



Title	北海道の活動的火山における最近の地震活動 : 北海道駒ヶ岳
Author(s)	青山, 裕; AOYAMA, Hiroshi; 大島, 弘光 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 67, 89-109
Issue Date	2004-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.67.89
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14336
Type	departmental bulletin paper
File Information	67_p89-109.pdf



北海道の活動的火山における最近の地震活動—北海道駒ヶ岳—

青山 裕・大島 弘光・鈴木 敦生・前川 徳光・鬼澤 真也*

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

(2004年1月5日受理)

Recent seismic activities at active volcanoes in Hokkaido —Hokkaido Komagatake—

Hiroshi AOYAMA, Hiromitsu OSHIMA, Atsuo SUZUKI

Tokumitsu MAEKAWA and Shin'ya ONIZAWA

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received January 5, 2004)

We reconstructed the volcano monitoring network around Hokkaido Komagatake Volcano in January 2001 to start its continuous seismic observation. Prior to this, background seismicity around Komagatake Volcano during its dormant period has not been thoroughly revealed because overall seismicity was very low and the seismic network configuration was too poor for hypocenter distribution to be discussed in detail. With data from the remade network until December 2003, it is now evident that there are three remarkable focal areas around Komagatake Volcano. The first locates under the summit crater, with activity concentrated in an area shallower than 6 km below sea level. The second is seen at intermediate depths of 8–12 km on the northeastern side of the volcano. Deep low-frequency earthquakes also occurred on the same side of the volcano. While the relationship between these seismicities at some depth has not been revealed yet, these are noteworthy phenomena to be considered in the magma supply system of Komagatake Volcano. The last focal area is 6 km north of Mt. Yokotsu-dake. Seismicity in this area has been sustained for more than half a year since April 2003. Earthquakes in this area can be divided into two groups according to P wave polarities. In sum, seismicities in these three focal areas are considered as background activity for the dormant period of volcanic activity. We anticipate that this study will be exploited as the basis for detection of unusual volcanic activity in the future. An outline of the new data transmission system for volcano monitoring after January 2001 is appended to this report.

*:現在, 東京工業大学火山流体研究センター (草津白根火山観測所)

*:Now at Volcano Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology (Kusatsu-Shirane Volcano Observatory)

I. はじめに

常時観測対象火山に指定されている道内5火山のなかでも、北海道駒ヶ岳は前回の大規模なマグマ性噴火活動から70年以上が経過し、遠くない将来にマグマ性噴火の発生が危惧されている火山の1つである。1929年に大規模なマグマ性噴火を行ったあと1942年11月の噴火を最後にほとんど活動を休止していたが、1996年3月より山頂火口原内において小規模な水蒸気爆発をしばしば発生させるなど表面活動を伴うような火山活動が認められている。この1996年以降の火山活動が、1929年の大噴火に先行して発生した1919年以降の小噴火活動と類似しているとする見解もあり、今後の火山活動の推移が注目されている。最近の重力測量やGPS観測の結果からはいずれも山体膨張の傾向が認められ、山体下部へのマグマの蓄積が進行していると推測されている（大島ほか，2003）。

北海道駒ヶ岳には1966年に気象庁による常時地震観測施設が設けられ、現在に至るまで火山性地震発生回数の計数がルーチン的に行われている（札幌管区气象台，1987）。北海道大学理学部でも1977年の有珠火山観測所設立を受け、1980年代半ばからテレメータを用いた常時地震観測を開始した（北海道大学理学部有珠火山観測所，1984a）。このような常時地震観測で得られたデータは、地震学の発展とともに1980年代後半から噴火の力学過程の解析や地下構造の推定などにも広く用いられるようになってきた。そのため従来のような高感度の短周期地震計だけでなく、加速度計や広帯域地震計なども火山体周辺の常時地震観測施設に設置され、それぞれの地震計の特長を生かしたデータ取得が試みられてきている。とはいえ、火山性地震の活動度を連続的に観察し火山活動の盛衰を判断するための1つの指標とする、という常時地震観測が持つ最も重要な意義は、30年以上前の観測開始以来現在も変わっていない。しかしながら、最近になって観測機器の小電力化や小型化が進むまでは多数の観測点を火山体上に展開することが難しく、平常時に発生する火山性地震の発生個数も少ないこともあって、3次元的な震源分布やその時間変化など定常的な地震活動についてはあまり報告されてこなかった。

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター有珠火山観測所（以下ISV-UVO）では、2000年度より北海道駒ヶ岳における常時火山観測施設並びに火山観測データ伝送システムの整備更新を進め、ここ数年ようやく火山性地震の震源決定を比較的精度良く行える状況になった。常時地震観測がおこなわれるようになって以降マグマ性の噴火活動をしていない北海道駒ヶ岳では、有珠山のように噴火を繰り返す火山とは異なり、火山性地震活動の変化が火山活動全体の中でどのような意味を持つのかほとんど分かっていない。そのような状況の中で火山活動度を評価し、さらに火山活動の推移予測を目指すためには、定常的な地震の発生回数や3次元的な震源分布を把握しておくことが初めの一步となる。そこで本論では、火山活動度の変化を示すような将来の（未知の）地震活動を捉えることを念頭に置きつつ、常時火山観測用データ伝送システムが更新された2001年以降の地震観測データに基づいて、平常時における火山体周辺での地震活動を把握することを目的とする。更新後の新しいデータ伝送システムについてはAppendixで簡

単に述べる。

II. 2000年以前の地震活動の推移と地震観測の変遷

北海道駒ヶ岳における常時地震観測は、駒ヶ岳西山腹に気象庁 A 点が設置された 1966 年 7 月より開始された(札幌管区気象台, 1987)。Fig. 1 のグラフは札幌管区気象台によってカウントされた北海道駒ヶ岳の月別地震回数と 1966 年以降の積算地震回数を示す。気象台で駒ヶ岳周辺の地震であると判定するための計数基準は 1994 年 8 月に変更されている。旧基準では A 点における変位波形の両振幅で 5×10^{-8} m 以上かつ S-P 時間が 4 秒以内となる地震をカウントしていたが、新基準では条件が厳しくなり A 点における変位波形の両振幅で 3×10^{-7} m 以上かつ S-P 時間が 2 秒以内と、駒ヶ岳に近く規模が大きい地震のみをカウントするようになった。2003 年までの約 37 年間で気象台の計数基準を満たす地震の総数は約 1200 個であり、単純に月平均に換算すると 1 ヶ月あたり約 2.7 個となる。

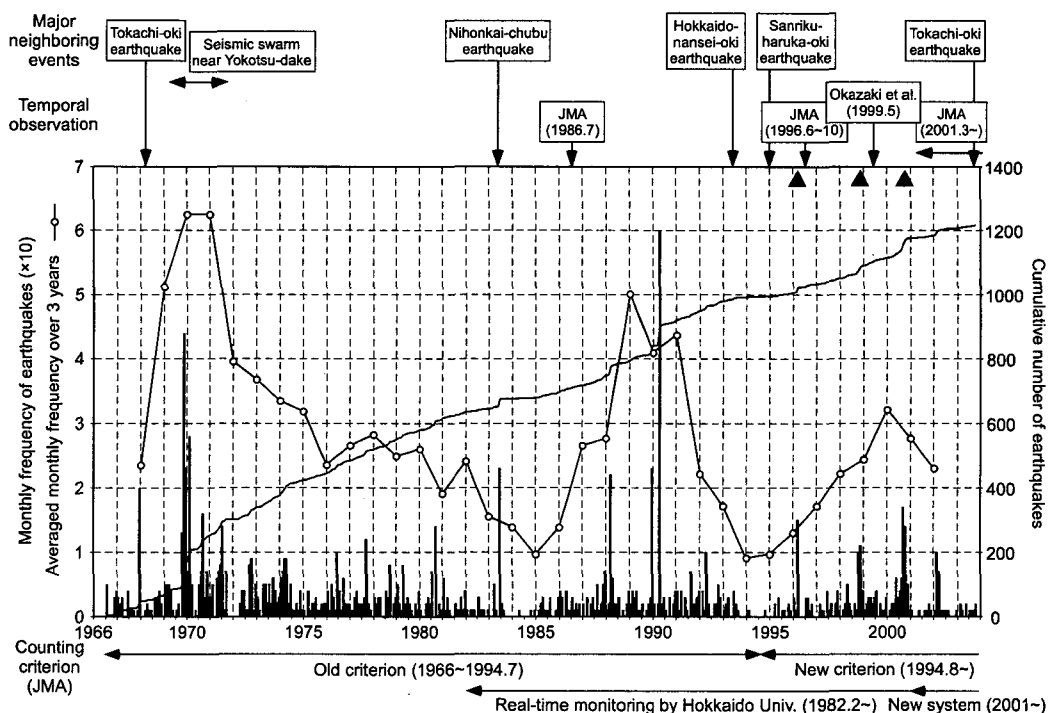


Fig. 1. Monthly frequency (vertical solid bars, ten times left axis) and cumulative number (solid curve, right axis) of earthquakes observed at station JMA-A since 1966. Also shown on the left axis is the monthly frequency of earthquakes averaged over 3 years (solid line with open circles, left axis). Original data are provided by Volcano Monitoring and Information Center at Sapporo District Meteorological Agency (JMA). The counting criterion for volcanic earthquake of JMA was changed on August 1, 1994. The old criterion required peak-to-peak amplitude of $0.05 \mu\text{m}$ and S-P time shorter than 4.0 s at station JMA-A. The now one requires peak-to-peak amplitude of $0.3 \mu\text{m}$ and S-P time shorter than 2.0 s. Three solid triangles in the upper right corner of the graph indicate small phreatic eruptions at the summit crater after 1996.

