

北海道の火山活動とその観測報告*

(1988年5月～1989年9月)

北海道大学理学部附属有珠火山観測所

(1) 概 報

この期間、1988年12月16日から1989年3月5日にかけて、23回の小規模な噴火活動が十勝岳で発生した。1989年2月末までの段階の噴火活動及びその観測結果については、既に本会報第43号に速報として報告がなされている¹⁾。本会報では、その後の1989年3月5日の噴火を含め、全体の噴火活動を改めて見直すこと、及び噴火後の活動状況について報告する。

十勝岳は、1989年3月5日以後噴火活動が認められない状況が続いている。火山性微動は、3月5日の噴火に引き続き数日間に発生したのを除いては、7月24日に微小なものが認められた程度である。十勝岳の地震活動は、2月8日の噴火を契機に不連続的にかなり低いレベルに転じていたが、4月初旬から中旬にかけての特殊な波形の地震群の頻発、6月下旬から8月上旬にかけての顕著な低周波地震群の発生がみられた。

雌阿寒岳では、1988年1月から2月にかけて小規模な噴火活動があった後、噴火活動はみられないものの、顕著な群発地震や微動、周辺の群発地震など気がかりな活動が散発的にみられる状況にある。1989年夏には、噴火予知計画に基づく特定火山総合集中観測が雌阿寒岳及びその周辺部を対象に実施された。集中観測の結果については、別に報告が行われる。

樽前山は、1981年の小噴火以後長期的に地震活動の低下現象が進行していたが、この状況は尚認められるといえる。1988年1-2月にみられたような、低周波の地震ファミリー群が、1989年1-2月においても再度見られたが、前回に比べ極めて小規模であった。また、有珠山及び北海道駒ヶ岳の活動は、極めて平穏な状況が観測結果から得られている。

人工衛星による精密測位システムであるGPSを用いた火山観測は、有珠山、十勝岳、樽前山及び北海道駒ヶ岳の当観測所で常時観測の対象となっている4火山において実施された。また、雌阿寒岳では集中総合観測の一端としてGPS観測が実施された。

(2) 十勝岳

十勝岳は1988年12月16日から1989年3月5日にかけて、62-II火口から23回の爆発的噴火を繰り返した。初期(12月16, 18日)の噴火は水蒸気爆発であったが、12月19日以降はマグマ水蒸気爆発に発展、12月25日の噴火では小型火砕流の発生が確認された。さらに、1989年1月13日にハーモニック微動が、18-19日に低周波単色微動が観測され、1月20日には少量ながらまとまった量の本質マグマの放出を伴う特徴的な噴火が発生した。火砕流は、1月8日、1月16日、2月4日、2月8日、3月5日の噴火を含め6回発生したと思われる。噴火のリストを表1に示す。噴火に至る火山活動の経緯、及び1989年2月8日の噴火までの個々の噴火の特徴等については、本会報等で既に観測報告がなされている^{1),2)}。また、総合的な観測報告も準備されている³⁾。

* Received Jan. 18, 1990

表1

十勝岳の1988-1989年の爆発的噴火の一覧表。微小高周波振動 (sH) が始め発生し、噴火直前に微小低周波振動 (sLF) が出現し増加する噴火前兆現象は、約3分の1の事例で共通してみられた。夜間の噴火が多くて悩まされた原因の一つは、地球の固体潮汐との関連 (表中+Pが多いこと) がありそうである。No.9およびNo.13の噴火は、北大の調査で後に追加された小噴火である。

Table 1 List of explosive eruptions of Mt. Tokachi in 1988-1989.

| 番号 | 爆発時刻 | 空振 | ExEq | 噴出物量 | 爆発後の微動 | 噴火前兆現象 | 潮汐 | 噴火の特徴など |
|----|------------------|------|------|-------------|-------------|-----------|-----|------------------------|
| 1 | 88. 12. 16 05:24 | -mb | 12.9 | 1.4 | 39m後、短 | LF, TR | +sP | 水蒸気爆発, 最大震度 (III) |
| 2 | 88. 12. 18 08:38 | - | 13.6 | 6.1 | 直後, 顕著, 短 | HF→LF | +sP | 水蒸気爆発, 最大級広域降灰 |
| 3 | 88. 12. 19 21:47 | - | 16.1 | 8.4 | 直後, 最大規模 | HF→LF | +P | 火砕サージ, 最大級広域降灰 |
| 4 | 88. 12. 24 22:12 | 1.10 | 5.6 | 微弱 | 微弱 | sHF→sLF顕著 | +P | 火砕サージ |
| 5 | 88. 12. 25 00:49 | 0.99 | 22.0 | 直後, 最大規模 | 直後, 最大規模 | sLF, 直前LF | +P | 火砕サージ/火砕流 |
| 6 | 88. 12. 30 05:27 | 1.25 | 6.9 | 微弱 | 微弱 | sHF→sLF顕著 | +sP | |
| 7 | 89. 01. 01 02:12 | なし | | なし | なし | なし | D | 空振無し, 遠望観測で確認 |
| 8 | 89. 01. 08 19:38 | 0.94 | 21.2 | 直後から | 直後から | 直前LF | I | 火砕サージ/火砕流, 灼熱噴出, 高cl/S |
| 9 | 89. 01. 13 22:29 | 0.07 | | ハーマニック微動 | ハーマニック微動 | 直前LF | D | |
| 10 | 89. 01. 16 18:55 | 2.68 | 12.0 | 直後 | 直後 | なし | +P | 火砕サージ/火砕流, 高cl/S |
| 11 | 89. 01. 20 03:21 | 3.75 | 15.0 | 直後, 顕著, 短 | 直後, 顕著, 短 | なし | +P | 火砕サージ, 灼熱噴出, 最大級空振 |
| 12 | 89. 01. 22 00:14 | 0.31 | | なし | なし | なし | +P | |
| 13 | 89. 01. 23 12:17 | 0.04 | | 微弱 | 微弱 | なし | +sP | 最小空振 |
| 14 | 89. 01. 27 01:44 | 3.67 | 27.0 | なし | 微弱 | 直前LF | +sP | 最大級空振 |
| 15 | 89. 01. 28 05:18 | 0.67 | 5.0 | 微弱 | なし | sHF→sLF | 0 | |
| 16 | 89. 01. 28 06:11 | 0.42 | 14.9 | 微弱 | 微弱 | sLF | 0 | |
| 17 | 89. 01. 28 07:00 | 0.33 | 12.6 | 微弱 | 微弱 | なし | 0 | |
| 18 | 89. 02. 01 18:18 | 0.58 | 12.6 | 4m後, 顕著 | 4m後, 顕著 | sHF→sLF | +P | |
| 19 | 89. 02. 04 00:38 | 0.71 | 36.7 | 直後, 最大規模 | 直後, 最大規模 | sHF→sLF顕著 | +P | 火砕サージ/火砕流, 最大爆発地震 |
| 20 | 89. 02. 06 09:37 | 0.76 | 8.4 | 41m後, 顕著, 短 | 41m後, 顕著, 短 | sHF→sLF | -P | |
| 21 | 89. 02. 07 23:54 | 0.64 | 10.1 | 微弱 | 微弱 | sLF | +P | |
| 22 | 89. 02. 08 04:02 | 0.89 | 31.9 | 直後, 顕著 | 直後, 顕著 | sHF→sLF | +P | 火砕サージ/火砕流 |
| 23 | 89. 03. 05 05:22 | 0.77 | 21.0 | 直後, 顕著 | 直後, 顕著 | sLF, 直前LF | -P | 火砕サージ/火砕流 |

注: 潮汐 (爆発時と地球潮汐との関係)

+P 最大沈降時

s 小ピーク

I 隆起率最大時

-P 最大沈降時

O 零付近

D 沈降率最大時

噴出物の総量: 宮地他 (単位1万立方メートル)

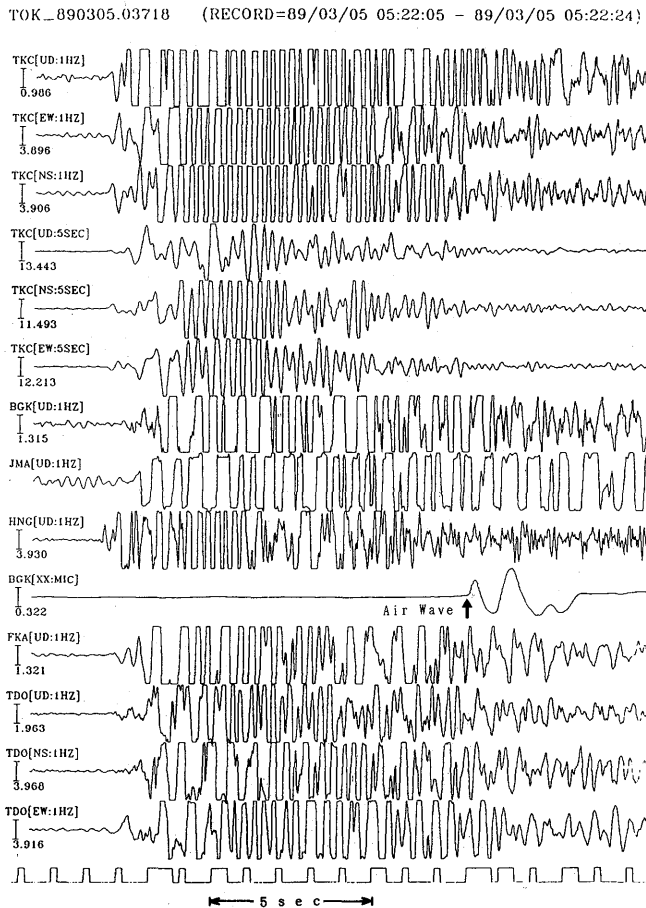
爆発地震 (ExEq): 気象庁 (A点, 最大片振幅, ミクロン)

空振: 望岳台観測点 (最大面振幅, mb)

(2-1) 1989年3月5日の噴火

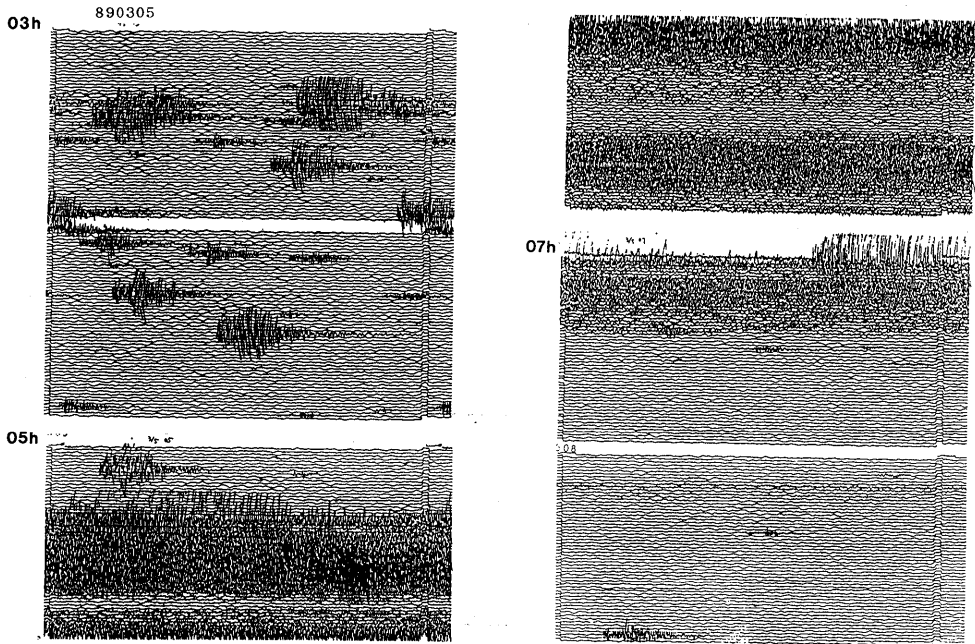
約1カ月ぶりに発生した3月5日の噴火は、それまでのほとんどの噴火と同様に爆発的噴火であり、小規模な火砕サージ及び小型火砕流の発生がみられた。爆発地震及び空振の波形例を第1図に示す。これらの規模は一連の噴火で中程度である。爆発前後数時間の地震活動のモニター記録を第2図に示す。爆発地震に引き続き断続的に微動が発生したが、振幅、継続時間とも中規模である。また、爆発直前の前兆地震群の活動として、噴火のわずか15秒前から低周波連続微動（または低周波地震の連続発生）が観測されている（第3図）。一方、噴火の1-2時間前には、十勝支庁北部の地震の小規模な群発活動が観測されたが、噴火後は少なくなっているようにも見える（第2図）。

3月5日を含む5回の火砕流噴火の、爆発地震発生前後2時間のTKCにおける地震記象の遅送り記録を第4図に示す。爆発後の微動発生状況、及び前兆地震群の発生過程は火砕流を伴う噴火相互で比較しても、個々で極めて異なった様子であることがわかる。



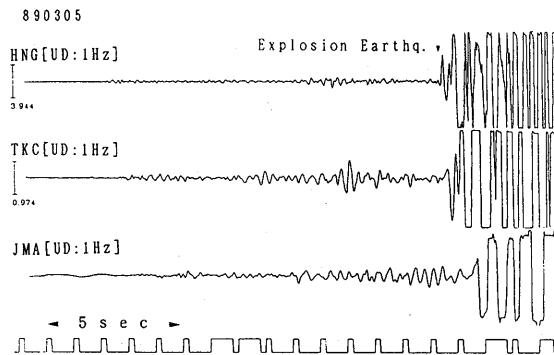
第1図 1989年3月5日の噴火に伴う爆発地震および空振の記録

Fig. 1 Seismograms of the March 5 explosion earthquake and its associated air wave. Air wave arrives about 10 sec after the first arrival of seismic waves generated from the explosion earthquake at BGC station (ca. 3.5 km from the crater 62-II).



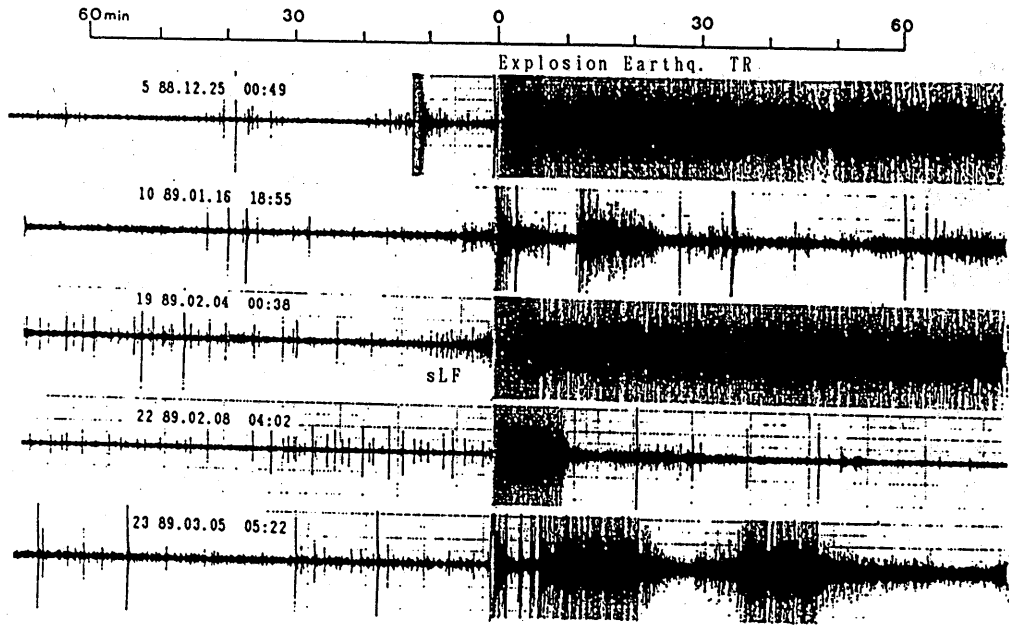
第2図 1989年3月5日の噴火前後のTKCにおける地震記録

Fig. 2 Monitor seismograms of the March 5 eruption at TKC. Notable earthquakes occurred before the explosion earthquake are not volcanic origin at Mt. Tokachi. They are a incidental small burst of the 1989 Tokachi-shichou-hokubu Earthquake Swarm and are located about 25 km east of Mt. Tokachi. Volcanic tremor followed the explosion intermittently.



