

# 1950年代に雌阿寒岳山上で取得された すす書き地震記録の再解析

丹羽 俊介<sup>\*1</sup>・青山 裕<sup>\*2</sup>・澤田 可洋<sup>\*3</sup>

Reanalysis of smoked-paper seismograms obtained at the top of Meakan-dake volcano in the 1950s

Shunsuke NIWA<sup>\*1</sup>, Hiroshi AOYAMA<sup>\*2</sup> and Yoshihiro SAWADA<sup>\*3</sup>

## はじめに

雌阿寒岳は阿寒カルデラの西南壁上に洪積世末から沖積世にかけて生じた安山岩質の火山で、8個あるいは10個もの火山体の集合からなる非常に複雑な火山構造を持つ(横山ほか1976; 和田1998)。中でも雌阿寒岳の主体を成している中マチネシリやボンマチネシリなどでは現在でも活発な噴気活動が続いており、1988年、1996年、1998年、2006年、2008年にはボンマチネシリ火口で小規模な水蒸気噴火が発生した。

北海道東部は古い文献や記録に乏しい。雌阿寒岳の明らかな火山活動記録は過去100年程度しか遡れず(横山ほか1976)、1600年代から文献記録が残る道南の三火山(北海道駒ヶ岳・有珠山・樽前山)に比べて、歴史資料から得られる情報が格段に少ない。文献に残る最も古い雌阿寒岳の活動は1927年に起こった鳴動である。その後1951~1952年、1954年に東山麓方面で鳴動を伴う地震活動が起こり、1955年11月19日にはボンマチネシリ火口で噴火が発生した。同一地点で1959年まで小爆発が繰り返され、その後は再び静穏期に戻った。この間に中マチネシリ第三火口や大噴でも、小規模な水蒸気爆発や火山灰放出が発生している。1955年から1956年の爆発を契機として、雌阿寒岳を対象とした気象庁による連続地震観測が始められ、北大理学部佐久間や村瀬らを中心とする臨時地震観測も繰り返し実施された(佐久間ほか1956; Sakuma 1957; Sakuma & Murase 1957; 村瀬1957; 村瀬ほか 1960; 野越・本谷1963)。その後も1966年頃までは中マチネシリやボンマチネシリで小爆発や微噴火が繰り返された(横山ほか1976)。

2014年に発生した御嶽山や2018年の草津白根山(元白根山)の水蒸気噴火は、観測データが増えた現在においても火山活動の予測の難しさを再認識させた。夏山シーズンには雌阿寒岳でも多くの登山者が美しい眺望を求めて火口近傍を訪れる。雌阿寒岳も水蒸気噴火を特徴とし、しばしば群発地震や噴気

活動の増大なども観測され、そのたびに噴火との関連性が社会的にも話題となる。ところが、観測体制が整備された1988年噴火以降には噴火活動期が5回しかなく、噴火前後の火山活動に関する知見は必ずしも十分ではない。そのため現在よりも火山活動が活発だった1950年代の調査研究の成果も重要となる。しかしながら、文献の記述や写真・図表等から当時の火山活動の概要や観測データの一端を知ることができるものの、文献という資料の性質上、掲載されているデータはごく一部に限られ、記されている内容以上のことを読み取ることは出来ない。

本研究のきっかけは、1950年代の活動が活発だった時期の雌阿寒岳の地震観測記録の原本(記象紙)が、釧路地方気象台に良好な状態で保存されていたことにある。この記象紙は雌阿寒岳の活動に関する生データとしては現存するものの中で最古であり、非常に貴重な資料である。特に1959年8月6日の記象紙にはボンマチネシリの噴火に伴うと考えられる最大両振幅58.8mm(記象紙上)の極めて大きい波形が記録されていたが(図1)、この波形記録を取り上げた研究報告はない。本研究では、過去の研究論文や残されている調査報告などを参照しながら、当時の地震波形記録の原本を調査し噴火前後の地震記録の再検測を行うとともに、波形記録のデジタル化と周波数解析を試みた。

## 硫黄礦業所での委託地震観測と釧路地方気象台に残されていた地震記象紙

気象庁による雌阿寒岳の連続地震観測は1956年に始まり、観測点や地震計が途中で何度か変更されている(図2, 図3)。当初は山頂の北北西約6kmにある阿寒硫黄礦業所に業務委託されており、1956年10月からは礦業所内に倍率約150倍の石本式地震計が設置された。1958年9月23日に中マチネシリ山体上の硫黄採鉱場へ観測場所を移し、同時に倍率約300倍の56型高倍率地震計(東西方向の振動を記録)に変更された。1962年6月には一旦観測が中止され

\*1 北海道大学理学部地球惑星科学科 Earth and Planetary Sciences, School of Science, Hokkaido University

\*2 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

\*3 元気象庁 Former position, Japan Meteorological Agency

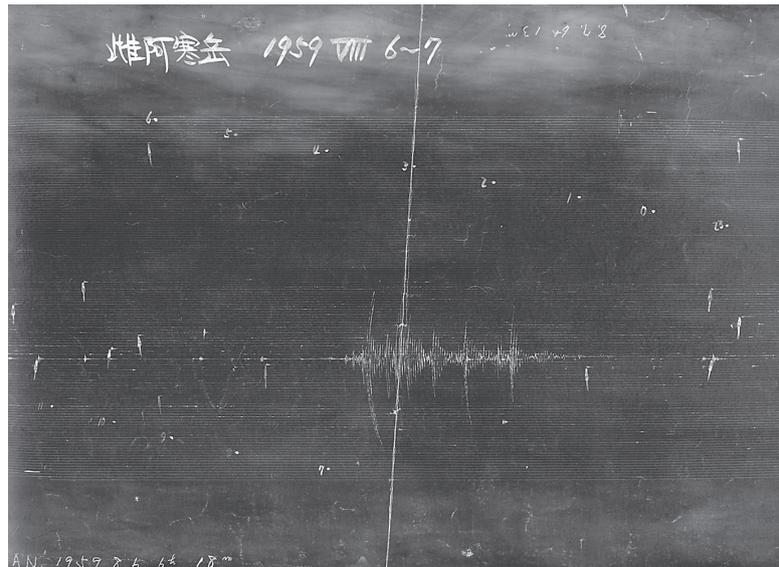


図 1. 1959 年 8 月 6 ～ 7 日のすず書き地震記録紙の一部（画像実寸 297.2mm × 215.9mm）。記録紙中央に 14 時頃に起きた最大両振幅 58.8mm の極めて大きい波形が記録されている。

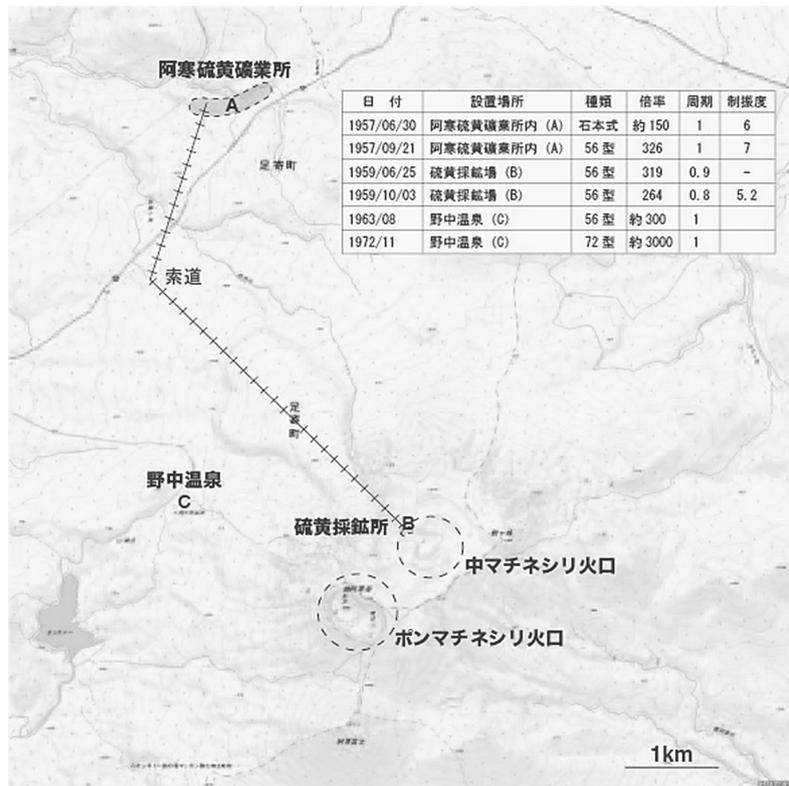


図 2. 地震観測点の位置図と地震計の変遷。図の作成にあたっては、国土地理院の地理院地図（電子国土 Web）サービスを利用し、情報の加筆を行った。

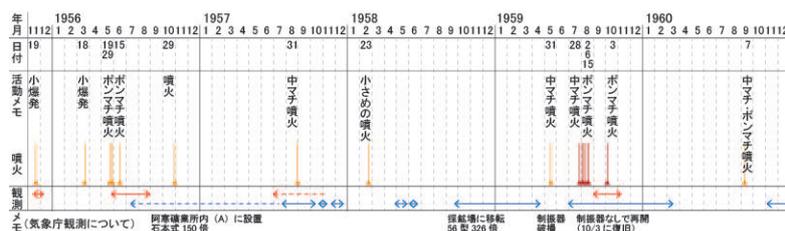


図 3. 1955 ～ 1960 年の雌阿寒岳の主な噴火活動と地震観測が行われた期間。観測期間の赤矢印は北海道大学による観測、青矢印は気象庁による観測の期間を示す。

