

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 29 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656075

研究課題名（和文） 岩石のメカノルミネッセンスの機序解明と地震予知への展開

研究課題名（英文） Investigation of mechano-luminescence of rocks and its possibility of earthquake prediction

研究代表者

祖山 均 (SOYAMA HITOSHI)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90211995

研究成果の概要（和文）：

種々の岩石による摺動試験および引張り破断試験における岩石のメカノルミネッセンスを評価した。その結果、石英含有率が大なる岩石ほど発光強度が大であることや窒素ガス雰囲気において窒素の second positive band の遷移に相当する波長 370nm においてピークが認められた。したがって、岩石のメカノルミネッセンスには、岩石に加わる応力が岩石中の圧電物質である石英に影響して雰囲気ガスがプラズマ化することが発光の主因の一つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Mechano-luminescence of rocks induced by friction test and tensile test was evaluated. It was observed that the concluded that luminescence intensity of the rocks with large containing quartz was more intense and the peak at 370 nm which corresponds to the second positive band of nitrogen was observed by the rock in nitrogen gas. It was concluded that the mechano-luminescence of rocks was induced by piezoelectric effect and plasma of ambient gas.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：岩石、メカノルミネッセンス、石英、X線回折、窒素、引張り応力、すべり摩擦

1. 研究開始当初の背景

- (1) これまでに岩石の破壊時に生じる発光現象が観測され(B.T. Brady and G.A.Rowell, *Nature*, Vol. 321, pp. 488-492, 1986), 最近も実験室レベルでの花崗岩の破壊時の発光現象が確認されていた(M.Kato, Y.Mitsui and T.Yanagidani, *Earth Planets and Space*, Vol. 62, pp. 489-493, 2010)。
- (2) 1965年～1967年に発生した松代群発地震をはじめ、1995年の兵庫県南部地震(阪神大震災), ならびに世界各地の地震で「地震光」と呼ばれる地震発生時の発光現象が確認されている(J.S.Derr, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 63, pp. 2177-2187;

T.Tsukuda, *Journal of Physics of Earth*, Vol. 45, pp. 73-82, 1997 など)。

- (3) これまでに花崗岩からの発光しか検出されないとの報告(前述の *Earth Planets and Space*, 2010)があるが、研究代表者は、予備実験により花崗岩以外の岩石からも微弱な発光を確認していた。
- (4) 本研究の推進により、岩石のメカノルミネッセンスを地震予知に展開できるばかりでなく、微弱発光のソノルミネッセンスや酸化に起因したケミカルルミネッセンスなどのルミネッセンス分野の実験的研究の学術的発展に貢献できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、岩石が生じるメカノルミネッセンスの機序を解明し、岩石のメカノルミネッセンスと地震光との相関関係を明らかにして地震予知に貢献することを目的とする。そのために、(I)岩石のメカノルミネッセンスの検証、(II)発光領域の検出、(III)メカノルミネッセンスの分光分析、(IV)発光時の電磁氣的計測、(V)岩石の破壊力学的解析、(VI)岩石のメカノルミネッセンスの機序解明、について研究を推進し、本研究では実験室レベルの現象として、電子増倍機能付冷却 CCD カメラ等を用いて岩石からの極微弱光を検出するとともに、負荷応力下での岩石の電磁氣的特性を明らかにし、空間的な発光領域の特定などにより岩石の発光機構を解明する。

3. 研究の方法

図 1 には、岩石のすべり摩擦による雰囲気ガスの影響を評価するために使用した実験装置の概略図を示す。なお、試験部をアクリルボックスで囲い、窒素および酸素により雰囲気ガスを置換してすべり摩擦試験を実施した。発光強度は極微弱光分光分析装置を用いて、装置の試験部内で岩石の摺動を行い、光電子増倍管により発光強度を計測した。図 2 には、岩石のすべり摩擦に用いた機構の概略図を示す。約 45 deg に切断した移動試験片に 1500 g の重りを負荷して、長さ 65 mm、幅 30 mm、厚さ 14 mm の平板状の固定試験片表面に接触させ、単軸ロボットにより約 100 mm/s の速度で 50 mm 走査した。使用した極微弱光分光分析装置の検出方式はシングルフォトンカウンティング法で、検出感度は、 $50 \sim 10^8$ フォトン/cm²/s であり、1 カウントは 50 フォトンに相当する。すべり

