HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	長尾地震の活動様式 : 雌阿寒岳1990～1997年の観測例から
Author(s)	鈴木, 敦生; 岡田, 弘
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 61, 263-274
Issue Date	1998-03-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.61.263
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14273
Type	departmental bulletin paper
File Information	61_p263-274.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 61, March 1998, pp. 263−274

長尾地震の活動様式－雌阿寒岳 1990～1997 年の観測例から－

鈴木　敦生・岡田　　弘
北海道大学理学部附属有珠火山観測所

（1998 年 1 月 8 日受理）

Activity of Long-Coda Earthquakes －From 8 Years Activity at Volcano Meakan-dake, Hokkaido

Atsuo SUZUKI and Hiromu OKADA
Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received January 8, 1997)

Systematic search for long-coda earthquakes (LC) was conducted for the monitored seismograms by Usu Volcano Observatory, Hokkaido University at Mt. Meakndake from January, 1990 to November, 1997. There exist strong mutual relationship between occurence of seismic swarm and that of LC events. LC events tend to occur at a slowly decaying stage of seismic swarm rather than its early culminating stage or at peak seismicity.

Most LC events at Mt. Meakandake are accompanied with small triger earthquake(s) at the begining of their waveform. Those events may occur as a seismic rupture which finally connects two fluid filled spaces under different pressure and allow fluid to flow rythmically to lower pressure side. Such environments could be easily attained under quasi-equilibrium relaxation stage rather than under drastically varying stress condition of shallow vent system disturbed by repeated heat pulse supply from depths and consequent sharp developement of seismic swarm.

I．は　じ　め　に

火山活動と関連して広範囲の震動現象が生じていることはよく知られている．これらの震動のうち，落石や岩なだれ・火砕流などの表面現象を除いた震動は，古くから火山性地震と火山性微動の 2 種類に分類され，噴火予知の一つの有力な手法となっている（McNutt, 1996）．しかしながら発生機構の理解が不十分なことが多く，地震か微動かの厳密な定義は必ずしも明確でない．現象記述上は，継続時間が振幅のわりに長く継続する場合を微動と呼ぶ場合が多い，両者の境界付近の現象については，微動と報告される場合もあるし，地震とされる場合もある．

「長尾（ちょうび）地震」は活動的な火山や熱水活動の盛んな地域でしばしば観測されている特殊な震動波形を特徴とする現象で，震動継続時間が普通の地震より目立って長いことからやはり微動と報告される場合もある．場合によっては数分間の長い継続時間を持つことがあるが，（1）最初の数秒間に最大振幅を記録し，時間継続とともにきわめて緩やかに振幅を減ずる場合が多く，（2）一つ一つ数えられる孤立現象であることを考慮し，ここでは長尾地震（Long-Coda Earthquakes または略して

LC) と呼ぶ.

長尾地震は，1994年1月14日のコロンビアのガレラス火山における火山学者6名の噴火事故死が契機となり世界的な注目を集めた(Gomez, 1994；McNutt, 1996)．長尾地震が火山活動のどの様な状況下で発生し，何を意味しているかという知見は，長尾地震の発生機構の解明や火山観測の指針，更に噴火予知と減災のための一つの基礎をなすものであろう(浜田他, 1976；Herman, 1990, Gomez and Torres, 1997)．ここでは，雌阿寒岳で発生する長尾地震について，その時間的な活動経過の特徴と小噴火および火山性群発地震との関連について，北海道大学理学部付属有珠火山観測所による1990年1月～1997年11月の約8年間の均質な基礎資料を用いた解析結果を報告する．

雌阿寒岳は北海道東部の阿寒カルデラ南縁に形成された成層火山で，有史以前の活動で形成された2つの大火口，南側のポンマチネシリ火口およびその北東部に一段低く位置しているナカマチネシリ火口が山頂にある(Fig. 1, Fig. 2)．歴史時代の噴火は，1955～1966年，1988年，および1996年に発生しており，主としてポンマチネシリ大火口の南縁火口列で発生した小規模な水蒸気爆発で，マグマが直接関与した証拠は固形噴出物の調査からは認められていない．

