

十勝岳の爆発的噴火活動とその観測結果(速報)*

北海道大学理学部有珠火山観測所

(1) 噴火に至る火山活動の経過

北海道中央部に位置する十勝岳は、1988年12月16日より噴火活動を開始し、その後現在(1988年2月28日)に至るまで、20回の爆発的噴火活動を繰り返している。気象庁十勝岳火山観測所による1964年からの常時観測、北海道大学による1985年からの新たな観測整備等の諸観測によると、これら一連の噴火活動は「ある日突然」始まったものではなく、火山活動が明瞭な高まりを示してきた中で発生したことが大きな特徴である^{1),2),3),4),5)}。

1983年～1988年9月中旬までの段階は、結果から見ると、噴火準備の第1段階であったことになる。この期間の特徴は、いわゆる火山性異常現象が散発的に、いろいろな形で発生した時期である。過去の活動史を参考にすると、ことによったら本格的な噴火へ発展していくことも考えられるが、同時にこの程度の活動で終ることもあり得ると考えられた期間である¹⁾。この期間に発生した火山性異常現象としては、

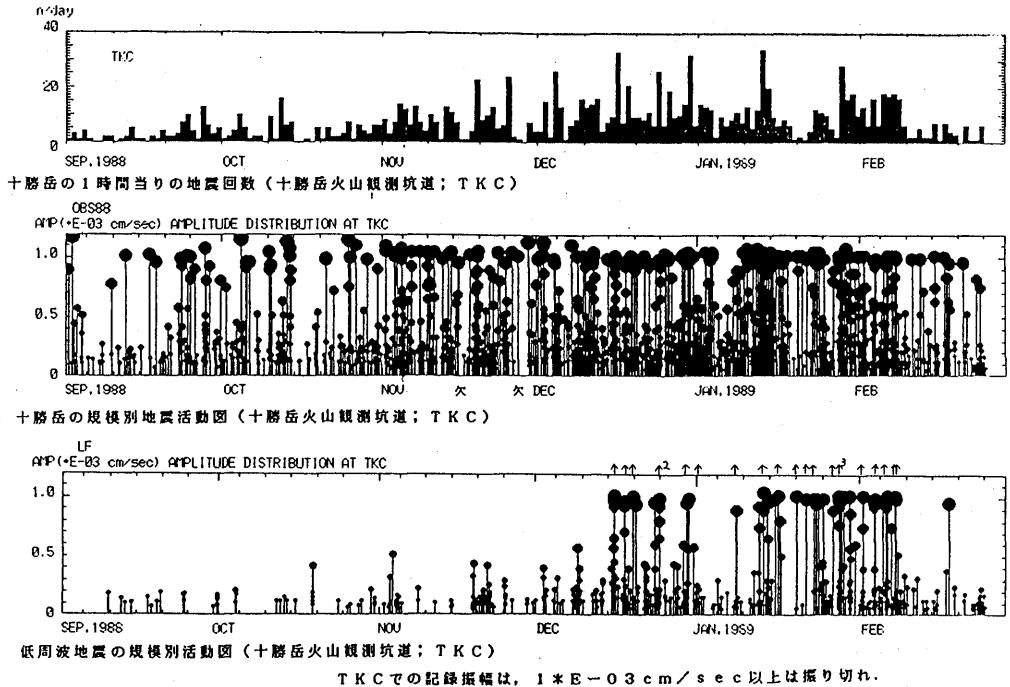
1) 1983年の地震活動の活発化、2) 1983年末からの噴気活動の強まり、3) 火口周辺の熱異常域の発現や拡大、4) 熱泥水の噴出、5) 小噴火、6) 硫黄の自然燃焼、7) 火口周辺を震源域とする有感規模の地震、8) 火山性微動の発生等があげられる。これは主として62-I火口の異常として発生した。これら活動状況についての詳細は既に、本会報等で報告されている^{1),2)}。

1988年9月下旬から同年12月15日までの段階は、噴火へと一方的に火山活動が強まっていった第2段階と言えよう。この間、火山性の地震活動がかなりの増減を伴いながらも系統的に増加し、活発化は明らかになっていった。10月28日開催された火山噴火予知連絡会において、十勝岳は活動が高まっており要注意の段階と報告された。更に11月15日には有感地震が頻発し、臨時火山情報が出され注意が呼びかけられた。12月にはいと、火山性微動がしばしばみられるようになり、噴煙が灰色がかったり、火口周辺が火山灰で黒くなっているという情報が寄せられるようになった。この時期十勝岳は、悪天で遠望観測が極めて困難な状況が続いたため、火山灰の噴出を伴うごく微少な噴火が、いつ発生したか日時を特定することは困難であった。このように、9月下旬からの地震活動の高まりの中で、12月初旬頃には火口周辺を火山灰で汚す程度の微少な噴火(噴煙活動)が発生する段階まで至っていた。

火山灰を噴出する噴煙活動と微動発生との関連を見るため、気象台と連絡を取ったり、NHKが美瑛町の白金模範牧場に設置した「十勝岳監視カメラ」の時刻入りビデオ映像資料の提供を求めるなど諸情報を検討した。12月13日14時30分頃、噴煙量が増加し灰白色がかった噴煙に対応して、十勝岳火山観測坑道(TKC)の地震計記録で連続微動が出現したことが確認された。引続き、同日16時14分から16時24分の微動に対応して、再び噴煙が黒色を帯びた状況が見られた。火口が見える時間は極めて限られたものであったが、少なくとも火山灰を含んだ灰色噴煙が認められるときは、火山性微動が認められる事が判明した。しかし、全ての微動が火山灰の噴出と関連していると判断できるわけではない。

* Received Feb. 27, 1989

これら一連の活動状況について説明すると共に、活動の推移に注意を呼びかけるため、12月10日及び12月13日臨時火山情報（第2号及び第3号）が出された。「今後、どう展開していくか予測は難しいが、9月以来、有感地震や微動の発生回数が急激に増えていることや新たに噴煙が、従来異常が集中していた62-I火口から中心的存在の62-II火口に移ったことで、更に活動が激しくなる可能性は大きい。充分警戒する必要がある。」（12月14日読売新聞）という新聞記事に見られるように、本格的噴火への発展を警戒する段階に入っていた。



第1図 十勝岳の地震活動の推移

Fig.1 Sequence of seismic activities at Tokachidake, Hokkaido. Daily frequency (upper), amplitude-time diagram, (middle), and that of low-frequency earthquakes (LF). Arrows indicate eruptions.