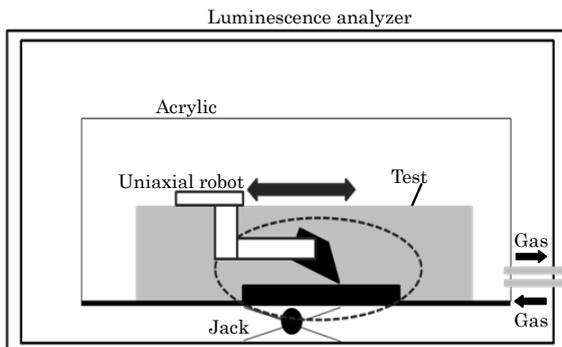


図 1 実験装置概要

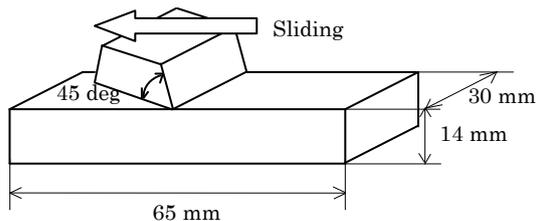


図 2 岩石試験片の概要

摩擦試験は各岩石、各雰囲気ガスにおいてサンプリング時間は 1 s で、すべり摩擦時の前後合計 3 秒間の発光強度を積分し、それを 10 回繰り返し行い、その平均値を求めた。

供試岩石には、別府産角閃石安山岩 (Andesite)、兵庫県産玄武岩 (Basalt)、高山産斑レイ岩 (Gabbro)、塩山産花崗閃緑岩 (Granodiorite)、幌満産かんらん岩 (Lhezolite)、竹野産流理構造流紋岩 (Rhyolite)、白浜産砂岩 (Sandstone)、登米産粘板岩 (Slate)、白河産溶解凝灰岩 (Tuff) の 9 種類の岩石を用いた。なお、すべり摩擦試験における固定試験片および移動試験片には同種類の岩石を使用した。

岩石中の成分を調べるために使用した X 線回折装置は、X 線源を CuK α 、管電圧 40 kV、管電流 40 mA とし、Bragg Brentano 集中光学系を用い、15 rpm で試験片を回転させ、シンチレーションカウンタを用いて計測した。なお、計測範囲は $2\theta = 15 \sim 85$ deg、ステップ間隔は $\Delta 2\theta = 0.01$ deg で各ステップ 12 秒ずつとした。発散スリットおよび散乱防止スリットにはそれぞれ 0.5 deg、受光スリット 0.1 mm、ソーラーズスリットは 2.5 deg を使用した。

4. 研究成果

図 3 には、各岩石の成分を X 線回折により分析した結果を示す。なお図 3 では、石英の (100) 面からの回折角 $2\theta = 26.646$ deg に着目するために、 $2\theta = 24 \sim 29$ deg の範囲を示す。また表 1 には、 $2\theta = 26 \sim 27$ deg における最大回折強度 I_{Xmax} と、極微弱光分光分析装置により測定した。空気中および雰囲気ガスをそれぞれ窒素と酸素で置換した場合の発光強度 I_L を併せて示す。花崗閃緑岩、流紋岩、砂岩、粘板岩では $2\theta \approx 26.6$ deg における回折強度が 3000 ~ 6000 の値を示したことから、これらの岩石に石英が比較的多く含まれていることが分かった。極微弱光分光分析装置のノイズレベルはおおむね 120 カウント程度であった。各岩石においてどの雰囲気ガスでもメカノルミネッセンスが検