たが、1963年からは野中温泉での委託観測を経て、高倍率電磁地震計を用いた観測へと移行している(横山ほか1976)。採鉱場へ設置された56型地震計は、気象庁では主として火山観測に用いられた地震計である。振り子の重量は30kg、固有周期は約1秒で、ピストン型の空気制振器を備え、倍率150倍から450倍の高倍率の変位地震計として用いられた(浜田2000)。

図4は釧路地方気象台に残されていた1960年当時の中マチネシリ硫黄採鉱場の地震計小屋とされる建物と、当時使用されていた勝島製作所製の56型地震計の写真である。地震計小屋は他の建物と隣接しており、人為的な振動ノイズを嫌う地震観測点の環境としては決して良いとは言えない。とは言え、採鉱場の限られた建物の1つを地震計小屋として提供し地震観測業務を受託した礦業所の側とすれば、繰り返される噴火から作業員の安全を確保する上で欠かせない観測作業だったのである。当時鉱山技師として採鉱場での地震観測に携わっておられた青井祐一氏の回顧録からも、地震観測が採鉱場の安全確保に役立っていたことがうかがえる(石川2016)。56型地震計など当時の地震計は、地面の揺れを「てこ」などを用いて機械的に拡大し、煤を一面に付けた黒い紙を細い針で引っ掻くことにより地震波形を記録していた。このような波形記録を「すす書き地震記録」と呼ぶ。連続的に長時間の地震記録を得るために、すす付けした紙は一定速度でゆっくりと回転する円筒形のドラムに巻かれた。ドラムは時間とともに

に軸方向へスライドする機構となっているため、ドラム表面にらせん状の引っ掻き傷として連続地震波形が得られるのである。すす付けされた紙は一定時間ごとに交換され、地震波形が記録された観測後の紙(記象紙)は直ちにニスをつけてすすを固定し、波形記録が消えないように処置された。

当初は委託観測で得られたすす書き記象紙は札幌管区気象台へ、1957年7月からは釧路地方気象台へ届けられ観測作業が行われていた。発震時・最大振幅・周期・S-P時間など観測作業の成果は、気象台の火山性地震原簿(釧路地方気象台1957-1960)にまとめられている(図5)。

幾度となく行われたであろう地震記象紙の整理作業を経て、現在まで釧路地方気象台に残されていた記象紙は、当時の観測作業で「雌阿寒岳に関する震動アリ」と判断されたものに限られていた。原本を調べることができた記象紙は、1957年8月5日から1960年12月18日までの全118枚である(表1)。後に述べるように、本研究では全ての記象紙について目視で振動波形の確認を行った後、複数回の噴火が含まれ連続的に記象紙が残っている1959年7月から10月の地震波形記録について再観測作業を行った。

1959年に繰り返された噴火と釧路地方気象台による現地調査報告

本研究の対象期間である1959年7月から10月の間に発生した噴火は、7月28日、8月2日、8月6日、8月15日、10月3日の5回である。ここでは、火山

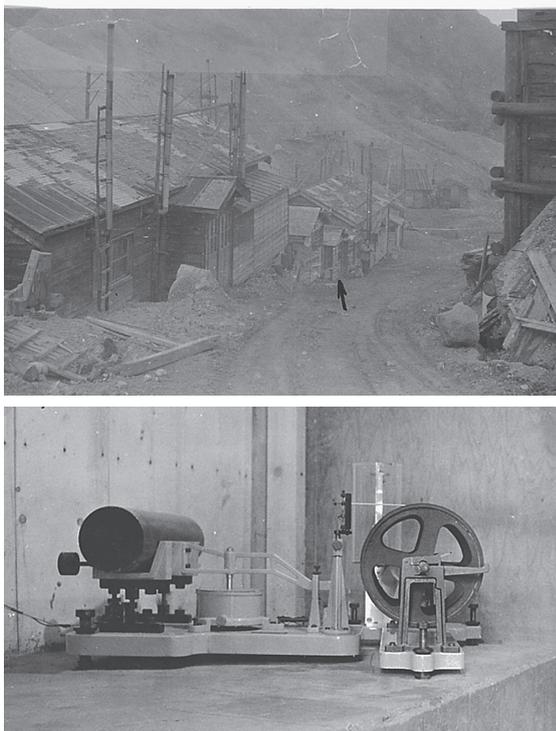


図4. 阿寒硫黄礦業所採鉱事務所付近の写真(上、黒矢印は地震計小屋)と、観測に使用されていた56型高倍率地震計(下)。

火山性地震原簿  
1959年 5月  
気象官署名 釧路地方気象台 No. 2

観測日時	発震時	最大振幅	固有周期	P-S	P-F	性質	噴動	記	事
0 6 02 52	05					不明	6	有	
0 6 04 57	05					不明	7	有	
0 6 04 50	1	0.2				不明	10	有	
6 11~12	3回							有	
0 6 11 41	05	0.2				不明	5	有	
6 12~13	12回							有	
0 6 12 50	1	0.2				不明	6	有	
6 13~14	27回							有	
0 6 13 30	1	0.15				不明	6	有	
0 6 13 42	1	0.1	+			不明	10	有	
0 6 13 55	1	0.2	+	0.5		不明	8	有	
6 14~15	136回							有	14:08~14:35連続噴火記録
0 6 14 05	8	0.2	+			不明	8	有	
0 6 14 06	8	0.2	+			不明	8	有	
0 6 14 08	8	0.2				不明	10	有	
0 6 14 10	10	0.2				不明	11	有	
0 6 14 13	93	0.8				不明	0.2	有	14:13~14:15連続噴火記録の7回連続記録の1つ
0 6 14 18	4	0.1				不明	10	有	
0 6 14 29	5	0.1				不明	8	有	
0 6 14 42	5	0.1				不明	8	有	

図5. 釧路地方気象台に保存されている雌阿寒岳の火山性地震原簿

の現地観測原簿（釧路地方気象台1959）、村瀬ほか（1960）及び地震月報（気象庁1959）に基づいて、当時の概況をまとめる。

1. 1959年7月28日の中マチネシリの噴火（図6-A）

7月28日19時から20時の間に、中マチネシリの大噴の南南東25mのところの直径約3mの硫気孔が生成し、大噴と同程度の噴煙を噴出した。この硫気孔は新大噴と命名され、噴火の際に噴煙とともに火山

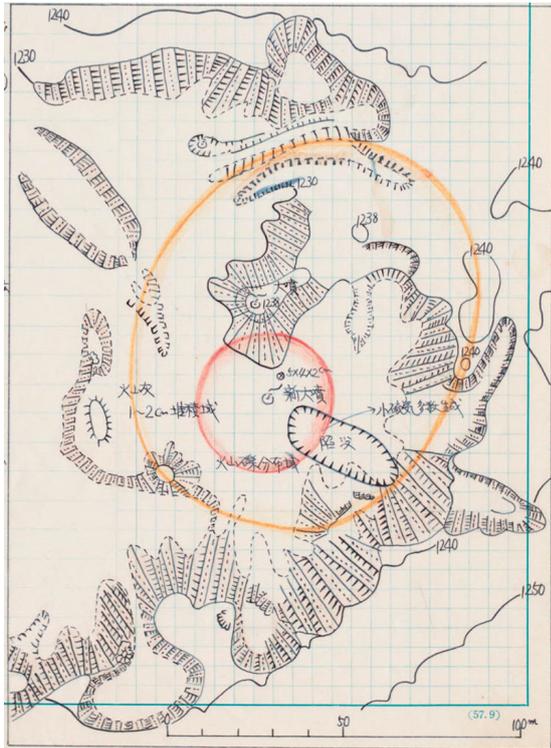


図6-A. 7月28日ナカマチネシリ噴火に伴う火山噴出物分布域（釧路地方気象台 1959）。赤い範囲は火山岩塊が飛散した分布域、黄色い範囲は火山灰が1～2cm堆積した範囲を示している。

礫・火山砂・火山灰を噴出した。その後、20時から23時頃まで活動は継続し、大噴南東約30mの地点に長径約30m・短径約10m・深さ最大10mほどの楕円形の陥没が生じた。火山灰は火口から北東方向に長さ600mにわたり飛散した。火山灰は新大噴の付近で1～2cm程の厚さだった。

2. 1959年8月2日のボンマチネシリの噴火（図6-B）

8月2日10時16分に、ボンマチネシリ第1火口で小爆発が起こった。突然白煙が吹き上がり、間もなく幅100m程に筒状の黒煙が800～1000mに昇り、きこの雲型に広がって南南西に流れた。この爆発で火山岩塊・火山礫・火山砂・火山灰を噴出した。火山岩塊はこぶし大ほどのものが多くみられた。火山灰は北風に押し流され、南南西約35kmの白糠町縫別まで到達した。