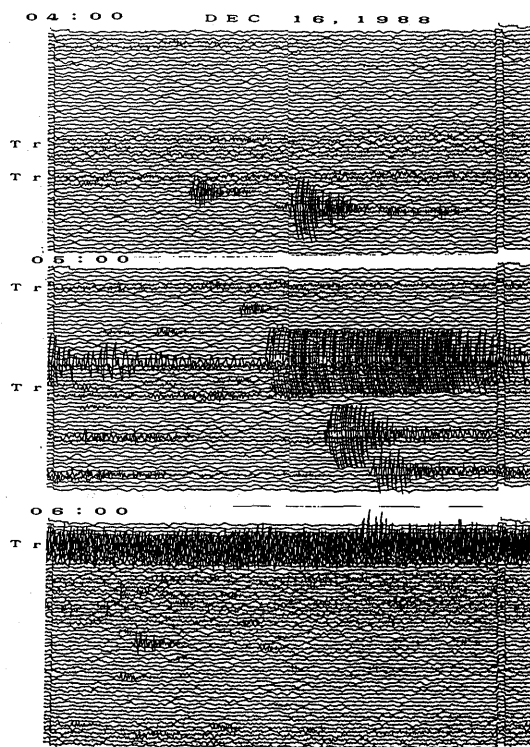
第1図は、1988年9月から1989年2月末までの十勝岳の地震活動の推移を示したものである。北大の十勝岳火山観測坑道（TKC）における、短周期速度型地震計（固有周期1秒）の上下動成分の記録振幅が5 mm以上の1日当りの地震数（上図）、規模別地震活動（中図）、及びそれから低周波地震の活動のみを抜き出したもの（下図）である。噴火開始に向かって地震活動が強まっていった様子が分かる。

(2) 水蒸気爆発の発生（1988年12月16日，12月18日の噴火）

12月16日朝、十勝岳の風下の池田町等で少量の降灰が認められ、火山活動は広域降灰を伴う新たな段階に入った。引き続き12月18日08時38分再び風下の新得町等で降灰があった。これら2回の噴火は、水蒸気爆発であった（勝井，近藤による）。吹雪であったり、厚い雲に覆われていたため、これらの活動は目視観測が不可能であり、噴火地点の特定や噴煙柱がどの程度の高さまで上昇したかは不明のまま、風下数10km離れた地点で降灰があって始めて噴火が認知された。

これらの噴火に際して、気象台や北大の地震計には地震群や顕著な火山性微動が見られた。西山麓の吹上温泉で震度3（12月16日05時24分）及び震度1（12月18日08時38分）の有感地震があったほか、「ドーン」という音響がこれら2回の噴火の際報告されている。12月18日の場合は、音響を伴った有感地震に引続き、その直後から顕著な微動がみられることから、08時38分の地震が爆発地震であり、それに引続き直ちに火山灰の放出があったものと推定することが出来る。一方、12月16日の噴火の場合は、05時24分の震度3の有感地震は、直後に顕著な微動を伴っておらず、04時43分から06時03分の期間に数個の顕著な低周波地震群を伴い、顕著な微動は06時03分の無感の地震に引続き06時10分までの時間帯に発生している（第2図）。従って、地震計のデータのみで噴火がいつ発生したか特定出来ない。ここではとりあえず震度3の地震が爆発地震（05時24分）であり、火山灰の放出が行われたのは顕著な微動の認められる06時03分～06時10分と考えることにする。これは、その後の一連の噴火の事例において、爆発現象と火山灰放出を伴う噴煙活動が必ずしも時間が一致しない例があったことを考慮したものである。

12月19日晴天に恵まれ、ヘリコプターによる空からの観察が可能となった。NHKのヘリに同乗した15時頃の火口域の観察結果は以下の通りである。(1)12月16日及び12月18日の小噴火は、62-II火



第2図 最初の水蒸気爆発（1988年12月16日）前後の地震計記録。

Fig.2 Monitor seismograms at TKC for the first phreatic explosion at Tokachidake, on December 16, 1988. Note several low-frequency earthquakes and notable tremor.

口の南西部で発生したと判断され、ここから勢いよく白煙が噴出している。(2) 62-Ⅱ 火口の62-Ⅰ火口よりの火口縁は鋭いナイフェッジの様になっており、噴火により火口縁が削られたようになっている。(3) 62-Ⅰ火口、62-Ⅲ火口、及び大正火口には特に変化は認められない。(4) 地熱異常が認められてきた62火口の南壁外側上部斜面(通称振り沢の壁)も変化はない。(5) 雪面等に亀裂等地殻変動の兆候はない。(6) 人頭大の噴石は火口から300~500m迄達している。

これらの観測の結果、広域降灰をもたらした噴火は、火口の形を大きく変えたり、新しい火口を開けたりすることなく、62火口内で発生したことがようやく確認された。その後2月8日までの一連の噴火は、(1) 62-Ⅱ 火口の南西部で発生し、(2) 62-Ⅰ、62-Ⅲ 火口や振り沢地熱帯の大きな変化を伴わない、という一定の枠内で発生したとすることが出来る。

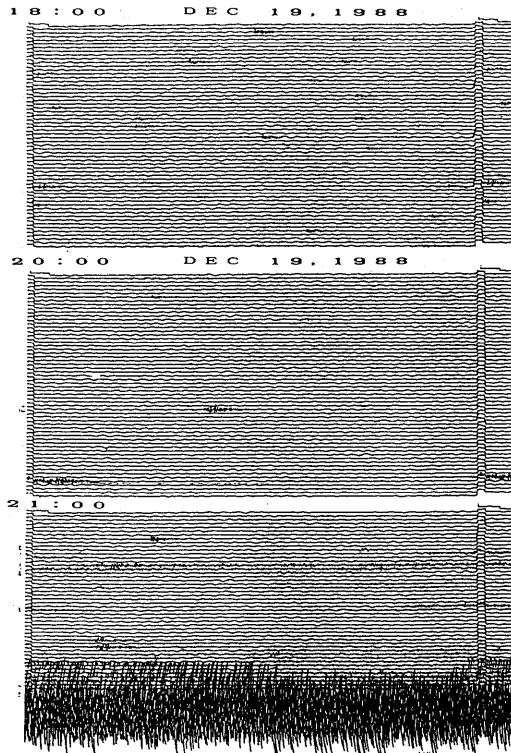
(3) マグマ水蒸気爆発へ展開(1988年12月19日~12月25日の噴火)

12月19日の火口観察の結果、広域降灰をもたらした2回の噴火は、既存の最も活動的な62-Ⅱ火口の一部を使っただけであったことは、「新火口の出現」等の場合と比べて幾分かの安堵を与えるものであった。しかしながら、火口観察の数時間後にはここから再び噴火が発生し、火柱を伴い、火砕サージをもたらすマグマ水蒸気爆発へと更に急展開した。