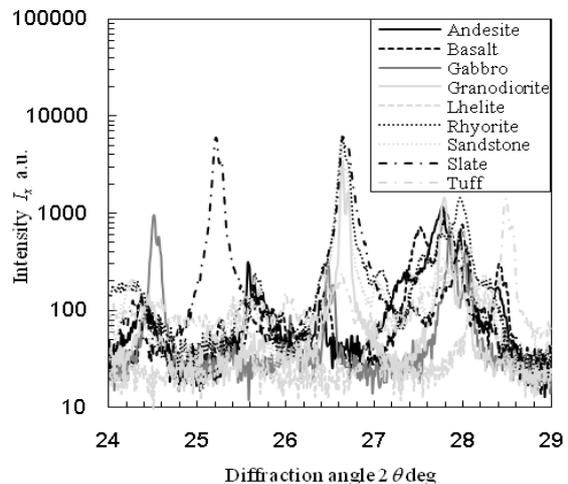


図 3 X 線回折の計測結果

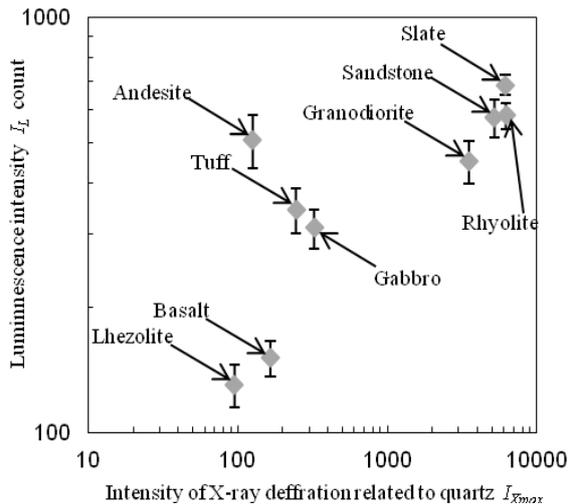


図4 石英含有率と発光強度の関係

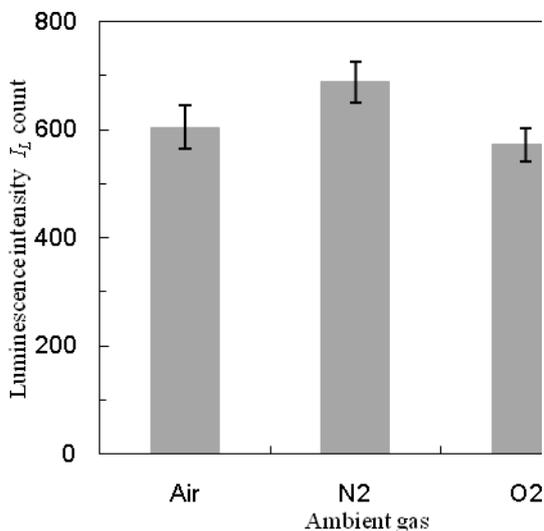


図5 雰囲気ガスと発光強度の関係

出され、安山岩、花崗岩、流紋岩、砂岩、粘板岩の場合に500カウント程度の I_L が検出され、斑レイ岩、凝灰岩の場合に300~400カウントの I_L が検出された。なお玄武岩とかんらん岩は I_L がほぼノイズレベルと同程度であったため、メカノルミネッセンスが検出されなかったといえる。

図4には、雰囲気ガスを窒素に置換した際の最大回折強度 I_{Xmax} と発光強度 I_L の関係を示す。安山岩を除いた岩石では、 I_{Xmax} と I_L に相関関係が見られた。花崗閃緑岩、砂岩、粘板岩、流紋岩は石英が多く I_L も大きい、斑レイ岩、凝灰岩は石英が少なく I_L も小さいことがわかった。また、雰囲気ガスを窒素に置換した場合にも発光を示すことから、岩石のすべり摩擦によるメカノルミネッセンスは酸化による発光ではないと考えられる。粘板岩以外の岩石では雰囲気ガスによる発光強度の違いはあまり見ら

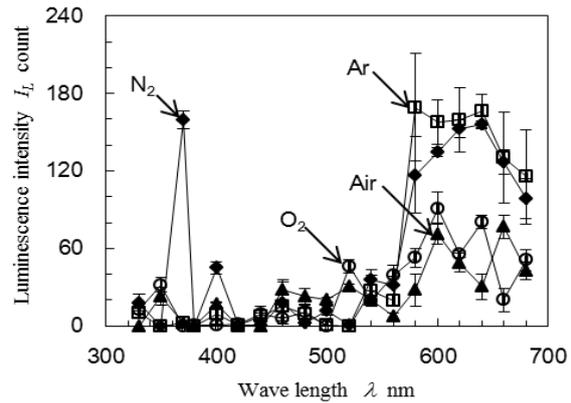


図6 分光分析結果

れなかったが、粘板岩では酸素中と窒素中では発光強度に差異が見られた。

図5に粘板岩の発光強度における雰囲気ガスの影響を示す。粘板岩のすべり摩擦による発光強度は、空気中で605カウント程度、窒素中で688カウント程度、酸素中で572カウント程度検出されたことから、雰囲気ガスによって発光強度が変化することが明らかとなった。これらの結果より、岩石のメカノルミネッセンスは、岩石自体が発光しているのではなく、岩石の摩擦すべりや圧電効果による雰囲気ガスのプラズマ化の可能性があると考えられる。

図6には、粘板岩のメカノルミネッセンスのスペクトルにおける雰囲気ガスの影響を検証するために発光強度 I_L と各波長 λ の関係を示す。粘板岩においても各雰囲気ガスにおいて、 $\lambda = 580 \sim 660$ nmにおける I_L が比較的大きいことが明らかとなった。また、窒素においては $\lambda = 370$ nmにおいて I_L が極大値を示す傾向が見られた。ここで、岩石のメカノルミネッセンスにおいて、窒素雰囲気中における発光スペクトルは $\lambda = 350 \sim 440$ nmに極大値を持つことが報告されている。これは窒素の second positive band の遷移に相当し、窒素雰囲気ガスがプラズマ化していることを示している。この結果から、岩石のメカノルミネッセンスは、雰囲気ガスのプラズマ化が発光の主因の一つである可能性が考えられる。

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)

[学会発表] (計3件)

1. 祖山均, 宮坂晃輔, 岩石のメカノルミネッセンスの分光分析, 第6回ケミルミネッセンス研究会(招待講演), 2012年12月7日, 東京
2. 宮坂晃輔, 祖山均, 岩石のメカノルミネッセンスのスペクトルにおける雰囲気ガスの影響, 日本機械学会東北支部第48期

- 秋季講演会, 2012年9月22日, 八戸
3. 宮坂晃輔, 祖山均, 岩石のメカノルミネッセンスにおける雰囲気ガスの影響, 日本機械学会東北支部 第47期総会・講演会, 2012年3月13日, 仙台

[その他]

ホームページ等

http://www.mm.mech.tohoku.ac.jp/menu4/t_heme14.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

祖山 均 (SOYAMA HITOSHI)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90211995

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：