Fig. 1 に示した 1966 年以降の月別地震回数の 3 年平均値に注目すると、(1) 1960 年代後半～1970 年代前半、(2) 1980 年代末～1990 年前半、(3) 1990 年代末～の 3 つの時期に地震活動の高まりが見られる。(1)の期間の地震活動の高まりは、1967 年 12 月および 1969 年 10 月から 1971 年 5 月にかけて発生した駒ヶ岳南東の横津岳周辺を震源とする群発地震が、駒ヶ岳の地震としての気象庁基準を満たす地震として数え上げられたことによる。(2)の期間には、1989 年 12 月と 1990 年 4 月に地震回数の急増が見られた。1989 年 12 月 30 日に発生した 20 個の地震は、駒ヶ岳北麓のやや深いところを震源とする活動であったと推定されている(北大理学部有珠火山観測所、1990)。1990 年 4 月 7 日には 48 回の地震が観測され、1966 年の北海道駒ヶ岳における常時観測開始以来の最多を記録した。(3)の期間の地震活動の高まりは、1996 年以降に山頂で発生した 3 回の小規模噴火(水蒸気爆発)活動期に火山性地震発生数が増加したことに対応している。1942 年の噴火以来沈黙を守ってきた駒ヶ岳で、1996 年 3 月 5 日に 54 年ぶりに小噴火が発生した。小噴火は 18 時 10 分頃に開始し、南東方向で降灰が確認された。この噴火により昭和 4 年火口底に新たな火口が生じたほか、昭和 4 年火口南側の火口原には南北に伸びる長さ約 210 m、最大幅約 6 m の火口列が形成された(札幌管区气象台、1997)。地震回数は 3 月 4 日に 1 回、3 月 5 日に 11 回、3 月 6 日、7 日にそれぞれ 1 回ずつとなっている。1998 年 10 月 25 日には再び小噴火が発生し、そのおよそ 2 年後となる 2000 年 9 月から 11 月にかけても 4 回の小噴火が連続して発生した。これらの噴火に対応して、地震回数の増加が確認されている。

この間、1986 年 7 月には気象庁の機動観測班によって山頂観測点を設けた臨時地震観測が実施された(札幌管区气象台、1987)。1996 年 3 月の小噴火以降は、複数の機関によって臨時地震観測がしばしば行われている。気象庁の機動観測班は 1996 年 5 月末～10 月に火口原および山麓にて臨時地震観測を行った(札幌管区气象台、1997)。1998 年の噴火後となる 1999 年 5 月には、北海道立地質研究所による山頂臨時地震観測が行われ、山頂火口原直下での微小地震活動が調査された(岡崎ほか、2001)。2001 年には気象庁によって機動観測点が複数設けられ、駒ヶ岳の観測網が強化された(札幌管区气象台、2002)。これら他機関の臨時観測の結果については後に議論する。なお、1975 年以前の地震活動や観測・研究成果に関しては、北海道防災会議による報告書(北海道防災会議、1975)に詳しく記載されている。

III. 2001 年 1 月以降の常時地震観測

ISV-UVO では 2000 年度秋より北海道駒ヶ岳のデータ伝送システムの更新作業を開始し、有珠山の 2000 年噴火で中断していた UVO へのリアルタイムデータ伝送を 2001 年 1 月より再開した。2001 年度から 2002 年度にかけて常時火山観測点の整備新設作業を重ねた結果、2003 年 11 月現在では Fig. 2 に示した計 13 観測点に地震計が設置されている。それぞれの観測点の稼働期間は Fig. 3 の通りで、2001 年以降に観測を中止した地点はない。このうち 2003 年 11 月より観測を開始した OFN だけは、オフライン現地収録型の連続観測を行っている。山頂火口原内の昭和 4 年火口から OFN を除く観測点までの水平距離は約 0.9 km (KNG) ～約 11.4 km (SKB) である。

山体上には6点の観測点が設けられているが、恒久観測点は4点だけである。この恒久観測点は北東—南西方向に直線的に配列しているため、震源決定などの地震学的処理を行う上では臨時観測点となっているOSDおよびKMEで得られるデータの重要度も高い。

南西および北東山腹のKM7とNUMには地表設置型地震計と共にボアホール型地震計が併設されており、3成分加速度計(KM7, 地表深度500 m, JA-5V型)と3成分速度計(NUM, 地表深度150 m, SD-203BS型)が稼働している(西村ほか, 1996)。その他の地表設置型地震計を用いた観測点では、観測点の新設や

実験的観測の実施など研究観測上の必要に応じて地震計を適宜変更しているが、一般に速度型の短周期地震計(L-4C-3D)もしくは広帯域地震計(CMG-40T)を設置している。2003年11月現在における北海道駒ヶ岳周辺の地震観測点座標および設置機器はTable 1にまとめた。

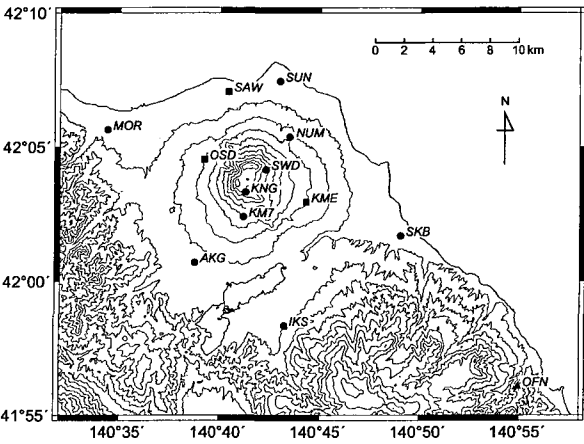


Fig. 2. Location map of seismic stations around Hokkaido Komagatake Volcano which ISV-UVO operates as of December 2003. Solid circles and squares correspond to permanent and temporary stations from which all monitoring data are sent to UVO in real-time. The solid triangle in the southeastern end of the map represents a temporary off-line seismic station installed on November 1, 2003.

Table 1. Location of and list of instrumentation for seismic stations of Komagatake Volcano as of Nov. 2003.

Station	Lon.(deg)	Lat.(deg)	Alt.(m)	Seismometer	Digitizer	Comm.	Power Supply	Remarks
KM7	140.6862	42.0400	490 -10	CMG-40T JA-5V(*1)	LT8500	RT/RR-48 RGW2400	12VDC(Solar) 100VAC	Borehole
NUM	140.7247	42.0897	270 120	CMG-40T SD-203BS	LT8500	Analog line (2 lines)	100VAC	Borehole
IKS	140.7208	41.9723	185	CMG-40T	LT8500	Digital 64k	100VAC	
KME	140.7383	42.0492	310	CMG-40T	LT8500	RT/RR-48	100VAC	Temporary
OSD	140.6533	42.0758	310	CMG-40T	LT8500	RT/RR-48	100VAC	Temporary
SAW	140.6736	42.1179	17	L-4C-3D	LS7000		100VAC	Temporary
MOR	140.5733	42.0941	79	L-4C-3D	LS7000	(Local)	100VAC	
SKB	140.8173	42.0282	45	L-4C-3D	LS7000	Digital 64k	100VAC	
SUN	140.7164	42.1243	20	L-4C-3D	LS8000SH	Analog line	100VAC	
AKG	140.6459	42.0118	168	L-4C-3D	LS7000	Digital 64k	100VAC	
SWD	140.7047	42.0693	727	CMG-40T	LS7000XT	RT/RR-48	12VDC(Solar)	
KNG	140.6878	42.0553	895	CMG-40T	LS7000XT	RT/RR-48	12VDC(Solar)	
OFN	140.9159	41.9346	95	L-4C-3D	LS7000	-	12VDC(Batt.)	Off-line

(*1) Orientations of horizontal components; Xch(+): N71°E, Ych(+): N161°E.