12月19日14時頃から微小な高周波地震群(小HF)が観測されるようになった。この地震群は振幅を増すことなく次第に回数を増し、18時台には約50個と活動のピークを示した後20時頃には消滅した。しかしながら、21時10分頃から微小な微動が断続的に発生、21時34分頃より微小な低周波地震(小LF)が見られるようになり、微弱な微動が連続するようになった。21時47分白金温泉等で「ドーン」という音響と共に軽い震動(震度1の地震)があった。また、陸上自衛隊上富良野駐屯地から火口に火柱が見られるという情報が寄せられた。地震計の記録では、21時47分の爆発地震(推定)の後直ちに極めて大振幅の連続微動が発生し長時間継続した。噴火微動としては、一連の噴火の中で最も強いものであった。顕著な微動は約10時間後の、12月20日07時40分頃まで継続し、更にその後12月22日正午ごろまで小微動が断続的に続いた。TKCにおける地震計のモニター記録を第3図に示す。勝井によると、火柱を伴ったこと、北見市で採取された火山灰中に新しいマグマに由来すると思われる火山ガラスが見られること、等からマグマ水蒸気爆発と考えられる。

この噴火により、62-Ⅱ火口の北方約800m、幅約500mにわたって雪面が黒くなり、火砕サージ(横殴り噴煙を伴う爆風)が発生した(勝井による)。黒色に変色した部分は、「やつでの葉」状に広がっており、前十勝の尾根部では稜線までにとどまって、その裏側になる部分の雪面は灰塵もない白色を保っていた。火砕サージで雪面が溶かされた結果、沢に沿ってごく小規模の泥流が更に約600m流下した。12月22日自衛隊のヘリからの観察によると、火砕サージが走った部分は「あお氷」となっており、かなりの部分は既に新雪に覆われていたが、尾根筋や風当りの強い部分では雪は飛ばされ黒ずんだ「あお氷」が露出していた。火砕サージは、数百度の火山ガスを主体とする爆風で、瞬間的に積雪の表面をさっと溶かし、僅かに含まれていた火山灰で黒ずんだまま氷結したものと考えられた。積雪の大半は解けることなく「あお氷」の下に残っていた。

十勝岳の噴火活動が、火口周辺を火山灰で汚すような微小噴火から、水蒸気爆発、更に火柱を伴う噴火で火砕サージの発生と、一方的に拡大している状況を考慮し、十勝岳の活動推移について基本方針を持つ



第3図 火砕サージを伴った最初のマグマ水蒸気爆発(1988年12月19日)前後の地震記録。微小な高周波地震群(小HF)→微小な低周波地震群(小LF)の変化が噴火前に認められた最初の例であるが、それほど顕著ではない。

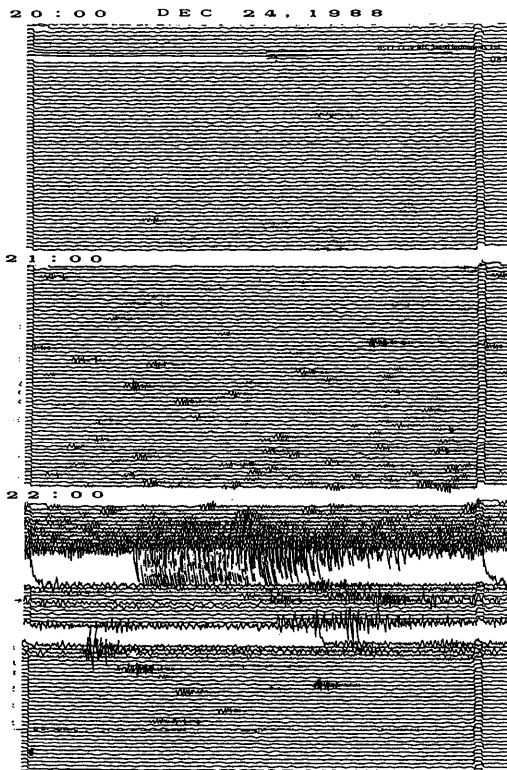
Fig.3 Monitor seismograms at TKC for the first magmato-phreatic explosion on December 19, 1988. Small high-frequency events (SHF) occurred few hours prior to the eruption, then minor tremors, and then small low-frequency events (SLF) occurred immediately before the eruption. Later similar to this SHF→SLF precursor occurred 36% among the total 22 explosions.

ことにした。以下に12月20日05時段階で文章化した考え方の一部を参考までに示す。「1985年の小噴火、地熱現象、火山性微動、群発地震等約3年半の火山性異常現象の中で発生したこと、更に、9月中旬からの地震活動の高まりの中での出来事であること、噴火も段階的に強まってきたこと等の一連の活動の経過を見ると、19日の噴火ですぐ鎮静化する可能性は低いことが考えられる。現在のデータに基づく限り、この程度の出来事がしばらく続くか、或は、更に大きな噴火につながっていくかは、判断できない。いずれにせよ、積雪期にあり、既に小泥流発生を伴う噴火が発生しているので、十分な監視と観測強化が必要である。」このように基本的考え方をはっきりさせておくことは、関係諸機関との連絡や対応のみならず、マスメディアを通じて一貫した社会的対応をし、混乱を少なくする上で有益であった。

12月19日の噴火後断続的に続いていた微動も22日にほぼ収まり、地震も微動も活動の低い状態が約2

日間続いた。12月24日20時30分頃より21時20分頃までの間に、微小な高周波地震群（小HF）が、振幅増加も回数増加も示すことなく、約30回発生した。21時20分頃には小HFに代わって、微小な低周波地震群（小LF）が発生し始めた。小LFは、特に振幅を増すことはなかったが、発生頻度は急速に増加していった。その結果、22時00分頃には、小LFの間に更に微小な「LF風の連続微動」が見られるようになり、22時10分頃には小LF連続型の「微動」となった。22時12分爆発地震が発生、火砕サージが再度観測された。12月24日の噴火に先立ち検出された上記の現象は、12月19日の噴火前の現象と似ているものであった。同じ経過をたどって噴火に至るかは必ずしも明白とはいえないが、注意深く見守る必要があると考えられたので、札幌管区気象台などへ21時55分頃連絡し、記録計を見守る中で噴火発生という最初の経験となった。第4図にTKCにおける地震のモニター記録を示す。小HFから小LFへの変化が、2回の噴火に先立って観測されたことは、その理由は明解でないにしても、ある場合には法則性を捉え得ることが示されたことで、その後の観測監視の指針となった。

12月23日、観測強化の一環として、北大が京都大学防災研究所桜島火山観測所と共同で、新たに望岳台無線中継点（BGK）に設置した低周波マイクロフォンが、この噴火による空気振動を始めて記録した。この噴火以後の爆発的噴火は、全て地震計に記録された爆発地震と、その約10秒ほど後に音速で伝搬してくる空気振動の記録により判定されることとなった。地震計記録のみで爆発地震を同定することは出来な



第4図 1988年12月24日のマグマ水蒸気爆発前後の地震計記録。

小HF→小LFの噴火前兆現象は極めて明瞭である。

Fig. 4 Monitor seismograms at TKC showing a clear example of the pre-eruption process (SHF → SLF).