第3図 1989年3月5日の噴火直前の微小振動。何等かの前兆があっても、この事例のように15秒間の場合もある

Fig. 3 Seismograms of the March 5 explosion earthquake and its minor precursor. One of the typical immediate precursor to the explosion, but precursor time allowance is only 15 sec.



第4図 5回の火砕流噴火の地震記録

Fig. 4 Slow speed seismograms comparing the five pyroclastic flow producing eruptios. The arrival time of explosion earthquake was placed at the center position. Notable accelerating activity for February 4, 1989 eruption is the typical example of predictable precursor (sHF to sLF) .

(2-2) 地震活動

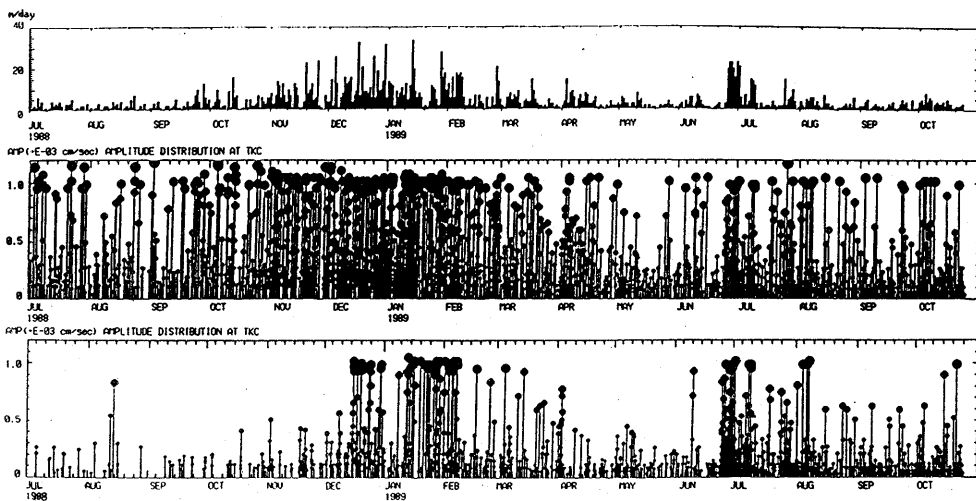
一連の噴火活動前後の十勝岳の地震活動を第5図に示す。十勝岳火山観測坑道 (TKC) に設置した短周期速度型地震計の記録振幅が5 mm (0.15mkine相当) 以上の地震の日別発生頻度 (上段), 規模別地震活動 (中段), 及び低周波地震 (LF) の規模別活動図 (下段) である。規模別活動図の縦軸は, TKCの最大振幅 (1mkineでスケールオーバー) である。

低周波地震 (LF) は一般にP, S相は不明瞭であり震源決定できる観測データは得られないが, 振幅分布から震源は62火口直下の浅部と推測することが出来る。LFは噴火期直前及び噴火期に多く発生した。爆発地震前後に比較的規模の大きなLFが発生する傾向もある。LFの活動は, 2月8日の噴火後不連続的に減少したが, 噴火前に比べるとやや活発なレベルを継続, 6月25日からは顕著な群発活動が見られた。

第6図に1989年6月から8月における, LFの時間別発生頻度および規模別活動図を示す。ここに示されたデータは, デジタル収録されたもので, 第5図に比べ大振幅まで振り切れることなく表示されている。この群発活動は最盛期で約20回/日, その後多少の増減を伴いながら弱まり, 10月末まで1-2回/日の頻度で継続している。群発地震には規模の大きなLFも含まれるが, 空振波は観測されず, 目視観測などで表面現象に変化が認められなかった。噴火期の低周波地震の一部には, 振幅が小さいながら微小空振波が見られたことを考慮すると, 低周波地震にもいくつかの種類があることが示唆される。

高周波地震（HF）の震源分布を噴火前，噴火活動期，噴火後にわけて第7図に示す。HFの震源域は，グラウンド火口域（62火口を含む）及び旧噴火口域に2分される。震源の深さはいずれも海面下2 kmより浅い。また，十勝岳西麓の吹上温泉直下には小規模な地震の巣が存在する。震央をX軸に投影し，時間変化を示したのが第8図である。溶融マグマ放出を伴う小噴火（1988年1月20日）への移行期に相当する1989年1月中旬には，62-II火口の直下浅部に著しく集中した小規模HFの活動がみられたが，その後は発生していない。

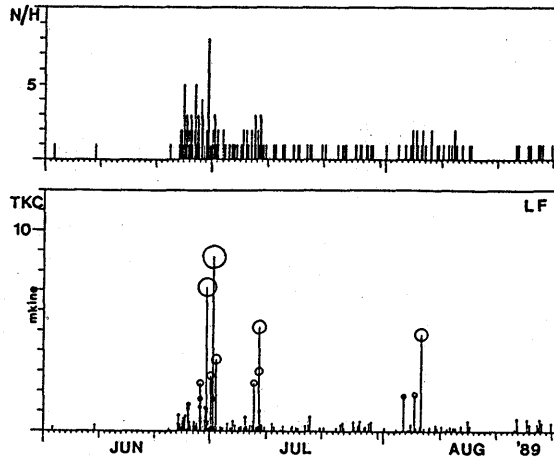
1989年1月14日から始まった，十勝岳の東方約25km，十勝支庁北部の群発地震は，最後の噴火以降，規模，頻度とも顕著に弱まったものの，依然として継続している。また，7月下旬には一時的に再活発化した。第9図に群発地震の日別発生頻度，及びマグニチュード別活動図を示す。マグニチュードはTKCの最大振幅から見積もった。この群発地震の震源域に隣接して，東大雪山系の丸山火山がある。帯広畜産大学・北大理学部等による合同調査が実施され，結果は別に報告される予定である。丸山火山が，十勝岳の噴火や，十勝支庁の群発地震と関連して特に異常な活動を示しているというデータは得られていない（近藤私信）。



第5図 十勝岳の地震活動の推移。TKCにおける日別頻度（上），規模別活動図（中），および低周波地震のみの規模別活動図（下）

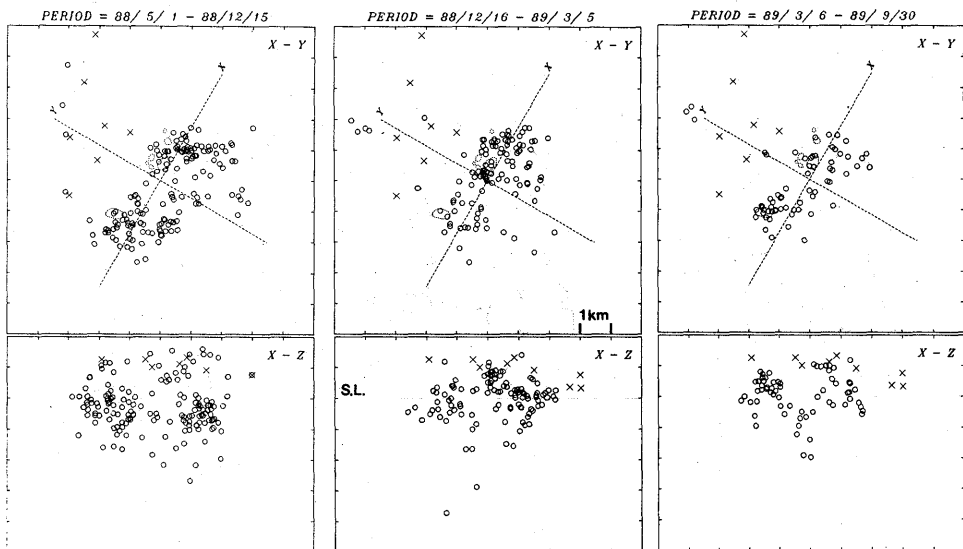
Fig. 5 Seismic activity at Mt. Tokachi. Daily frequency (upper), amplitude-time diagram (middle), and that of low-frequency events (bottom).

Amplitude more than 1.0 level (1 mkine at TKC) is clipped. Increased seismicity with some fluctuation preceded about 3 months before the eruptive activity, and generally good correlation between higher seismicity and eruptive period between December 16, 1988-February 8, 1989. However, no surface phenomena is associated with the seismic swarm during June to August, 1989.



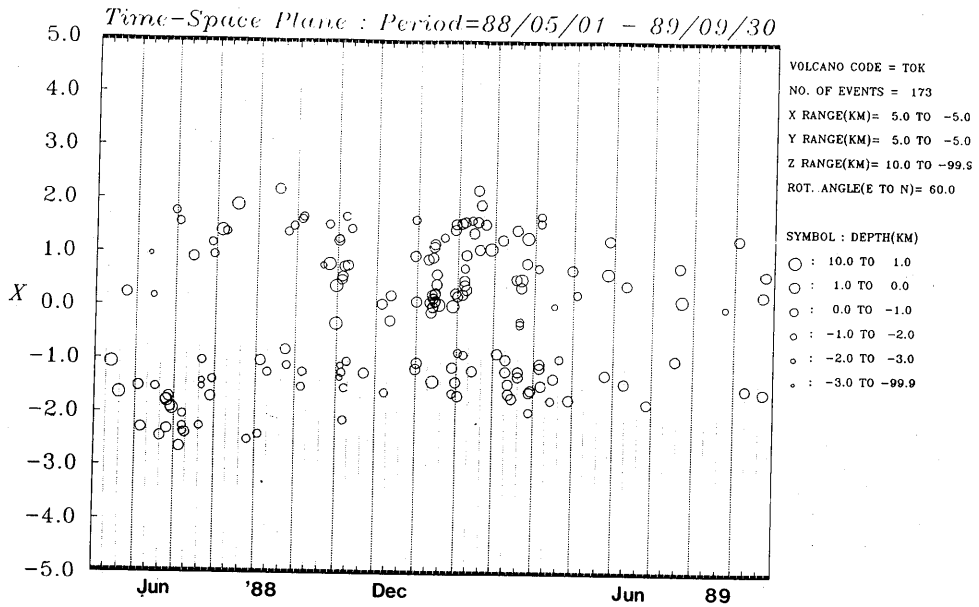
第6図 1989年6月-8月の低周波地震の活動

Fig. 6 Hourly frequency and amplitude-time diagram of the notable seismic swarm consisting of low-frequency earthquakes observed at TKC (digital data set) from June to August in 1989.

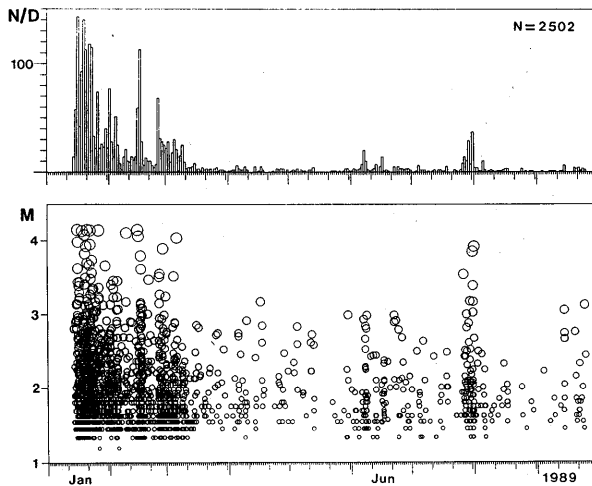


第7図 高周波地震の震源分布。左より噴火前, 噴火期, 噴火後

Fig. 7 Hypocenter distribution and its vertical projection to the X-Z planes, before (left), during (middle), and after (right) the 1988-1989 eruptions. Crosses indicate seismic stations. Shallow seismicity near the crater 62-II activated only during the eruptive period.



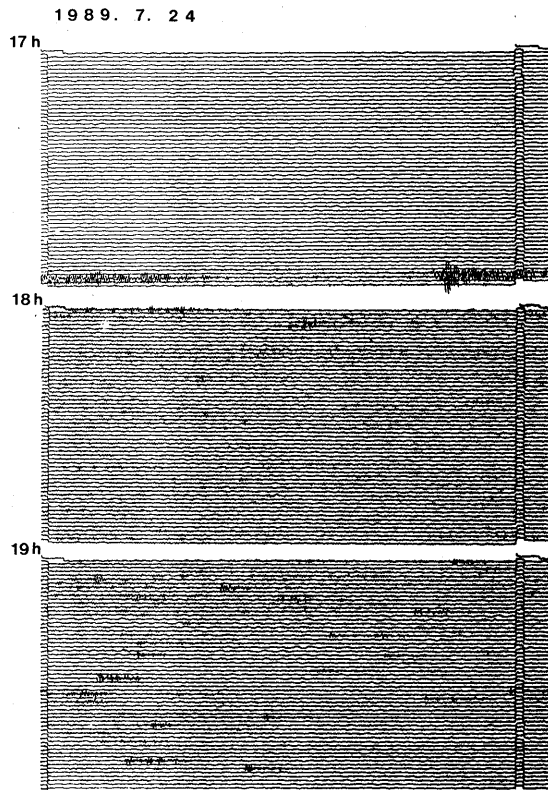
第8図 高周波地震の時間空間的活動推移
 Fig. 8 Time-space distribution of hypocenters. Shallow seismicity near the 62-II crater is intensified in the middle of January, 1989 and early February, 1989.



第9図 十勝支庁北部の群発地震活動の推移
 Fig. 9 Daily frequency and magnitude-time diagram of the earthquake swarm which occurred about 25 km east of Mt. Tokachi. The swarm started in January 13, 1989 shortly after the January 13 eruption of Mt. Tokachi and its associated unique harmonic tremor. Intensive activity of the swarm is incidentally corresponding to the eruptive period of Mt. Tokachi. Regional stress field might be associated between these two crustal activities.

(2-3) 火山性微動

1989年7月24日には微弱ながら火山性微動が観察された(第10図)。最後の噴火以後断続的に継続していた微動が、3月13日を最後に見られなくなって以来の出来事であった。この微動の特徴は、第10図のモニター記録から分かるように、20秒程度継続する2つの低周波振動が発生した後、地動レベルに低周波の微小振動がかすかにみられるようになり、更に孤立した微小な高周波振動や低周波振動が群発するという特徴を示した。ノイズ状の高周波振動群は約10時間近く継続した。この微動と関連して、地震活動や表面現象に特に異常は認められなかった。



第10図 1989年7月24日に観測された火山性微動のTKCにおける波形例

Fig.10 Monitor seismogram of the minor volcanic tremor observed at TKC on July 24, 1989 after the eruptive period.