3. 1959年8月6日のボンマチネシリの噴火（図6-C）

8月6日14時10分頃に、ボンマチネシリで小爆発が起こった。黒色の噴煙が1000～1200mに昇り南方に流れた。2～3回の短く強い地震が感じられた。15時40分頃に再び地震を感じ爆発音が聞かれたため、15時40分頃にも小爆発があったようにも推定される。噴煙の噴出音は極めて強く、ボンマチネシリ頂上付近でもゴォーといった飛行機の爆音のような音が聞こえた。この爆発で火山岩塊・火山礫・火山砂・火山灰を噴出した。火山岩塊はこぶし大ほどのものが多くみられた。火山灰は北風に押し流され、南南西37kmの白糠町縫別南方まで到達した。またボンマチネシリの爆発前、中マチネシリの大噴の噴出圧が弱くなっていたが、爆発後の15時頃から大噴及び新大噴共に著しく活発化した。

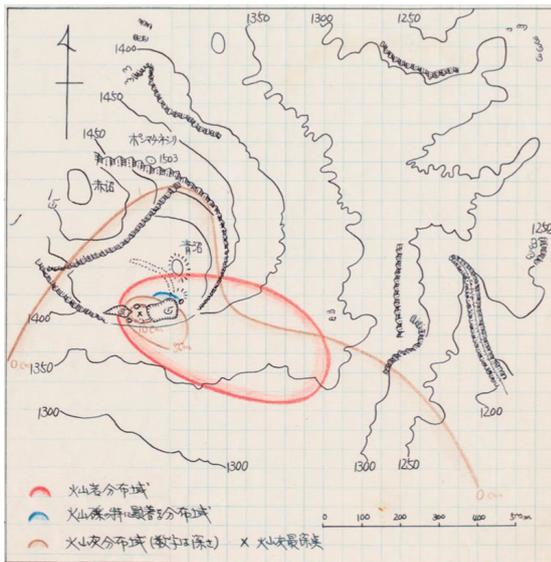


図6-B. 8月2日のボンマチネシリの噴火に伴う火山噴出物分布域（釧路地方気象台 1959）。赤い範囲は火山岩塊が飛散した分布域、青い範囲は火山礫の特に顕著な分布域、黄色い範囲は火山灰が堆積した範囲と厚さを示している。

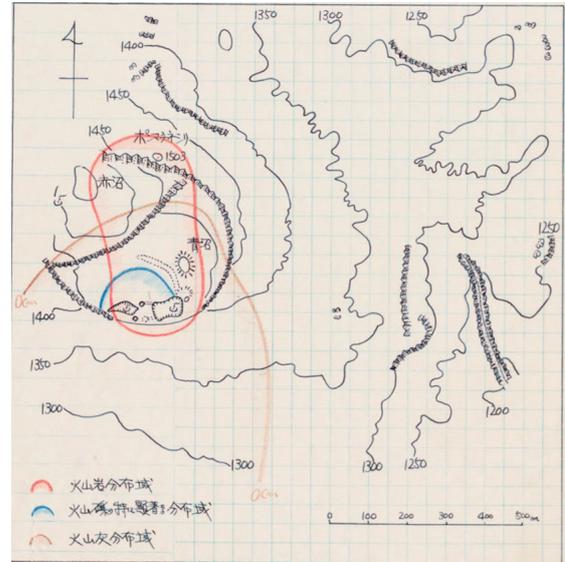


図6-C. 8月6日のボンマチネシリの噴火に伴う火山噴出物分布域（釧路地方気象台 1959）。赤、青、黄色の範囲は図6-Bと同じ。

#### 4. 1959年8月15日のボンマチネシリの噴火 (図6-D)

8月15日13時頃に、ボンマチネシリの新火口群が小爆発を起こした。確認されている噴出物は火山灰のみである。火山灰は火口から北東20kmほどのパンケトー北方付近まで到達した。

#### 5. 1959年10月3日のボンマチネシリの噴火 (図6-E)

10月3日22時48分頃、ボンマチネシリ第1火口で小爆発が起こった。この爆発に伴う地震や爆発音、山鳴り等は全く感じられなかった。この爆発で火山岩塊・火山礫・火山砂・火山灰を噴出した。火山岩塊はこぶし大ほどのものが多くみられ、火口近傍では人の頭ほどの大きさのものも見られた。火山灰は南西風に押し流され、北東約12kmの阿寒湖北方まで

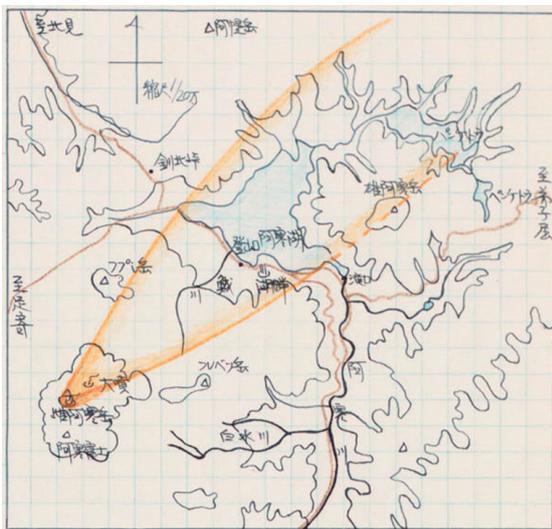


図6-D. 8月15日のボンマチネシリの噴火に伴う火山噴出物分布域 (釧路地方気象台 1959)。この噴火の噴出物は火山灰 (黄色の範囲) しか確認されていない。

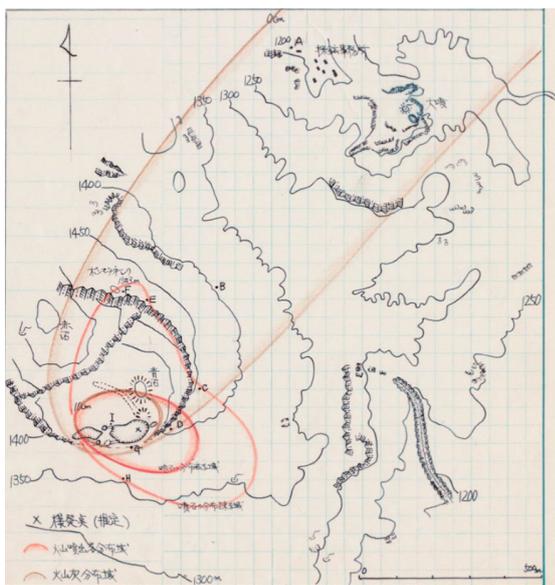


図6-E. 10月3日のボンマチネシリの噴火に伴う火山噴出物分布域 (釧路地方気象台 1959)。濃赤、薄赤の範囲は火山岩塊の、黄色の範囲は火山灰の分布域を表す。

到達した。

#### 記象紙に残る振動波形記録

雌阿寒岳の記象紙は日中の間描線が太かったりノイズが酷かったりするものが多く、硫黄採鉱作業が盛んに行われていたことがうかがわれる。また、すす書き地震記録の時間情報を知る上で必須となるタイムマークが不鮮明あるいは確認できない記象紙も多く、代わりに験測作業で正時の印が加えられている。青井祐一氏の証言 (石川2016) によると、採掘した硫黄の積み込み・運搬にはショベルカーとトラックを用いていた。また、採掘には火薬も用いられ、耐熱ダイナマイトを電気雷管で発破していたという。当時は発破の担当者と時計をあわせて記録し、発破の振動と地震を採鉱所にて区別するのに活かしていたそうである。

以下に、記象紙に見られた典型的な波形記録の例とその特徴を示す。それぞれの波形記録は記象紙から切り出しているため、記象紙上の実寸を各図の説明に記した。なお、火山性地震原簿 (釧路地方気象台1959) によれば、1959年4月23日から泥水の冠水により地震計が破損ししばらく欠測、6月25日から10月3日までは故障した制振器を外しての運用であった。

##### 1. 火山性地震 (タイプ1) (図7-A)

- ・波形はほぼ三角形
- ・P相・S相の発現時が識別しやすい
- ・S相の付近に最大振幅が認められる

##### 2. 火山性地震 (タイプ2) (図7-B)

- ・波形は紡錘形
- ・周期はタイプ1の火山性地震に比べて一般に長い
- ・P相・S相の識別が困難

##### 3. 火山性地震 (タイプ3) (図7-C)

- ・噴火に伴う地震と考えられる
- ・波形はほぼ三角形であるが、振幅の変動が目立つ
- ・ほぼ一定周期の振動が卓越する

##### 4. 火山性微動 (タイプ1) (図7-D)

- ・ほぼ一定の振幅・周期の振動が長時間継続する

##### 5. 火山性微動 (タイプ2) (図7-E)

- ・周期が短く振幅が不揃いの振動が長時間継続する

##### 6. 雌阿寒岳から離れた地域での地震 (図7-F)

- ・火山性地震に比べて周期が長く、振幅の変動が目立つ
- ・気象庁の地震月報 (1959) に発生日時が記載されている (震源は花咲半島や弟子屈が多い)

##### 7. 採鉱時の発破と思われる振動 (図7-G)

- ・日中の6-18時に多く見られる
- ・波形はほぼ三角形
- ・P相・S相の識別が困難

- ・振幅は大きいですがすぐに減衰し、振動継続時間が短い

8. その他の波形1 (図7-H)

- ・線が潰れて周期が読み取れない
- ・紡錘形で継続時間が短い

9. その他の波形2 (図7-I)

- ・周期の読み取れない波群が数珠状に連なる

10. その他の波形3 (図7-J)