かった。一連の噴火が特に夜間に集中し、更に吹雪や厚い雲の中で発生することが多かったが、低周波マイクロフォンと地震計の信号を有珠火山観測所でテレメータにより同時記録することにより、噴火発生情報が短時間の内に気象台を通じて公表できる基礎が築かれた。

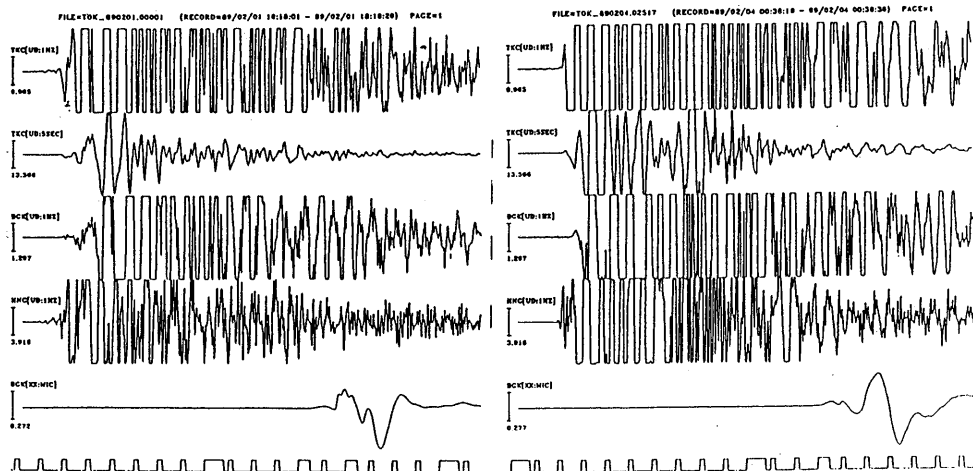
24日の噴火の後、激しい微動が伴わなかった。12月16日から19日迄の前3回の噴火と異なり24日の噴火は、火山灰などの噴出量の少ない高温の「ガス爆発的な噴火」の最初のものとなった。この噴火から約2時間後、12月25日00時37分釧路沖で地震があった。この地震は、釧路で震度2であったが、十勝岳では無感で1分以上地震計の針は振り切れ状態が続いた。この地震前後から、微小な地震（微動？）が認められた。類似の前兆現象が認められた19日及び24日の全2回の場合に現れた、小HFや小LFとは比較できぬほど小振幅であった。00時48分振り切れ規模の低周波地震（LF）、それに引続き顕著な微動が発生。このLFより約50秒後、00時49分爆発地震。激しい微動が爆発地震に引続き発生、25日23時頃まで続いた。

12月25日の噴火は、深夜であったが幸い吹雪や厚い雲に遮られることなく、NHKの高感度カメラや、気象庁十勝岳火山観測所からの高感度フィルム（ASA1600）による映像資料が得られた。また、25日からの空撮、26～27日の現地観測（勝井他）等により、噴出物の分布や性質の他、噴火の動的過程についても詳細が明らかにされた。詳しくは勝井らの報告にゆずるが、この噴火では小型火砕流が発生し、火口から約1km流下した。火山噴火予知連絡会では、会長らの現地調査等に基づき、12月29日一連の噴火活動について詳細な説明を含んだ会長コメント（臨時火山情報12号）を発表した。この噴火は、一連の噴火中最大規模のものであったが、「小HF→小LF」という図式には乗らなかった。明瞭な直前前兆現象としては、低周波地震で始まる顕著な微動であるが、それは噴火の50秒前に過ぎなかった。

この噴火を経験して、前記の基本方針のとおり展開してきたことがあきらかになった。しかし同時に、「より大きな噴火ならば前兆現象はより顕著である（そうあって欲しい）」という、都合の良いことは保証されないし、たとえ、明瞭な前兆があっても1分以内という実用上応用困難な場合に直面することを覚悟する必要があることを学んだ。以後、機会ある度に「観測を強化して予知できるケースを増やしたり、将来の噴火予知の実用化を支える基礎資料を蓄積するのは、もとより重要なことであるが、同時に、防災を考えるならば、予知のみに頼りきらず、夜、吹雪であっても、なにが発生したことを即時確実に把握すること、噴火はあったのか？、その形態と規模は？、泥流が出たかどうか？、その規模はどうか？、を確実に検知出来る体制を実現する必要がある」ことを訴えた。十勝岳の火山災害は、噴火による泥流災害が主要な要因である。たとえ、集落へ泥流が達するのに要する時間が数分から（白金温泉）40分（上富良野市街地）であっても、噴火前兆が1分の場合よりも遙かに有用であり、その時間を最大限有効に使うことを、とことん追求することは、著しい減災効果をもたらすであろう。

（4） その後の一連の爆発的噴火活動（1988年12月30日～1989年2月8日）

十勝岳の噴火はその後断続的に発生し、現在（1989年2月28日）までに総計20回に達している（気象庁）。1988年12月23日に低周波マイクロフォンが設置されて以来の噴火は、より確実に捉えることが可能となった。爆発地震と爆発に伴う空気振動の記録例を第5図に示す。この結果、気象庁が臨時火山情報として公表している20回の噴火の他に、学問的には更に2回の爆発があったことが明らかになった。22回の爆発の表を第1表に示す。



第5図 爆発地震の記録と対応する空気振動の記録例。上から、十勝岳火山観測坑道 (TKC) の固有周期1秒及び5秒、次に望岳台及び避難小屋の固有周期1秒の地震計記録、いずれも上下動成分、望岳台の低周波マイクロフォンの記録、下は時計で、1コマが1秒。

Fig. 5 Seismograms of the explosion earthquakes and the record of shock wave detected by low-frequency condenser microphone. Signals are from stations TKC (SPZ), TKC (5 sec), BGK (SPZ), HNG (SPZ), BGK (mic), and clock (from top to bottom).