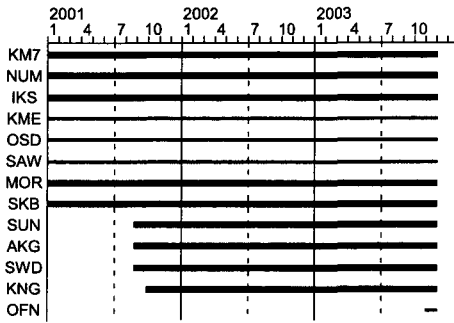


Fig. 3. Operation periods of seismic stations. Operation of permanent stations is expressed by a thick bar. A thin bar shows the period of temporary station.

北海道駒ヶ岳では2001年以降は表面現象を伴うような火山活動は観測されておらず、この3年弱の期間は静穏な状態が続いている。北海道近傍の特記すべき地殻活動としては、2003年9月26日に発生した十勝沖地震がある。

IV. 2001年1月以降の地震活動

2001年1月以降に常時地震観測網で検知され、UVOでのルーチン処理によって震源が決定された地震の総数は、2003年12月17日までで約350個となった。Fig. 4には2001年1月以降の駒ヶ岳周辺の(a)震央分布、(b)震源分布の東西断面図、(c)震源分布の南北断面図、(d)震源の時間-深さ分布図、(e)震源の時間-緯度分布図および(f)積算地震回数を示す。ここでは(a)の平面図に示された領域内の海面下0~13 kmに震源が推定された地震のみをプロットした。Fig. 1とFig. 4を比較すると、大学の常時観測網では気象庁A点でカウントされるよりも多くの地震を検出していることが分かる。これは駒ヶ岳周辺で定常的に発生している地震活動の中でも、規模の大きな地震のみが気象庁によりカウントされていることを意味している。

駒ヶ岳周辺での地震活動域を空間的に大きく分けると、主に駒ヶ岳山頂火口原直下と横津岳の北方約6 km (山頂の南東方向約10 km)の2ヶ所が明瞭な活動域である。また、山体の東側から北側にかけてのやや深部(深さ8~12 km)にもしばしば地震活動が認められる。以下では、山頂火口原直下の活動、山体北東側のやや深部での活動、横津岳近傍での活動についてそれぞれ述べる。

1. 山頂火口原直下の地震活動

山頂火口原直下の地震の震源は、ほとんどが深さ6 km以浅の山体浅部に推定されている。水平方向には4 km程度の広がりを持って分布しているが、特に火口原近傍に集中している。深さ4 km以深ではやや南方への震源のばらつきが大きい、分布の中心は南側に1 kmほど寄っているようである(Fig. 4c)。この3年弱の間には時折群発的に時間的に集中して地震が発生することもあったが(2001年5月、8月、10月、2002年3月など)、長期的に見れば1ヶ月に8個程度の割合でほぼ定常的に発生する状態が続いており、地震活動の活発化や静穏化を示すような傾向は見られない。また震源深さの時間的な変化も見られない。

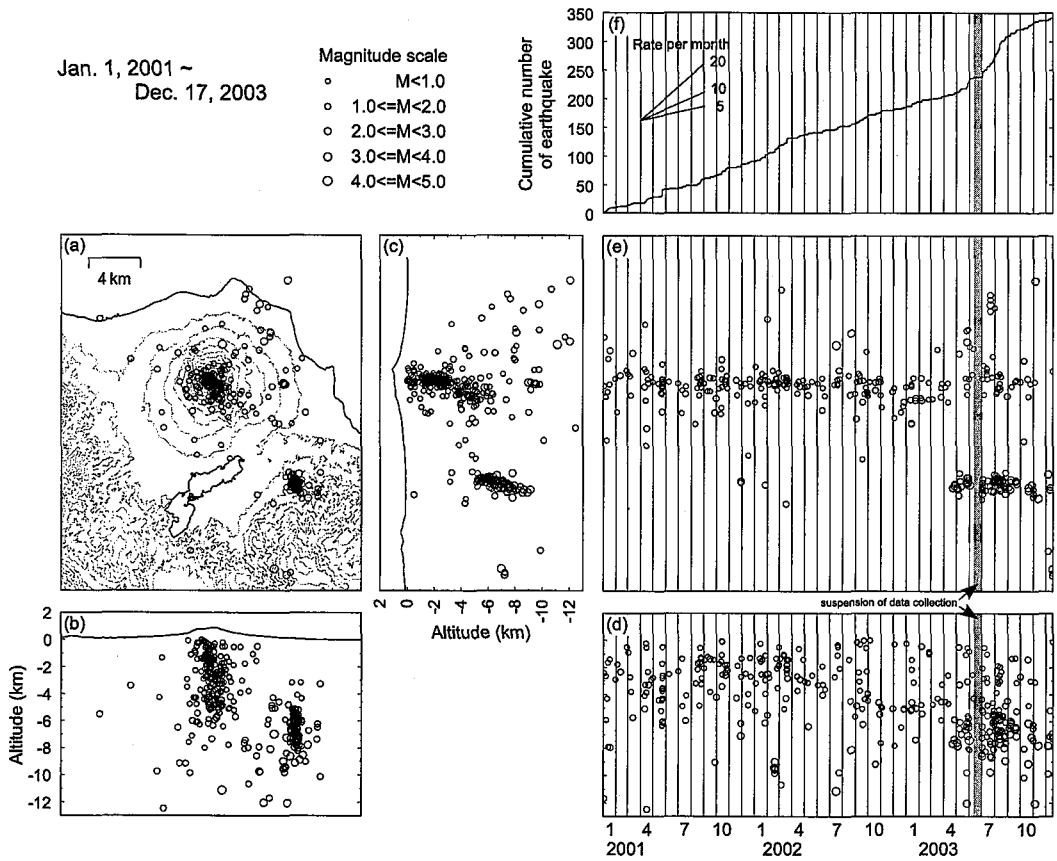


Fig. 4. Space-time distribution of hypocenter and cumulative number of earthquakes for January 2001 to December 17, 2003. (a) Map view of epicenters. (b) Projection of hypocenters on an EW vertical plane. (c) Projection of hypocenters on a NS vertical plane. (d) Depth-time distribution. (e) Latitude-time distribution. (f) Cumulative number of earthquakes. Magnitude scale is given on the upper left.

地震のマグニチュードはほとんどが1未満で、規模の大きいものでもマグニチュード1クラスである。山麓の観測点で相が読みとれるような規模の地震はほとんどなく、発生メカニズムは推定できない。震源が推定されている地震の中にはマグニチュードが0未満となるものがあるが、現在の観測点分布では検出基準を満たすだけの相を特定することが難しいため数は少ない。地震の規模別頻度分布については後に述べる。

山頂火口原では札幌管区気象台や北海道立地質研究所によって微小地震観測がたびたび行われてきた。1996年の小規模噴火以降の臨時観測では、微小地震の震源分布やスペクトル構造などが調べられている(例えば、札幌管区気象台, 1997; 岡崎ほか, 2001)。これらの臨時観測では、山頂火口原内の半径500 mほどの狭い範囲内に複数の地震計が設置され、高精度での震源決定が試みられた。札幌管区気象台(1997)の臨時地震観測では、約4ヶ月半の観測データから291個の震源が推定された。これらの震源は海面下2 km以浅に分布し、海面より高い位置で発生する地震が

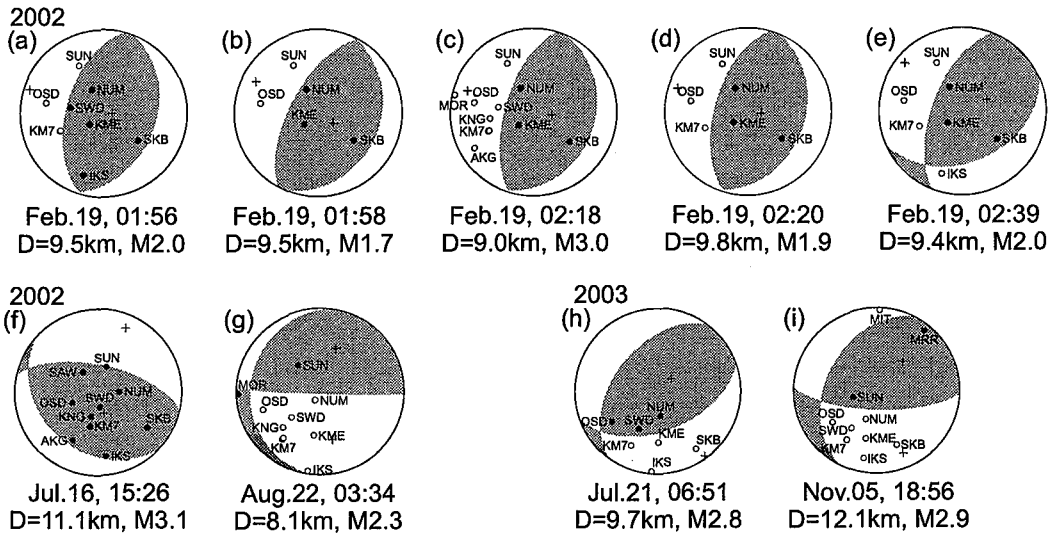


Fig. 6. Focal mechanisms of 9 earthquakes that occurred at intermediate depths. Focal solutions are projected on the upper hemisphere. Stations MRR and MIT locate in Muroran city and near Usu Volcano, respectively.