しかしながら一方では，雌阿寒岳はマグマ性の活発な高温ガスの噴出が特徴となっており，ポンマ

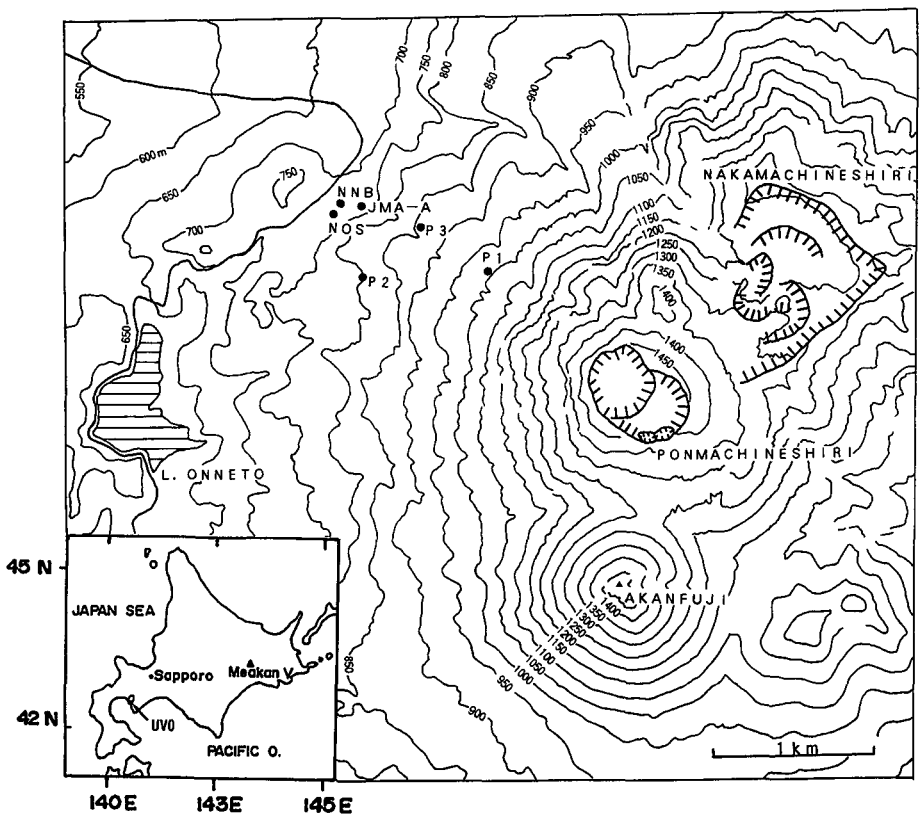

Fig. 1 Location map of Mt. Meakandake, Hokkaido (left lower inserted), and its topographical map with seismic station network on its NNW flank. Ponmachi-neshiri Crater (SW) and Nakamachi-neshiri Crater (NE) jointly form the truncated strato volcano Mt. Meakandake. Historical eruptions since 1955 occurred at the craterlets along the southern rim of Ponmachi-neshiri Crater or at Nakamachi-neshiri Crater. Seismograms used in this study are mainly from P3 station.

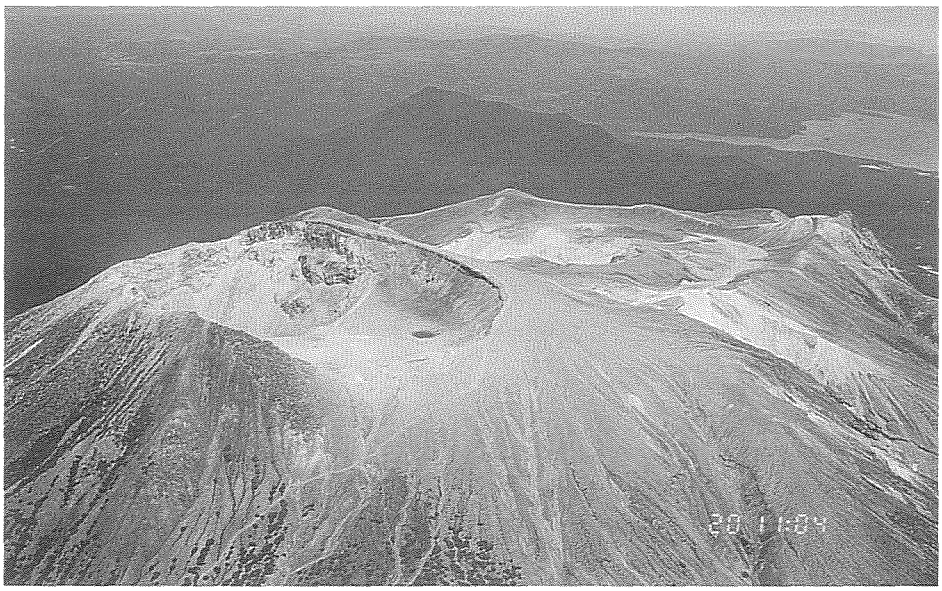

Fig. 2 Summit air photo of Mt. Meakandake (July 20, 1994, from Asahi-Shinbun Heli, by H. Okada). Lower wider crater in right is Nakamachi-neshiri Crater and the left is Ponmachi-neshiri Crater (highest peak 1498.6m asl). Far right is Lake Akan. A popular resort town "Akan-Kohan-Onsen(Spa)" is located on its southern shore. Most seismicity including LC events occur at shallow depth (h<ca.3km) beneath Ponmachi-neshiri Crater.

チネシリ南縁火口列の噴気温度は常時 300～400°C を越える高温を保っている．また，最近の 1988 年および 1996 年の噴火では，噴火に先立つ数カ月前にいずれも 500°C を越える火口高温化現象が認められており，噴火前兆として注目されている(岡田他，1997；札幌管区気象台，1997)．また，群発地震の活動も 1988 年噴火前後を境として活発となっており，現在北海道で最も火山性地震の活動が活発な火山である．

また最近，火山砂防の基礎調査として，釧路土木現業所によりトレンチやボーリングを用いた総合的な噴出物調査が実施され，多数の C 14 年代決定による山体形成史が明らかになった．この調査によると，雌阿寒岳では過去 12000 年間に 4 回の大規模なマグマ活動があり，最近も火山灰を残す程度の水蒸気爆発が約 140 年間に十数回発生している(和田他，1997)．この様に噴火史からも雌阿寒岳は活発な火山であることが分かる（宇井，1997)．

II．雌阿寒岳における長尾地震；約 8 年間の均質データの解析

雌阿寒岳の火山活動の監視のため釧路地方気象台は，西麓約 2 km の足寄町野中温泉において 1972 年 6 月から地震計による連続観測を開始した．これらの常時観測により，低周波で尾部が普通の地震に比べて長く尾を引く特徴的な波形の「長尾地震」が観測されることが見いだされており，釧路地方気象台は III 型と命名して注意を払っている（札幌管区気象台，1988)．

1955 年からの一連の噴火における臨時観測によると，長尾地震が記録されたという報告はないようだ（Sakuma and Murase, 1957；横山他，1976)．1982 年浦河沖地震（M＝7.1，△＝約 190 km）に誘発された雌阿寒岳の群発地震の際，有珠火山観測所による緊急臨時観測で，西村・山下(1982)は，

群発地震と関係して特徴的な長尾地震の活動が見いだされたことを報告している．

雌阿寒岳の長尾地震が再び注目されたのは，1988年1～2月の小噴火の際である．噴火に先立つ27日前に始まった激しい群発地震は，振幅の大きな低周波地震群と長尾地震群から成り立つ特徴的な活動様式を示した．約4日間の短い群発地震最盛期を過ぎると，低周波地震も長尾地震も記録されなくなり，ついに日別回数が観測以来初めてゼロの日を3日間続ける中で，微動と小噴火が開始した．残念ながら有珠火山観測所では，連続観測を実施していなかったこともあり，この火山活動については火山噴火予知連絡会会報に僅かな記述をしたに留まっている（北大有珠，1988）．