この内、1月16日及び2月8日の噴火は、12月25日の噴火と同様に小型火砕流が火口から約1 km 流下した。3回の小型火砕流噴火の基本的特徴は、いずれも「本質噴出物の少ない火砕流」で、「高温の本質火砕物質とガスの乱流流下=狭義の火砕流」(荒牧, 1957)とはかなり性質の違うものと考えられている(勝井, 河内等)。また、1月8日、1月20日の噴火は、夜間であったが高感度カメラなどの映像記録が得られ、衝撃波の伝搬、赤熱物質の爆発的放出などの詳細が明らかになった。

第1表に示された22回の噴火の内かなりのものは、先に述べた12月19日及び12月24日の噴火の前兆と類似の現象が観測された。特徴的な噴火前兆現象が見られるのは、第4図で示した12月24日の事例のように、微小高周波地震の発生(小HF)が、第1段階で起こり、噴火の直前には第2段階の微小低周波地震(小LF)が見られる場合である。噴火前兆現象の欄で、小HF及び小LFの項目で、X印はそれが認められないもの、△印は顕著ではないが認められる例或は小LFが変わってから注意深く覗いて見ると認め得る程度のもの、○印は現象は顕著で直ちに認知可能な事例である。

22例中、○→○が4例、△→○が4例を占め、噴火の全事例中36%の8例については、噴火直前に迎った物理過程は共通の特徴を持っていたことが明らかになった。事例中最大規模の噴火であり、共にほぼ同規模の小型火砕流をもたらした3回の噴火についてみると、12月25日△→△、1月16日△→X、2月8日△→○と前兆の現れ方が異なっている。今回の観測例は、今後の噴火予知研究において極めて貴重な成果となると期待される。しかし、予知問題では、的中率も予知率も両方とも高い必要があるという難問があるが、この点から見ると今回の事例は、「的中率は高いが予知率は高いとは言えない」(小HF→小LFならば噴火に至るが、その例はたかだか全体の36%に過ぎず、規模のより大きな噴火の場合により

第1表 十勝岳の噴火の表

Table 1 List of eruptions at Mt. Tokachi (Tokachidake), Hokkaido.

番号	爆発時刻	爆発後の微動	噴火前兆現象	噴火の特徴など
1	88. 12. 16 05 : 24	39m後, やや顕著	直前LF	水蒸気爆発
2	88. 12. 18 08 : 38	直後, 顕著	直前LF	水蒸気爆発, 最大広域降灰
3	88. 12. 19 21 : 47	直後, 最大規模	HF→LF	火砕サージ
4	88. 12. 24 22 : 12	微弱	HF→LF 顕著	火砕サージ
5	88. 12. 25 00 : 49	直後, 最大規模	直前LF	小型火砕流, 火砕サージ
6	88. 12. 30 05 : 27	微弱	HF→LF 顕著	
7	89. 01. 01 02 : 12	なし	なし	空振無し, 遠望観測で確認
8	89. 01. 08 19 : 38	直後から	直前LF	灼熱噴出, 高c1/S
9	89. 01. 13 22 : 29	ハーモニック微動	直前LF	
10	89. 01. 16 18 : 55	直後	なし	小型火砕流, 高c1/S
11	89. 01. 20 03 : 21	直後, 顕著	なし	灼熱噴出, 最大空振
12	89. 01. 22 00 : 14	なし	なし	
13	89. 01. 23 12 : 17	なし	なし	最小空振
14	89. 01. 27 01 : 44	—	—	最大級空振
15	89. 01. 28 05 : 18	なし	HF→LF	
16	89. 01. 28 06 : 11	微弱	LFのみ	
17	89. 01. 28 07 : 00	微弱	なし	
18	89. 02. 01 18 : 18	4 m後, 顕著	HF→LF	
19	89. 02. 04 00 : 38	直後, 顕著	HF→LF 顕著	小規模の火砕流?
20	89. 02. 06 09 : 37	41 m後, 顕著	HF→LF	
21	89. 02. 07 23 : 54	なし	LFのみ	
22	89. 02. 08 04 : 02	直後, 顕著	HF→LF	小型火砕流, 火砕サージ

顕著に現れるとは言えない) というケースである。小HFが発生してから噴火までの時間は、数時間から数10分とかなり幅があるが、小LFが発生してから噴火までの時間は数分から数10分であることが多く、第4図の12月24日の例にみられるように、小LFがやや大きくなって頻度が増した場合には、ほぼ30分以内に噴火になっている。

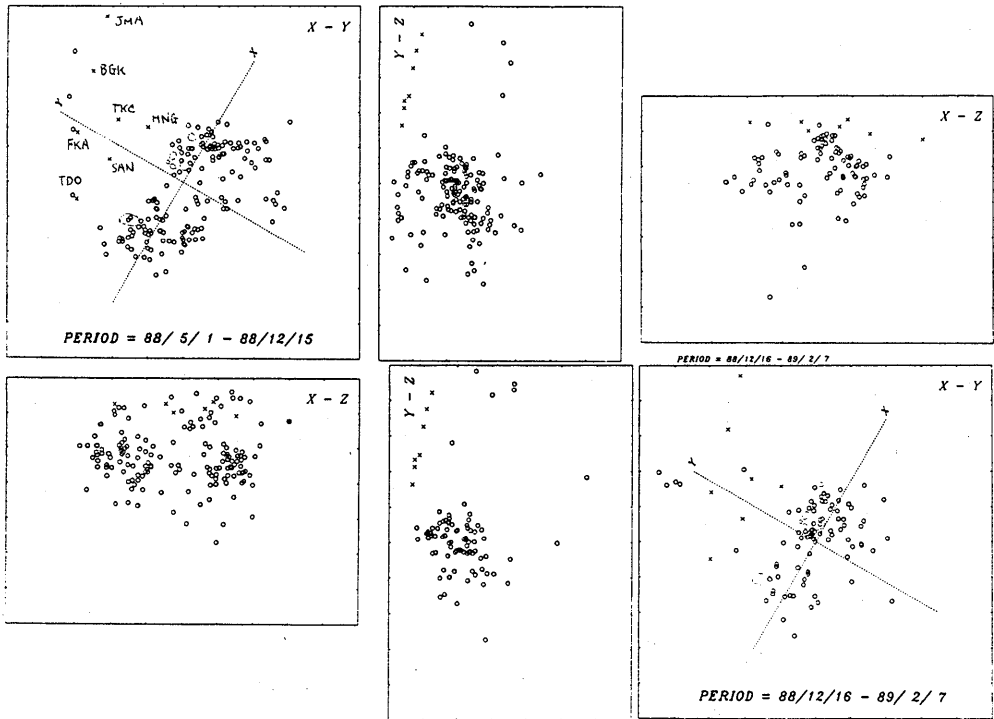
(5) 十勝岳の地震の震源分布

一連の噴火前後の期間における十勝岳の地震の震源分布を第6図に示す。震源決定に用いた観測点は、X印で示されている7点である。7点の内北大独自の常時観測点は、吹上温泉の十勝岳送信所(FKA)、十勝岳温泉観測点(TDO)、望岳台無線中継点(BGK)、中腹の十勝岳観測坑道(TKC)の4点である。これ以外に、気象庁からA点(JMA)、北海道立地下資源調査所から三段山(SAN)の信号を分岐いただいている。従来からの気象庁臨時B点(JMB)及び地下資源調査所の62火口(C62)は、それぞれ雪害及び噴火被害の為欠測になっている。また、全国国立大学共同観測の一部として、1月25日から避難小屋(HNG)に、空気積層電池(ユアサ; LSA-0535-2P)を電源とした無線地震計が臨時に設置され、望岳台を中継し常時観測テレメータに接続され、現在も運用されている。

