昇マグマを伴わない場合は、降雨・融雪・熱水による山体内部の内圧上昇と降伏強度の低下、それに構造性地震が要因となる。

助成機関後半には、精査を行うフィールドとして、鳥海火山と蔵王火山を選定した。鳥海山については、過去4500年間の水蒸気噴火の発生頻度と発生要因、その巨大地すべりとの関連性について精査を行った。蔵王火山については、1895-1896年水蒸気噴火の推移と成因について精査を行った。鳥海火山に関する成果は査読付論文1編（下記雑誌論文1）と査読無論文1編（下記雑誌論文2）に公表した。蔵王火山に関する研究成果は査読付英文雑誌に現在投稿中である。

鳥海火山では過去4500年間、少なくとも54回の噴火が発生しており、平均83年に一回の噴火が生じている。一方、その間に発生した山体崩壊は1~2回である。その多くの噴火がマグマ水蒸気噴火である。試料分析の結果、火山体内部熱水系にマグマが貫入してマグマ水蒸気噴火が発生していることが明らかとなった。マグマ優勢型のマグマ水蒸気噴火が優勢であり、熱水優勢型のマグマ水蒸気噴火や水蒸気噴火の頻度は高くない。ところが、巨大な山体崩壊が生じた2500年前には、一時的に熱水優勢型のマグマ水蒸気噴火や水蒸気噴火が繰り返し発生している。これは山体崩壊により一時的に火山体内部の熱水系の深度が浅くなり、熱水が地表に放出されやすくなった可能性がある。地表が新しい溶岩に覆い尽くされるにつれ、マグマ優勢型噴火が支配的になっている。このような山体崩壊による熱水系の状態の変化は、水蒸気噴火の発生要因の一つとなるようである。

蔵王火山については、明治時代の噴火に焦点を当てた。この活動は斜面移動を伴っておらず、地表岩石の移動による熱水減圧を伴わない。水蒸気噴火はマグマ上昇に伴う熱水系の内圧上昇によるものと考えられる。この水蒸気噴火は約7ヶ月継続し、断続的に噴火が

生じている。精緻な地質調査により、その噴火推移と噴出量や噴火様式の時間変化が明らかとなった。

鳥海火山の精緻な調査を行った結果、付随的な成果が得られ、今後の研究へ繋がる問題点が見いだされた。鳥海火山山麓に於いて斜面移動に伴う堆積物の精査を行ったところ、大規模山体崩壊堆積物（2500年前）の上位に、多数の土石流・泥流堆積物が重なることが明らかとなった。この成果については査読無論文（下記雑誌論文2）にて簡潔に報告したが、詳細を明らかにするためには今後も継続的に調査を行う必要がある。これまでの調査の結果、鳥海火山にて最も警戒すべき火山災害は土石流・泥流である。その発生には水蒸気噴火が関与することがある。その水蒸気噴火の発生には火山体内熱水系が関与していることから、火山体内部の水と火山災害の関係を解明することは、防災上重要である。当研究グループでは、今後はそのような観点での研究を展開する計画である。

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8件）

1. 大場司・林信太郎・伴雅雄・近藤梓・葛巻貴大・鈴木真悟・古木久美子, 最近4500年間の鳥海火山の噴火活動—湿原堆積物に保存された火山灰層の解析, 火山, 査読あり, 2012印刷中

2. 大場司・林信太郎・南裕介・近藤梓, 東北太平洋沖地震による誘発噴火と鳥海山火山災害履歴調査, 秋田大学大学院工学資源学研究所付属地域防災力研究センター報告, 査読なし, 6巻, 2012, 18-28.

3. 大場司, 熱水変質鉱物に富む火山噴出物—火山直下熱水系との関係, 噴火機構, 繰り返し様式, 地質学雑誌, 査読あり, 2011, 117巻, 344-356.

4. 伴雅雄, 活火山のマグマ供給系進化に関する岩石学的研究の進展—噴出物の高分解時間変化からの知見—, 地質学雑誌, 査読有, 117, 2011, 117巻, 310-328.

5. 林信太郎『東国旅行談』巻之五に見える恐山の「火」の記録, 歴史地震, 査読無, no. 24, 2009, 49-52.

6. Ban M, Iai Y, Hirofumi S, et al., Temporal change of magma feeding system beneath the Gassan volcano, NE Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 査読有, 73, 2009, A83.

7. Shintaro Hayashi, Akira Tsune, Akihiko Fujinawa, Masami Ido, Yoshio HayashiLibra 2: a Gaming Simulation for Learning Evacuation during Volcanic Eruption Crises. 査読有, In: "Games: Virtual Worlds and Reality, Selected papers of ISAGA 2008" E. Bagdonas & I. Patasiene (eds.), 2009, 271-274.