(2-4) 特殊な波形の地震群 (BS地震群)

1989年4月3日から19日にかけて、減衰の遅い尾部を特徴とする特異な地震が35例観測された。同種の地震は、観測が開始された1985年以降、1986-1987年に7例⁹⁾、噴火直前の1989年12月4日、5日に4例観測されているが、群発活動の様式で発生したのは、1989年4月が初めてである。この種の地震について単周波地震 (SF: Single-Frequency Earthquake) という用語も一部で使われる場合があるが、オーバートン等の特徴的なスペクトル構造がより一般的と考え、松島他⁹⁾にならない、BS地震 (Banded Spectral 地震) と呼ぶ。

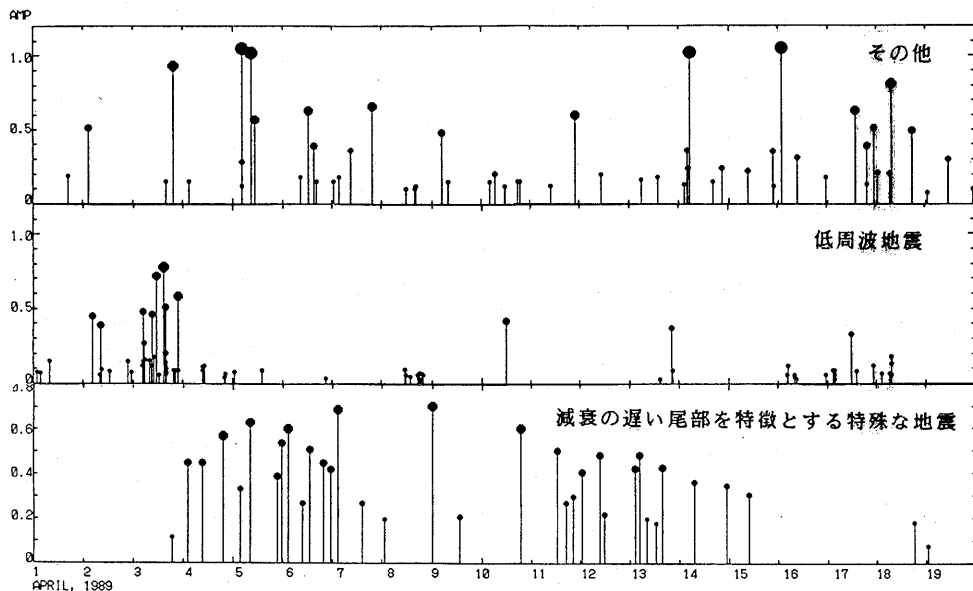
第11図に4月1日から19日における、BS地震、低周波地震、その他の地震の規模別活動図を示す。発生様式は、この時間スケールでは強い群発性を示さず、数時間間隔で散発的に継続発生する型である。地震の規模は小さく、TKCの最大振幅は0.1から0.7mkineの範囲内に揃っている。BS地震群発に先行して、小規模な低周波地震の群発があった。これを除くと、この期間及び前後において、他に関連した現象は認められず、また、表面現象にも変化が認められなかった。

BS地震群の波形例を第12図に示す。波形は、P、S相が不明瞭で、規則的な振動が1分以上継続する特徴を示す。初動分布、振幅分布から、各地震の震源はほぼ同一で、62火口直下と推定された。第12図に示す2つの地震で、TKC (62火口の北西2.5km) 及びTDO (同西3km) におけるスペクトルと自己相関関数を、第13図及び第14図にそれぞれ示す。FFTによるスペクトル解析の結果、各地震に共通した特徴として、一定の周波数に鋭い複数のピークをもつこと、各ピーク周波数の間隔もほぼ等しいことがあげられる。

一方、各ピークにおける相対的なパワー配分は、地震毎に異なる。以上の特徴は、ここで示した2観測点以外における観測波形でも共通に認められ、松島らの結果⁹⁾とも一致しており、震源過程を反映したものであると言えよう。

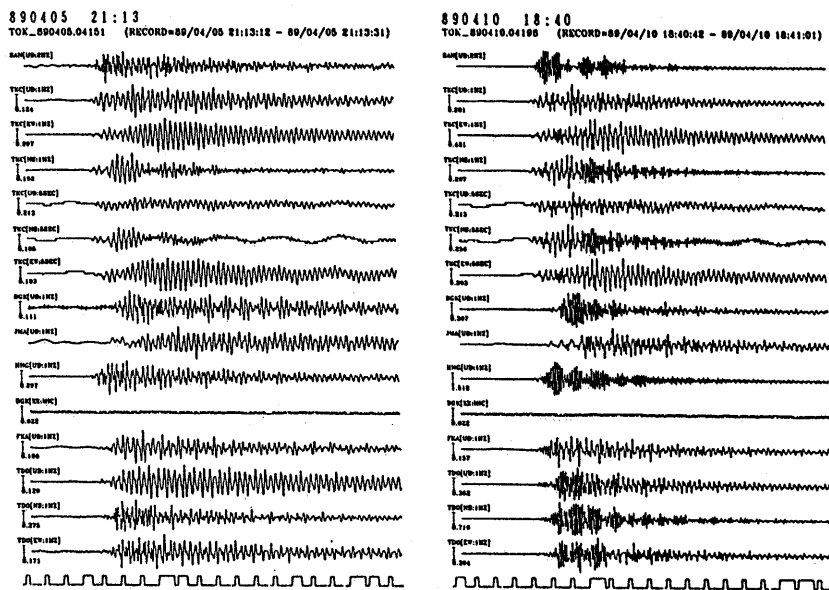
TKC及びTDOの2観測点における振動軌跡を第15図及び第16図にそれぞれ示す。振動軌跡は、共に火口から tangential な方向の振動が卓越していることを示している。振動特性に時間的変動は認められない。

BS地震と同様な波形の特徴を示す地震は他の火山でもしばしば観測されており、爆発的噴火を引き起こす火山に特有の現象であること、火山活動が活発な時期に多くみられること等が指摘されている。最近の例では、雌阿寒岳で1982年の群発地震時および1987年12月の噴火前兆地震等において群発がみられている⁹⁾。しかしながら、BS地震のみが群発した例はないようである。また、1986年伊豆大島噴火の1年前に現れた規模の著しく大きな1例を除いて、多点観測に基づく詳細な波形解析が可能な例も乏しかった。BS地震が何故火山で多発し、どのような機構で発生し、何を意味しているかの研究は今後の課題である。内外の事例の系列的な収集と良質多様な観測データの集積が重要な手がかりとなるだろう。



第11図 1989年4月上旬に観測された特殊な地震群, および低周波地震, その他の地震の活動推移
 Fig.11 Seismic activity from April 1 to April 19, 1989.

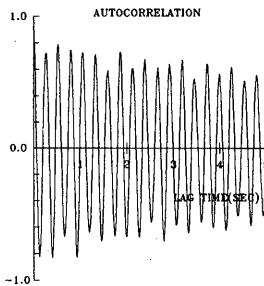
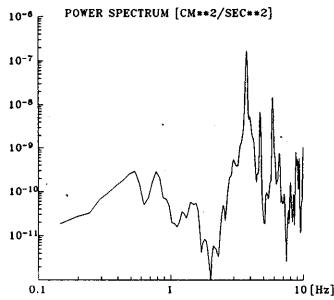
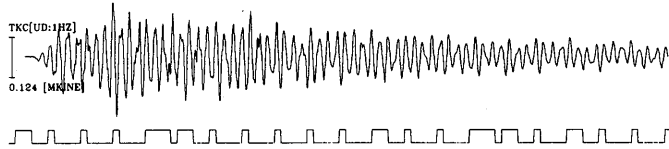
Amplitude-time diagram of the banded-spectrum events⁴⁾ (BS; bottom), that of low-frequency events (middle) and that of other type events (upper). BS type earthquakes are characterized with apparently monotonic (actually overtone spectral structure) and slowly decaying long coda waves.



第12図 減衰の遅い尾部を特徴とする特異な地震の波形例 (2例)
 Fig.12 Examples of waveforms of the two types of BS events.
 Wave characteristics will be shown in Fig.13-Fig.16.

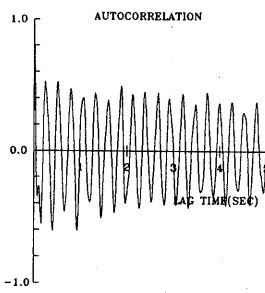
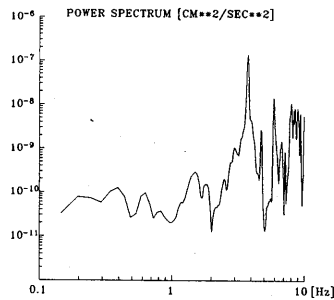
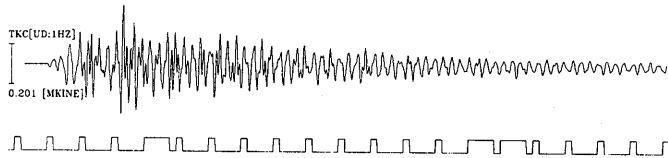
890405 21:13

FILE=TOK_890405.04151 (RECORD=89/04/05 21:13:15 - 89/04/05 21:13:35)



890410 18:40

FILE=TOK_890410.04198 (RECORD=89/04/10 18:40:45 - 89/04/10 18:41:05)

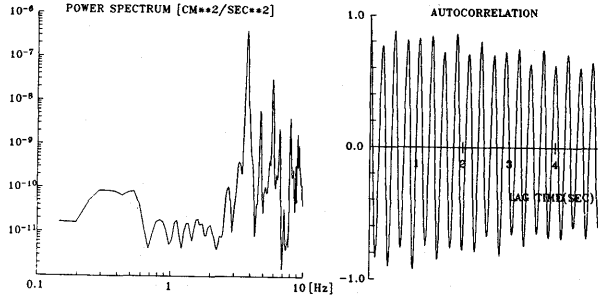
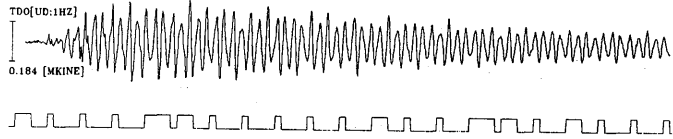


第13図 BS地震(第12図)のTKCにおけるスペクトルおよび自己相関関数

Fig.13 Spectra and auto-correlogram of BS events (same as in Fig.12) recorded at TKC. Note the location of spectral peaks are same, but energy partition between spectral peaks differs between two type BS events.

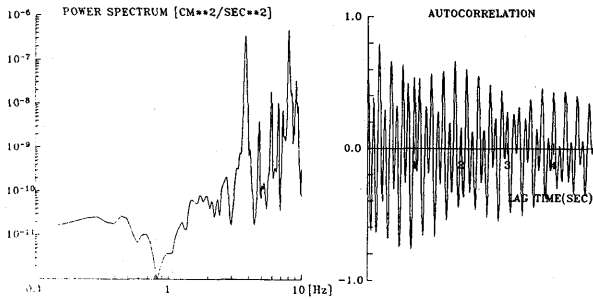
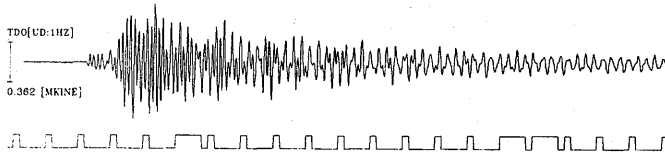
890405 21:13

FILE=TOK_890405.04151 (RECORD=89/04/05 21:13:15 - 89/04/05 21:13:35)



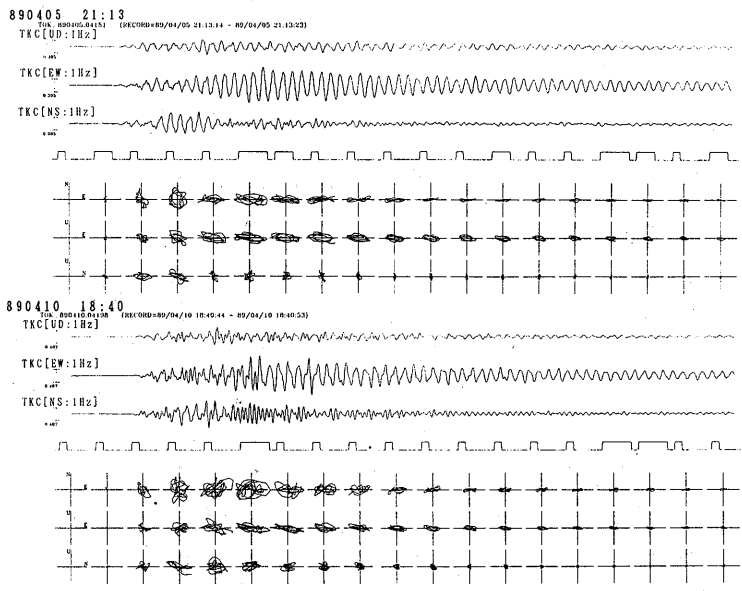
890410 18:40

FILE=TOK_890410.04198 (RECORD=89/04/10 18:40:44 - 89/04/10 18:41:04)

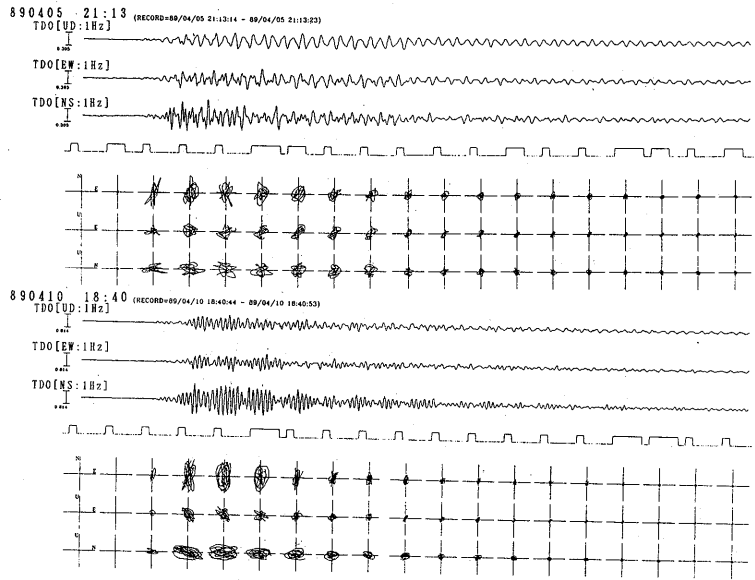


第14図 BS地震(第12図)のTDOにおけるスペクトルおよび自己相関関数

Fig.14 Spectra and auto-correlogram of BS events (same as in Fig.12) recorded at TDO.



第15図 BS地震（第12図）のTKCにおける振動軌跡
 Fig.15 Particle motions (locus) of seismic waves of the BS events recorded at TKC. Longitudinal motion characterize the BS seismograms from the beginning to the tail.

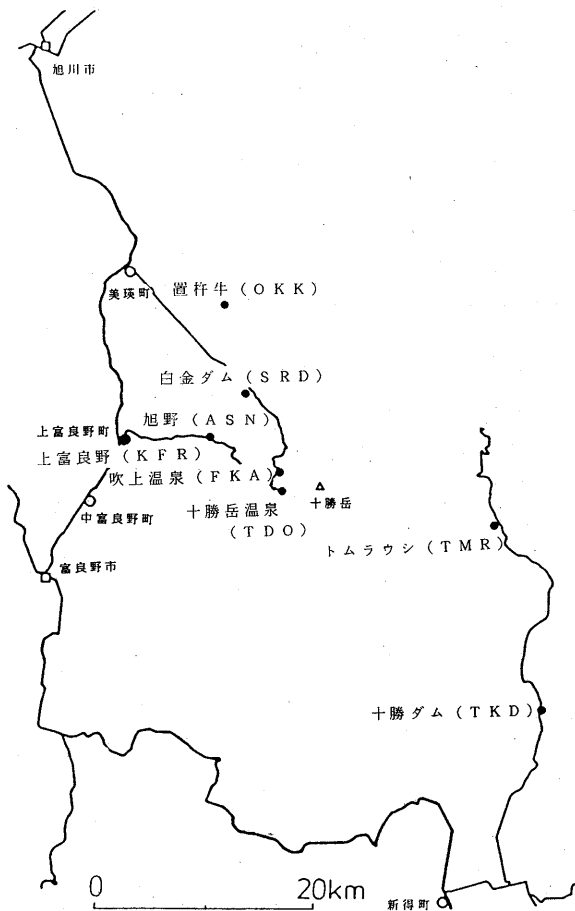


第16図 BS地震（第12図）のTDOにおける振動軌跡
 Fig.16 Particle motions (locus) of seismic waves of BS events recorded at TDO. Longitudinal motion characterize the BS seismograms from beginning to the tail.

(2-5) GPS・辺長・重力観測

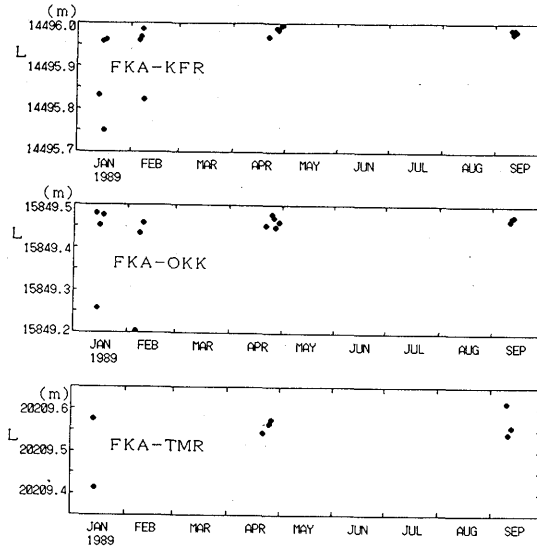
活動期間中の1989年1月14~18日, 2月6~10日に, 6台のGPS受信機(WM101; 1周波)を用いて, 十勝岳において初回のGPS観測を実施した。観測点は第17図に示す8点である。その後, 最後の噴火から約1.5ヶ月後の4月22~30日に, 全点で再測を行った。GPS受信機を2周波受信可能(WM102)に改造した後の9月10~13日に, また, 京都大学理学部附属火山研究施設および東京大学地震研究所の協力を得て, 8点同時観測を実施した。

ここでは今回活動した62-II火口に最も近いFKA点の変動の有無を見る為に, FKAと山体から離れた3点(KFR, OKK, TMR)との間に測線についての結果を示す。辺長変化及び比高変化を, それぞれ第18図及び第19図に示す。何れの測線についても, WM101の観測精度(1cm+2ppm)を上回る辺長変化は認められなかった。



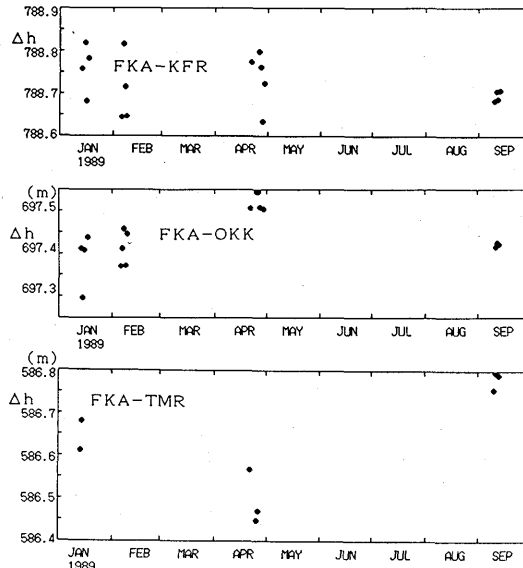
第17図 十勝岳のGPS観測点

Fig.17 Location of GPS observation points (solid dot) on and around Mt. Tokachi.