第6図には、平面図に示されているX軸方向での垂直断面図が合わせ示されている。図中1目盛りが1 kmである。噴火前の時期(1988年5月1日から12月15日)と、噴火中の時期(1988年12月16日～1989年2月7日)の震源分布を比べると、明らかな差が認められる。噴火前の震源は、図中Y軸より北側のグラウンド火口域と、南側の旧噴火口域に震源がまとまっており、断面図でははっきりと左右に分かれて集中域がみられる。これにたいして、噴火期の震源分布は、グラウンド火口域の地震が圧倒的に多いこと、特に62火口域の浅部に著しく集中した地震群が特徴的であることが分かる。震源の深さは一般に地表から3 km程度の範囲に大部分が位置している。

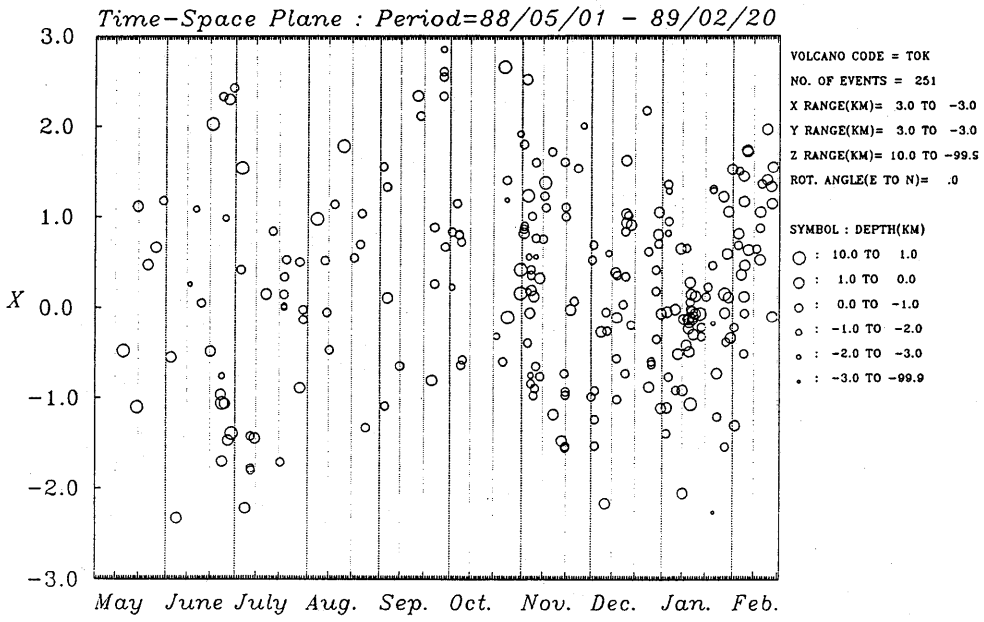
1988年5月以前の震源分布は既に報告されているが⁶⁾、1987年10月から1988年4月迄の分布は、グラウンド火口域で地震が少なく、旧噴火口域に震源が多く決められている。全期間通してデータの質は必ずしも同じとは言えないが、このことからグラウンド火口域の地震活動が、かなり長期にわたって徐々に増加していたことも考えられる。

第7図に震源の時間空間的な動きを見るため、縦軸にX軸、横軸に時間軸をとり、震源の深さに比例し



第6図 震源分布(左上のセット噴火前, 右下噴火開始以後)。震源決定には、気象庁A点(JMA)及び道立地下資源調査所の三段山(SAN)の分岐データも使われている。噴火開始以後の図で、62火口浅部への震源集中が顕著に認められる。

Fig. 6 Epicenter distribution and vertical projection of hypocenters along lines X and Y for the period before and after the first eruption on December 16, 1988. Shallow cluster of hypocenters are evident beneath the main 62-Crater.



第7図 十勝岳の火山性地震の時間空間的活動推移。第6図のX軸が縦軸である。62火口に浅い震源が集中したのは、1989年1月中旬であることが明瞭である。

Fig.7 Time - space sequence of volcanic earthquakes at Tokachidake. X-axis is taken as same as that in Fig. 6. It is clear that shallow seismicity beneath the 62 - Crater is only formed during the limited time interval of mid January, 1989.

たシンボルを示した。1989年1月中旬に、62火口下浅部の地震群が集中して発生したことは明瞭である。尚、火山性地震は、一般にS波が不明瞭であったり、本当の初動が小さかったり、または狭い観測ネットのため時刻精度が高い必要があるなどの理由の為、震源決定可能な地震の割合は低い。とくに、十勝岳の低周波地震はグラウンド火口域にあると推定されるものの、震源決定されたものはごく少数である。これらの事を考慮して得られた結果を解釈する必要がある。

また、山岳多雪地帯のため、観測点を山頂部や十勝岳東部山岳地帯に設置できないため、震源を取り囲んで地震計を配置することは現実問題として不可能であった。このため、震源精度もかなり悪いことが予測されていたが、62火口浅部の地震群が検出されたことで、場合によってはその程度詳しい震源移動などの把握の可能性が示唆されたことになる。尚、詳細な震源や波動の特性の調査のため、全国の国立大学共同観測として、無人地震計の広域配置、及び吹上温泉群列観測などが実施された。これらの観測結果は、別に報告される予定である。

(6) 火山性微動について

火山性微動は、1988年12月初旬の微小噴火の頃に火山灰の放出と関連した高周波の連続微動として観測されたもの、それぞれの噴火前後に現れたもの、1989年1月13日の噴火の際現れた低周波を基調とし、