気象台の観測開始以来の時期における，雌阿寒岳の火山性地震の活動と，長尾地震の発生時期の関係を，Fig. 3に示す．図中星印（*）は，長尾地震がまとまって発生したことが知られている時期である．前述の2回の長尾地震発生時期と，後に述べる本研究での調査結果を合わせたものである．？は発生の有無が判明していないものである．下の図では月別の地震回数が，「変則対数表示」で示されている．変則対数表示を用いると，ゼロ回を含めて活動度の低い背景的活動の推移から，活発な群発地震までの数値を一つの図で最適に表示ができることが知られている（岡田，1985）．

大部分の群発地震発生時に対応して，長尾地震が発生している関係が明らかである．しかしながら，最も地震数が多い1996年11月の群発地震の際は，長尾地震の発生はみられていない．表示された期間には小噴火が2回発生した（図中矢印）．1988年の最初の噴火以降の地震活動は，それ以前に時期に比べ，群発地震が繰り返され易くより活発なレベルを保つようになっていることが読み取れる．本報告では，次に北大の連続観測データが整備された1990年以後について，長尾地震の活動の調査解析結果を述べる．

有珠火山観測所では，1988年の小噴火後1989年9月13日に激しい群発地震が再度開始したのを契機に，臨時の連続観測を開始した（北大有珠，1989，1990）．活動推移を追跡するためのペンレコーダーでのモニター記録だけというお粗末な観測であったが，結果としてその後の数年間に発生した断続的な群発地震活動の貴重な研究資料を得ることができた．本研究報告はその一つの成果である．

遠隔地の火山であり，人手不足と予算不足のためもあり，有珠火山観測所では当初は雌阿寒岳の連続観測は臨時措置と考えていたが，（1）火山性群発地震の活動度が引続き高く（活動活発），（2）長尾地震や低周波地震，微小微動等，活発な火山に特徴的な震動現象が豊富に発生していること（研究関心事象），（3）北大理学部に地球物理学教室が発足以来の研究の蓄積（研究上の重要性），（4）社会的な強い要請などを考慮し，国の第4次火山噴火予知計画（1989－1993）の中で，新しく常時研究対象火山として1992年2月テレメータ観測の整備を図った（北大有珠，1994）．

以下では，1989年10月～1997年11月の期間の，ペンレコーダーによるモニター記録を用い，長尾地震の活動様式に関する記録の再読み取り結果について述べる．Fig. 4は，1990年1月～1997年11月迄の約8年間の長尾地震の活動（上）と火山性地震の日別回数（下）の推移を，2年毎の4段のグラフとして示したものである．結果の一部は岡田・鈴木（1995）が紹介している。

長尾地震の験測は，主としてポンマチネシリ火口北西縁から約1.6 km北北西麓に位置するP3観測点の，固有周期1秒の速度型地震計上下動成分のモニター記録を用いた．欠測時の一部のデータはP1観測点などで補充した（Fig. 1参照）．縦軸はモニター記録上での長尾地震の震動継続時間（秒）を対数で示したもので，継続時間30秒以上のものだけが表示されている．最大振幅を用いなかったのは，後述するように長尾地震の頭部に地震が記録される場合が多く（Fig. 5），この影響を避けるためである．

これらのデータは，著者らの数年にわたる計画に従って，共著者の一人（鈴木）が約8年間のデータ全てを遡って特別に見直し，自ら読み取ったものである．従って，長尾地震の判定や継続時間の読

み取り等の基準がより一定であると考えられ，きわめて均質な資料が得られたものと考えてよいだろう．群発地震の日別回数は，変則対数表示」が用いられている．Fig. 3およびFig. 4から，長尾地震の活動様式に関するいくつかの注目すべき特徴が明らかになっている．主な注目点を以下で議論する．

第1に，長尾地震は「群れ」をなして発生している．このグラフでみる限りほぼ全ての場合で長尾地震は「群れ」を形成しており，一つ一つの「群れ」が継続する期間は，数週間程度がほとんどである．第2に，火山性群発地震との関係をみると，全ての事例で相互に非常に密接な関係にあることが示されている．数十秒以上の継続時間を持つ長尾地震が多数繰り返し発生した事例はこの期間に10例あり，そのうち1995年10～11月の例を除き他の9例全てで，群発地震が急増する時期に長尾地震は発生せず，地震数が最大に達した後減少に転じた時期に集中的に発生している点が特に注目される．また，群発地震回数が数回以下と低いレベルに減少してしまった時期には，長尾地震がほとんど発生しない傾向もみられる．また、1994年3月を境に、長尾地震の発生が低くなっているようにもみえる。

特別な例として，1992年8月の単発長尾地震は，約1年間にわたる火山性地震の静穏期が終わり，翌年7月初旬までの群発地震活動期が開始した時期に発生している．更に，1995年9～11月の長尾地震の活動はユニークである．8月および11月の地震の急増期および急減期には，長尾地震の発生がみられない．長尾地震は，8月中旬から11月始めにかけて，全期間を通じて地震頻度が持続的に高くなっている時期に集中的している．11月1日の群発地震の急増は，約5分間継続した顕著な火山性微動(04：54－05：09)に引き続いて発生した．微動直後は地震の振幅も小さく発生頻度も低かったが，約4時間かけて地震振幅は増大し，発生頻度も増加した．この群発地震では長尾地震は発生しなかった．

9月以降散発し始めていた長尾地震は，この火山性微動発生の約16時間前（10月31日13：14）および3時間前（11月1日01：45）に最も継続時間が長く振幅も大きくなっている．微動や群発地震を発生し易い環境が整ったことをあたかも示しているかのような，長尾地震の活動である．なお，微動発生に続き群発地震が増加した事例は，1988年9月の群発地震，および1996年11月の小噴火時と合わせ3例になる．表面噴出という噴火形式になるか，火道浅部での流体移動という形式の火山性微動になるかは別として，雌阿寒岳の火道系では1988年以来このような不安定な状況が少なくとも4回繰り返されていたことになる．

調査期間中の噴火は，1996年11月21日の小規模な水蒸気爆発1回のみである．この噴火の3カ月前から発生した3波の群発地震については，岡田他(1997)が既に議論している．8月下旬からの第1波の群発地震が衰退へ転じた時期に短かめの長尾地震が1回，衰退を続けている時期に長めの長尾地震が更に1回発生した．しかし，第2波および噴火と直接関係した第3波の群発地震の時期には，長尾地震は発生しなかった．また，ポンマチネシリ南縁火口列の噴気温度が530～556°C（釧路地方気象台および道立地下資源調査所の観測）の高温を継続して示した1996年5～8月中旬の時期は，地震活動は最も低調な時期であり，長尾地震の発生もなかった．