- ・高周波の振動により線が太い

釧路地方気象台に残る験測結果と本研究での再験測噴火の報告が残る7月28日、8月2日、8月6日、8月15日、10月3日の前後について、雌阿寒岳の火

山性地震原簿(釧路地方気象台1956-1960)に記された地震の時間別発生回数を調べた。当時の雌阿寒岳の験測では、記象紙上の波形の両振幅が0.5mmを超える地震波形、すなわち実際の地動変位の両振幅が1.6 $\mu$ m(片振幅が0.8 $\mu$ m)を超える規模の地震について読み取りが行われていた。原簿報告の記載によれば、8月6日の噴火に関しては14時13分の噴火に向けて徐々に回数が増加していく傾向がみられたものの、他の噴火では噴火発生の時間帯もしくは噴火後に増加していて、噴火に先行する地震回数の増加傾向は見られない(図8)。しかしながら、青井祐一氏の回顧録(石川2016)によれば、『一度爆発するとしばらくは地震回数が0に、そのうちポツポツと、

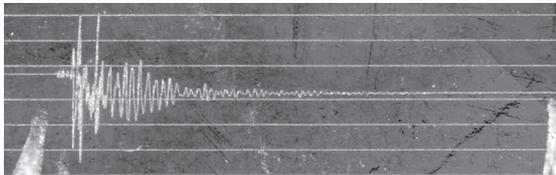


図7-A. 火山性地震(その1)の例(画像実寸21.5mm×6.7mm)。1959年7月22日2時39分に発生。三角形の形状をしている。

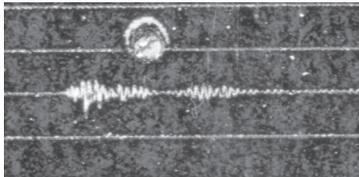


図7-B. 火山性地震(その2)の例(画像実寸8.0mm×4.0mm)。1959年8月5日18時26分に発生。紡錘形の形状をしている。

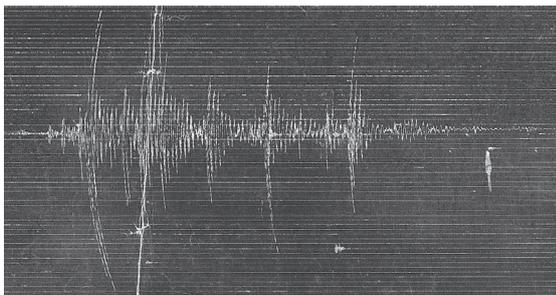


図7-C. 火山性地震(その3)の例(画像実寸108.2mm×67.7mm)。1959年8月6日14時13分に発生。同時刻の噴火に伴って発生したと考えられる。

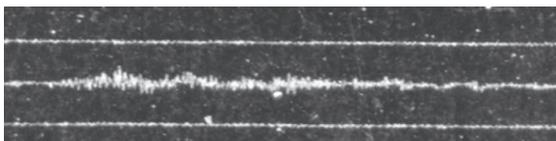


図7-D. 火山性微動(その1)の例(画像実寸13.9mm×3.5mm)。1959年10月3日13時9分に発生。同程度の振幅の波が続いている。

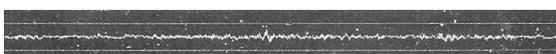


図7-E. 火山性微動(その2)の例(画像実寸39.7mm×3.4mm)。1959年10月3日22時48分に発生。振幅が不揃いな波が続いている。

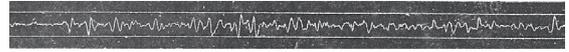


図7-F. 雌阿寒岳から離れた地域での地震の波形の例(画像実寸43.7mm×3.7mm)。1959年10月4日5時3分に発生。花咲半島東方沖で起こった地震によるものである。

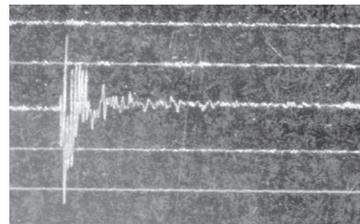


図7-G. 採鉱時の発破の振動と思われる波形の例(画像実寸9.4mm×5.8mm)。1959年7月14日12時23分に発生。最大振幅は大きいですがすぐに小さくなり、最大振幅に対して継続時間が短い。

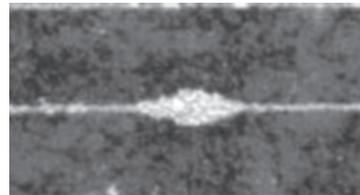


図7-H. その他の波形(その1)の例(画像実寸3.4mm×1.9mm)。1959年7月28日11時24分に発生。線が潰れてしまっていて周期が読み取れない。

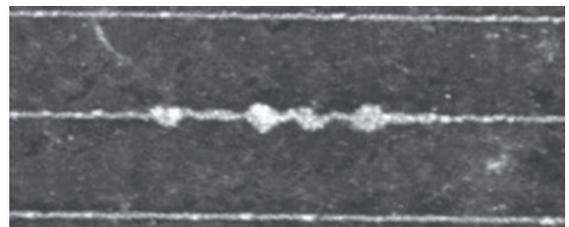


図7-I. その他の波形(その2)の例(画像実寸7.3mm×3.0mm)。1959年8月14日13時57分に発生。周期の読み取れない波形が数珠状に連なっている。

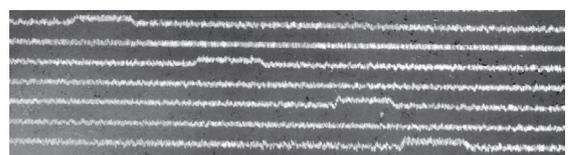


図7-J. その他の波形(その3)の例(画像実寸28.6mm×7.7mm)。1959年3月4日に発生。高周波のノイズが入って描線が太くなっている。大きな段差になっているところはタイムマーク。

そして噴火の前には何百回と起こる。これを繰り返す「素直」な火山だった。』とある。採鉱場では地震の発生パターンから噴火を予測していたことがうかがわれ、当時の気象台の験測では計数されなかった地震の存在が示唆される。ちなみに、後年、電磁式地震計による野中温泉での連続観測となつてからは、実地動の振幅で0.05 $\mu\text{m}$ 以上の振動が験測対象となっている(高木2009)。採鉱場に比べて野中温泉は火口からの距離が遠いものの、約1/30の小振幅の振動まで計数されていることになる。現代と当時の験測結果を比べる際には、小さな地震の検出能力に大きな差があることに留意しなければならない。

本研究ではまず始めに、当時気象庁で行われていた験測作業と同様のルーペを用いた方法で記象紙の波形記録の再確認を行った。その結果、噴火時刻前後の記象紙上には気象台の原簿報告に記載されていない地震波形と思われる振動が多数存在していることが確認できた。そこで噴火日前後で保存されていた11枚の記象紙を対象を絞り、記象紙上の小さな波形記録を拡大して均一の基準で調べるために、イメージスキャナー(EPSON製GT-X830)を用いて解像度1200dpi、読み取り階調16bitグレースケールで画像化し、記象紙全体を分割してコンピュータへ取り込んだ。この波形画像に対してフリーソフトウェアの“Graphcel”(グラフ画像の数値化ソフト)を用い、再験測作業を行った。

上述の5つの噴火前後における以下の11枚の記象紙を対象に、PC上に取り込んだ画像を元に地震出現時間や最大振幅を読み取った。

- ・1959/7/27 6:49 - 1959/7/28 6:44
- ・1959/7/28 6:45 - 1959/7/29 6:24  
(中マチネシリ噴火)
- ・1959/8/1 6:11 - 1959/8/2 6:17
- ・1959/8/2 6:18 - 1959/8/3 5:59  
(ボンマチネシリ噴火)
- ・1959/8/4 5:42 - 1959/8/5 6:08  
【※21時以降はノイズのため検測せず】
- ・1959/8/5 6:09 - 1959/8/6 6:17
- ・1959/8/6 6:18 - 1959/8/7 6:13  
(ボンマチネシリ噴火)
- ・1959/8/7 6:14 - 1959/8/8 6:20
- ・1959/8/14 7:00 - 1959/8/15 6:54
- ・1959/8/15 6:55 - 1959/8/16 6:57  
(ボンマチネシリ噴火)
- ・1959/10/3 12:26 - 1959/10/4 7:28  
(ボンマチネシリ噴火)

験測項目は発生日時と最大振幅とし、本研究では記象紙上での最大両振幅が0.25mm以上、実地動で両振幅が0.8 $\mu\text{m}$ 以上(片振幅が0.4 $\mu\text{m}$ 以上)の振動を験測対象にした。これは当時の気象庁での験測基準に比べ、半分の振幅の振動まで験測対象とすることになる。先に述べたように振動波形の原因の識別が難しいことから、ノイズや雌阿寒岳から離れた地域で

の地震など波形の特徴から明らかに火山性地震でない判断できるものを除いて、全ての記録された振動を数えた。そのため本研究の験測結果は、地震回数ではなく振動回数であることに注意されたい。この時期の記象紙には絶対時刻を示すタイムマークが打たれていなかったため、記象紙に追記された各正時の点を信頼し、各正時の間を比例配分することで地震の発生時刻を求めた。この験測結果をもとに、噴火前後の振動回数の時系列変化や最大振幅の時間変化を調べた。本研究の再験測による1時間ごとの振動回数と最大振幅の時間変化を図8に示す。