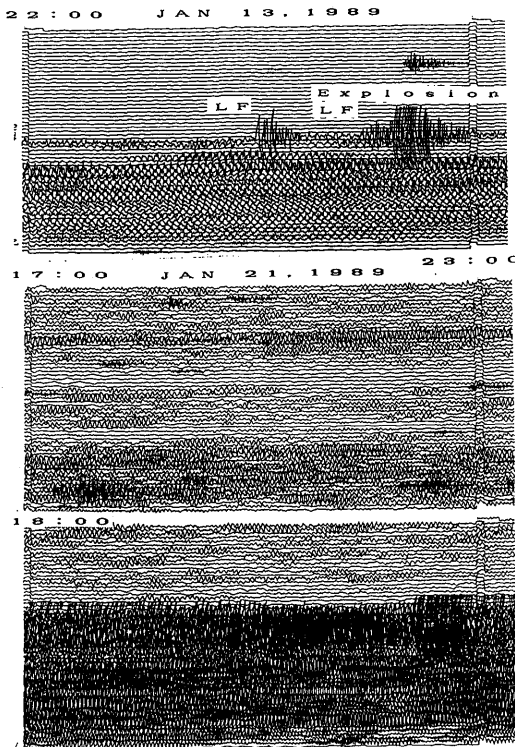
高調波を含むハーモニック微動 (Harmonic - Tremor), 1月18日~19日にかけての単周波うねりを特徴とする低周波微動等, 各種の異なった微動が観測された。詳しい解析結果迄至らないが, いくつかの特徴を以下にまとめる。

噴火に先駆して微動が観測されることがある。この場合も, 微小な高周波の連続微動が断続的に現れる場合 (12月16日等), 単周波の低周波微動が断続的に認められる場合 (1月22日), 噴火直前現象の小LF群発が著しくなり, 連続的になったような例 (12月24日等) など色とりどりである。一方, 噴火後の微動は, 爆発地震に引き継ぎ直ちに始まるもの, いったん休止期間をおいてから始まるもの, 断続性が顕著なもの, 極めて特殊な1月13日の微動等, やはり多種多様である。

爆発後の微動で最も激しかったのは, 1988年12月19日の噴火である。この噴火は, 約 10^5 m^3 の降灰量をもたらし, 少なくとも1月28日までの17例の噴火中, 火山灰噴出量は最大と考えられている (勝井, 河内, 近藤による)。また, 先に述べたように, この噴火は高温の火山ガスが冷えることなく爆発的に噴出し, 火柱を伴い火砕サージや火砕流をもたらした, 一連の爆発的噴火活動の最初のものであった。

1月18日から19日にかけての, 微動の著しい増大現象は, 直接噴火に前後していない微動であると共に, 何が起きているのかとらえどころのない, 低周波の単周波微動であった。この間の事情は, 1月19日06時50分発表の臨時火山情報第9号において, 「今までに無かった型の微動が昨夕から続いており, 振幅が増大してきた」と, 観測事実のみの情報を早朝出したことにもその当惑さが現れている。1月20日の最大の爆発 (注 ; 噴火全体としては, 3回の小規模火砕流噴火より小さい) は, この微動が一旦収まった, 1日を置かずに発生した。

これらの微動の記録例を, 第8図に示す。



第8図 1989年1月13日の噴火前後の地震計記録 (上図)。低周波を基調とし, 高周波を含むハーモニック微動が見られる。下2図は1月21日17時から2時間分の記録である。単周波の低周波微動であるが, ニーモニックな部分も一部ある。

Fig.8 Monitor seismograms at TKC for the eruption of January 13 and the following "Harmonic Tremor", and the example of low-frequency tremor of 17:00 - 19:00, January 21, 1989.

(7) 十勝支庁北部の群発地震と十勝岳噴火の関連

1985年の北大による観測開始以来、十勝岳の周辺で発生する火山活動と直接関連がないと思われる微小地震活動が、かなり定常的に見られることが分かっていた。1987年7月29日のニベツツ岳付近の群発地震 ($M_{max} = 3.0$, 本谷による) を除けば、特に注目すべき群発的な活動も、規模の大きな地震も見られなかった。

これら周辺部の地震活動は、十勝岳の噴火活動が開始してからも、初期の内は特別な兆候を示さなかったが、1989年1月14日になると極めて著しい群発地震が十勝岳の東方約20kmの十勝支庁北部で始まり、急速に活発化し、十勝岳付近で震度3(1月15日23:23)の地震を含む活動に発展した。この群発地震は、活動に波はあるものの、現在(2月28日)尚継続している。

1月14日この地震群が認められたとき、震源位置が十勝岳で深い地震の場合と、震央が十勝岳からかなり離れていることの、二つの解釈が考えられた。この区別は、火山体の狭い地域に分布している火山地震観測網では困難なことも考えられた。しかし、幸い南北に約4km離れているJMA-AとSANの2観測点で、P波初動時刻が等しいことなどから、十勝岳の東方から入射してくる平面波と考えられ、S-P時間が約3.5秒であることから、十勝岳東方約20km付近を震源とする「火山性地震」でない「普通の群発地震」であることが判明した。また、同時に北大理学部地震予知センターに照会した結果、同様の結論を得たので1月15日夕刻に気象台に連絡した。

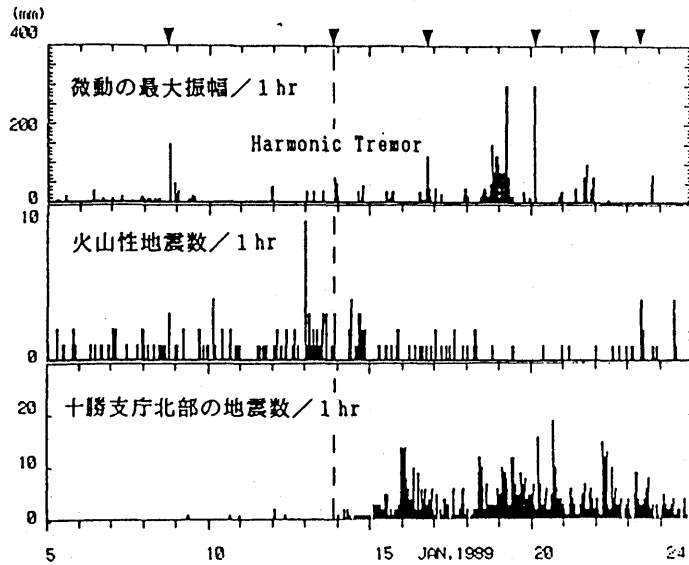
TKCの傾斜計や伸縮計にこれらの地震と関連した憂慮すべき変動が認められないこと、火山性微動など火山活動との直接的な関連性もないこと等も、この群発地震が十勝岳のマグマの動きと独立的な現象であることを示唆している。従って、十勝岳の火山活動の直接の活発化を意味するものではないと考えられた。しかしながら、十勝岳の火山活動が、周辺の広域応力場を乱すきっかけになった可能性は残り、深部マグマの動きを間接的に表現していることも考えられる。