III. 議論；長尾地震の活動と群発地震・小噴火との関係

約8年間の均質な観測資料を用いて，長尾地震の活動推移と群発地震の衰勢や小噴火との関連性を考える基礎資料がFig. 4としてまとめられた．長尾地震は全ての場合群発地震の衰勢と緊密に関係して発生している．特に，継続時間が数十秒より長い長尾地震は，群発地震の衰退途上の時期に群れをなして発生し易い傾向が明瞭に認められる．

最近数百年間の雌阿寒岳の噴火が全て水蒸気爆発である（横山他，1976；和田他，1997）ことから，対象としている雌阿寒岳の群発地震や長尾地震が，マグマの直接的な応力によって発生している可能

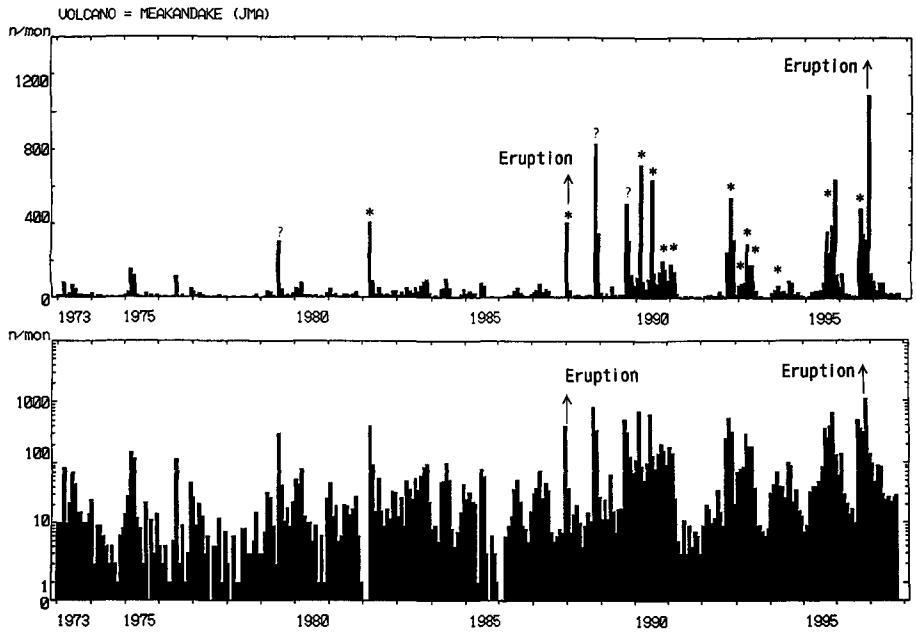

Fig. 3 Long-term seismicity at Meakandake illustrated by monthly number of volcanic earthquakes since 1973 (at JMA-A station in Fig. 2, data by Japan Meteorological Agency). Linear (top) and zero-included modified logarithmic display (lower) are adopted for illustration. Star marks at upper graph indicate the time of group occurrence of Long-Coda events (LC), and ? indicates no info on LC. Arrows indicate two eruptions in January-February, 1988, and November, 1996. Note some higher seismic activity after the 1988 eruption is not accompanied with LC group.

性は低い．マグマから分離された高熱のガスや熱エネルギーの上昇により，山体内あるいは火道系の熱水機構が活性化され，これが群発地震や長尾地震の発生原因となっている可能性が考えられる．

これらのガスや熱水が，(A)緩慢な減衰を伴う自由振動を起こし易い閉じた系を形成している場合，あるいは，(B) 2つの圧力の違う流体を含む系で流体移動がリズミカルに生じ，全体として一つの自由振動系の様に振舞う場合，等が考えられる．

Chouet(1992, 1996)は，理論的に単純な取扱ができる（A）をモデル化し，インピーダンスの極端に違う流体で満たされた空洞でなんらかの衝撃があればゆっくりした減衰をもつ自由振動的な波形が励起されることを，モデル計算で示した．モデル（A）での難点は，何が「最初の一撃」を与えるかである．複雑な地下構造が期待できる地下浅部の火道系や熱水系の場合，固体中の流体ポケットのような，インピーダンスの異なる「空洞」の存在は十分あり得ることであるから，一撃をどう考えるかが課題である．

一方，モデル（B）は現象面から捨て難い特徴をもっている．このモデルでは長尾地震の継続は衝撃の自由振動的な余波ではなく，流体のリズミカルな移動そのものである．流体移動が徐々に進行すると，2つの系の圧力差は次第に減じる．これは長尾地震の振幅のゆっくりした減衰を説明できる．しかし流体移動をつかさどるリズミカルな固有のシステムは変わらず，流体移動が継続する限り波形とスペクトルの準定常的な特徴は持続することになる．

雌阿寒岳の長尾地震が，群発地震の急増期に発生しない理由は，比較的理解し易いようである．火山体の複雑な火道系に地下のマグマから高温の流体がパルス状に上昇する場合を考える．火道及びそ