(震度1)であった。P波初動は全観測点で押しとなることから逆断層タイプの地震であったと推測されるが、押し引き分布から推定されたメカニズムには不確実性が大きい(Fig. 6 f)。8月22日の地震は山頂火口の北東約6 kmの深さ約8 kmで発生し、マグニチュードは2.3と推定された(Fig. 6 g)。これら2つの地震は余震活動を伴わず、単発の活動であった。

2003年7月21日の活動は、6~7時台にかけて発生した複数のイベントから構成される。6時51分に深さ約10 kmで発生したマグニチュード2.8の地震が最大で、Fig. 5中には最大地震と2番目に大きな地震(マグニチュード1.9)の震源のみ示してある。震源が観測網の縁にあたるためメカニズムの推定は難しいが、圧縮軸は南北方向もしくは北西-南東方向を向くと考えられる(Fig. 6 h)。2003年11月5日の地震は北東側の海岸からやや海側の深さ12 km付近で発生した。マグニチュードは2.9と推定され、こちらも圧縮軸を北西-南東方向に持つ逆断層タイプの地震と考えられる(Fig. 6 i)。

以上をまとめると、2002年2月の活動と2003年の2回の活動はいずれも北西-南東方向に圧縮軸を持つメカニズムであった可能性が高い。しかしながら、2002年7月および8月の活動は異なるメカニズムを持つようである。

3. 横津岳近傍での活動

2003年4月末から積算地震回数のFig. 4 eのグラフの傾きが急変しているが、これは横津岳の北方約6 km付近(鹿部町駒見, 雨鱒川付近)を活動域とする地震活動が出現したことによる。2003年4月~12月中旬にこの領域に震源が推定された地震総数は約80個である。震源深さは5~9

km に広くばらつき、震源が深く推定されるほど南側へ寄っているが、これは活動域が常時火山観測網の縁にあたり震源決定の深さ精度が良くないためと考えられる。

2003年11月より観測を開始した OFN では、データ回収を行った11月18日までに1つの地震がとらえられていた(11月13日05時44分)。このデータを駒ヶ岳近傍の常時地震観測のデータと合わせて震源決定をした結果、常時地震観測のデータだけで決定するよりも1.5 km 程度南東側へ震源が移動した。しかしながら、震源決定で仮定している1次元速度構造は水平方向の地震波速度の不均質が反映されていない。現実には横津岳一帯では駒ヶ岳近傍よりも地震波速度が速いと考えられ、震源の南東側にある OFN へ到達する地震波に対しては、遅い伝播速度を仮定している可能性が高い。南東方向への震源の移動は、震源決定に水平方向の速度不均質が考慮されていないことに起因しているかもしれない。

この領域に発生する地震でマグニチュード2.5以上となるものは、2003年12月18日までに10個であった。これらの地震について初動極性を調べると、大きく2つのグループに分けられることが分かった。Fig. 7のGroup Aは駒ヶ岳山体上の観測点の東側で初動が押し、西側で引きとなる分布を示す地震で、Group Bは山体上の全ての観測点で初動が押しとなる地震である。それぞれ

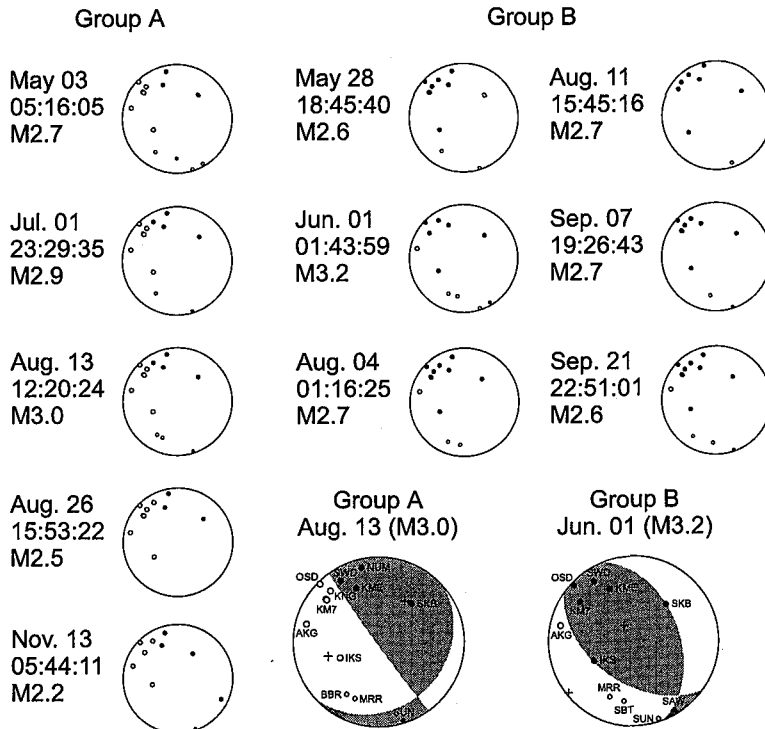


Fig. 7. P wave polarity distribution of 11 earthquakes near Mt. Yokotsu-dake. All polarities are projected on the upper hemisphere. The earthquakes can be classified into two groups according to the polarity distribution. Focal mechanisms of the largest earthquakes in each group are shown on the lower right.

れのグループの最大地震について初動極性からメカニズムを推定すると、Group Aは北東側上がりの dip-slip 型となり、Group Bは北東—南西方向に圧縮軸を持つ逆断層型となった。これら2つのメカニズムはB軸をほぼ共有している。ちなみに、マグニチュード2.2と推定された2003年11月13日の地震はGroup Aに属すると考えられる。

2003年12月17日には、横津岳山頂やや西側の深さ7 km付近を震源とするマグニチュード3.7の地震が発生し、大野町で震度3を記録した。この地震はいくつか余震と思われる活動を伴っており、UVOの自動処理では18日0時まで

に計3個の地震が検知された。本震について道南の常時火山観測網の地震データと防災科学技術研究所の公開データ(Hi-net)を併合処理した結果、初動極性から推定されるメカニズムは圧縮軸を西北西—東南東方向に持つ strike-slip 型となった (Fig.8)。

V. 駒ヶ岳周辺の地震活動に関する二三の考察

1. 地震の深度別—規模別頻度分布

約3年弱にわたる常時地震観測により、平常時における地震活動をおおよそ把握することができた。しかしながら、この間は表面現象を伴うような火山活動は見られず、噴火に先立って常時地震観測網に何らかの異常な活動が検知されるかどうかは現在のところ不明である。どのような地震活動をもって異常と判断するかは、それまでの地震活動度や震源分布といった基礎的なデータの蓄積に寄るところが大きい。ここでは基礎的なデータの1つとして、駒ヶ岳周辺の地震活動を深さ2 kmごとに区切って、それぞれの深さでの規模別頻度分布について検討する。

地震の抽出期間は2001年1月—2003年11月末で、Fig.4に示された地図領域内の深さ13 km以浅で発生した地震を扱った。Fig.9は震源の南北断面投影図とそれぞれの深さにおける地震の規模別頻度分布である。マグニチュードは0.5ずつに区切って示している。横津岳近傍での地震活動の影響を除くため、北緯42度より北側の地震だけを抽出した地震リストと、Fig.4の地図領域内の全ての地震を対象とした地震リストを用意した。それぞれの深さにおいて太細の2つの棒グラフが示されており、太いグラフは北緯42度以北の地震について、細いグラフが地図領域全体の地震についての頻度分布を表す。

簡単に分布の特徴をまとめると、駒ヶ岳近傍の地震活動(北緯42度以北)は主に6 km以浅で発生しており、特に4 km以浅では約85%がマグニチュード1.0未満の小さい地震であった。マ

Dec.17, 20:52, M3.7

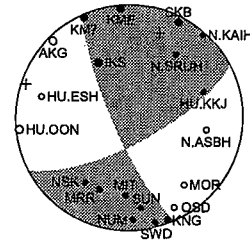


Fig. 8. P wave polarity and focal mechanism of an earthquake that occurred on December 17, 2003. We used additional public data from Hi-net, operated by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED). Stations N.KAIH, N.SRUH and N.ASBH belong to NIED. Stations HU.KKJ, HU.ESH and HU.OON belong to Hokkaido University. Station NSK locates near Tarumae Volcano.