第18図 十勝岳のGPS観測結果。62-II火口に最も近いFKAと山麓の3点のGPS観測による距離の変化。

Fig.18 Results of GPS observation. Base line length between FKA (Fukiage Spa) and the three stations in the flanks KFR, OKK and TMR is shown. No meaningful variation is found. Scattered values are obtained by the measurements during snow fall.



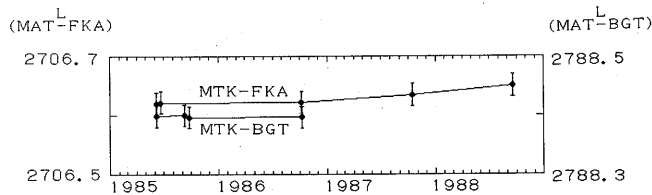
第19図 十勝岳のGPS観測結果。62-II火口に最も近いFKAと山麓の3点のGPS観測による比高の変化。

Fig.19 Results of GPS observation. Relative height difference between FKA (Fukiage Spa) and the three stations in the flanks KFR, OKK and TMR is shown. No meaningful variation is found.

冬季の観測の中で、一般的傾向から大きく外れるデータがいくつか示されているが、これらは全て降雪時の観測結果であるという共通の特徴がある。比高についての観測結果には、有珠山の測線で認められたと同様の季節変動が認められる。有意な変動は認められなかったが、悪天続きで光波測距が困難な冬季の北海道の火山の地殻変動観測におけるGPS運用上の重要な指針が得られた。

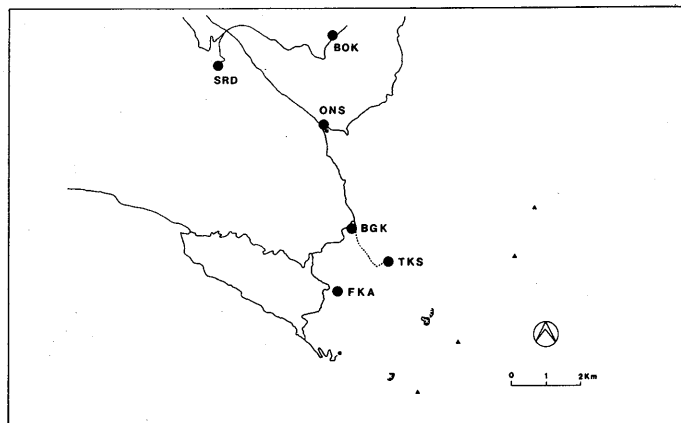
1985年6月から十勝岳において辺長測量が実施されていた。測線は山頂部の前十勝岳と山麓の2点（吹上温泉及び望岳台）である。この辺長測量は、残念ながら噴火のため山頂点が使用出来なくなったので1988年9月の測定を最後に中断され、噴火を挟む期間の観測値は得られていない。第20図にこれらの2測線の噴火前の期間の辺長変化を示す。有意な変動は認められなかった。噴火後の1989年2月8日にTKC（十勝岳火山観測坑道）とGPS観測点のASNを結ぶ測線が新たに設置された。更に1989年4月30日にはTKCとGPS観測点のSRDを結ぶ測線が、同年6月23日にはTKCと白金模範牧場を結ぶ測線が設置された。これらの測線において3回測定を繰り返されたTKC-ASN間の観測結果で、有意な変動は検出されていない。

1989年8月1～3日に、第21図に示す6点で、京都大学防災研究所桜島火山観測所と共同で、精密重力測量の第1回目の測定を実施した。使用した重力計はG31及びG458の2台である。



第20図 十勝岳北西斜面の辺長変化（1985年-1988年）

Fig.20 Observational results of the distance measurements at Mt. Tokachi in 1985-1988. The summit reflector was damaged by the recent explosive eruptions and the measurement was interrupted.



第21図 十勝岳精密重力測量路線

Fig.21 Location map of base points of precise gravity measurement at Mt. Tokachi.

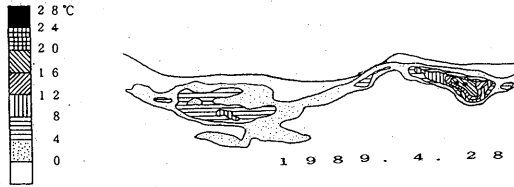
(2-6) 地上赤外熱映像

十勝岳の地熱活動を安全な距離から遠隔測定により把握するため、日本電気三栄北海道支店の協力を得て、1989年4月20～29日、6月19日、9月27日に第22図に示すB点（望岳台）で地上赤外熱映像を撮像した。使用した機械は、日本電気三栄製サーモレーサ6 T62型（検出波長8-13 μ ，視野角30°W×27°V，分解能0.1°C，解像度1.5mrad，液体窒素利用）で、撮像データは3.5inchのフロッピーディスクに収録した。62-I火口域から大正火口東壁にかけての熱映像を第23-25図に、62-I火口域の熱映像を第26-28図に、大正火口東壁の熱映像を第29-31図に示す。

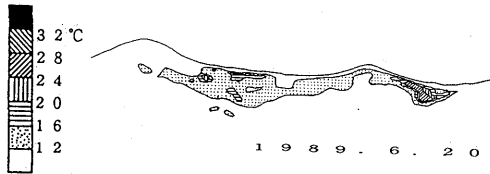


第22図 十勝岳地上赤外熱映像撮像点（黒星印）

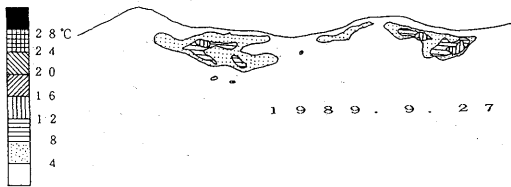
Fig.22 Location of infrared imagery observation point (solid star marks) at Mt. Tokachi. (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



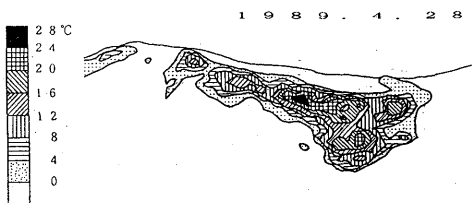
第23図 望岳台からの62-I火口及び大正火口付近の地表面温度分布 (1989年4月28日)
 Fig.23 Surface temperature distribution around 62-I crater (right) and Taisho crater (left) observed at Bougakudai (Apr. 28, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



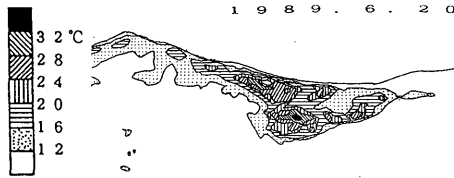
第24図 望岳台からの62-I火口及び大正火口付近の地表面温度分布 (1989年6月19日)
 Fig.24 Surface temperature distribution around 62-I crater and Taisho crater observed at Bougakudai (June 19, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



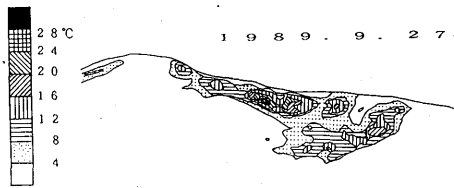
第25図 望岳台からの62-I火口及び大正火口付近の地表面温度分布 (1989年9月27日)
 Fig.25 Surface temperature distribution around 62-I crater and Taisho crater observed at Bougakudai (Sep. 27, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



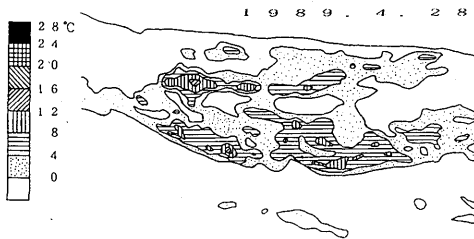
第26図 望岳台からの62-I火口付近の地表面温度分布 (1989年4月28日)
 Fig.26 Surface temperature distribution around 62-I crater observed at Bougakudai (Apr. 28, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



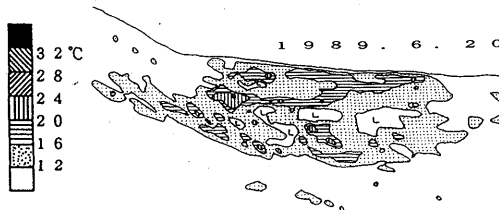
第27図 望岳台からの62-I火口付近の地表面温度分布 (1989年6月19日)
 Fig.27 Surface temperature distribution around 62-I crater observed at
 Bougakudai (Jun. 19, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



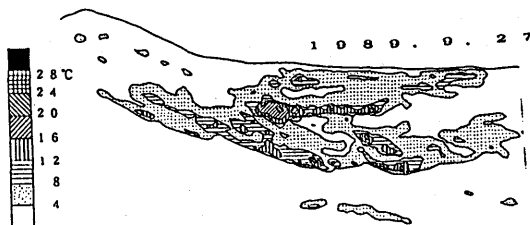
第28図 望岳台からの62-I火口付近の地表面温度分布 (1989年9月27日)
 Fig.28 Surface temperature distribution around 62-I crater observed at
 Bougakudai (Sep. 27, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Sanei Co.)



第29図 望岳台からの大正火口付近の地表面温度分布 (1989年4月28日)
 Fig.29 Surface temperature distribution around Taisho crater observed at
 Bougakudai (Apr. 28, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



第30図 望岳台からの大正火口付近の地表面温度分布 (1989年6月19日)
 Fig.30 Surface temperature distribution around Taisho crater observed at
 Bougakudai (Jun. 19, 1989).
 (infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



第31図 望岳台からの62-I火口及び大正火口付近の地表面温度分布(1989年9月27日)

Fig.31 Surface temperature distribution around Taisho crater observed at Bougakudai (Sep. 27, 1989).

(infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)

62-I火口付近については、噴気により一部隠されていること、気象条件が違うことを考慮すれば、3回の測定の間では、地熱異常の範囲は殆ど変化していない。相対的に見て、周辺の非熱異常域に比べ温度差の大きい高熱異常域の面積が減少している様に見えるが、季節的な全体的地表面温度の上昇、噴気状態の違いがあるので、活動の変化を示しているかどうかは明瞭でない。大正火口付近については、噴気状態、気象条件の違いを考慮しても、火口壁の一部で9月の観測では温度上昇が認められた。この部分は目視観測で、1989年7月以降、溶融硫黄が認められている場所であり、1989年1月に火映現象の観測された所である。しかし、スポット的な現象であり、活動全体の活発化を意味するものとは考え難い。

(2-7) 現状概略

以上の観測データから分かるように、十勝岳では3月5日の噴火後、諸現象に異常な活発化をさせまわって示す兆候はないが、低周波地震の群発、特殊な波形の地震群、火山性微動の発生等、活動に依然として不安定な面がみられる。噴出物の調査によると、一連の噴火における噴出物の放出総量は極めて少ない。従って、1926年や1962年の噴火が終わった時点と比べると、地下のエネルギーはほとんど費やされていない事が懸念され、一連の噴火が小規模であったが極めて爆発的であった事を考慮すると、温存されている地下のマグマが今後どう活動していくか、当面要注意の状態であると考えられよう。

(2-8) 追記-1989年12月の微動

原稿を書いている段階で、十勝岳では1989年12月24日20時19分から約10分間にわたり火山性微動が記録された。微動に引続き、7月の微動時と同様に微小な低周波振動が群発した。微小群発は約2時間後に最も活発になった後、やや高周波の振動も混ざりようになった。微小振動はゆっくり減少を示しながらも少なくとも12月25日夕刻まで継続した。微動振幅が7月のものとは比べ顕著でかつ長時間継続したこと、微動後長時間にわたり小振動の群発が持続したこと等、気がかりな現象である。地下のマグマは、大局的にみれば今回の一連の噴火の準備期間とあまり差がないことを意味しているのかも知れない。依然として観測・監視が重要である。

(3) 雌阿寒岳

(3-1) 概要

最近の雌阿寒岳の活動経過を表2にまとめて示す。本期間中雌阿寒岳では、4回の群発地震活動及び一回の微動が発生した。1988年10月-11月および1989年9月からの2回の群発地震は、気象庁が

表2 雌阿寒岳の最近の活動経過

Table 2 Recent activities of Mt. Meakan. N and P denotes

Nakamachinesiri crater and Ponmachinesiri crater, respectively.

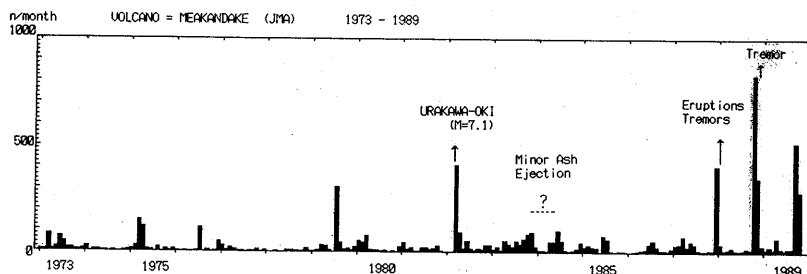
| | 地震・鳴動 | 噴火・爆発 |
|------|-------------------|--------------------------------------|
| 1927 | 4~5月東麓で鳴動 | |
| 1951 | 7月~阿寒湖畔で鳴動 | |
| 1952 | 3. 4十勝沖地震で鳴動活発化 | |
| 1954 | 1~3月東北山麓で鳴動 | 4. 8~13ナカマチネシリ火口 (N) 大噴きで噴煙 |
| 1955 | | 11. 19ポンマチネシリ火口 (P) で小爆発 |
| 1956 | | 3. 18~10.31Pで約10回の爆発 |
| 1957 | | 2~7月Pで小爆発 |
| | | 8~9月Nで小爆発 |
| 1958 | | 2. 23Pで小爆発 |
| 1959 | | 5. 15~21, 7. 28Nで小爆発 |
| | | 8. 2, 8. 6, 8. 12, 8. 15, 10. 3Pで小爆発 |
| 1960 | | 9月PおよびNで小爆発 |
| 1962 | | 4. 28Nで小爆発 |
| 1964 | | 6月Nで小爆発 |
| 1965 | | 5月Nで小爆発 |
| 1966 | | 6月Nで小爆発 |
| 1973 | 3~5月山麓で地震 | |
| | 6. 14微小群発地震 (山体内) | |
| 1975 | 3~4月地震 | |
| 1976 | 7月阿寒湖畔で群発地震 | |
| 1979 | 7月群発地震 | |
| 1982 | 3~4月浦河沖地震後地震急増 | |
| 1984 | | 5月P (第4火口) で微小降灰跡 |
| 1985 | 6~7月群発地震 | |
| 1987 | 12. 9~群発地震 | |
| 1988 | 1~4月広域低周波地震群発 | 1.5~6, 1.8, 2.7~8, 2.18P (第1火口) で小噴火 |
| | 7~8月小群発地震 | |
| | 10~11月群発地震 (微動) | |
| 1989 | 4月西麓で小群発地震 | |
| | 9. 13~群発地震 | |

1973年に現在の観測を開始して以来の顕著なものであった。1987年12月~1988年2月の小噴火及びそれに前後する活動期以降活動が完全に鎮静化したわけではない。この期間の活動は持続的な活発さを示さず、数カ月の静穏期を挟んで繰り返される様式で発生しており、長期的な観測が重要になってきている。

1989年7月及び9月には噴火予知計画に基づく集中総合観測の一環として、精密重力測量、火山ガス調査、GPS観測及び光波測量が関係大学の共同で実施された。この観測の報告は別途なされる予定である。また、1988年8月に北海道大学理学部が、熱及び電磁気の手法による物理探査が登山道沿いにオンネトーからフレベツボッケ (渋川泥火山) へかけて実施されている⁹⁾。

(3-2) 地震活動

気象庁の観測による月別地震回数（回数）の推移を第32図に示す。小規模噴火の前兆地震であった1987年12月群発地震以来、ほぼ1年間隔で3回にわたり顕著な群発地震が発生していることが分かる。1989年4月の小群発地震は震源域が雌阿寒岳の山体外の活動と思われる。1988年7月の小活動はこのグラフでは見ることが出来ない。



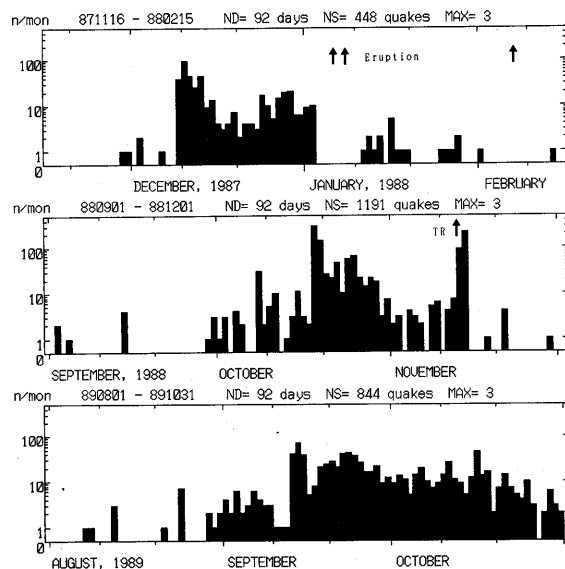
第32図 雌阿寒岳の1973年-1989年の地震活動（気象庁の観測による）。最近ほぼ1年毎に群発地震が繰り返されている。内2回は、小噴火または火山性微動と関連して発生した。

Fig.32 Monthly frequency of volcanic earthquakes observed at Meakandake since 1973 (by JMA). Notable 3 seismic swarms occurred almost once a year in recent years.