再験測を行った日はいずれも、日中の6時から18時にかけてほぼ毎時10回前後の振動が計数される。これらは硫黄採鉱場での作業による人為的な振動であると考えられ、日中の時間帯には10回程度の人為的な振動が含まれるとして、計数結果を評価すべきである。本研究での再験測の結果、7月28日の6時から14時にかけて振動回数が増加していたり、8月1日の23時前後には夜間にもかかわらず10回以上の振動があったり等、人為的な振動を含んでいることを加味しても噴火に向けた振動回数の増加傾向がうかがえる。

振動の振幅(最大片振幅)は、噴火の前後1時間程度以外はおおよそ2~4 $\mu\text{m}$ 前後で変化している。噴火に伴わない火山性地震の最大振幅と採鉱作業に伴う人為的振動の最大振幅に大きな差がない、あるいは人為的振動に比べて火山性地震の振幅が小さいと考えられる。

先に述べたように、火山の現地観測原簿(釧路地方気象台1959)には、7月28日の19~20時の間に新大噴が生成し、噴煙とともに火山礫などを噴出したと記されている。しかし、7月28日の19時台の振動回数は19時42分の1回のみで、最大振幅も0.5 $\mu\text{m}$ と他の噴火に伴ったと考えられる波形記録と比べてかなり小さい(図8-A)。20時台の振動は20時14分の最大振幅0.6 $\mu\text{m}$ の振動に始まり、20時30分から21時までの間に振動回数が100回前後まで急増し、また最大振幅5 $\mu\text{m}$ を超える大きい振動も11回発生していた。このことから、噴火の開始時刻は20時30分前後であった可能性が考えられる。

8月2日は10時台に噴火したが、10時前後よりも大きな振幅の地震が17時頃にあったことが分かる(図8-B)。8月2日以外の噴火は振動回数が噴火後1~2時間で通常程度に戻っていく中、8月2日は6時間後の18時前後にも20回以上の振動があったことから、10時台に噴火した後も長い時間活動が継続していた可能性が示唆される。

10月3日22時48分の噴火は、村瀬ほか(1960)でも同じイベントをとらえている(図8-E)。気象庁の観測で得られた噴火発生時の微動の最大振幅は1.9 $\mu\text{m}$ だった。村瀬ほか(1960)が行った北大の地震観測では、火口から0.6kmに設置された地震計で2.0 $\mu\text{m}$ の振幅の微動を観測している。気象庁の観測点は火

口から1.2kmと遠く、北大の記録と比較すると距離が遠い割に振幅が大きい。本研究の験測では一続きの振動は一律で1回としたため、仮に微動の継続中に他の地震などの振動が起こったとしても1回の振動と判断している。22時48分から始まった振動の1.9 $\mu$ mの最大振幅があった部分はその前後に比べ低周波の波で構成され(図7-E)、村瀬ほか(1960)の験測では噴火微動の最中に発生した地震として微動の最大振幅に含めていないのかもしれない。

本研究の験測では、当時の気象庁の験測下限値の半分の振幅の地震波形まで扱ったことにより、1959年7~10月に発生した一部の噴火の前には地震発生回数の増加傾向があったことが確認できた。験測者によって地震や微動等の判断基準に個人差があるため、地震の計数等で同じ験測結果を得るのは難しいが、振幅が小さなす書き地震記録を験測する上では、高分解能のスキナーで画像化し拡大するという手法は非常に有用であった。

### す書き地震波形のデジタル化と周波数解析

本研究で取り扱っているようなす書き地震記録はルーペや定規等を用いたアナログ的な験測に用いられてきたが、大規模な震災の引き金となった大地

震のす書き地震波形は、本研究で実施したようなスキャンの後にデジタル波形に変換して、現代的な波形解析やデータ処理が試みられている(例えば1944年の東南海地震の研究例:古村・中村2006)。そこで本研究でも一部の特徴的な地震波形についてデジタル化の処理を行い、地震波の周波数解析を試みた。

記象紙に記されていた波形をデジタルデータ化する際には、建設省土木研究所地震防災部振動研究室

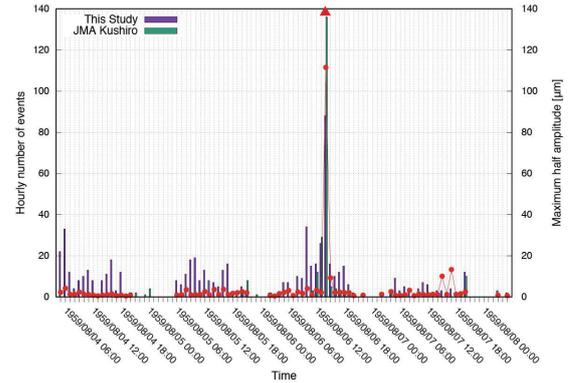


図8-C. 8月4日5時から8月8日5時までの、火山性地震の時間回数(JMA Kushiro)と、振動の時間回数(This Study)。赤点は振動の最大片振幅、上部の赤三角は8月6日のボンマチネシリ噴火の時間帯を示す。

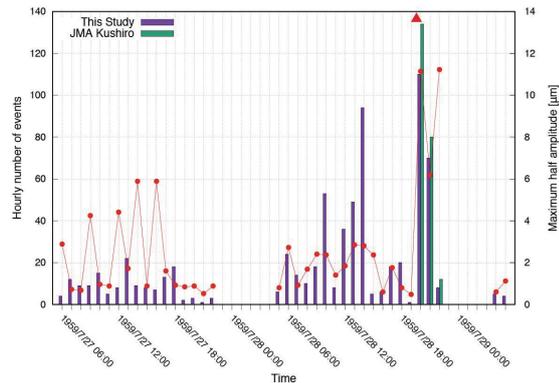


図8-A. 7月27日6時から7月29日5時までの、気象庁の火山性地震原簿(釧路地方気象台1959)に記載されている火山性地震の時間回数(JMA Kushiro)と、本研究の再験測による振動の時間回数(This Study)。赤点は本研究の再験測で決定したその時間帯の振動の最大片振幅を示す。上部の赤三角は7月28日の中マチネシリ噴火の時間帯を示す。

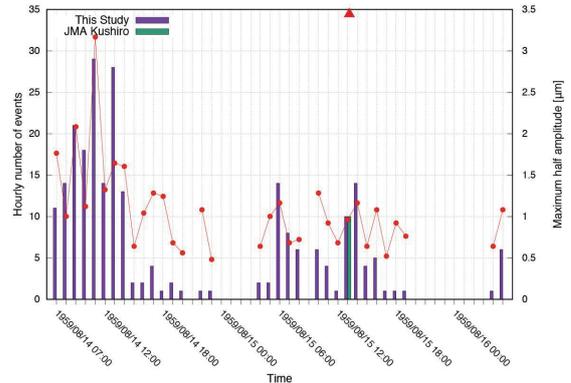


図8-D. 8月14日7時から8月16日5時までの、火山性地震の時間回数(JMA Kushiro)と、振動の時間回数(This Study)。赤点は振動の最大片振幅、上部の赤三角は8月15日のボンマチネシリ噴火の時間帯を示す。

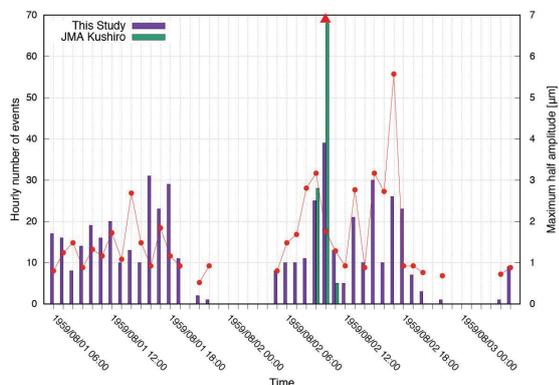


図8-B. 8月1日6時から8月3日5時までの、火山性地震の時間回数(JMA Kushiro)と、振動の時間回数(This Study)。赤点は振動の最大片振幅、上部の赤三角は8月2日のボンマチネシリ噴火の時間帯を示す。

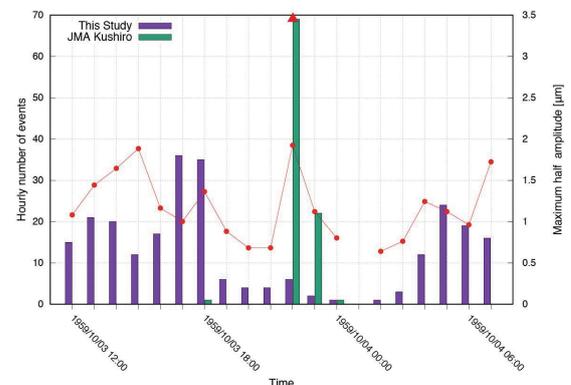


図8-E. 10月3日12時から10月4日7時までの、火山性地震の時間回数(JMA Kushiro)と、振動の時間回数(This Study)。赤点は振動の最大片振幅、上部の赤三角は10月3日のボンマチネシリ噴火の時間帯を示す。

(1988)を参考に、以下の手順で作業を行った。

### 1. 波形の座標読み取り

波形画像を適度に拡大した上で“Graphcel”を用いてすす書き地震波形をトレースし、マウスクリックにて波形サンプリング点の(X,Y)座標を得た。波形の描線が太いところでは、線の間をサンプリングするように留意した。