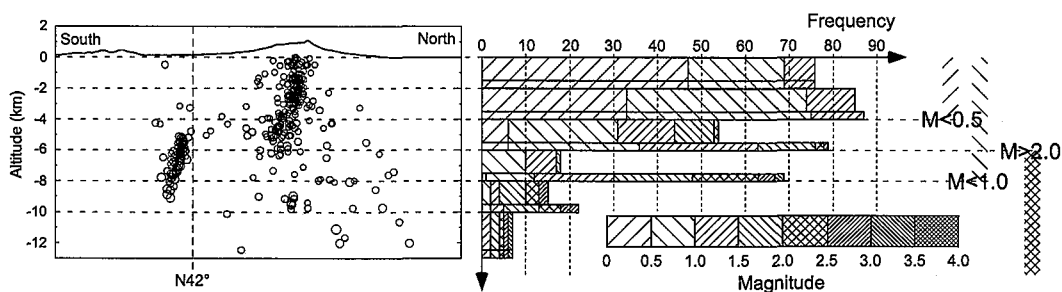


Fig. 9. Projection of hypocenters on a NS vertical plane and their frequency-magnitude distribution for every 2 km depth interval. Bin width of magnitude is 0.5. To extract an influence of remarkable activity near Mt. Yokotsu-dake, we divide the area at latitude 42°N . Thick bars in each depth interval show frequency-magnitude distributions for earthquakes near Komagatake Volcano that occurred farther up north of 42°N . Narrow bars show the distribution of earthquakes that occurred in the whole area in Fig. 4.

マグニチュード 0.5 未満の地震についてはほとんどが 4 km 以浅に、マグニチュード 1.0 未満の地震についてはほとんどが 8 km 以浅に震源が求められている。逆に大きな地震についてみると、マグニチュード 2.0 以上の地震は深さ 6 km 以深にしか認められず、火山体の浅部では発生していないことがわかる。横津岳近傍の地震活動については深さの精度はあまり良くないと考えられるが、マグニチュード 1.0 以上 1.5 未満地震と 1.5 以上 2.0 未満の地震が深さ 8 km 以浅で多く、マグニチュード 2.0 以上の地震は深さ 6 km 以深で多いようである。

規模の小さな地震が観測される下限の深さは、小地震が 8 km 以深で発生していないことを意味しているのではなく、現有の観測網で小地震を検知できる深さ（距離）の限界を表しているものと考えべきであろう。また他機関による山頂臨時観測でとらえられたような山体極浅部の微小地震活動も、同様の理由により検知できないと考えられる。

2. 山体北東側のやや深部での地震活動

駒ヶ岳周辺の深さ 8 ~ 12 km というやや深部で発生する地震活動は、これまでのところ山体の西側や南側では確認されていない。やや深部での地震活動が山体の東側から北側にかけて偏って発生する地学的な背景は不明であるが、これらの地震活動との関連が疑われる他の現象としては、近年注目を集めている深部低周波地震があげられる。Moho 面付近を震源とする深部低周波地震は、火山の近傍で発生が報告されているだけではなく、活動的火山のない四国など西南日本でも広い範囲で発生していることが最近の研究で明らかにされている。（例えば、Nakamichi et al., 2003; Obara, 2002; 鶴川・小原, 1993）。北海道における深部低周波地震の活動については詳細な研究がなされていないため不明な点が多いが、高橋ほか（1999）によれば北海道駒ヶ岳の周辺でも深部低周波地震の発生が報告されている。当時は気象庁による地震データの一元化処理が始まったばかりであったため数が少なく、駒ヶ岳周辺では北東側の深さ 30 km 付近に 1 つだけ震源

が推定された ($M_{JMA}2.2$)。その後も気象庁による一元化処理によって深部低周波地震の検測が行われており、その多くは駒ヶ岳の北東沖に震源が推定されている (札幌管区気象台火山監視・情報センター, 私信)。深さ 8~12 km で発生するやや深部での地震と Moho 面付近で発生するとされる深部低周波地震が共に駒ヶ岳の北東側でしか発生しないという事実は、駒ヶ岳深部のマグマ供給システムを考える上で非常に興味深い。

Fig. 2 に示した常時地震観測網でも 2003 年の 10 月から 11 月にかけて深部低周波地震と思われる複数の地震が検知され、2 つの地震について震源が推定された。Fig. 5 にはこれらの震央位置を重ねて示してある。震源は海岸線よりやや内側の、山頂の北北東約 8 km の深さ 18.2 km (2003 年 10 月 9 日の地震) と山頂の東側約 6.5 km の深さ 20.1 km (2003 年 11 月 10 日の地震) に推定された。11 月 10 日の地震の震源は 2002 年 2 月の活動域のほぼ真下にあたる。Fig. 10 には深部低周波地震の波形例として、11 月 10 日の地震の観測点 IKS における速度記録を示し、複数の観測点における上下動成分の速度振幅スペクトルを重ねた。波形からは S 波の到着以降に振幅の大き

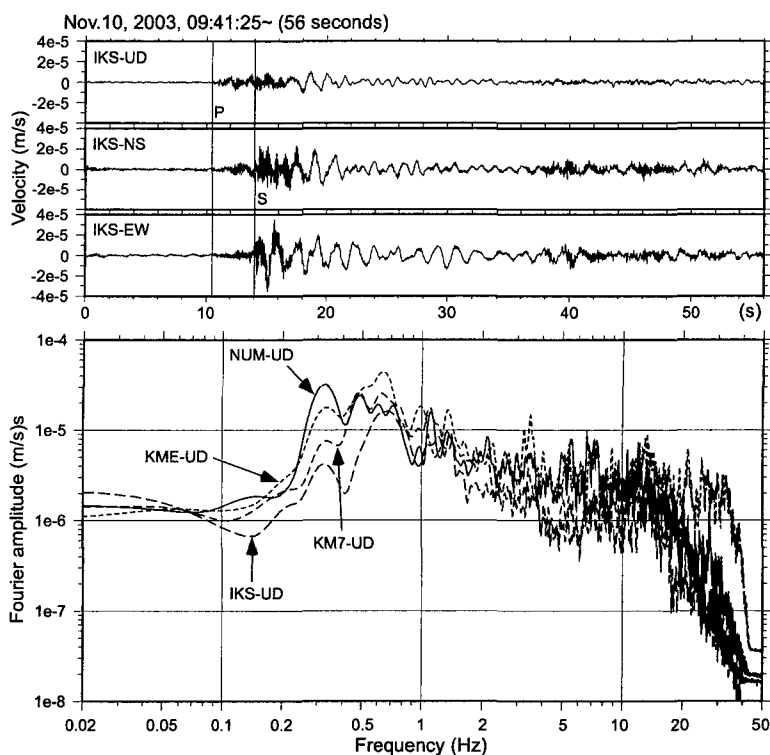


Fig. 10. Velocity waveform of a deep low-frequency earthquake (DLF event) that occurred on November 10, 2003, and its velocity spectra from the UD component at 4 different stations. The location of the hypocenter is shown by a pentagram in Fig. 5. Each velocity spectra is smoothed by a Parzen window of a 0.1 Hz bandwidth. The dominant frequency is lower than 1.0 Hz at all stations.