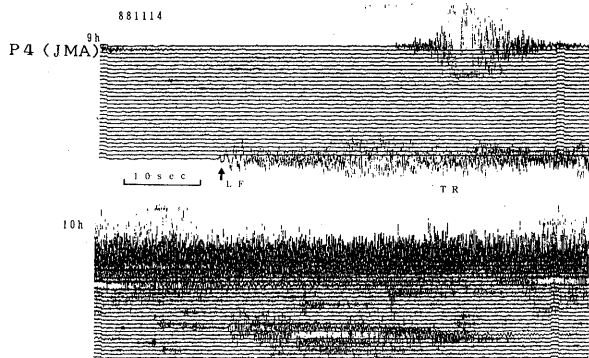
これら3回の顕著な群発地震の日別地震回数を、同一スケールのグラフで比べてみよう（第33図）。縦軸は対数表示にゼロ表示を付け加えたスケールになっている。いずれの活動様式も、地震が急増したり、急減したりしている特徴を示している。1987年12月の群発地震は、12月9日に急増した後いったんゆっくり減少を示し、あるレベルを保った後1988年1月3日から突然ゼロとなっている。地震が急減した後、1月4日より火山性微動が観測されるようになり、1月5-6日、1月8日、2月8日及び2月19日の一連の小噴火へと活動が推移した。

1988年10-11月の群発地震は、1987年の群発地震と多くの点で類似点が認められる。10月18日に地震は急増した後ゆっくり減少した。11月14日09時59分、極めて顕著な低周波地震発生に引続き高周波の火山性微動が発生した（第34図）。火山性微動の発生は、1988年1-2月の小噴火期以降開始である。この出来事を契機に群発地震は再び急増したが2日後には急減し群発地震は終息した。微動前後で群発地震の波形の変化が認められた。

これら2つの群発地震を比べてみると、群発地震が急増した後20数日間にわたって減少を示しながらも活動が持続し、急減したのを契機に微動や噴火になった事例に対して、1988年の場合は顕著な低周波地震と微動およびそれに続く群発地震の一時的急増で群発地震は終息している。微動や小噴火との対応関係が、これら火山性群発地震の特殊性を良く示している。



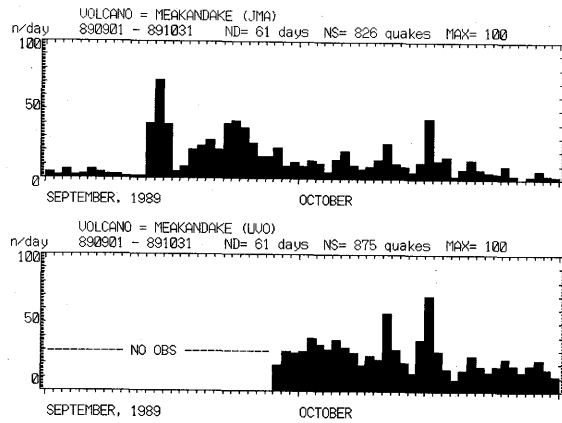
第33図 最近3回の雌阿寒岳の群発地震の比較（気象庁の観測資料による）。
 Fig.33 Comparison of recent three seismic swarms at Meakandake.



第34図 1988年11月14日の雌阿寒岳の火山性微動。著しい低周波地震が微動開始に先立って発生していることが注目される。北大の臨時観測P4観測点（JMA-Aと同じ地点）。
 Fig.34 Notable volcanic tremor on November 14, 1988. A low-frequency earthquake apparently initiated the tremor.

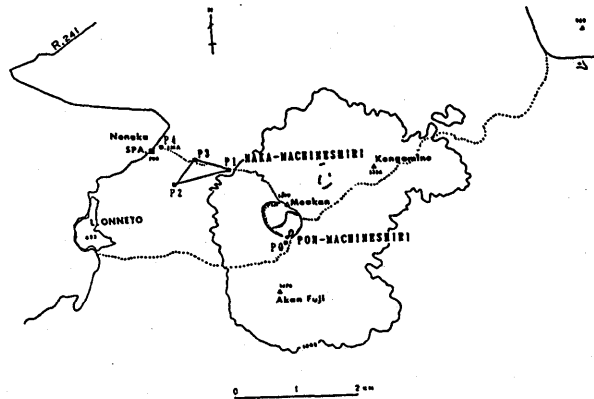
1989年9月からの群発地震は、1973年の観測以来の群発地震の中で、もっとも長期にわたって継続している特徴を示している。9月中旬に第1の活動期、9月23-24日に第2の活動ピーク、更にその後やや活動を減じながらも持続している。この群発地震については、今のところ微動現象や、火口周辺での表面現象などに対応した変化が認められていないが、前2回の例もあり、注意深く今後の推移を見守る必要がある。北大理学部ではこの群発地震活動の発生に対応して、1989年以来中断されていた有珠火山観測所への臨時テレメータを1989年9月末再開した。9月28日以後の北大による日別地震回数を、比較のため気象庁の観測データと合わせて第35図に示す。

雌阿寒岳の地震観測網を第36図に示す。1988年の小噴火の際設けられた臨時地震観測網でP0～P4の5点からなる。1989年9月末からの観測では、P4観測点に三成分の地震計、P1、P2及びP3観測点は上下動一成分の地震計が設置されており、ケーブルでいったん野中温泉へ集められた後、電話テレメータによって観測所へ送信されている。観測所における記録は、長時間連続モニター記録計、及びトリガー時に高速ペンレコーダー記録、及び臨時に計算機を用いたデジタル収録を試みている。観測波形例を第37図に示す。



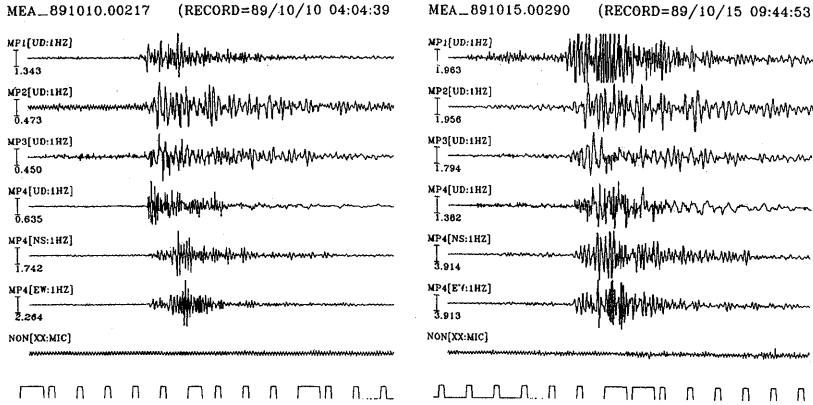
第35図 1989年の雌阿寒岳の群発地震。群発地震に対応して、9月28日から有珠火山観測所へ臨時にテレメータを開始した。

Fig.35 Daily frequency of seismic swarm. Temporally telemeter of seismic data to the observatory (UVO) started on Sep. 28, 1989.



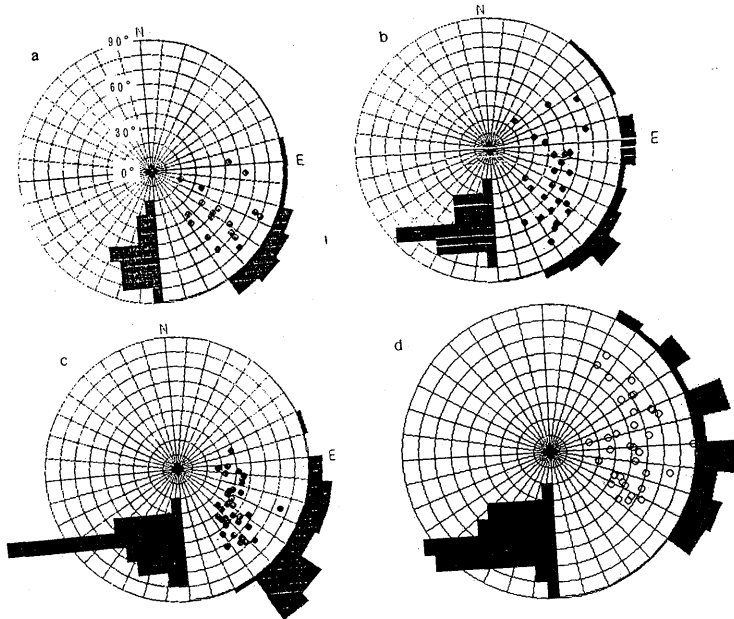
第36図 雌阿寒岳の地形及び地震観測点。P1～P4の4観測点の地震データが1989年9月28日より有珠火山観測所へ臨時にテレメータ送信されている。

Fig.36 Location map of Meakandake. Seismic signals from stations P1-P4 are transmitted to UVO by temporally telemeter.



第37図 1989年9月からの雌阿寒岳の群発地震の波形例。P4観測点では3成分観測がなされている。
 Fig.37 Example of the observed seismic waves at stations P1-P4, Meakandake.

観測点網が山体西斜面の狭い範囲に限定されているため、震源決定は困難であるので、P1～P3の三点をトリパタイトネットとした地震波の到来方向と入射角で活動域の推定を試みた。第38図にそれぞれ4期間に対して求められた解析結果を示す。解析結果を見ると、常に同一の方向から似たような入射角で地震波がやってくるのではなく、時期によってかなり震源域を変えていることが読み取れる。



第38図 雌阿寒岳の群発地震の地震波入射角及び入射方位の解析結果。トリパタイト (P1, P2, P3) より求められた。入射角は図中円の中心が垂直入射に対応する。(a ; 1988年7-9月, b ; 1988年10月, c ; 1988年11月, d ; 1989年9月29日-10月10日)。
 Fig.38 Distribution of incident azimuth and incidental angle of the seismic waves observed at Meakandake. P arrival data at P1, P2 and P3 are used for the calculation (a ; Jul.-Sep. 1988, b ; Oct. 1988, c ; Nov. 1988, d ; Sep. 29-Oct. 10, 1989).

第38図の a (1988年7-9月), b (1988年10月) 及び c (1988年11月) の期間は、いずれも S 30° - 70° E 方向からの地震波の入射が卓越しており、地震活動は山頂南部に位置しているポンマチネシリ火口域にあるものと推定されるが、b 及び c の期間では東方向 (山頂北部のナカマチネシリ火口域またはその周辺) からの地震も少なくない。d (1989年9-10月) の活動は、これらとは極めて異なり、ポンマチネシリ火口域の地震活動が収まったのに対し、ナカマチネシリ火口域で地震活動が活発化しているようにみえる。気象台や北海道立地下資源観測所の現地調査によると、ナカマチネシリ火口域などで特に異常な表面現象の変化は見られない。

現在、雌阿寒岳の地震活動は、北海道の火山の中で最も活動度が高く、また先に述べたように前2回の群発地震活動が何れも小噴火や微動など火山活動に直結する現象と関連して発生しているので、今後の展開には十分注意が必要と考えられる。雌阿寒岳の観測は、常時観測の予算的裏づけがなく、テレメータや収録様式が転々と変遷しているため、長期的な最近の一連の活動に対して十分な観測研究対応がとれないのが悩みである。第4次火山噴火予知計画 (1989年~1993年) では国立大学が雌阿寒岳を新たに常時観測研究の対象火山に加えることが計画されているが、質の良いデータが継続的に得られることがもっとも重要な基本であるので、早急に常時観測化の体制作りが待たれる。

なお、雌阿寒岳の観測に際して、足寄町野中温泉の野中信郎氏および家族の皆さんには、暖かい協力を頂いた。記して謝意を表す。また、1986年-1989年の観測は、北大理学部地震予知センターとの協力で実施された。

(4) 樽前山 (恵庭岳, 支笏カルデラを含む)

(4-1) 樽前山の地震活動

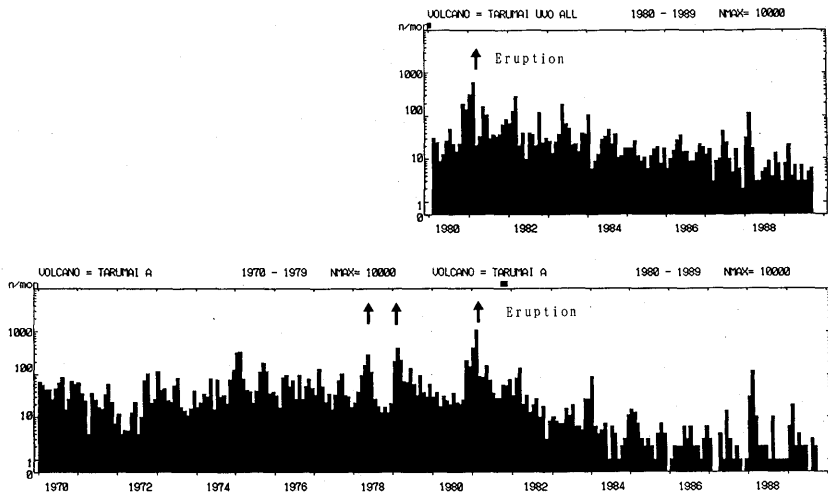
樽前山の火山性地震の活動は、この期間再び極めて静穏な状態に戻り、それを維持した。前報⁵⁾で注目した1988年1-2月の小群発地震活動が収まった後、第39図に示すように再び、1981年の小噴火以来見られていた地震活動の長期的静穏化の傾向の延長線上にある。1975年から1981年にかけての地震頻発期と比べて、極めて地震活動が静穏化している。モニター記録による地震波形の特徴で分類された地震群別の、月別地震回数の変遷を第40図に示す。

この期間の興味ある地震現象として、1989年1月22日から2月26日に発生した21個の低周波地震を主体とする小群発地震活動がある。KARのモニター記録によると、波形の特徴は1988年1-2月の群発活動^{6), 7)}と類似して、立ち上がり不明瞭な紡錘型で始まり、振幅が最大となった直後に急速に振幅が減ずるといった共通の特徴がみられた (第41図)。

この小群発地震の時間的な発生様式は、1988年の群発地震の場合のように周期的に著しい小群発を繰り返すようなものではなかった。1988年の群発地震は、地球潮汐との対応が極めて顕著であった^{6), 7)}が、今回の活動と地球潮汐の対応を見るため、第42図に地震の規模別活動図と固体地球潮汐の上下成分 (重力補正值) を対比して示す。*印をつけた2個の地震は、低周波地震には分類されない樽前山の火山性地震であり、いずれも低周波群発地震の継続中に発生せずその前後に起こっている。