### 2. 円弧補正

機械式地震計のアームは自動車のワイパーのように動作しながら回転するすす付け紙の上に地震波形を描くため、振幅が大きい場合には波形は円弧状になる。また地震計の記録針が中心線からずれ、片振れする場合もある。これらの影響を取り除くことを円弧補正という。

読み取った座標を(X,Y)、補正後の座標を(x,y)、地震計のアーム長をL、ペンの中心位置からのずれをcとすると、(x,y)はcに依存し、

$$x = X - L(1 - \cos \theta)$$

$$y = L(\theta - \phi)$$

と表せる。ここで、 $\theta, \phi$ は、

$$\sin \phi = c/L$$

$$\sin \theta = (c+Y)/L$$

である。

地震計のアーム長についての情報を見つけれなかったため、1959年8月6日14時13分の円弧状波形の半径からLの値は135mmとした。また、cは最大振幅範囲に存在する未知数として試行錯誤的に代入し、補正後の波形を描きながら目視で判断した。

### 3. 時間軸の補正

不鮮明かつ潰れた波形のデジタル化のため誤差が多く、円弧補正後のデータでサンプリング点の座標xが前後で逆転する箇所が現れる。その場合には次の処理を行った。i番目のサンプリング点のx座標をx(i)、i+1番目のx座標をx(i+1)とすると、

$$x(i) = x(i) - (x(i) - x(i+1)) \times 0.75$$

$$x(i+1) = x(i+1) + (x(i) - x(i+1)) \times 0.75$$

この処理で対処できなかったデータは、外れ値としてサンプリング点から除外した。

### 4. データの等間隔化

以上の補正をかけた不等間隔のデジタルデータを、直線補間により0.05秒ごとの等間隔データとなるようサンプリングした。

### 5. 周波数解析

ペンの摩擦などの影響による基準線のずれなどを取り除くため、1.12Hzのハイパスフィルタを施した後に、フーリエ周波数解析を行った。

今回デジタル化の作業を行い、周波数解析を行っ

たのは次の7事例である。

- ・1959/7/14 14:19 (発破)
- ・1959/7/14 16:49 (発破)
- ・1959/7/28 20:49 (中マチネシリ噴火)
- ・1959/7/28 20:57 (中マチネシリ噴火)
- ・1959/8/2 9:58 (ボンマチネシリ噴火)
- ・1959/8/2 10:29 (ボンマチネシリ噴火)
- ・1959/8/6 14:13 (ボンマチネシリ噴火)

作成したデジタル地震波形と周波数解析の結果を図9に示す。発破によると考えられる振動は1~10Hzの間に複数のピークを持ち、高周波成分にも富んでいる(図9-A,B)。記象紙上での波の間隔が詰まっているため、リサンプリング処理に伴って最大振幅部分が過小評価となり、デジタル波形での再現性がやや低下している。一方、噴火に伴って起きたと考えられる振動は、周波数のピークがそれぞれ一つずつに見える(図9-C~9-F)。波形の見た目だけでは区別が付き辛い、周波数解析を行うことで区別できる可能性がある。

7月28日の中マチネシリの噴火に伴うと考えられる地震波形は、2つの事例ともに4~5Hzにスペクトルのピークがみられた(図9-C,D)。一方で、8月2日のボンマチネシリの噴火に伴うと考えられる地震波形のスペクトルは6Hz前後にピークがあった(図9-E,F)。佐久間ほか(1956)が調べた1955年11月の地震は卓越周期が約0.2秒(=5Hz)であり、本研究の結果とおおよそ一致している。一方8月6日のボンマチネシリの噴火に伴うと考えられる地震波形では、1Hz付近に鋭いスペクトルのピークがみられた(図9-G)。

1988年のボンマチネシリの噴火に前後して観測された地震について、高木(2009)は地震データの周波数解析を行い、それらをSimple eventとComplex

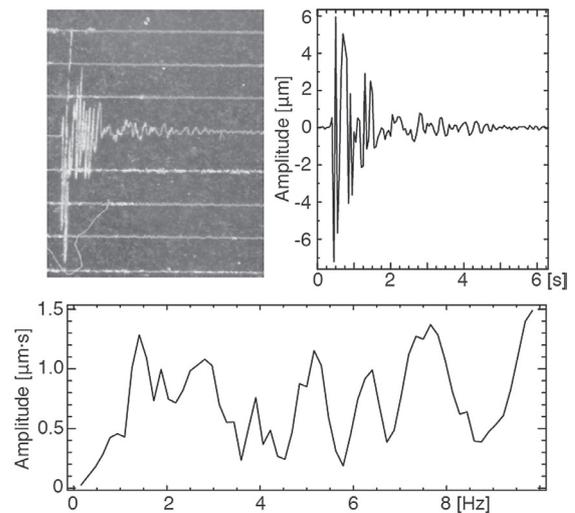


図9-A. 1959年7月14日14時19分の波形(画像実寸6.6mm×8.2mm)のデジタル化および周波数解析結果。左上が元の波形、右上がデジタル化した波形、下が周波数解析結果。発破の振動と思われる波形は1~10Hzの間に複数のピークを持っている。初動付近の大振幅の高周波は、デジタル化作業による波形の再現が極めて難しい。

eventに分類した。Simple eventとは継続時間が10秒前後の弾性破壊で説明できる比較的短時間の振動波形を指し、Complex eventとは継続時間が10秒を超える単純な弾性破壊では説明が困難な振動記録を指す。1988年噴火時に観測されたポンマチネシリの地震は、主に6~8 Hzと10~13Hzの2つのスペクトルピークがあり、8 Hz以下の振動が卓越するものをLF、10Hz以上の振動が卓越するものをHFと分類した(高木2009)。本研究で行った8月2日の波形の周波数解析の結果は、高木(2009)が定義したSimple eventのLF型と整合的な特徴を持つ。また、1959年の噴火時にも1988年と似た地震活動が起こっていた場合、その他の波形(その1)に分類した中

には高木(2009)で言うところのHFの地震が含まれている可能性がある。

本研究でデジタル化した地震波形の中では、8月6日14時台に記録された振動(図9-G)が特に大振幅で目にとまる。一連の波群の中に大小あわせて十数回の振幅の増大があり、そのうちの2~3回は特に振幅が大きい。前に述べたように、火山の現地観測原簿(釧路地方気象台1959)には、「8月6日14時10分頃に、ポンマチネシリで小爆発が起こった。黒色の噴煙が1000~1200mに昇り南方に流れた。2~3回の短く強い地震が感じられた。」とあるほか、火山性地震原簿(釧路地方気象台1959)には「14時13分~14時15分まで振幅大なる振動7回連続す。空振

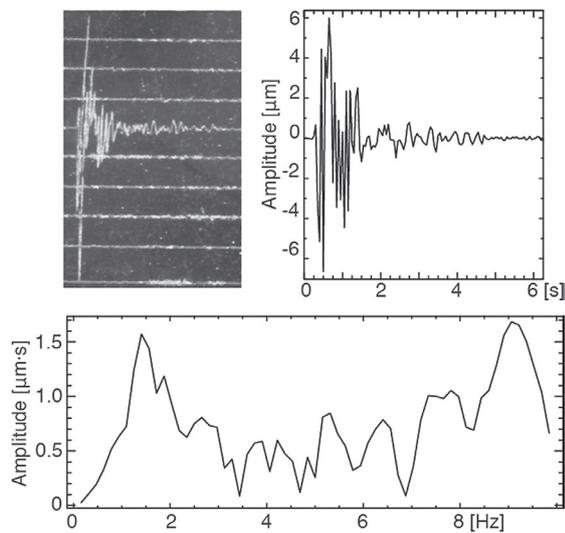


図9-B. 1959年7月14日16時49分の波形(画像実寸5.7mm×9.0mm)のデジタル化および周波数解析結果。図8-Aと同様に複数のピークがみられる。

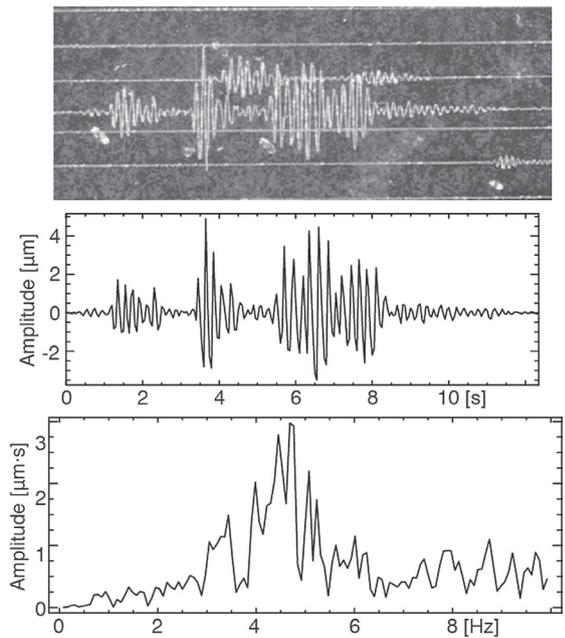


図9-C. 1959年7月28日20時49分の波形(画像実寸13.7mm×5.4mm)のデジタル化および周波数解析結果。中マチネシリの噴火に伴って起きた地震は4~5Hzにピークがみられる。