な長周期成分が現れていることが分かる。P波やS波の到着直後は高周波成分が目立つ。波形全体のスペクトルは1 Hz以下の成分に富んでおり、いずれの観測点においても0.3~0.8 Hzの振幅が大きい。また、0.3 Hzや0.6 Hz付近のピークは4つの観測点に共通に現れている。

駒ヶ岳近傍のやや深部におけるM3クラスの地震活動は、前に述べたように1989年末にも確認されていることから、最近になって始まった活動ではないと考えられる。とはいえ、やや深部での地震の発生頻度はそれほど高くなく、この3年弱の観測によりようやく空間的な分布が見えてきたという状態である。駒ヶ岳の噴火準備過程やマグマ供給系について、測地的な観測結果や岩石学的研究の成果などとあわせてより一層の議論をするためには、今後も長期にわたってやや深部での地震活動の変化をとらえていく必要があるだろう。

3. 過去の地震活動との対比—横津岳近傍の地震活動について—

前に述べたように、駒ヶ岳南東方の横津岳付近では過去にも地震活動が高まったという報告がある。気象庁がJMA-A点における連続観測を開始して以降、1967年12月と1969年~1971年に群発地震活動が観測されている。1967年12月の地震は観測点が少なかったため横津岳方向で発生したということしか分かっていないが(北大理学部有珠火山観測所, 1984 a, b), 1969年~1971年の地震活動はマグニチュード4.8の地震を含む大規模なものであった。

Fig. 11には戸松(1971)に示された1969年10月~1970年2月に発生した地震の震央位置(推定は札幌管区气象台)を2001年以降の震源分布と重ねて示した。当時の震源決定精度について議論はしないが、震央位置はおおよそ正しいと仮定すると、1969年からの群発地震活動の活動域は現在の活動域から南東方向に広がっていたと考えられる。横津岳山頂西側で2003年12月17日に発生したマグニチュード3.7の地震の震央近傍にも、1970年当時に震央の推定された地震があったことがわかる。

戸松(1971)は1970年8月に大沼東側の銚子口付近で臨時の4点観測を行った。この観測により推定された12個の地震の震源は、駒ヶ岳南東約10 kmの深さ3 km付近に分布している。震央の分布域をFig. 11にハッチで示した。戸松(1971)によって推定された震源の深さはやや異なるものの2003年4月より始まった地震活動の活動域と非常に近い。また1970年2月に発生したマグニチュード4.8の地震については、広域の初動極性から北西-南東方向に圧縮軸を持つようなメカニズムであったと考えられており(戸松, 1971), 2003年12月17日の地震とメカニズムが似通っている。

これらの地震活動の空間分布について考察するため、Fig. 11には第三系および先第三系が地表露出している領域と、重力異常を表すコンターを重ねて描いた(秦・上村, 1984; 広島ほか, 1997; 石田・久保, 1983)。Fig. 11に示されている亀田半島北部では、駒ヶ岳周辺と函館平野に低重力異常域が広がり、横津岳南東方向および西側の山地に高重力異常域が分布する。駒ヶ岳直下には南東方向より高重力異常域が張り出しており、森から大沼公園方向へ低重力異常域が深く入り込んでいる。また南茅部町の磯谷川付近を軸とした低重力異常が横津岳の東側へ北東側から入り込んでいるため、横津岳付近には北北西へ張り出した高重力異常が見られる。地質構造と重力コンター

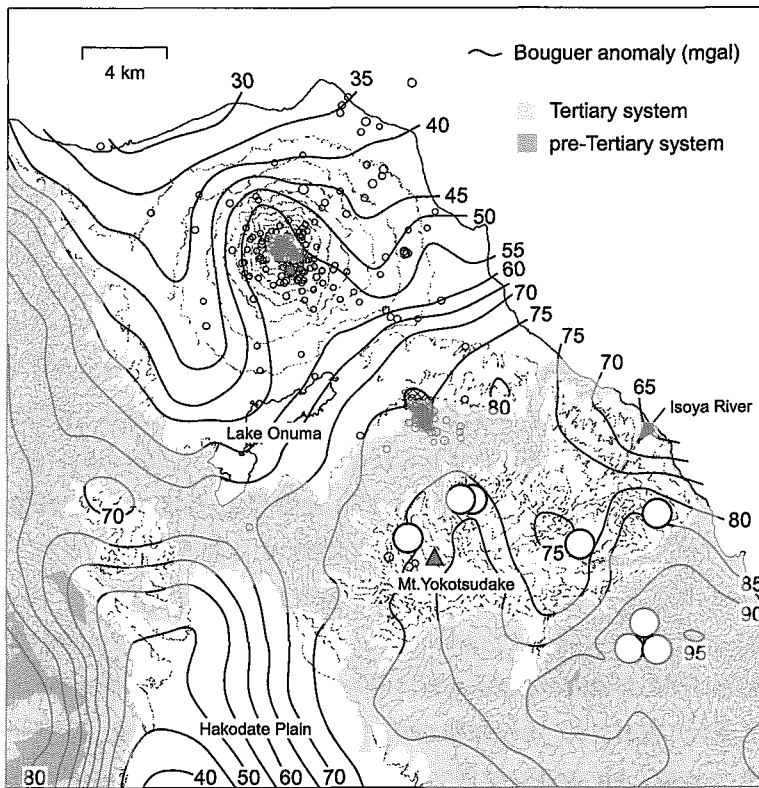


Fig. 11. Composite geologic, earthquake epicenter and Bouguer anomaly map of the Komagatake area. The hatched area north of Mt. Yokotsudake corresponds to an epicenter determined through four points observation by Tomatsu (1971). White large circles around Mt. Yokotsudake are epicenters determined by the Sapporo Meteorological Agency during October 1969 and February 1970 (after Tomatsu, 1971). Light gray and dark gray zones correspond to the Tertiary system and pre-Tertiary system, respectively (after Hata and Umemura, 1984; Ishida and Kubo, 1983). Bouguer anomaly is expressed in contours of 5 mgal interval (after Hiroshima et al., 1997).

を対比すると、第三系や先第三系が地表露出している地域は高重力異常域と良く一致することがわかる。先第三系に属する粘板岩や石灰岩が露出している横津岳南東地域や函館平野西側では正の重力異常が特に大きい。このことは古く高密度な岩石から構成される基盤と呼ばれるような地層までの深度が重力異常のコンターに反映されていることを意味する。

2003年4月以降の横津岳北方での地震活動は、横津岳付近から北北西へ張り出した高重力異常域の先端付近で発生している。1969年10月～1970年2月に発生した地震については、磯谷川付近の低重力異常域の縁で発生しているように見える。また駒ヶ岳近傍における浅部地震活動についても、山頂火口原からやや南方へ広がった活動域は駒ヶ岳下部に南東方向から張り出した高重力異常域の分布と良く重なる。これらの事実は、駒ヶ岳周辺における地震活動の空間分布が、基

盤構造と何らかの関係を持っている可能性を示唆するものである。

鈴木ほか (1969) では、横津岳周辺の第三系に見られる鉱脈や裂か系、貫入岩体などに北西-南東方向と N 50~65°E という 2 つの方向性が認められると報告している。Fig. 7 や Fig. 8 に示した横津岳周辺で発生した地震のメカニズムを見ると、節面の 1 つは北西-南東もしくは北北西-南南東方向を向いている。地震のメカニズムは現在の広域応力場の影響だけでなく、横津岳周辺に発達した既存弱面の方向性などの影響も受けているのかもしれない。

VI. まとめと今後の課題

北海道駒ヶ岳周辺の常時火山観測網を整備拡充したことにより、2001 年 1 月から山体周辺に発生する定常的な地震活動を捉えられるようになった。2003 年 4 月より始まった横津岳周辺での地震活動を除けば、活動状況に大きな変化は見られない。2001 年 1 月以降の駒ヶ岳の火山活動についても表面現象を伴うような活動は発生しておらず、2003 年 12 月まで平静な状態が続いている。

2003 年 12 月までの震源分布から、定常的な地震活動は山体直下の 6 km 以浅に集中しており、ときおりやや深部 (深さ 8~12 km) でも地震活動が発生することが分かった。山体直下の地震活動域は、深さ 4 km 以深でやや南側に広がっているようである。やや深部での地震活動は、山体の東側から北側にかけての領域でのみ認められ、明らかに局在している。駒ヶ岳の北東側では深部低周波地震もときおり観測され、やや深部での地震活動との関連が疑われる。

2003 年 4 月からは駒ヶ岳の南東に位置する横津岳の北方約 6 km でも地震活動が活発化している。地震活動は非常に狭い範囲に限られ、戸松 (1971) で推定された 1970 年の地震活動の震源域と非常に近い。マグニチュード 2.5 以上の地震についてメカニズムを求めたところ、大きく 2 つのグループに分けられることがわかった。しかし 2 つのメカニズムと震源の空間分布の関係などは明らかにできなかった。

北海道駒ヶ岳では 2002 年度に人工地震を用いた地震波速度構造探査が実施され、地殻浅部の地震波速度構造が 3 次元に明らかにされようとしている。暫定的な解析の結果は、重力異常図から予想される駒ヶ岳直下への基盤の張り出しを裏付けるように、駒ヶ岳の下へ南東方向から伸びる高速度領域の存在を示している。また駒ヶ岳の北側では南側に比べて地表付近の低速度層が厚く、駒ヶ岳を中心としてみれば、北側で地震波速度が遅く、南側で地震波速度が速いという大きな水平不均質がある。本論はルーチン処理の結果に基づいているため、このような水平速度不均質を全く考慮していない。この探査の成果を生かして、駒ヶ岳周辺の地震活動について震源分布の再検討することが最初の課題であろう。