8. T Ohba, K Matsuoka, Y Kimura, H Ishikawa, and H Fujimaki, Deep Crystallization Differentiation of Arc Tholeiite Basalt Magmas from Northern Honshu Arc, Japan Journal of Petrology, 査読有, 50, 2009 1025-1046.

[学会発表] (計40件)

1. 藤縄明彦・小畑大樹, 東北日本弧, 秋田駒ヶ岳火山におけるソレライト, カルクアルカリマグマ系列の地質学的関係. JTABS 第3回ワークショップ, 2011年11月25日, 新橋

2. 大泉涼・伴雅雄・井合穰, 東北日本、月山火山新期噴出物の特徴の変遷(2). 日本火山学会2011年度秋季大会, 2011年10月2日, 旭川

3. 大場司・林信太郎 他3名, 最近3,000年における鳥海火山の爆発的噴火活動および熱水系の発達. 日本火山学会, 2011年10月2日, 旭川

4. 林信太郎, コンデンスミルクとココアによるアア溶岩の実験教材, 日本火山学会, 2011年10月2日, 旭川

5. 大場司・林信太郎他3名, 最近3,000年における鳥海火山の爆発的噴火と熱水系の関連. 2011年日本鉱物科学会年会, 2011年9月9日, 茨城大学

6. 戸田成太郎・大場司・小林淳・林信太郎, 北半島中部に分布する大畑層の地質. 2011年日本鉱物科学会年会, 2011年9月9日, 茨城大学

7. 伊藤なつみ・藤縄明彦, 宮城県鳴子火山における火砕流堆積物の岩石学的検討. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会, 2011年9月9日, 茨城大学

8. 小畑大樹・藤縄明彦, 秋田駒ヶ岳火山, 主成層火山体東部地域の地質と岩石. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会, 2011年9月9日, 茨城大学

9. 藤原健一郎・藤縄明彦・長谷川健, 安達太良火山12万年前の噴火復元. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会, 2011年9月9日, 茨城大学

10. 藤原健一郎・藤縄明彦・長谷川健, 岩手県高倉火山群, 丸森火山の地質と岩石. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会, 2011年9月9日, 茨城大学

11. 伴雅雄・中村潤子・廣谷志穂・林信太郎・大場司・周藤賢治, 東北日本、鳥海山の歴史時代噴火噴出物の岩石学的研究. 日本地質学会118年大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会, 2011年9月9日, 茨城大学

12. 武部義宜・伴雅雄, 東北日本、蔵王火山、熊野岳アグルチネート活動時のマグマ供給系の進化. 日本地質学会118年大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会. 2011年9月9日, 茨城大学

13. T. Ohba, S. Hayashi, M. Ban 他4名, Interaction Between Hydrothermal Systems and Ascending Magma Beneath Chokai Volcano, Japan, During the Last 3,000 Years: Implication from Characterization of Volcanic Ash. IUGG 2011年7月4日メルボルン

14. Ban M., Hirotsugu S., Ishizuka O. Petrologic study of pyroclastic explosion stage in Shirataka volcano, NE Japan: Synchronized eruption of multiple magma chambers, IUGG General Assembly, 2011年7月4日, メルボルン

15. 柴田悟史・緒方武幸・渡部一雄・林信太郎・水田敏夫, 新第三紀花崗岩類中の石英のCL像を用いたマグマ固結末期の熱履歴の解明. 資源地質学会, 2011年6月23日, 東京大学

16. 大泉涼・伴雅雄, 東北日本、月山火山新期噴出物の特徴の変遷, 2010年日本火山学会秋季大会, 2010年10月9日, 京都大学

17. 林信太郎, ジオパークにおけるキッチン火山実験活用の可能性, 2010年日本火山学会秋季大会, 2010年10月9日, 京都大学

18. 葛巻貴大・大場司, 栗駒火山南麓に分布する火砕堆積物—小野田層の層序, 岩石学的特徴およびK-Ar年代, 2010年日本火山学

会秋季大会, 2010年10月9日, 京都大学

19. 森栄慶彦・中島和夫・伴雅雄, 東北日本、蔵王火山の水蒸気噴火噴出物に含まれる変質鉱物. 日本鉱物科学会・年会, 2010年9月25日, 島根大学

20. 伴雅雄, 岩石組織・化学組成から見た東北日本・蔵王山 Z-To-5 テフラ. 日本鉱物科学会・年会, 2010年9月25日, 島根大学

21. 藤縄明彦・伊藤太久, 東北日本弧、安達太良火山に共存するソレアイト、カルクアルカリマグマ系列の進化メカニズム. 日本鉱物科学会・年会, 2010年9月25日, 島根大学