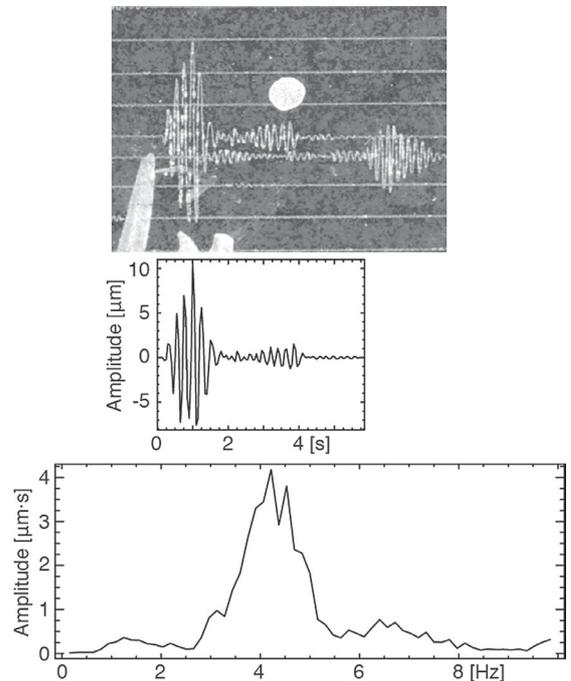


図9-D. 1959年7月28日20時57分の波形(画像実寸9.9mm×7.3mm)のデジタル化および周波数解析結果。図9-Cと同様に4~5Hzにピークがみられる。

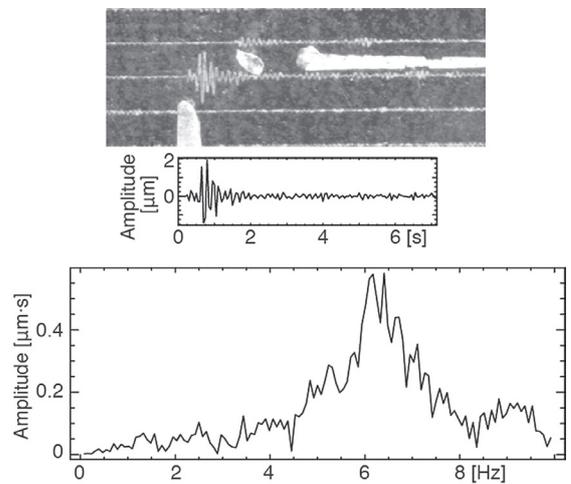


図9-E. 1959年8月2日9時58分の波形(画像実寸10.8mm×4.0mm)のデジタル化および周波数解析結果。ポンマチネシリの噴火に伴って起きた地震は6Hz前後にピークがみられる。

のようにも考えられる。」という記述がある。前後の他の4回の噴火については振動について特段の記述がないことを見ても、8月6日14時台の噴火は特記するほどに振動が強かったと想像される。これらのことから、図9-Gに示した振動波形は、8月6日のボンマチネシリの小爆発にともなう記録である可能性が極めて高い。8月6日の振動記録の特徴と整合するような複数の記述資料が残っているにもかかわらず、この記録が注目されていなかったことは驚きである。

先に述べたように、1959年6月から10月までは制振器を外した状態で観測が行われていた(釧路地方気象台1959)。そのため、入力する地震動の周波数

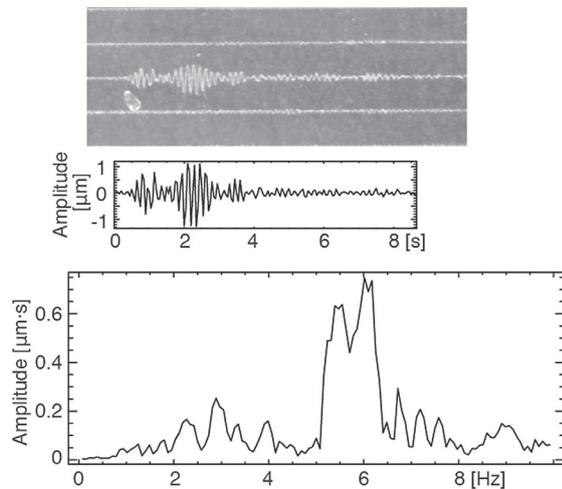


図9-F. 1959年8月2日10時29分の波形(画像実寸10.8mm×4.0mm)のデジタル化および周波数解析結果。図9-Eと同様に6Hz前後にピークがみられる。

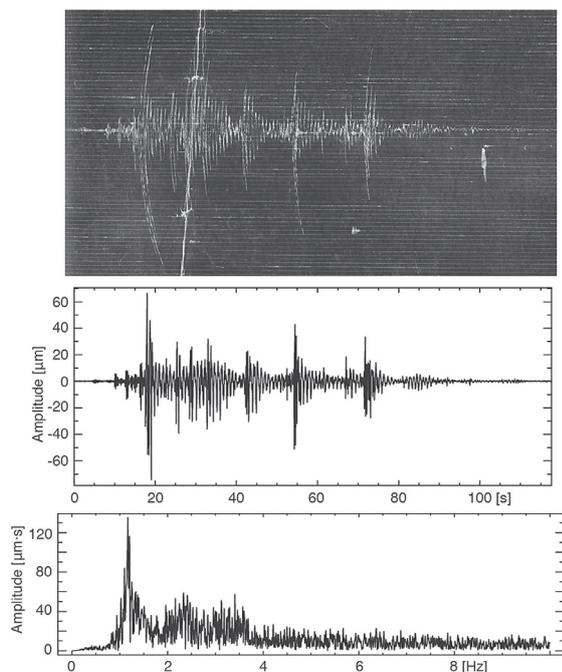


図9-G. 1959年8月6日14時13分の波形(画像実寸119.5mm×65.2mm)のデジタル化および周波数解析結果。この地震は、一連の波動の中に大小合わせて12回の振幅の増大が現れている。また、この波形を周波数解析した結果1Hz周辺に鋭いピークがみられた。

成分によっては、地震計の固有周波数(≒1.12Hz)付近に振子の共振による見かけのスペクトルピークが現れる可能性が考えられる。8月6日の大振幅の振動記録は1Hz前後に鋭いスペクトルピークを持っており、共振が起っていた可能性は否定できない。過去の研究報告でこの振動記録が取り上げられなかったのも、地震計の特性が調整されておらず解析に適さないと判断されたのだろうか。しかしながら、同一条件で観測されていた他の地震波形には1Hz前後に目立ったスペクトルピークは見られないことから、8月6日の噴火では1Hz前後の低周波の振動が効率的に励起されていたのかもしれない。

### おわりに

現在よく知られている雌阿寒岳の活動特性は、現代的な観測網の整備が進んだ1988年噴火以降の観測結果に基づいてまとめられている。特に、1988年以降の5回の噴火活動のうち4回の事例において、噴火の2~3ヶ月前から火山性地震の群発活動が繰り返された(例えば、岡田ほか1997; 高木2009; Aoyama & Oshima 2008; Aoyama & Oshima 2015)。このような活動の特徴は、雌阿寒岳の活動評価を行う上で重要な切り所の1つとなっている。ただし、噴火事例が5回と限られているため、噴火前後の地震活動の特徴をしっかりと把握できているとは言いがたい。

本研究ではすす書き地震波形記録の原本が存在する1959年の5回の噴火事例について、波形記録を確認しながら当時の気象庁の験測結果を改めて見直すとともに、気象庁の験測基準よりも小さな振動波形まで再験測の対象とした。その結果、一部の噴火の直前には地震回数の増大があったことが確認できた。当時は短期間に複数回の噴火が繰り返されるなど1988年以降の噴火事例とは活動の様子が異なるものの、調査できる噴火事例が限られている状況を考えれば、噴火直前の地震活動の様子が幾例かでも新たに把握できたことは大きな成果である。また、小噴火と一口に言っても、それぞれの噴火に伴う振動記録の様相が大きく異なることも注目に値する。特に8月6日14時台のボンマチネシリ噴火に伴う振動は振幅が大きい上に、一連の振動の中に複数回の振幅増大を伴い、資料に残されている記述の特徴ともよく合致する。一方で、他の噴火では振動の振幅増大が不明瞭な事例もある。当時の資料の記述と対比させながら振動波形を確認することで、雌阿寒岳の水蒸気噴火の多様性を再認識できた。

60年以上も前に取得された振動記録から今日でも新たな知見が得られたことは、採鉱所で毎日の振動観測に取り組んでおられた技術者や、噴火の調査結果を丁寧に記述しすす書き記録とともに保存してこられた気象台職員のご尽力のおかげである。現在では遠隔無人観測が主流となって観測点の数も増え、

振動記録もデジタルデータとして伝送・保存されるようになった。当時に比べれば観測記録の取り扱いが格段に容易になったが、その反面、データが増えたことで散逸しやすくなっている。現象が発生し