謝辞 札幌管区気象台火山監視・情報センターの皆様には、1966 年以降の日別地震回数リストを提供していただいた。また、勉強会や日々の検測処理における問い合わせでは、活発な議論や情報提供をしていただいている。駒ヶ岳火山防災会議協議会ならびに駒ヶ岳近隣の自治体、北海道森林管理局渡島森林管理署には、常時火山観測施設の整備作業に大変便宜を図っていただいた。

岩崎メンテナンス（株）には、観測点の整備拡充作業や保守点検作業で多大な援助をいただいている。記して感謝いたします。一部の解析において、防災科学技術研究所より提供されているHi-net 観測点の地震波データ（防災科学技術研究所，北海道大学）を利用した。

Appendix, 北海道内火山における常時観測データ伝送

ISV-UVO では 2000 年 3 月末に始まった有珠山の噴火活動を契機に、近年技術発展の著しいコンピュータネットワーク技術を用いた新しい常時火山観測用データ伝送システムの導入を開始した。新しく導入した伝送システムは、TCP/IP ネットワークで接続されたコンピュータ間での火

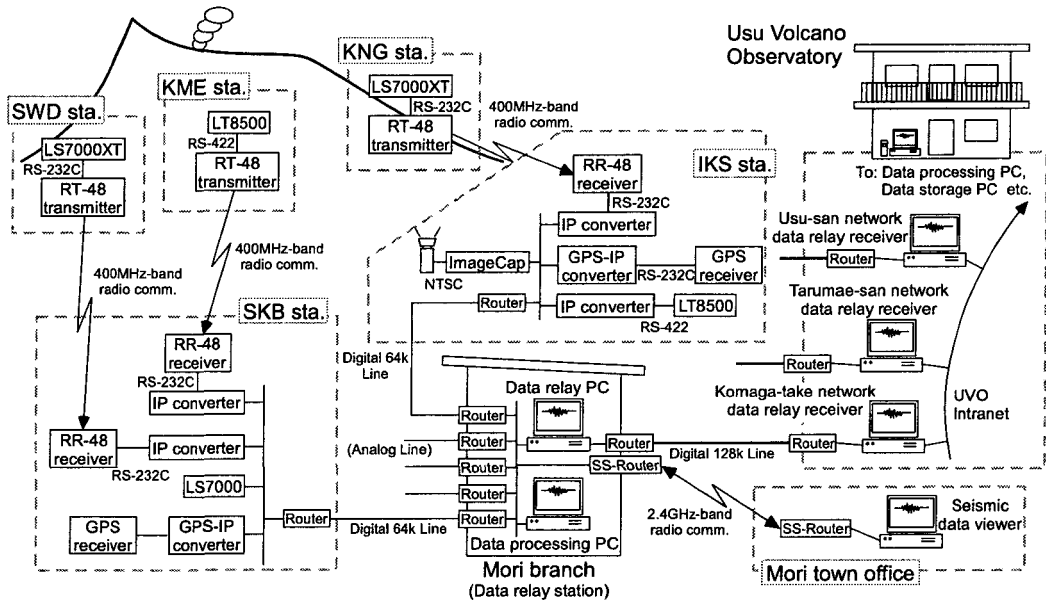


Fig. A1. Schematic diagram of the data transmission network of Hokkaido Komagatake Volcano. We introduced private WAN connecting satellite stations at the foot of the volcano that transmit to UVO observed data such as seismic data, tilt data, strain data, airwave data, GPS raw data, picture image data and tide gage data using the same transmission line. Mori branch at the northwestern foot is the gate of the Komagatake network to UVO. A PC installed at the Mori branch aggregates all monitoring data from the satellite stations and relays them to UVO by a single telephone line. The stations where AC power supply and commercial telephone lines are available, are organized with private WAN. These constitute the backbone of the volcano monitoring network of Komagatake and function as hub stations. In this figure, stations SKB, IKS and Mori branch are hub stations. Data from stations on the edifice where telephone lines are not provided are sent to the hub stations at the foot of the volcano by a radio telemeter. We mainly use the one-way communication radio telemeter, and partly operate the two-way communication-type radio telemeter that can request retransmission from the sender when data packets are destroyed during radio transmission. A spread spectrum radio router (SS-router) can be used for short distance data transmission from Mori branch to Mori town office where seismic data are distributed experimentally. For instrumentation details, see tables in the appendix. (LT8500, LS7000, LS7000XT, IP converter and GPS-IP converter are products of Hakusan Corp. RT/RR-48 radio telemeter is a product of Meisei Electric co., ltd. ImageCap is a product of Big Island Co.)

山観測データの伝送を意識して構築されたものである。1990年代以降、日本国内での地震波形データの伝送やそのフォーマットに関しては、ト部・東田(1991)によるWINシステムやWINフォーマットが広く使われるようになった。新しい伝送システムでは、WINシステムを拡張した白山工業(株)製のデータ伝送ソフトウェアが用いられており、NTT専用回線を用いて構築されたTCP/IPネットワークを経由して有珠火山観測所(UVO)までデータが伝送されている。データ伝送にTCP/IPネットワークを導入することの利点は、(1)ハード的な回線の切り替えをしなくてもデータの伝送先を容易に変更することができる、(2)噴火予知研究で必要とされる多項目の観測データを同一の回線で伝送することができる、(3)データ伝送網構築に必要な機材の多くが広く市販されているため安価である、(4)観測点のテレメータ機器を観測所からリモートでメンテナンスできる、などがあげられる。2003年11月現在で常時観測火山からUVOへリアルタイム伝送されている観測データは、地震、傾斜、歪み、空振などの従来からのデータに加え、GPS測位データ(駒ヶ岳・有珠山)、高感度可視画像データ(駒ヶ岳・樽前山)、潮位データ(駒ヶ岳)がある。商用電源やNTT回線が確保できる山麓の観測点は全て観測所とTCP/IPネットワークで結ばれている。また、商用電源やNTT回線が利用できない山体上の観測点には高伝送速度の専用周波数帯無線を導入し、山麓の観測点でTCP/IPネットワークへの中継を行っている。また、一部の観測点間の通信(近距離に限る)には2.4GHz帯のスペクトル拡散型無線ルータ(SSルータ)を使用している。Fig. A1には、例として駒ヶ岳データ伝送網の一部を示す。

UVOに伝送された地震波データはWINシステムの自動検出ルーチンにより、震源決定まで自動的に処理される。山体近傍の3観測点以上で振幅がトリガレベルを越えた場合に地震が発生したとして自動震源決定が行われるが、その後の手動検出処理によって3観測点以上でP・S相が合計5相以上読みとれる地震のみがリスト化されるように再処理している。有珠山を含む道南3火山で震源決定に使用している1次元速度構造はFig. A2に示すとおりである。

駒ヶ岳は別荘地や砂防施設などの開発が進んでいるため、山体上の観測点でも交流電源の利用は比較的しやすい状況にある。その一方でデータ伝送は無線に頼る部分が多い。Fig. A3は2003年12月現在におけるデータ伝送網である。山体上の観測点から無線伝送されたデータは山体周辺に配置された4ヶ所の中継点で受信される。例えば、SWDのデータはSKBまで無線伝送されたあと、SKB自局の観測データおよびKMEから無線伝送されてくるデータと一緒にMORに送られている。受信点である

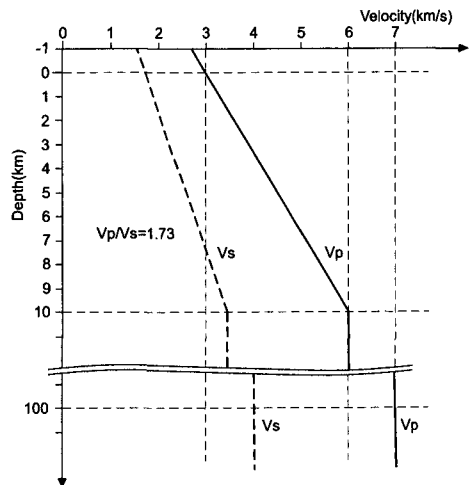


Fig. A2. Assumed 1D velocity structure for routine analysis of hypocenter determination at UVO. V_p/V_s is fixed to 1.73 at all depths.

Table A1. Specifications of seismometers used for volcano monitoring in Hokkaido.