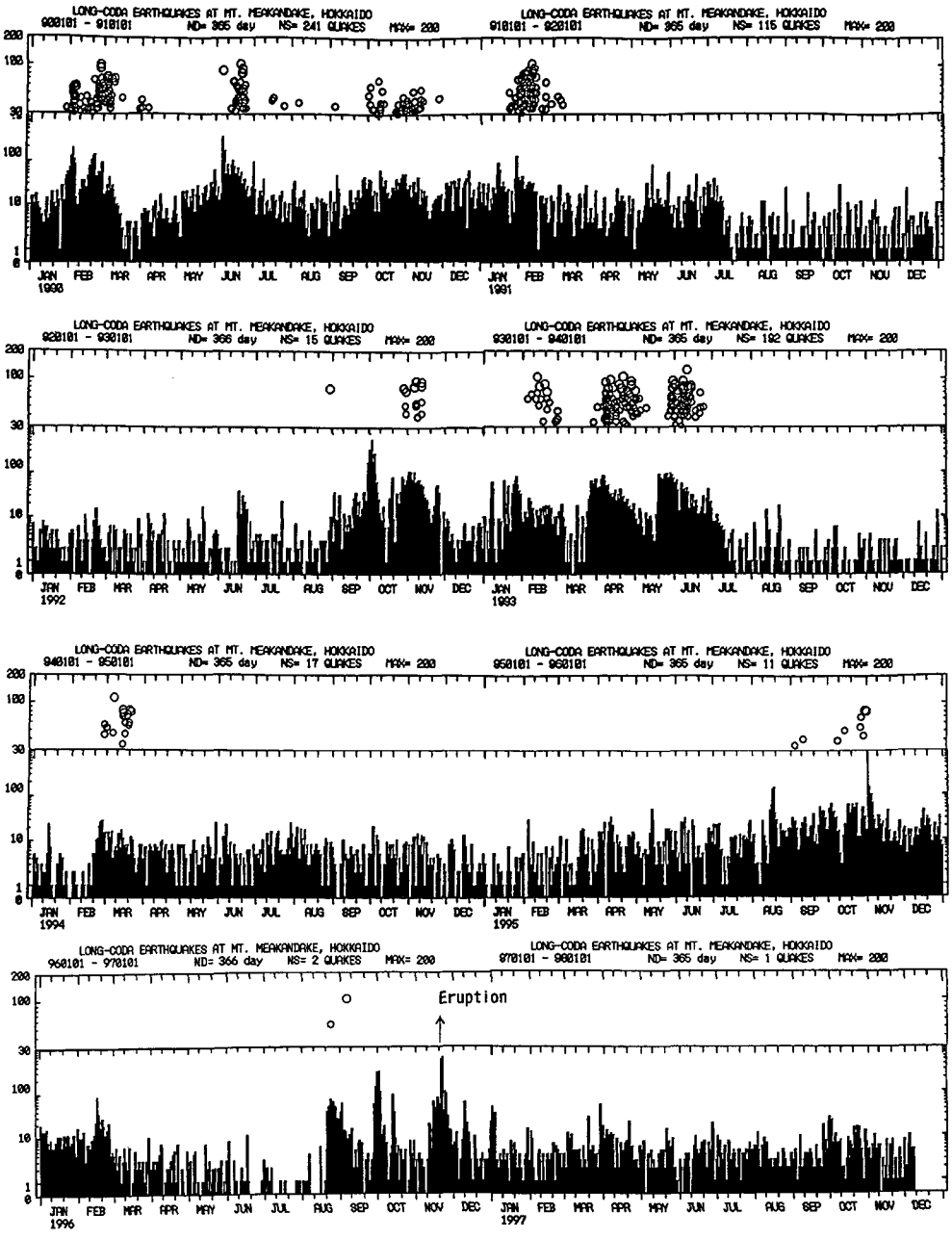

Fig. 4 Mutual relationship of the occurrence of Long-Coda earthquakes (LC) (upper) and volcanic earthquakes (lower) at Meakandake based on UVO's monitor records (mostly at P3 station). The ordinates represent logarithmic display of time duration (in seconds) of each LC event (upper), and modified logarithmic display of daily number of volcanic earthquakes (lower) detected by seismic network (P1, P2, P3 and NOB) operated by UVO, Hokkaido University. respectively. LC events tend to take place in a group mostly during the decaying stage of volcanic seismic swarm, but rarely at the sharply increasing stage or the highest level of seismicity. Based on this tendency for LC occurence, it is suspected that LC might originate from the rythmical fluid flow from higher pressure system to lower side under stress relaxation stage after vent system experienced heat supply from depth.

の周辺の熱水系は下部からエネルギーを新たに得ることで応力変化を引き起こし，火道の熱水系を乱すことになる．群発地震はこの様な機構で発生していると考えよう．群発地震の急増期は，火道周辺の応力変化が急激で，上記の両モデルで考えているような準安定的な機構が成立しにくいはずである．従って，長尾地震の発生環境にはなりにくい傾向がみられるのではなかろうか．

一方，激しい群発地震で火道系やその周辺部で破壊がある程度進んだ後，地下からのエネルギーの補給がそれ以上継続しない場合，ゆっくりした応力の緩和現象が期待される．破壊された領域は漸次的な応力の再配分に応じて落ち着きをとりもどしていくだろう．この過程で，ある程度の割れ目系をひとまとめとした流体で満たされた圧力の異なるポケットが，火道系のあちこちで生まれたり消滅したりすることが期待される．

モデル（A）では，この様なポケットが減衰自由振動を開始すればよい．モデル（B）では，圧力の異なったポケット相互における流体移動と考えられよう．雌阿寒岳の群発地震の推移をみると，わりあい急速な活発化と，それに続くゆっくりした衰退化の特徴がよくみられる（Fig. 4）．長尾地震の発生を説明できる火道系への地下からの熱パルスの上昇・緩和機構は，群発地震の発生そのものの説明にも都合よい．

Gomez (1994)，Gomez and Torres (1997) および Narvaez et al. (1997) によると，ガレラス火山では噴火に先行して長尾地震の群れが繰り返して観測された．長尾地震は，噴火直前に特に集中したり増加するパターンは示さず，数日から数週間に散発的に発生した．しかし全ての場合で，噴火が始まると長尾地震は完全に姿を消してしまう．雌阿寒岳との類似点としては，急激な応力変化の環境下では長尾地震は発生できない点が注目される．なお、噴火に先行する長尾地震については、浅間山の報告例もある（鍵山他，1985；Shimozuru and Kagiyama, 1989）．また、印刷公表されていないが，古くは 1958 年 11 月の浅間山噴火における非常に顕著な長尾地震の前兆群発の例もある（東大地震研浅間火山観測所による）．

本短報では，長尾地震の分類や波形解析の詳細までは立ち入った議論は行わないが，雌阿寒岳の長尾地震の発生と関係した一つの波形の特徴について以下で簡単に論ずる．Fig. 5 はモニター記録（P 3 観測点）による雌阿寒岳の長尾地震の波形の 5 分類である．十勝岳でそうであったように，各火山の長尾地震にはいくつかの類型がある（松島他，1988）．雌阿寒岳の長尾地震の波形で特に注目されるのは，地震が長尾地震を誘発したかのように，頭部に地震状の波形が記録される事例が多数みられることである．