22. 鈴木真悟・山元正継・大場 司・近藤 梓, 姫神山安山岩の層序と K-Ar 年代. 日本地質学会, 2010年9月1日, 富山大学

23. 近藤梓・山元正継・大場司・安井光大・緒方武幸, 碓ヶ関カルデラの層序と K-Ar 年代. 日本地質学会, 2010年9月19日, 富山大学

24. 廣谷志穂・伴雅雄・石塚治, 東北日本、白鷹火山の爆発的噴火期の珪長質マグマの生成機構一副成分鉱物の熔融の証拠一. 日本地質学会, 2010年9月19日, 富山大学

25. Ban, M. and Hirotsani, S., Origin of Quaternary low-K basalts in rear arc side of NE Japan. WPGM, 2010年6月25日, 台北国際会議場

26. 中谷咲子・藤縄明彦, 岩手県高倉火山列の地質と岩石-特にマグマ供給系の変遷について-, 地球惑星科学連合大会, 2010年5月23日, 千葉幕張

27. 伊藤太久・藤縄明彦, 安達太良火山南東部の地質と岩石-特にソレアイト, カルクアルカリマグマ系列の成因について-. 地球惑星科学連合大会, 2010年5月23日, 千葉幕張

28. 林信太郎, ジオパークにおけるキッチン火山実験活用の可能性. 地球惑星科学連合大会, 2010年5月23日, 千葉幕張

29. 阿部昭広, 大場司, 林信太郎, 湿原堆積物に保存されたテフラ層からみた過去 2500年間の鳥海火山の活動頻度と様式, 地球惑星科学連大会, 2010年5月23日, 千葉幕張

30. 林信太郎, 小学校6年生理科の地層の学

習と防災教育. 自然災害に対する防災教育ワークショップ, 2009年12月19日, 岩手大学

31. 井上剛・伴雅雄・廣谷志穂, 蔵王火山, 約300~100kaの噴出物の岩石学的特徴. 日本火山学会秋季大会. 2009年10月10日, 神奈川県立生命の星・地球博物館

32. 大場 司, 松岡一英, 木村祥之, 石川弘真, 藤巻宏和, 東北日本に産するソレアイトマグマの深部結晶分化作用, 日本鉱物科学会年会, 2009年9月9日, 北海道大学

33. 武部義宜・佐藤佳子・熊谷英憲・伴雅雄, 蔵王火山, 最新期噴出物の K-Ar 年代測定. 日本地質学会, 2009年9月5日, 岡山理科大学

34. 林信太郎, 鈴木洋平, 佐々木修一, 地震動による地すべりのシミュレータ「ユレオ」ーモデル実験を使った小学校出前授業の防災教育効果の検討ー, 砂防学会研究発表会, 2009年5月27日, 広島

35. 鈴木洋平, 林信太郎, 佐々木修一, 地震による地すべり学習用アナログ実験装置「ユレオ」について 小学校6年理科授業「土地のつくりと変化」への活用, 日本地球惑星科学連合大会, 5月17日, 千葉幕張

36. MIURA Kotaro, BAN Masao, OHBA Tsukasa, FUJINAWA Akihiko, Eruptive sequence of AD1895 activity of Zao volcano, NE Japan, 2009, 日本地球惑星科学連合大会, 5月17日, 千葉幕張

37. OHBA T, HAYASHI S, Ages of Onomatsuzawa Formation, Miyagi Prefecture - Quaternary intracaldera deposits, 日本地球惑星科学連合大会, 5月17日, 千葉幕張

38. Ban M, Hirotsani S, Nakagawa M, Origin of the low-K basalts in Shirataka volcano, rear arc side of NE Japan arc. 日本地球惑星科学連合大会, 5月17日, 千葉幕張

39. 中谷咲子・藤縄明彦, 岩手県高倉火山の地質とマグマ供給系. 日本地球惑星科学連合大会, 5月17日, 千葉幕張

40. 伊藤太久・武富健一郎・磯尾称・藤縄明彦, 安達太良火山南東部前ヶ岳の形成史. 日本地球惑星科学連合大会, 5月17日, 千葉幕張

〔図書〕(計1件)
伴雅雄(2010) 蔵王火山・山形県の火山. 山

形県地学のガイド. コロナ社. pp199-205.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

[その他]

新聞発表：秋田さきがけ新聞 2011年9月23日
秋田県の活火山の今後の活動に関する記事 (林信太郎)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大場 司 (OHBA TSUKASA)
秋田大学・工学資源学研究科・准教授
研究者番号：10272014

(2) 研究分担者

林 信太郎 (HAYASHI SHINTARO)
秋田大学・教育文化学部・教授
研究者番号：90180968

(3) 藤縄 明彦 (FUJINAWA AKIHIKO)

茨城大学・理学部・教授
研究者番号：10143140

(4) 伴 雅雄 (BAN MASAO)

山形大学・理学部・教授
研究者番号：50208724