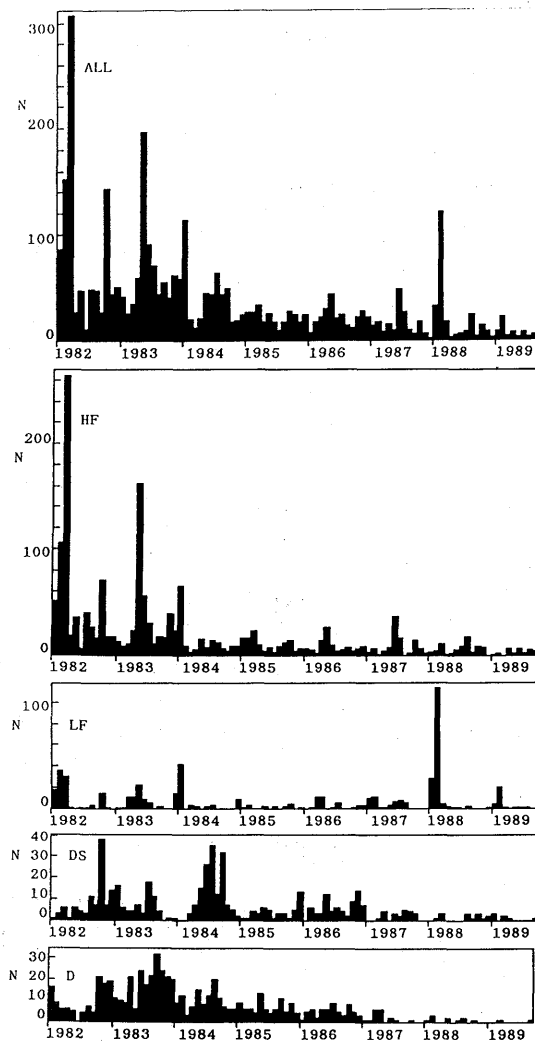
時系列を詳しくみると、一部に深夜に発生する地震が続く傾向がみられる様である。図に示されるように、この時期地球潮汐は1日に1回深夜にピーク（地表隆起）を示している。従って、一部にかなり明瞭な両者の相関がみられるようであるが、個々の地震の発生時刻は必ずしもピーク時に一致しておらず、ピーク前後にずれ込んでいる。

なお、この時期噴火が継続した十勝岳において、顕著な噴火が深夜に集中したことが、地球潮汐との関連で討論されている^{2),3)}。十勝岳のように活動度が高くかつ持続していることが明瞭な「準備が整っている場合に、引金作用として作用する」場合と異なり、樽前山では「1967年の気象庁による観測開始以来、最も地震活動の低い時期に何故引金になり得るのか」の問題点がある。また、2回の低周波地震群発現象が冬期に発生したのは偶然かあるいは何等かの理由があるのか等、活動のとりわけ低い時期における活動だけに興味ある問題点が残されている。

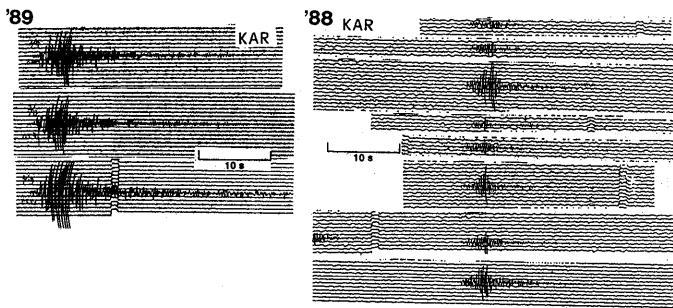


第39図 樽前山の月別地震回数推移。北大理学部による1980年2月からテレメータによる常時観測結果（上）、および気象庁による結果（下）を比べて示す。

Fig.39 Monthly frequency of volcanic earthquakes at Mt. Tarumai (by JMA bottom, by UVO upper).

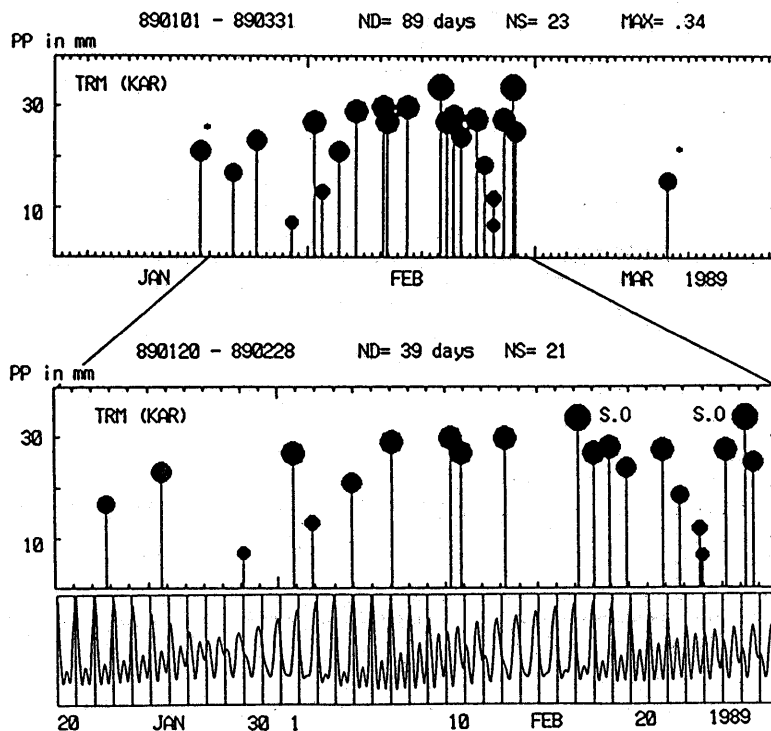


第40図 樽前山のタイプ別地震発生状況。高周波地震（HF）、低周波地震（LF）、北西部に位置するやや深い地震（DS）、S相の不明なやや深い地震（D）の4種類別に示されている。
 Fig.40 Monthly frequency of volcanic earthquakes classified in four types of earthquake groups (HF: high-frequency earthquakes, LF: Low-frequency earthquakes, DS: deeper events occurring in the NW part and with clear S phase, D: deeper events without clear S phase).



第41図 樽前山の低周波群発地震の波形例。1988年（右）、1989年（左）、KAR観測点におけるモニター記録。

Fig.41 Monitor seismograms of 1988 (right) and 1989 (left) earthquake swarm of Mt. Tarumai observed at KAR station.



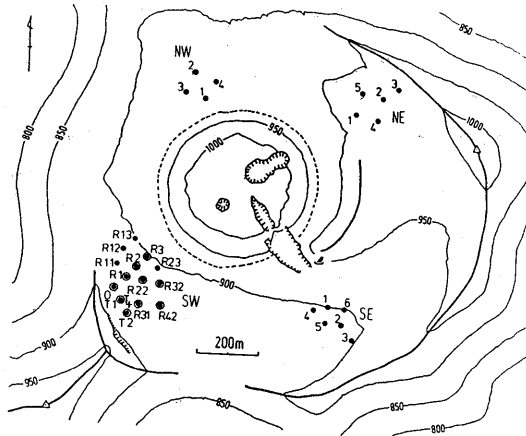
第42図 樽前山の1989年1 - 2月の群発地震の規模別活動図、および地震と固体地球潮汐の関係。潮汐は重力補正值で示されている（上向きが地表隆起時に対応）。

Fig.42 Amplitude-time diagram of the 1989 earthquake swarm at Mt. Tarumai with the vertical component of the theoretical solid earth tide. Tidal maximum and some earthquakes occurred often around at the midnight.

(4-2) 地殻変動

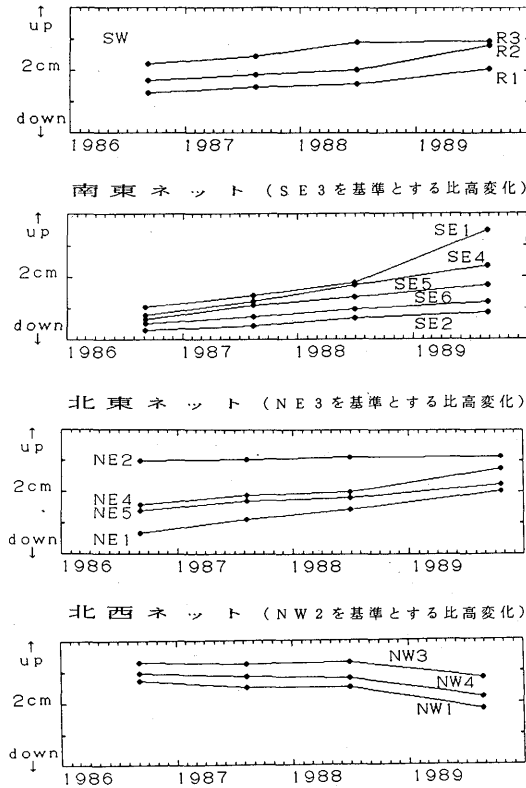
樽前山の山頂火口原における短距離傾斜水準測量結果について述べる。第43図に示す山頂火口原内の4地域で1986年9月に初回の測量を実施した後、1987年8月、1988年6月、1989年8月と毎年1回再測を行っている。観測された変動結果は、1987年の観測結果^{8),9)}と同様の傾向を示し、北東、南東及び南西の3方向でドーム上がり、北西方向で若干のドーム下りの傾向が依然として継続している(第44図)。山頂火口原でドーム方向が隆起していることが、どのような意味を持つのか、噴火前兆現象と考えられている山体膨張現象とどんな関連にあるのか等、その解釈については明らかになっていない^{8),9)}。地震活動が静穏な時期にもかかわらず有意な変動が得られたことは、今後多くの火山で山頂部の地殻変動データが得られることによって、火山現象の未知の部分が解明され得るという課題を示したものとなる。

GPSの観測については、1988年10月に第45図に示す7観測点で初回の観測を実施した。山頂部のTDO-TRWの辺長は同時に光波測量を実施したが、5mm以内の差でGPSの2回の観測値と一致した。1988年9月16~19日に、東京大学地震研究所の同型器を借用して恵庭岳東麓に観測点を新設して2回目の観測を実施した。結果は別に報告する。



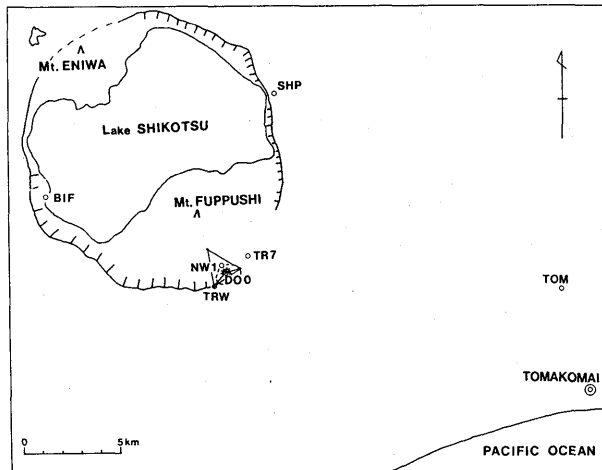
第43図 樽前山山頂部の短距離傾斜水準測量網 (SW, SE, NE及びNW網)

Fig.43 Location map of the short-span tilt-levelling networks on the summit of Mt. Tarumai. Measurements were repeated at the four independent nets in the SW, SE, NE and NW sector of the summit crater area.



第44図 樽前山の山頂部傾斜水準測量の結果。それぞれ各観測点網の火口原外縁部の点 (O, SE3, NE3, NW2) を基準とした比高の時間変化が示されている。

Fig.44 Observational results of tilt-levelling at Mt. Tarumai. Temporal variation of the measured height differences refer to the most outside point (O, SE3, NE3 and NW2 in Fig.43) of each net are shown. Steady upheaval of the summit dome may be detected, but its relation to so-called "pre-eruption inflation" is not easily answered.

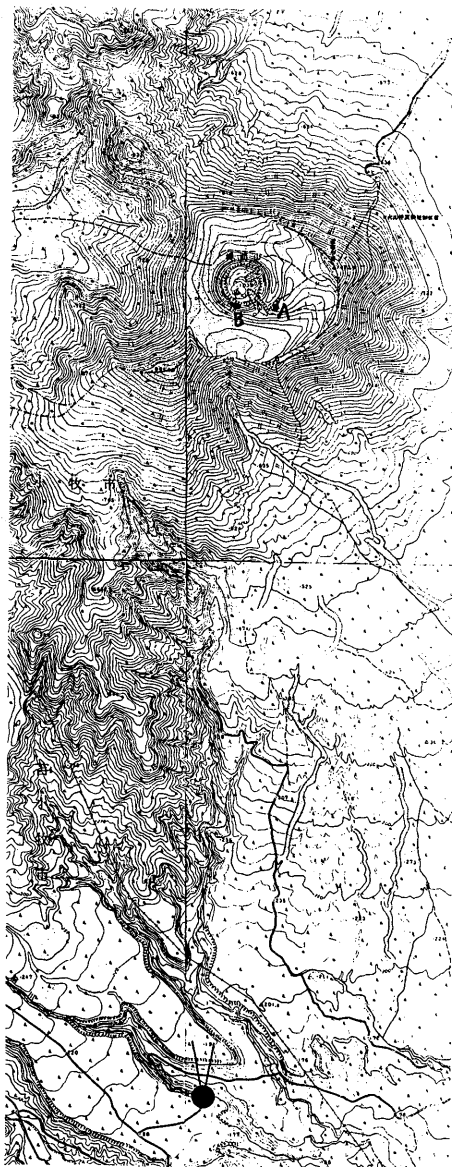


第45図 樽前山及び周辺地域におけるGPS観測点

Fig.45 Location map of GPS observation on and around Mt. Tarumai.

(4-3) 山頂ドームの地上赤外熱映像

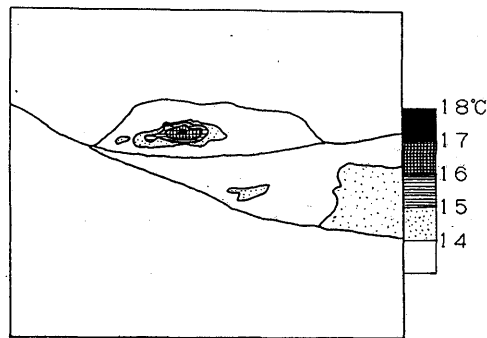
樽前山の熱的活動を量的に評価し、その推移を把握する目的で、日本電気三栄北海道支店の協力を得て、同社製のサーモレーサ6 T62型（性能等は十勝岳の項参照）を使用し地上赤外熱映像観測を実施した。測定は山頂ドームから南に7 kmの地点から、1983年以来地熱活動の活発化している山頂ドームのB噴気地帯を対象に、1988年5月11日及び1989年5月5日の2回行われた。撮像地点と樽前山の位置関係を第46図に示す。



第46図 樽前山の地上熱赤外映像撮像地点と樽前山の位置関係。山頂ドームから約7 km南方の地点（図中黒丸）より観測が実施された。A火孔につき最も活発なB噴気地熱地帯が、南火口瀬から直視遠望できるので、測定を試みた。

Fig.46 Location map of infrared imagery observation at Mt.Tarumai.

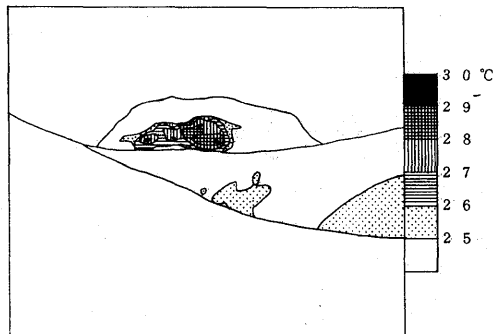
測定結果は第47図（1988年5月11日）及び第48図（1989年5月5日）に示す。撮影領域のうち日陰で熱異常のない山頂部分の地表面温度を基準として、これより3℃以上高い「高温域」の分布が示されている。山体南斜面は日射の影響で、地熱異常ではない。気象条件等が異なるため地表面温度の絶対値は比較できないが、温度分布を比較すると、1年間で若干の地熱異常域の拡大が認められる。相対的な温度差から放熱量の推定を行うため、関岡（1983）の簡便法を用いて見積もったところ、それぞれ約1 MW（1988年）及び約1.4 MWと求められた。地熱異常域の拡大に対応し、放熱量の増加傾向が得られた。なお、1983年に顕在化したドーム西方のK噴気地帯は、その後活発化するなどの傾向を示していない。



第47図 樽前山の山頂ドームの南斜面の地表面温度分布（1988年5月11日撮像）

Fig.47 Surface temperature distribution on the southern side of the summit dome of Mt. Tarumai on May 11, 1988.

(infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)



第48図 樽前山の山頂ドームの南斜面の地表面温度分布（1989年5月5日撮像）

Fig.48 Surface temperature distribution on the southern side of the summit dome of Mt. Tarumai on May 5, 1988.

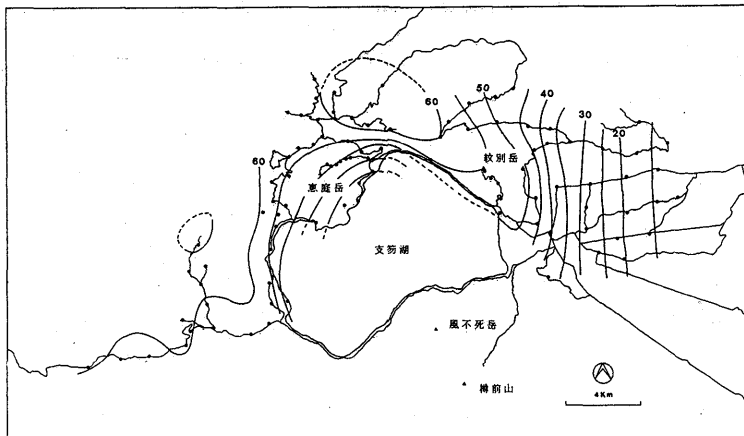
(infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)

苫小牧測候所の観測によると、1989年5月8日樽前山南東亀裂において、小規模な崩壊現象が生じていることが確認された。測候所は定期火山報告の中で、山頂ドームは崩壊落石などが起こり易いと、以前から注意を呼びかけていた。この崩壊は、南東亀裂の東側のかど部分が、亀裂に沿ってドーム頂部から根元まで一気に崩れたもので、南東亀裂のH地熱域は崩壊岩塊で埋められてしまった。長年の風化と融雪が影響したと考えられるが、火山活動との直接の関連は無いものと思われる。

尚、1988年5月の観測経験があったため、十勝岳の噴火に際して遠隔で熱赤外測定を実施することが可能でありかつ十分意味ある結果を得ることが出来るという方針を迅速に立てることが可能であった。近い将来北海道の火山観測研究センターとして機能するようになってきた当観測所でも、自前の熱赤外装置が運用できるようになることは、極めて望ましいことと考える。赤外装置の利用で協力頂いた日本電気三菱に謝意を表す。

(4-4) 支笏カルデラおよび恵庭岳

1988年7~10月に支笏湖周辺で重力サーベイを実施した。この地域は、Yokoyama¹⁰⁾が概略を明かにし、J. P. Katane et. al. (未発表)が補充観測を実施している。今回はそれらで手薄だった観測点の少ない支笏カルデラの北半分を中心に観測を実施した。その予備的結果を第49図に示す。地形補正は行っていない。今後、Kataneらの結果をも合わせて、支笏カルデラ全体の重力異常分布をより詳しくまとめる予定である。また、恵庭岳において1988年及び1989年の秋期に臨時地震観測を実施した。とりわけ注目されるような地震活動は観測されなかった。詳細は別途報告する。



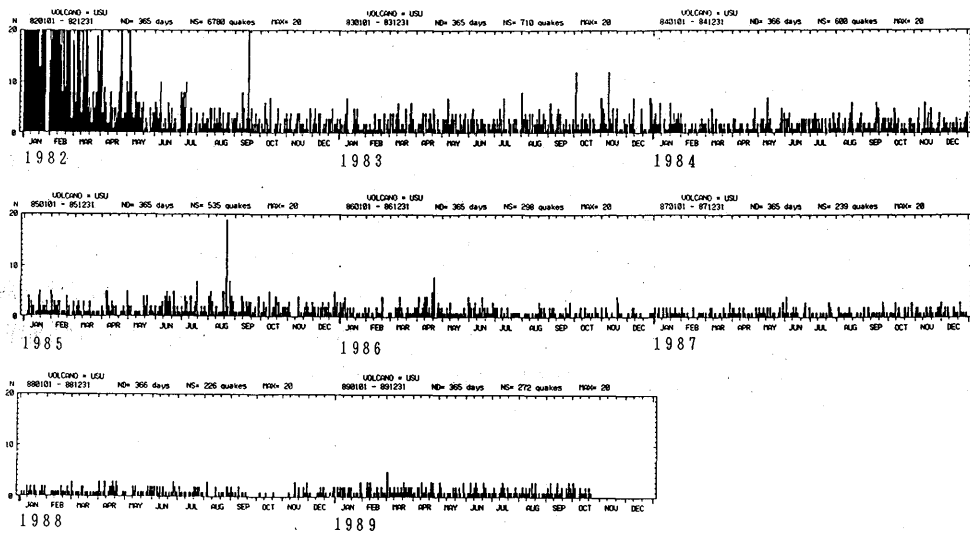
第49図 支笏カルデラ北半分のブーゲー異常分布

Fig.49 Bouguer anomaly in the northern half area of Shikot caldera.

(5) 有珠山

(5-1) 地震活動

1982年3月の活動終息以後、極めて安定した状態にあることが地震と地殻変動の観測で明らかにされている。第50図は日別地震回数の推移を示したものである。1988年-1989年10月の時期も、変わることなく今までの安定状態を保っている。



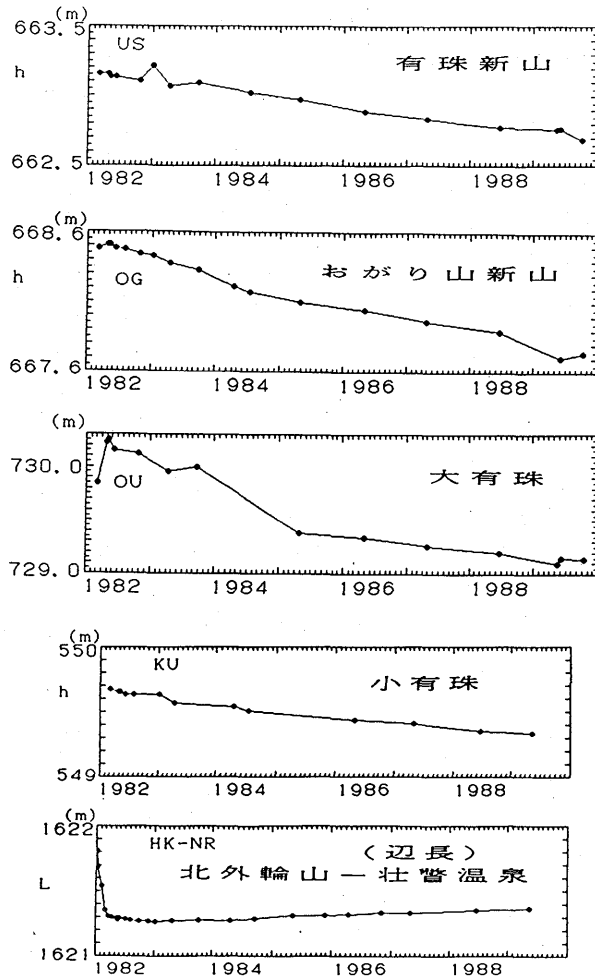
第50図 有珠山の日別地震回数の推移

Fig.50 Daily frequency of volcanic earthquakes at Mt. Usu.

(5-2) 地殻変動

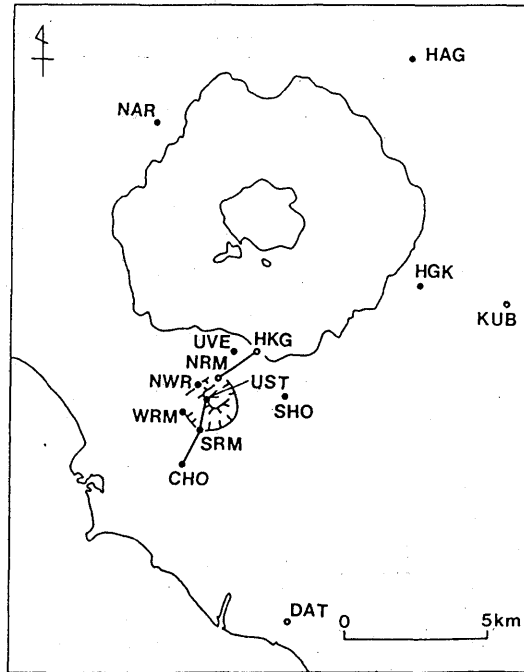
有珠新山, オガリ山, 大有珠及び小有珠のセオドライトによる測角測量の結果を第51図に示す。1982年3月の活動終息以降沈降状態が継続しており, 有珠新山の沈降率は約5 cm/年でほぼ一定である。

1988年に新規に導入されたGPS (WM101) を利用して, 有珠山及び洞爺カルデラ地域の火山性地殻変動を調べるために, 第52図に示すGPS観測点を設けて, 1988年8~10月に初回の観測を実施した。図中の白抜きの点は, GPSの有効性を検証するために, 1~2ヶ月毎に繰り返し観測を実施している観測点である。



第51図 有珠山の山頂部の地殻変動 (a;有珠山の上下変動, b;オガリ山の上下変動, c;大有珠の上下運動, d;小有珠の上下変動, e;北外輪山と山麓の辺長)

Fig.50 Height changes at the summit peaks of Mt. Usu (a;Usu-shinzan, b;Ogari-yama, c;Oo-usu and d;Ko-usu) and change in base line length of HKG-NRM (d) .



第52図 有珠山及びその周辺のGPS観測点。白丸印の観測点では多くの繰り返し測量がなされている。これらの結果を第53-56図及び表3-表4に示す。

Fig.52 Location map of GPS observation on and around Mt. Usu. Observational data shown for the stations indicated by the open circles where measurements were often repeated.

繰り返し観測の結果を、表3及び表4及び第53図～第56図に示す。いずれも上に辺長変化、下に比高変化が示されている。

HKG-NRMの1988年8月以前の結果は、観測時間が短く、最高で同時に3衛星しか用いることが出来なかったため、同年9月以降と比べてバラつきが大きな観測結果になっている。このため比較検討は、1988年9月以降の結果についてのみ論ずることとする。HKG-NRMの辺長は光波測量の結果とほぼ一致して、若干の有意な伸びが観測された。知る限りにおいて、火山観測でGPS観測により地殻変動の有意な時間変化が検証されたのは、初めての事であろう。

HKG-NRM以外の3測線では、この期間WM101の観測精度(1cm+2ppm)を上回る有意な辺長変化は認められない。冬季の観測結果の中で、全体の傾向から大きく外れるのは降雪時のものである。降雪時の観測結果の大きいズレは雪片による多重反射の影響かと思われる。前述したように、十勝岳のGPS観測においても降雪の影響が大きいことが分かっている。比高変化は全測線に共通して、観測精度を1桁上回り、現状では有意な変化の検出は困難である。冬に大きく夏に小さくなる年周変化が認められるが、その理由が電離層の影響か大気の影響かは判断出来ない。

1977年から1982年の有珠山の活動期の著しい地殻変動を考慮すると、次回の活動においてもデイ

サイト質マグマに特有な地殻変動は出現することが期待され、GPSによる観測は極めて重要な観測項目になることが期待されている。観測し得る変動が続いている現在の有珠山の舞台は、GPS観測の現段階での制度や運用上の問題点を明らかにしながら、GPS観測を継続する計画である。

表3 有珠山のGPS観測結果。北外輪山 (NRM) と壮瞥温泉母と子の家 (HKG) の2観測点間の水平距離及び高度差が与えられている。

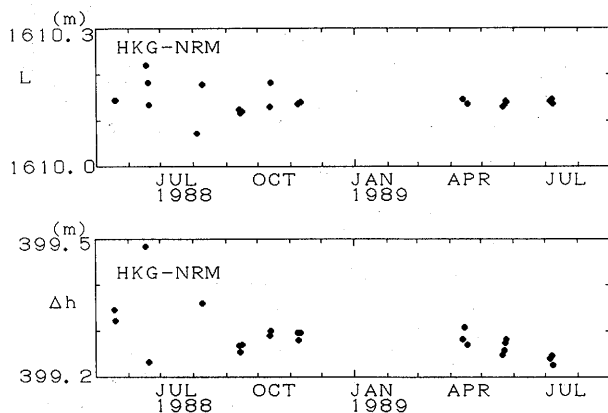
Table 3 Observational results of GPS measurements at Mt. Usu. Distance and height difference between northern rim (NRM) and northeast flank (HKG; Hahatokono - ie, Sobetsu-onsen) are given.

| | DATE | ΔL (m) | r. m. s (m) | Δh (m) |
|---------|----------|-------------------|----------------|-------------------|
| HKG-NRM | 880519 | 1610.145 | .003 | 399.321 |
| | 880520 | 1610.137 | .071 | 399.347 |
| | 880618 | 1610.255 | .053 | 399.591 |
| | 880620 | 1610.184 | .005 | 399.331 |
| | 880621 | 1610.160 | .003 | 399.247 |
| | 880805 | 1610.071 | .066 | 399.112 |
| | 880810 | 1610.178 | .005 | 399.359 |
| | 880914 | 1610.125 | .001 | 399.268 |
| | 880915 | 1610.116 | .001 | 399.255 |
| | 880916 | 1610.121 | .001 | 399.269 |
| | 881012 | 1610.131 | .001 | 399.291 |
| | 881013 | 1610.181 | .021 | 399.299 |
| | 881108 | 1610.137 | .001 | 399.296 |
| | 881109 | 1610.138 | .002 | 399.280 |
| | 881110 | 1610.141 | .001 | 399.297 |
| | 890413 | 1610.146 | .001 | 399.282 |
| | 890415 | 1610.306 | .002 | 399.309 |
| | 890417 | 1610.137 | .001 | 399.270 |
| | 890521 | 1610.130 | .000 | 399.249 |
| | 890523 | 1610.135 | .000 | 399.259 |
| | 890525 | 1610.142 | .000 | 399.282 |
| | 890705 | 1610.142 | .000 | 399.241 |
| | 890707 | 1610.146 | .000 | 399.246 |
| 890708 | 1610.137 | .001 | 399.226 | |

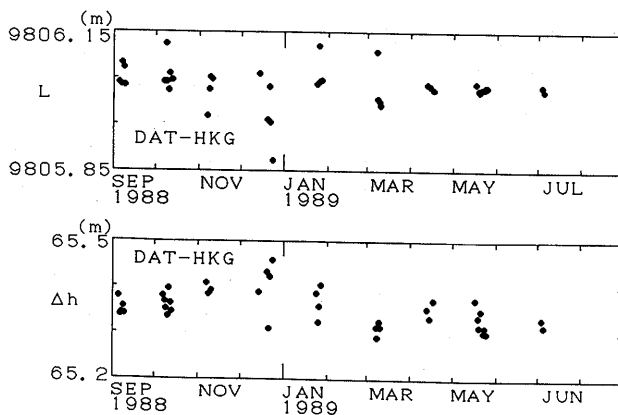
表4 有珠山のGPS測定結果。久保内 (KUB)、伊達 (DAT) および牡警温泉 (HKG) の大三角ネットの辺長及び高度差が示されている。

Table 4 Observational results of GPS measurements at Mt. Usu. Distance and height difference between HKG, KUB (Kubonai) and DAT (Date city office) are given.