Fig. 5 で長尾地震の波形分類に用いた 2 字の英文字は，最初が波形の最初に地震があるかどうか（N；地震なし，S；地震 1 ケ，M；地震 2 ケ以上）を示し，2 字目は長尾部が低周波（L）か高周波（H）かを基準としている．雌阿寒岳のこの時期の長尾地震の活動では，地震を伴わないもの（N）は少ない．浅間山でも頭に地震を伴う長尾地震が報告されている（沢田他，1993，1997）．一方，他の多くの火山では，地震を伴わない低周波型（NL型）が多いようだ．

上記のモデル（A）では，長尾地震の波形の最初にみられるこの様な地震が，「最初の一撃（＝引金）」が記録できた場合と考えればよい．モデル（B）では，流体で満たされた 2 つのポケットを連結させる現象として，地震波を励起する程度の破壊が発生したと考える．頭部の振動が，微小な地震連発型の場合があるという観測事実も，この説明には都合よい．高温で熱水を含む環境のため，連結部の破壊面は潤滑性が高まり易く，ヌルヌル地震や非弾性的破壊になり易いことも容易に推測される．この場合は頭に誘発地震波を伴わない長尾地震の波形（NL型）となり易いだろう．

次ぎに，1996 年の噴火と長尾地震の関係を Fig. 6 に示す．最も群発地震が活発な噴火直後の約 10 時間にも，それ以後地震活動があるレベルに低下し、1 年以上にわたってそのレベルを保っている時期

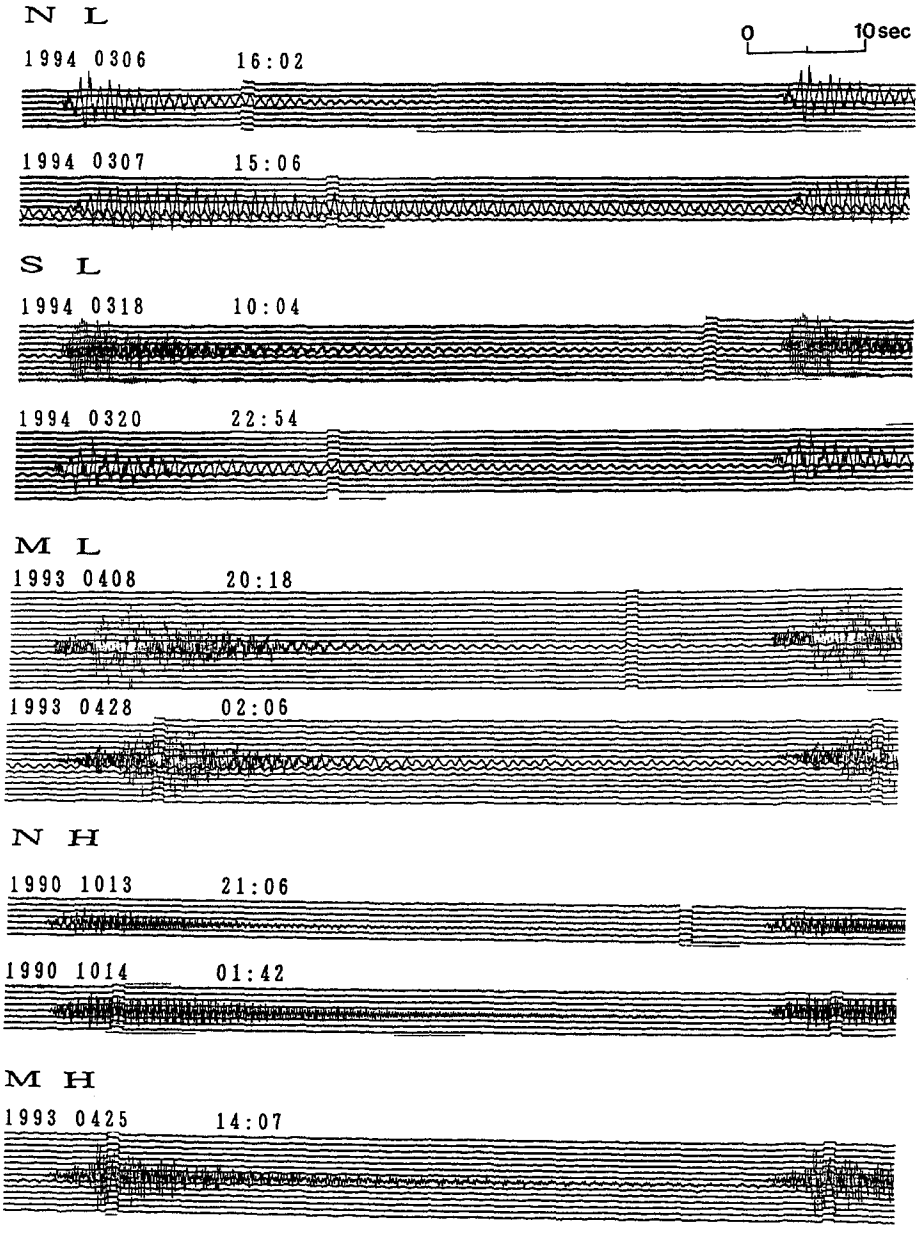

Fig. 5 Monitor seismograms of Long-Coda Earthquakes (LC) at Meakandake (P3 station) classified into 5 groups based on waveform characteristics. First letter of each two lettered class label indicates whether LC is apparently triggered by small earthquakes or not (M for multiple, S for single and N for without quake), and the second letter indicates whether LC-coda is low-frequency (L) or higher frequency (H). Many LC at Mt. Meakandake are accompanied with those trigger events at the beginning. Those events may have originated from the seismic connection of two fluid-filled crack systems under different pressure levels, and fluid is ready to flow rhythmically from higher pressure side to the other. Lublicate connection may not be so difficult under high temperature water and gas rich environments, and allow typical low-frequency NL-type LC, reported widely in the world.