た瞬間にしか得られない観測データの原本を、後世まで使える財産として残すことの重要性を改めて考えさせられた。

番号	記録開始日時	記録終了日時	番号	記録開始日時	記録終了日時	番号	記録開始日時	記録終了日時
1	1957/8/5 9:03	8/6 9:08	41	1959/4/2 6:15	4/3 6:13	81	1959/9/10 6:56	9/11 6:40
2	1957/9/4 9:02	9/5 5:11	42	1959/4/5 6:26	4/6 6:21	82	1959/9/11 6:41	9/12 6:40
3	1957/9/18 6:45	9/19 7:25	43	1959/6/28 8:00	6/29 6:14	83	1959/9/12 6:43	9/13 7:07
4	1957/9/25 5:19	9/26 5:17	44	1959/6/30 6:30	7/1 6:26	84	1959/9/16 6:26	9/17 6:19
5	1957/9/28 6:42	9/29 8:15	45	1959/7/1 6:28	7/2 6:20	85	1959/9/21 6:43	9/22 7:01
6	1957/10/6 5:04	10/7 16:11	46	1959/7/2 6:21	7/3 6:20	86	1959/9/23 6:50	9/24 6:49
7	1957/10/9 6:15	10/10 6:40	47	1959/7/7 6:24	7/8 6:25	87	1959/9/26 6:54	
8	1957/10/10 6:43	10/11 8:12	48	1959/7/12 18:01	7/13 5:59	88	1959/9/27 7:02	9/28 6:54
9	1957/10/16 5:24	10/17 7:18	49	1959/7/13 6:00	7/14 5:57	89	1959/9/28 6:46	9/29 6:30
10	1957/11/6 10:50	11/7 11:31	50	1959/7/14 5:58	7/15 6:10	90	1959/9/30 6:35	10/1 6:40
11	1957/11/9 11:43		51	1959/7/16 6:03	7/17 6:19	91	1959/10/1 6:41	10/2 6:54
12	1957/11/12 12:56	11/13 9:31	52	1959/7/18 6:36	7/19 6:35	92	1959/10/3 12:26	10/4 7:28
13	1958/6/4 10:40	6/5 10:29	53	1959/7/19 6:36	7/20 6:37	93	1959/10/8 6:02	
14	1958/6/10 11:06	6/11 11:05	54	1959/7/20 6:38	7/21 6:36	94	1959/10/9 6:14	10/10 6:09
15	1958/6/11 11:10	6/12 10:30	55	1959/7/21 6:37	7/22 6:36	95	1959/10/10 6:10	10/11 6:27
16	1958/6/15 10:35	6/16 10:26	56	1959/7/22 6:37	7/23 6:34	96	1959/10/11 6:28	
17	1958/7/6 10:56	7/7 17:02	57	1959/7/23 6:35	7/24 7:04	97	1959/10/19 6:00	10/20 6:04
18	1958/7/7 10:47	7/8 10:37	58	1959/7/24 7:05	7/25 6:37	98	1959/10/20 6:05	
19	1958/7/17 10:36	7/18 10:45	59	1959/7/27 6:49	7/28 6:44	99	1959/10/29 6:56	10/30 8:10
20	1958/7/26 10:53	7/27 10:32	60	1959/7/28 6:45	7/29 6:24	100	1959/11/1 7:04	11/2 7:04
21	1958/7/30 10:50	7/31 10:35	61	1959/8/1 6:11	8/2 6:17	101	1959/11/11 17:38	11/12 5:37
22	1958/9/25 6:30	9/26 6:20	62	1959/8/2 6:18	8/3 5:59	102	1959/11/14 5:38	
23	1958/10/13 6:04	10/14 6:06	63	1959/8/4 5:42	8/5 6:08	103	1959/11/19 6:52	11/20 6:54
24	1958/10/14 6:07	10/15 6:09	64	1959/8/5 6:09	8/6 6:17	104	1959/11/21 6:54	11/22 7:28
25	1958/10/26 6:27	10/27 6:09	65	1959/8/6 6:18	8/7 6:13	105	1959/12/3 8:45	12/4 9:57
26	1958/11/1 6:20	11/2 6:29	66	1959/8/7 6:14	8/8 6:20	106	1959/12/4 9:58	12/5 10:10
27	1958/11/7 11:30		67	1959/8/8 6:21	8/9 6:27	107	1959/12/19 19:08	12/20 4:40
28	1958/12/14 6:17	12/15 6:20	68	1959/8/9 6:28	8/10 6:17	108	1960/10/20 18:53	10/21 17:05
29	1959/1/4 6:17	1/5 6:20	69	1959/8/10 6:19	8/11 6:52	109	1960/10/31 9:20	11/1 16:30
30	1959/1/7 10:05	1/8 7:00	70	1959/8/12 6:41	8/13 6:46	110	1960/11/3 17:38	11/4 17:58
31	1959/1/22 6:21	1/22 17:54	71	1959/8/13 6:47	8/14 6:59	111	1960/11/7 18:05	11/8 18:15
32	1959/2/1 6:13	2/2 6:13	72	1959/8/14 7:00	8/15 6:54	112	1960/11/24 19:05	11/25 16:07
33	1959/2/8 6:19	2/9 6:12	73	1959/8/15 6:55	8/16 6:57	113	1960/12/4 18:42	12/5 18:27
34	1959/2/16 6:10	2/17 6:12	74	1959/8/22 6:31	8/23 6:29	114	1960/12/8 18:40	12/9 18:15
35	1959/2/17 6:20	2/18 6:24	75	1959/8/23 6:30	8/24 6:44	115	1960/12/15 18:30	
36	1959/2/24 6:14	2/25 6:15	76	1959/8/27 6:56	8/28 6:05	116	1960/12/17 16:40	12/18 17:06
37	1959/3/4 6:08	3/5 6:07	77	1959/9/3 6:54	9/4 6:42	117	1960/12/18 17:09	12/19 15:51
38	1959/3/7 16:19	3/8 6:16	78	1959/9/4 6:43	9/5 6:35	118	1960/12/27 18:00	12/28 17:58
39	1959/3/15 6:28	3/16 6:19	79	1959/9/6 6:49	9/7 6:49			
40	1959/3/27 6:15	3/28 6:15	80	1959/9/9 6:42	9/10 6:54			

表 1. 本研究で調査した全 118 枚の地震記録紙の一覧

## 謝辞

釧路市立博物館の石川孝織氏には、当時の阿寒硫黄鉱山技師であった青井祐一氏に関する資料をご提供いただいたほか、本報告の投稿を勧めていただきました。図4の写真是、前釧路地方気象台職員の佐藤十一氏からご提供いただきました。札幌管区気象台の谷口正美氏ほか職員の皆様には、釧路地方気象台からの記象紙原本や原簿の借り受け、験測作業で多大なる便宜を図っていただきました。ここに記し、ご協力に感謝を申し上げます。

## 文献

- Aoyama, H. & Oshima, H. 2008. Tilt change recorded by broadband seismometer prior to small phreatic explosion of Meakan-dake volcano, Hokkaido, Japan. *Geophysical Research Letters*, 35 : L06307.
- Aoyama, H. & Oshima, H. 2015. Precursory tilt changes of small phreatic eruptions of Meakan-dake volcano, Hokkaido, Japan, in November 2008. *Earth, Planets and Space*, 67 : 119.
- 古村孝志・中村 操. 2006. 1944年東南海地震記録の復元と関東の長周期地震動. *物理探査*, 59 : 337-351.
- 濱田信生. 2000. 地震計の写真に見る気象庁の地震観測の歴史. *験震時報*, 63 : 93-112.
- 石川孝織. 2016. 阿寒硫黄鉱山に関するノート～鉱山技師・青井祐一氏の証言より～. *釧路市立博物館紀要*, 36 : 41-48.
- 建設省土木研究所地震防災部振動研究室. 1988. 気象庁一倍強震計記録に基づく長周期地震動特性の解析(その5)1978年宮城県沖地震記録の解析. *土木研究所資料*, 第2664号.
- 気象庁. 1959. *地震月報*.
- 釧路地方気象台. 1957-1960. *火山の現地観測原簿*, 雌阿寒岳.
- 釧路地方気象台. 1956-1960. *火山性地震原簿*, 雌阿寒岳.
- 村瀬 勉. 1957. 北海道火山の地球物理学的研究(その6)雌阿寒岳の微小地震の状態. *北海道大学地球物理学研究報告*, 5 : 5-9.
- 村瀬 勉・音田 巧・清野正明・野越三雄. 1960. 北海道火山の地球物理学的研究(その8)1959年の雌阿寒岳の活動. *北海道大学地球物理学研究報告*, 7 : 93-103.
- 野越三雄・本谷義信. 1963. 雌阿寒岳の噴気孔の微動. *北海道大学地球物理学研究報告*, 10 : 77-87.
- 岡田 弘・鈴木敦生・前川徳光・森 濟・西村裕一. 1997. 雌阿寒岳1996年11月の噴火(速報). *北海道大学地球物理学研究報告*, 60 : 131-144.
- 佐久間修三・勝井義雄・鈴木淑夫・村瀬 勉. 1956. 1955年の雌阿寒岳の活動. *北海道地質要報*, 31 : 25-34.

- Sakuma, S. 1957. Volcanic tremor of Me' akan-dake. *Journal of Faculty of Science, Hokkaido University, Series 7*, 1 : 37-53.
- Sakuma, S. & Murase, T. 1957. Recent activity of volcano Me' akan-dake. *Journal of Faculty of Science, Hokkaido University, Series 7*, 1 : 21-36.
- 高木朗充. 2009. 1988年雌阿寒岳の噴火活動に伴う地震活動の特性. *北海道大学地球物理学研究報告*, 72 : 331-352.
- 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, 1-138.
- 和田恵治. 1998. 1 雌阿寒火山 道東の森にそびえる神秘の活火山 フィールドガイド日本の火山 3 北海道の火山(高橋正樹・小林哲夫編). 築地書館, 東京.