Type	Manufacturer	Model	Natural Period	Sensitivity	Power Supply	Remarks
Vel.	Mark Products	L-4C-3D	1s	276V/m/s(open) 171V/m/s(h=0.7)	—	550ohm type Rs=8905ohm (h=0.7)
Vel.	Guralp	CMG-40T	30s	2×400V/m/s	+10~+36VDC 0.5W	Standard type
Vel.	Streckeisen	STS-2	120s	2×750V/m/s	+10~+30VDC 1W	
Vel.	Katsujima	SD-203BS	1s	50V/m/s	—	Borehole type Amplifier:MA-103(*1)
Vel., Acc.	Tokyo Sokushin	VSE-355H	50s	2×50V/m/s(L) 500V/m/s(H) 100V/m/s/s	±15VDC 90mA	Borehole type Power unit: PF-604
Acc.	Japan Aviation Electronics Industry	JA-5V	DC	0.51V/m/s/s	±12~ ±18VDC 60mA	Borehole type
Acc.	Akashi	JEP-6A3	10s	0.11V/m/s/s	—	
Acc.	Kinometrics	SBEPI	DC	4.08V/m/s/s	+12VDC 65mA	Borehole type

(*1) Output sensitivity of amplifier is 2×50V/m/s.

Table A2. Specifications of digitizers used for volcano monitoring in Hokkaido.

Manufacturer	Model	Chan.	Dynamic Range	Sample Rate	Input Range	Power Supply	Telemetry
Hakusan	LT8500	6~	22bit (~100Hz) 20bit (200Hz)	20,50,100, 200Hz	±10V~ ±625mV	12VDC(*1) Ave. 30W	RS-232C, RS-422
Hakusan	LS8000SH	4	14bit	20,50,100, 200Hz	±1.25V~ ±2.778mV	+6~+9VDC Ave. 70mA	RS-232C
Hakusan	LS7000	6	24bit	2,10,20,80, 100,200,500, 1000Hz	±10V/±1V	+7~+15VDC Ave. 65mA	RS-232C, UDP/IP
Hakusan	LS7000XT	6	24bit	1,50,100, 200Hz	±10V/±1V	+7~+15VDC Ave. 120mA	RS-232C, UDP/IP

(*1) 100VAC is required for starting.

Table A3. Specifications of radio telemeters (wireless modem/router) used for volcano monitoring in Hokkaido.

Manufacturer	Model	Modulation	Trans. Rate	Trans. Dist.	Power Supply	Interface	Remarks
Meisei	RT/RR-48	GMSK (400MHz-band)	38.4kbps ~56kbps	Max. 30km (5elem, 1W)	+11~+15VDC Max. 400mA	RS-422, RS-232C	Modem
Hakusan	RM800	GMSK (400MHz-band)	9.6kbps	Max. 30km (5elem, 1W)	+9~+16VDC Max. 500mA	RS-232C	Modem
Hakusan	RM300	GMSK (400MHz-band)	8~56kbps	Max. 54km (5elem, 1W)	+12VDC Max. 250mA	RS-422, RS-232C	Modem
Root	RGW2400	SS-DS (2.4GHz-band)	2Mbps	Max. 5km (Patch, 10mW)	+12VDC 1A	10BASE-T	Router

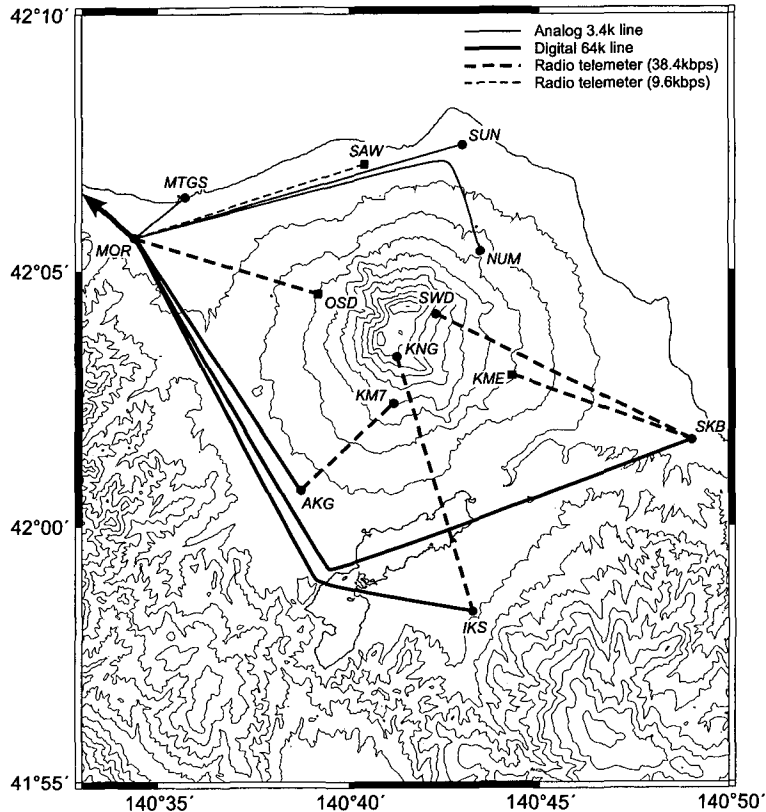


Fig. A3. Location map of the volcano observation network of Komagatake Volcano operated by ISV-UVO as of December 2003. MOR (Mori branch) is a gate to Komagatake network. At station MOR, all monitoring data are stored in a PC and relayed to UVO. Data from the stations on the edifice are sent to hub stations at the foot of the volcano by a radio telemeter. Relay stations around the volcano are connected to MOR through the exclusive telephone lines. In this figure, thick and thin solid lines represent digital and analog exclusive lines, respectively. Thick and thin dashed lines show high-speed (38.4 kbps) and standard (9.6 kbps) radio transmission lines, respectively.

SKB, IKS, AKG は地震, GPS, 可視画像などの観測点を兼ねている。図中では, 太実線がデジタル専用回線, 細実線がアナログ専用回線, 太破線が高速無線回線 (56 kbps), 細破線が通常無線回線 (9.6 kbps) を表している。

文 献

- 秦光男, 上村不二雄, 1984. 20 万分の 1 地質図「函館及び渡島大島」, 地質調査所。
 広島俊男, 牧野雅彦, 村田泰章, 森尻理恵, 駒澤正夫, 1997. 渡島地域重力図(ブーゲー異常), 1:200,000 重力図, 8, 地質調査所。
 北海道防災会議, 1975. 駒ヶ岳 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, 4, 194 pp.
- 北海道大学理学部有珠火山観測所, 1984 a. 北海道駒ヶ岳 1983年6月の群発地震, 火山噴火予知連絡会会報, 29, 63-67.
- 北海道大学理学部有珠火山観測所, 1984 b. 北海道駒ヶ岳の最近の地震活動, 火山噴火予知連絡会会報, 31, 47-49.
- 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), 火山噴火予知連絡会会報, 46, 1-10.
- 石田正夫, 久保和也, 1983. 20万分の1地質図「室蘭」, 地質調査所.
- Nakamichi, H., H. Hamaguchi, S. Tanaka, S. Ueki, T. Nishimura and A. Hasegawa, 2003. Source mechanisms of deep and intermediate-depth low-frequency earthquakes beneath Iwate volcano, northeastern Japan, *Geophys. J. Int.*, 154, 811-828.
- 西村裕一, 森 濟, 前川徳光, 鈴木敦生, 岡田 弘, 1996. 北海道駒ヶ岳における火山総合観測システム, 北海道大学地球物理学研究報告, 59, 255-260.
- Obara, K., 2002. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681.
- 岡崎紀俊, 一柳昌義, エフゲニイ・ゴルディエフ, 笠原 稔, 2001. 北海道駒ヶ岳火口近傍における臨時高感度地震観測—1999年5月20日~6月1日—, 北海道大学地球物理学研究報告, 64, 165-181.
- 大島弘光, 前川徳光, 植木貞人, 武田嘉人, 2003. 北海道の火山およびその周辺地域における精密重力測定—北海道駒ヶ岳—, 北海道大学地球物理学研究報告, 66, 101-110.
- 札幌管区气象台, 1987. 北海道駒ヶ岳, 北海道地域火山機動観測実施報告, 8, 45 pp.
- 札幌管区气象台, 1997. 北海道駒ヶ岳・雌阿寒岳, 北海道地域火山機動観測実施報告, 18, 105 pp.
- 札幌管区气象台, 2002. 樽前山・北海道駒ヶ岳, 北海道地域火山機動観測実施報告, 22, 86 pp.
- 鈴木 守, 長谷川潔, 三谷勝利, 1969. 5万分の1地質図幅「東海」及び同説明書, 北海道開発庁, 33 pp.
- 高橋浩晃, 宮村淳一, 郷家幸治, 1999. 北海道で発生した深部低周波地震, 北海道大学地球物理学研究報告, 62, 25-41.
- 戸松征夫, 1971. 北海道駒ヶ岳周辺の地震活動(1969-1970), 北海道大学地球物理学研究報告, 26, 85-97.
- 鶴川元雄, 小原一成, 1993. 関東地方の火山フロント下のモホ面付近に発生する低周波地震, 火山, 38, 187-197.