この観点から十勝岳の火山活動の特徴を検討してみると、十勝支庁北部の群発地震が発生し始めた時点には、十勝岳は特徴的な火山活動を示していたと考えられる。第9図に十勝岳の火山活動とこの群発地震との関連を示す。1月13日の噴火及びそれに続くハーモニック微動の出現が、時間的にみてこの群発地震開始の直接的な契機となったと考えられる。また、ハーモニック微動は、地下のかかなりの容積の流体(マグマかガス)が活発化している証拠と、一般に考えられていることとの関連が興味深い。

気象庁の遠望観測によると、大正火口で赤熱や火映現象が見られたのは、1月20日の噴火時を除いては、1月7日から1月16日01時頃までである。北大が、NHK及び株式会社ユディットと1月12日共同で実施した、ヘリコプターからの空中赤外カメラによる地熱調査でも、大正火口の赤熱部に対応した筋状の高温部で、280°C以上の最高温度が検出された。この測定時に62-I火口の最高温度は200°Cであった。

1985年の62-I火口での硫黄の自然燃焼による火映・赤熱と同様の現象がこの時期持続していたと思われる。なお、大正火口で火映や赤熱現象が認められたことは、遠望観測開始以来なかったことである。

更に、一連の噴火で特徴的な「特異な物質を主体とする小規模火砕流」(勝井による)の内2回目の1月16日の噴火や、爆発として最大の1月20日(望岳台で3.75mbの最大空振)の噴火、更には、短い時間間隔で爆発が続発した現象に先駆した出来事ともなっている。また、先に述べたように1月中旬には62火口の直下約500mに、火山性地震が特に集中していることも、密接な関係を持っていると考えられる。



第9図 十勝岳の微動，地震と十勝支庁北部の群発地震との関係。微動は各1時間に出現したTKCにおける最大記録振幅（1 cmが $3 \mu\text{m}/\text{sec}$ ，2回のピークは振り切れ），TKCで $1.5 \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上の時間別地震数（中図十勝岳の火山性地震，下図十勝支庁の群発地震）。黒の逆三角形印は噴火時刻，点線はハーモニック微動の出現時。

Fig. 9 Relation between activities of volcanic tremor, volcanic earthquakes and normal seismic swarm occurred ca. 20 km east of Mt. Tokachi (northern part of Tokachi-shicho). Hourly maximum tremor amplitude; unit ($0.3 \mu\text{m}/\text{sec}$)/mm, hourly frequency of volcanic earthquakes and tectonic earthquakes, observed at TKC (amplitude $\geq 1.5 \mu\text{m}/\text{sec}$).

以上の観測事実を総合してみると，地下のマグマや高温のガスが特に1月中旬にかけて地下で活発化し，大正火口の火映や，8日及び13日の噴火をもたらし，ハーモニック微動や火口下浅部の地震を引き起こし，更には広域応力場の変化をも引き起こしたと，関連づけて解釈する必要が生じている。

(8) 地球潮汐と噴火の関連性

22回の噴火を見ると，微小な1月23日の噴火が正午に発生していることを除けば，午前10時から午後18時までの間に発生した噴火はない。夜間の噴火が多かったことは，観測に於ても，また特に防災面に於て多くの難題を抱える原因となった。

12月19日及び12月24日，12月25日の初期の主要な噴火が共に深夜であったことから，地球潮汐との関連も懸念された。十勝岳の地球潮汐を計算し，22回の噴火を見ると，3回の火砕流をもたらした噴火全てと，及び12月19日，1月20日等の主要な噴火の一部は，地表が隆起のピークとなる時間帯 (tidal

-maximum)に対応している。しかし一方、1月8日の噴火のように逆の関係となっているものもある。このピークはこの冬の間は深夜にあり、これから春から夏にかけて日中にずれていくことが分かっている。

十勝岳では1987年にも、地球潮汐と関係した微動や群発地震が観測され、既に報告されている。一般に、火山噴火や火山の異常現象と地球潮汐の関連を指摘する報告は多いが、「常に明瞭であるわけではなく、ある場合に関連を指摘できる」ていどである。このことから、「火山活動が充分高まっており、いつ動きだしてもおかしくないほど、準備が整っている時」にのみ、「引金作用(トリガー)」として作用することがあるのではないかと考えられている。なお、引金作用としては、火山から遠く離れたところで発生する大地震(例;十勝沖地震と十勝岳の1968-1969年の活動)等の要因もある。

予知予測の立場からは、観測により主因を明確に捉えることがもっとも大切であり、引金作用は副因として考慮する必要がある。噴火や地震の緊迫時につけこみ、「予知予測屋」と自称する者が現れ、災害の日時を指定し、住民や時によっては防災関係者に混乱をもたらす事がしばしばみられる。このような場合、形を繕い信じさせるために、潮汐や天体事象をもち出すことも多い。観測に携わるものとしては、住民に予知予測の現状を理解してもらい、正確な知識により判断が可能となるよう努力が欠かせない。

今回の噴火に際しても、当初から気象台などと連絡を取り、十分なデータとなるまでは不要な混乱を避ける方針でのぞんだ。現在までの22回の事例から、先に述べたような、引金作用としての関連性が強い例と考えられた。このことは、高温のガス爆発的な噴火を持続的に、多数回引き起こした、臨界状態に近い地下マグマの存在という主因が関係していよう。

謝辞:北大理の勝井義雄,河内晋平,並びに帯広畜大の近藤祐弘諸氏には未公表解析結果など提供いただきました。また,京大防災研石原和弘,東大地震研荒牧重雄,東工大平林順一,岡山大小坂丈子,北大理植木貞人,九州大理清水洋,北大理本谷義信諸氏を始めとする多くの研究者の協力を得ました。美瑛町及び上富良野町両対策本部,自衛隊上富良野駐屯地,気象庁十勝岳観測所及び札幌管区気象台,道立地下資源調査所には,観測の便宜などで御世話になりました。

文部省学術課及び北大当局には,観測強化のため甚大な援助をいただきました。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 北海道防災会議(1987):十勝岳 火山地質・噴火史・活動の現結および防災対策(補遺)。北海道の火山に関する研究報告書第11編, 1-87。
- 2) 北海道大学理学部有珠火山観測所(1986):北海道の火山活動とその観測報告(1985年4月~9月)。火山噴火予知連会報, 35, 13-25。
- 3) 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(1985年10月~1987年4月)。火山噴火予知連会報, 39, 203-230。
- 4) 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5月~9月)。火山噴火予知連会報, 40, 81-93。
- 5) 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。
- 6) 北海道大学理学部有珠火山観測所・気象庁十勝岳火山観測所・北海道立地下資源調査所(1988):

十勝岳の火山性地震の震源分布。火山噴火予知連会報, 41, 78 - 81。

- 7) 松島喜雄・西村裕一・鈴木敦生・岡田・弘(1987): 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。