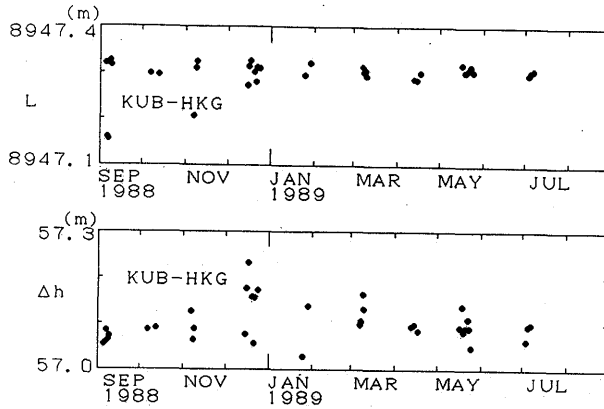
| DATE | DAT-KUB | | | DAT-HKG | | | KUB-HKG | | |
|--------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|
| | ΔL (m) | r.m.s. (m) | Δh (m) | ΔL (m) | r.m.s. (m) | Δh (m) | ΔL (m) | r.m.s. (m) | Δh (m) |
| 880905 | 13774.941 | .001 | 122.431 | 9806.041 | .001 | 65.378 | 8947.319 | .001 | 57.053 |
| 880906 | 13774.931 | .001 | 122.373 | 9806.022 | .007 | 65.321 | 8947.012 | .002 | 57.052 |
| 880907 | 13774.934 | .002 | 122.425 | 9806.082 | .002 | 65.341 | 8947.156 | .002 | 57.084 |
| 880908 | 13775.107 | .003 | 122.409 | 9806.074 | .002 | 65.347 | 8947.325 | .001 | 57.062 |
| 880909 | 13774.940 | .001 | 122.412 | 9806.034 | .001 | 65.340 | 8947.316 | .001 | 57.072 |
| 881007 | 13774.924 | .001 | 122.467 | 9806.042 | .001 | 65.381 | 8947.298 | .001 | 57.086 |
| 881008 | | | | 9806.125 | .001 | 65.368 | | | |
| 881009 | 13774.965 | .015 | 122.415 | 9806.043 | .000 | 65.353 | 8947.421 | .025 | 57.062 |
| 881010 | | | | 9806.023 | .003 | 65.335 | | | |
| 881011 | 13775.319 | .289 | 122.391 | 9806.060 | .001 | 65.396 | | | |
| 881012 | | | | 9806.047 | .001 | 65.364 | | | |
| 881013 | 13774.920 | .001 | 122.446 | 9806.046 | .001 | 65.355 | 8947.297 | .001 | 57.091 |
| 881107 | 13774.924 | .001 | 122.535 | 9805.968 | .002 | 65.408 | 8947.205 | .001 | 57.127 |
| 881108 | 13774.868 | .002 | 122.516 | 9806.025 | .001 | 65.383 | 8947.311 | .001 | 57.065 |
| 881109 | 13774.942 | .001 | 122.472 | 9806.053 | .001 | 65.385 | 8947.325 | .002 | 57.087 |
| 881110 | | | | 9806.048 | .001 | 65.392 | | | |
| 881214 | | | | 9806.060 | .001 | 65.387 | | | |
| 881215 | | | | | | | 8947.271 | .001 | 57.077 |
| 881216 | | | | | | | 8947.313 | .001 | 57.176 |
| 881217 | | | | | | | 8947.326 | .001 | 57.232 |
| 881220 | 13774.935 | .003 | 122.572 | 9805.960 | .001 | 65.431 | 8947.302 | .002 | 57.158 |
| 881221 | 13774.905 | .003 | 122.368 | 9806.032 | .001 | 65.311 | 8947.280 | .002 | 57.057 |
| 881222 | 13774.937 | .002 | 122.538 | 9805.954 | .002 | 65.422 | 8947.312 | .001 | 57.156 |
| 881224 | 13774.925 | .004 | 122.628 | 9805.871 | .002 | 65.457 | 8947.310 | .002 | 57.171 |
| 890124 | | | | 9806.037 | .001 | 65.385 | | | |
| 890125 | 13775.323 | .002 | 122.453 | 9806.120 | .002 | 65.324 | 8947.296 | .001 | 57.131 |
| 890126 | | | | 9806.044 | .001 | 65.358 | | | |
| 890127 | | | | 9806.044 | .001 | 65.388 | | | |
| 890129 | | | | | | | 8947.321 | .001 | 57.138 |
| 890307 | 13774.879 | .002 | 122.412 | 9806.107 | .002 | 65.313 | 8947.313 | .002 | 57.099 |
| 890308 | 13774.909 | .001 | 122.398 | 9806.007 | .001 | 65.291 | 8947.302 | .001 | 57.107 |
| 890309 | 13774.906 | .002 | 122.490 | 9806.001 | .001 | 65.326 | 8947.306 | .001 | 57.164 |
| 890310 | 13774.877 | .001 | 122.446 | 9805.991 | .001 | 65.314 | 8947.295 | .001 | 57.132 |
| 890413 | 13774.895 | .001 | 122.447 | 9806.039 | .001 | 65.354 | 8947.288 | .001 | 57.094 |
| 890414 | 13774.844 | .001 | 122.410 | | | | | | |
| 890415 | 13775.039 | .001 | 122.411 | 9806.034 | .001 | 65.333 | 8947.285 | .001 | 57.099 |
| 890417 | 13774.903 | .001 | 122.459 | 9806.025 | .001 | 65.371 | 8947.303 | .001 | 57.085 |
| 890517 | 13774.939 | .001 | 122.479 | 9806.040 | .001 | 65.373 | 8947.319 | .001 | 57.093 |
| 890518 | 13774.924 | .001 | 122.444 | | | | | | |
| 890519 | 13774.909 | .001 | 122.447 | 9806.025 | .001 | 65.335 | 8947.305 | .001 | 57.138 |
| 890520 | 13774.922 | .001 | 122.420 | 9806.021 | .001 | 65.316 | 8947.305 | .001 | 57.082 |
| 890521 | 13774.878 | .001 | 122.479 | 9806.028 | .001 | 65.349 | 8947.308 | .001 | 57.090 |
| 890523 | 13774.926 | .001 | 122.422 | 9806.028 | .001 | 65.303 | 8947.315 | .001 | 57.109 |
| 890524 | 13774.926 | .001 | 122.405 | 9806.032 | .001 | 65.313 | 8947.309 | .001 | 57.091 |
| 890525 | 13774.913 | .002 | 122.386 | 9806.032 | .001 | 65.301 | 8947.305 | .001 | 57.048 |
| 890704 | 13774.902 | .001 | 122.397 | 9806.034 | .001 | 65.331 | 8947.298 | .001 | 57.061 |
| 890705 | 13774.905 | .001 | 122.402 | 9806.024 | .001 | 65.316 | 8947.304 | .001 | 57.094 |
| 890706 | 13774.910 | .001 | 122.402 | | | | | | |
| 890707 | 13774.921 | .001 | 122.419 | | | | 8947.309 | .001 | 57.099 |



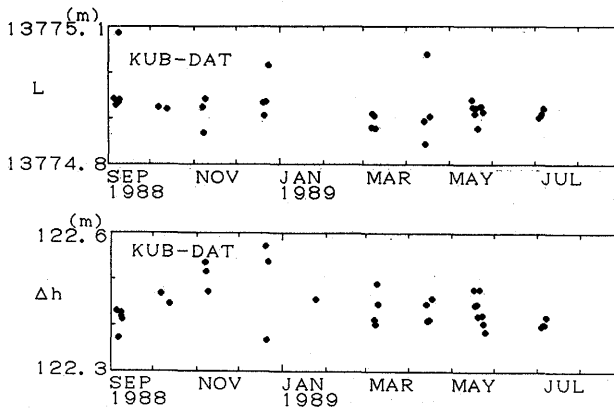
第53図 有珠山HKG-NRM測線のGPS観測結果(上; 辺長, 下; 比高)
 Fig.53 Observed GPS data for base line length (upper) and height differences (lower) for HKG-NRM on Mt. Usu.



第54図 有珠山DAT-HKG測線のGPS観測結果(上; 辺長, 下; 比高)
 Fig.54 Observed GPS data for base line length (upper) and height differences (lower) for DAT-HKG on Mt. Usu.



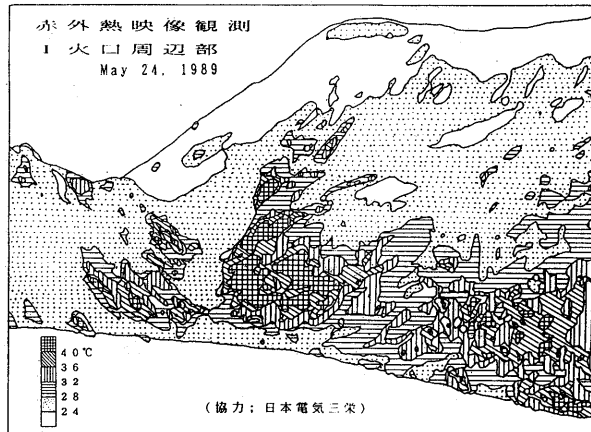
第55図 有珠山KUB-HKG測線のGPS観測結果（上；辺長，下；比高）
 Fig.55 Observed GPS data for base line length (upper) and height differences (lower) for KUB-HKG on Mt. Usu.



第56図 有珠山地区KUB-DAT測線のGPS観測結果（上；辺長，下；比高）。
 Fig.56 Observed GPS data for base line length (upper) and height differences (lower) for KUB-DAT on Mt. Usu.

(5-3) 地熱等

1988年5月10-11日及び1989年5月3日，5月24-25日に，日本電気三栄製地上赤外熱映像装置サーモトレーサ6 T62（性能等は十勝岳の項参照）により，地熱異常域の観測を実施した。画像収録可能な地上赤外熱映像装置は，北大理学部では所有していないため，観測には日本電気三栄札幌営業所の御協力を頂いた。有珠山（1982年）における地上赤外熱映像の調査は集中総合観測時の測定（鍵山他，1984）以来のものである。過去にも地上赤外熱映像装置による調査の行われている北西外輪山外側斜面，小有珠，有珠新山，オガリ山，昭和新山の他に，南外輪山外側斜面についても撮像を試みた。一例として，南外輪山からのI火口周辺の1989年5月24日の温度分布を第57図に示す。



第57図 南外輪山上より見たI火山口周辺の地表面温度分布(1989年5月24日)

Fig.57 Surface temperature distribution around I-crater at Mt. Usu (on May 24, 1989).

(infrared imagery system courtesy of Nihondenki-Sanei Co.)

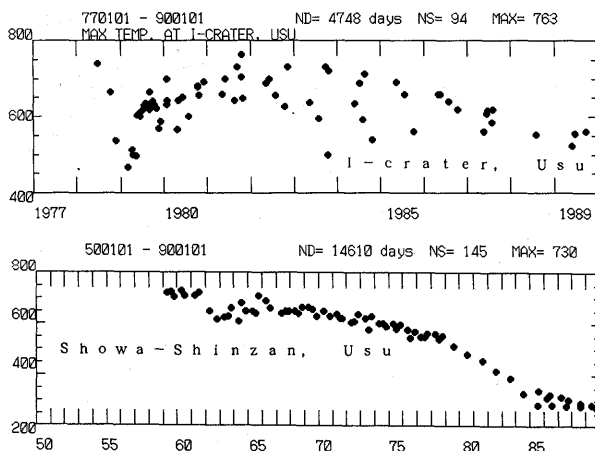
2回の測定結果を比べると、この1年間では何れの場所においても地熱分布には目立った変化が認められなかった。過去に二回(1974及び1982年; 横山他1977, 鍵山他1984)今回と同じ場所からの撮像が行われている昭和新山については、以下のようなことが明らかになった。3回の熱映像測定結果はいずれもほぼ同じパターンを示しており、特により解像度の高い1974年の観測結果と今回の結果は、微細な地温分布まで極めて類似した映像となっている。この間昭和新山の亀甲岩で測定される噴気温度は、一貫して長期的低下傾向にあることが確認されており(第58図)、また1977年-1982年の有珠山の活動を挟んでいるが、熱的構造は長期にわたり極めて安定した状態にあったことが分かる。

北西外輪山外側斜面では、降灰量が多いこと、断層群の発達に加えて、バンド状に北西に延びる地熱異常が発達している。洞爺湖温泉扇状地の源流域であり植生回復やステップ工等の防災対策が必死に実施されている地域である。従って、今回のような詳しい地熱調査を今後も繰り返し実施して、熱活動の推移を評価し続ける必要があるものと考えられる。

北西外輪山山頂からの有珠新山及び小有珠の測定は、過去の測定とは異なる場所からの撮像であり、比較は難しい。南外輪山山頂から小有珠、有珠新山、オガリ山の測定は、テラスの発達によりマスクされる部分がおおくなってきているが、最も主要なI火山口領域の熱活動の推移把握に役立つものである。南外輪山外側斜面については、今回が初めての撮像である。水平方向に連なる一部噴気地を含む地熱異常が、明瞭に認められた。この地熱異常は、約7000年前の噴火で有珠山で山体崩壊により善光寺岩屑流が発生した現象と関連していると考えられる。

馬蹄形状に南西方向に開いていた部分は、1663年の大噴火による大量の軽石・火山灰の堆積により「南外輪山」として修復された繫目に相当していると考えられる。この部分が今回のマグマ貫入により、新たに熱水輸送系として発達したのと考えられる。

有珠山のI火口および昭和新山の亀甲岩の最高温度の変化を、第58図に示す。測定値は、気象庁による観測の他、小坂、平林氏らの火山ガスグループによるもの、北大理学部によるものを一括している。有珠新山からの土砂によりI火口領域は埋積されて地形変化が生じているため、同一点における観測結果ではないし、測定方法や個人差などの影響が含まれたものであるが、1982年の活動終了以降はI火口領域の最高温度は、約25°C/年の率で着実に徐々に低下している。一方、昭和新山亀甲岩の1959年からの30年間の平均的溫度低下率は15°C/年となっており、I火口の溫度低下率が大きい。



第58図 有珠山のI火口（上）および昭和新山亀甲岩（下）の温度測定結果。I火口の最高温度の低下傾向は、昭和新山の場合より著しい。

Fig.58 Temporal variation of measured maximum temperature at Kamenoko-iwa, Showa-shinzan (below) and at I-crater (below), at Mt. Usu.

(6) 北海道駒ヶ岳

1988年6月4～6日に北海道駒ヶ岳に於てGPS観測を実施した。使用した機械はWild-Magnavox社製のWM101である。北海道内で最初のGPSによる本格的火山観測であったが、導入直後の観測であったため、内臓電池使用による観測時間の短さや、使える衛星が少ないこと等のため、誤差の大きい不満足な結果に留まった。しかし、火山でのGPSの野外観測実施上の経験は、以後の有珠山、樽前山、十勝岳等のGPS観測で大いに活かされる結果となった。駒ヶ岳の1929年の噴火は、噴火時に山体沈降が著しかったことが火山学の発展に大きな寄与となったことを考え、従来から実施されている辺長、水準測量に加え今後GPS観測を併用する予定である。

尚、今期間も地震活動は静穏で、現地観測などでも異常現象は観測されていない。

参 考 文 献

- 1) 北海道大学理学部有珠火山観測所 (1989) : 十勝岳の爆発的噴火活動とその観測結果 (速報)。火山噴火予知連会報, 43, 31-46。
- 2) 岡田弘・宮町宏樹・西村裕一・森濟・前川徳光・鈴木敦生・岡山宗夫・本谷義信・笠原稔・植木貞人・西村太志・浜口博之・山科健一郎・渡辺秀文・鍵山恒臣・井田喜明・清水洋・大見士朗・須藤靖明・久保寺章・石原和弘・井口正人・西潔 (1989) : 物理計測による十勝岳の爆発的噴火の研究。「1988年十勝岳噴火の推移, 発生機構および社会への影響に関する調査研究」, 文部省科研費突発災害調査研究報告 (P108), No.B-63-5, 31-56
- 3) Okada, H., Nishimura, Y., Miyamachi, H., Mori, H. and Ishihara, K. (1990) : Geophysical significance of the 1988-1989 explosive eruptions of Mt. Tokachi, Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, (投稿中) .
- 4) 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。
- 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) 岡崎紀俊・松島喜雄・市川隆一・道脇正則 (1989) : 雌阿寒岳における地球物理学的調査。火山学会講演予行集, No.1, 38。
- 7) 西村裕一・森濟・岡田弘 (1988) : 地球潮汐と関連した樽前山の群発地震活動と Earthquake Family. 地震学会講演予稿集, 1988年秋, 125。
- 8) 森濟・鈴木敦生 (1988) : 樽前火山山頂部における傾斜観測。北大地物研報, 50, 47-53。
- 9) Mori, H., Miyamachi, H., Suzuki, A., Maekawa, T. and Okada, H. (1989) : Geodetic research at volcanoes in Hokkaido, Japan. Proceed. Kagoshima Intern. Confer. Volcanoes, 342-345.
- 10) Yokoyama, I. (1966) : Crustal structures that produce eruptions of welded tuff and formation of calderas. Bull. Volcanol., 29, 51-60.