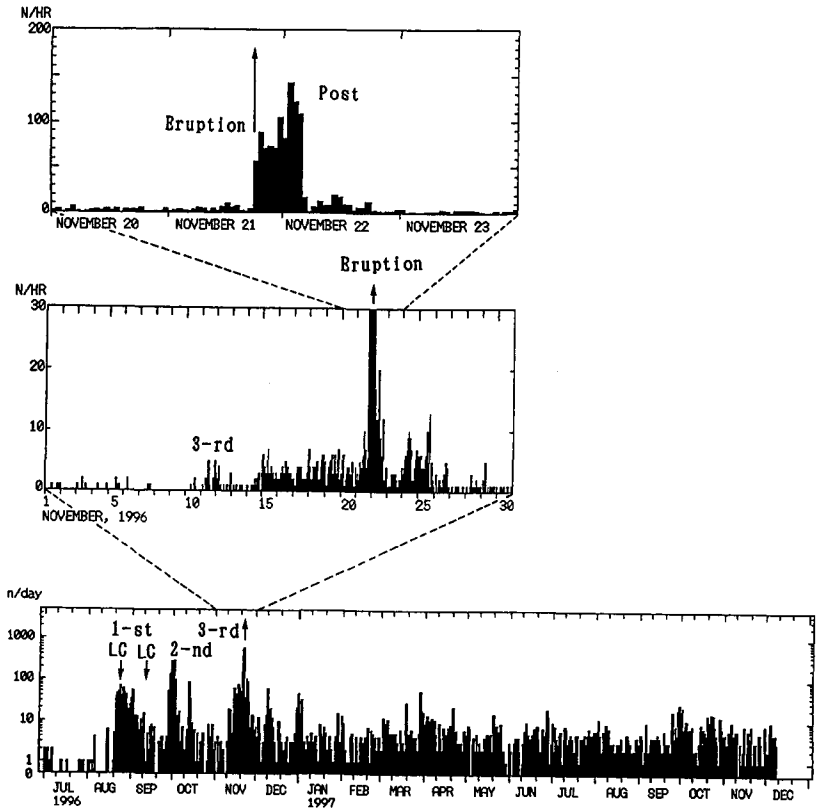

Fig. 6 The 1996 eruption and its relation to LC activity. As discussed by Okada et al. (1997), the 1996 eruption occurred after the 3 stage seismic swarms starting ca. 3 months before. Despite of the general strong relationship between seismic swarm and LC activity at Meakandake as shown in Fig. 4, only two LC occurred at the first stage. Strong seismicity which immediately followed the eruption and continued ca. 10 hours is also free from LC activity. No LC also during later one year long moderate level of seismicity. LC activity is known to be a valuable eruption precursor at several occasions as shown at Meakandake in 1987-1988, at Asama in 1958, 1973, and at Galeras in 1994. Further analysis on LC and efficient communication among world volcano observers could achieve much deeper understanding of this kind of volcanic signals in near future.

にも，長尾地震は発生しなかった．また，1996年噴火の中期的な噴火前兆の可能性が強い4カ月前から始まった3段階の群発地震では，その第1段階で2個の長尾地震が発生したに留まった．長尾地震が噴火前兆となった1988年の噴火と比べて，どの様な条件の違いが長尾地震の発生の差異に関係しているかのか，現時点では明らかでない．いずれにせよ，長尾地震がしばしば発生する世界の火山で，どのような条件下でどうのような長尾地震が発生し易いか，現象に基づく比較研究が必要である．また同時に，広帯域地震計による観測（青山他，1996）や、震源モデルの理論的解明も必要である．

現在までに長尾地震が報告されている火山は，雌阿寒岳，十勝岳，樽前山，浅間山，ガレラス山(コロンビア)，キュンバル山（コロンビア），チェレマイ山(インドネシア)等である（Herman, 1990；Gomez and Torres, 1997 等）．多数の長尾地震がみられる雌阿寒岳，浅間山，ガレラス山等は，活発な脱ガス活動を続ける中央火口を有する安山岩質マグマによる成層火山という共通点を持つ．一方，

インドネシアのチェレマイ山では，長尾地震だけの群発地震が，対応した火山活動の変化を伴わず発生しており，安定した熱水活動域での現象であるという（インドネシア火山調査所トゥルス氏による）．

一方，観測がかなり充実しており，長期間火山活動がモニターされてきたにも関わらず，長尾地震が全く報告されていない火山も少なくない．このようなネガティブ情報も現象の理解の手がかりを与える可能性がある．現在までの知識では，SiO_2含有量の低い玄武岩質マグマの活動（ハワイ，アイスランド，伊豆大島等），および逆にSiO_2含有量の多いデイサイト～流紋岩質マグマの活動（有珠山，雲仙岳，セントヘレンズ山，ピナツボ山等）のいずれにおいても，長尾地震はみられないようである．

IV. ま と め

雌阿寒岳で発生する長尾地震（Long-Coda Earthquakes；略称ＬＣ）について，北海道大学理学部による最近 8 年間のモニター記録の解析を実施した．雌阿寒岳のこの時期の長尾地震は，火山性群発地震と密接に関連して発生していることが明らかになった．その関係は，単に地震活動度が高いときに長尾地震が発生しやすいというような単純な関係ではなく，数時間から数日かけて地震が急増する時期にはほとんど発生せず，群発地震活動がピークに達した後ゆっくり衰退に転じ始めた時期にまとまって発生しやすい傾向が明かである．

一つの解釈として，流体で満たされた圧力の違うポケット間で，リズミカルな流体移動を考えた．火山下から熱エネルギーがパルス状に供給され，火道系が刺激され活発な群発地震を引き起こす．エネルギーの補給が切れると，火道系では緩和現象が進行するであろう．この過程で圧力の違ったポケット間の相互作用が生ずるのではなかろうか．

長尾地震には，噴火前兆となる場合から，平穏な地熱地帯で発生するものまで幅広い現象がある．世界の幾つかの火山でどのような長尾地震がどのような環境下で発生しているかという知見の集積とそれらに基づく比較研究は，震源モデルの究明と合わせて重要な当面の課題である．

謝辞 JICA の火山学研修生として有珠火山観測所に滞在した，パプアニューギニアのラバウル火山観測所員のパティア・ハーマン氏（1990 年），およびコロンビアのガレラス火山観測所員のディエゴ・ゴメツ氏（1994 年）および当観測所の西村裕一氏とは，長尾地震に関する有益な情報交換や議論を行った．インドネシア火山調査所のトゥルス氏からはインドネシアの火山観測資料に関する知見を教えていただいた（1990 年 12 月）．また，東京大学地震研究所附属浅間火山観測所訪問の際，1958 年 11 月の浅間山の長尾地震の波形を見せていただいた（1990 年 11 月）．

この報告で解析した資料は，噴火予知計画で北海道大学理学部附属有珠火山観測所が連続観測として実施している観測資料である．観測基地をお世話頂いている足寄町茂足寄野中温泉の野中信夫御夫妻および家族・従業員の皆様に心からお礼申し上げます．また，観測点およびテレメータシステムの保守・点検などでは，本観測所の前川徳光技官による献身的な長年の貢献が基礎になっている．

昭和新山の調査研究に従事され，北海道大学理学部に火山と地震の観測科学の道を整備された福富孝治名誉教授は，1997 年 5 月 15 日御逝去された．ここに心からのお悔みを申し上げます．

文 献

青山裕，武尾実，辻浩，金嶋聡，及川純，行田紀也，1996，広帯域地震計で観測された浅間山Ｎ型地震の波動特性．火山

学会 1996 年秋期予稿集，94.

Chouet, B., 1992, A seismic model for the source of long-period events and harmonic tremor, in "Volcano Seismology" (Gasparini, P., Scarpa, R. and Aki. K., eds.), Springer-Verlag, 133－156.

Chouet, B., 1996, Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting. Nature, **380**, 309-2316.

Gomez, D. M., 1994, Waveform analysis on a special kind of seismic signals : "screw"-type events observed at Galeras volcano, Colombia, Final Rep. JICA Volcanology Training Course 1994, 26p.

Gomez, D. M. and Torres, R. A., 1997, Unusual low-frequency volcanic seismic events with slowly decaying coda waves observed at Galeras and other volcanoes. J. Volc. Geotherm. Res., **77**, 173－193.

浜田信生，神宮博，生本光二，1976，減衰の遅い終期微動を伴う火山性地震について，火山，**21**，167－183.

Herman, P., 1990, Comparative study on volcanic harmonic tremor, Rep. JICA Volcanology Training Course 1990, 85－119.

北大有珠（北海道大学理学部有珠火山観測所），1988，北海道の火山活動とその観測報告（1987 年 10 月～1988 年 4 月），火山噴火予知連会報，**41**，64－77.

北大有珠（北海道大学理学部有珠火山観測所），1989，北海道の火山活動とその観測報告（1988 年 5 月～1989 年 9 月），火山噴火予知連会報，**45**，1－10.

北大有珠（北海道大学理学部有珠火山観測所），1990，北海道の火山活動とその観測報告（1989 年 10 月～1990 年 2 月），火山噴火予知連会報，**46**，1－10.

北大有珠（北海道大学理学部有珠火山観測所），1994，北海道の火山活動とその観測報告（1990 年 3 月～1994 年 2 月），火山噴火予知連会報，**58**，1－34.

鍵山恒臣，行田紀也，小山悦郎，辻浩，1985，浅間火山小規模噴火の地学的背景と前駆的現象（1982～1983 年）．「火山体の物理的場の比較研究による噴火災害予測」，科研費報告書（北大理岡田弘編，p. 133），92－101.

松島喜雄，西村裕一，鈴木敦生，岡田弘，1988，十勝岳で観測される火山性地震のスペクトル解析－特に単純なスペクトル構造を持つ地震について．火山，**32**，317－328.

McNutt, S. R., 1996, Seismic monitoring and eruption forecasting of volcanoes : a review of the state-of-the-art and case histories. in "Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards" Scarpa/Tilling(eds.), Springer-Verlag, 99－146.

Narvaez, L., Torres, R. A., Gomez, D. M., Cortes, G. P., Cepeda, H., and Stix, J., 1997, 'Tornillo'type seismic signals at Galeras volcano, Colombia, 1992－1993, J. Volc. Geotherm, Res., **77**, 159－171.

西村裕一，山下済，1982，雌阿寒岳における 1982 年 3 月の群発地震活動，北大地物研報，**41**，65－76.

岡田弘，1985，火山体の物理的場の比較研究による噴火災害予測．科研費報告書（北大理岡田弘編，p. 133），3－12.

岡田弘，鈴木敦生，1995，雌阿寒岳の群発地震と長尾地震の発生様式，地球惑星関連合同学会予稿集，B 22 Q 16，108.

岡田弘，鈴木敦生，前川徳光，森済，西村裕一，1997，雌阿寒岳 1996 年 11 月の噴火（速報），北大地物研報，**60**，131－144.

岡田弘，宇井忠英，1997，噴火予知と防災・減災，「火山噴火と災害」（宇井忠英編，東大出版会，p. 219），79－116.

Sakuma, S. and Murase, T., 1957, Recent activity of volcano Meakan-dake. Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7, 37－53. 札幌管区気象台，1988，北海道の火山，札幌管区気象台，1－230.

札幌管区気象台，1997，北海道駒ケ岳・雌阿寒岳．北海道地域火山機動観測実施報告，**18**，p. 105.

沢田宗久，行田紀也，小山悦郎，辻浩，1993，浅間山のＴ型（Ｎ型）地震の発生機構．地球惑星合同学会 1993 年予稿集，285.

沢田宗久，行田紀也，小山悦郎，辻浩，1997，浅間火山に発生するＮ型地震（２）．火山学会 1997 年秋期予稿集，47.

Shimozuru, D. and Kagiyama, T., 1989, Some significant features of pre-eruption volcanic earthquakes. in " Volcanic Hazards" (Latter, J. ed.), Springer-Verlag, 504－512.

宇井忠英（編），1997，噴火と災害，「火山噴火と災害」（宇井忠英編），東大出版会，p. 219.

和田恵治，稲葉千秋，根元靖彦，1997，雌阿寒岳の最近 12000 年の噴火史，火山学会秋期予稿集，100.

横山泉，勝井義雄，江原幸雄，小出潔，1976，雌阿寒岳；火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策．「北海道における火山に関する研究報告書，第５編」，北海道防災会議，p. 138.