HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	十勝岳における自然電位繰り返し測定
Author(s)	宮村, 淳一; 岡崎, 紀俊; 伏谷, 祐二; 重野, 伸昭; 橋本, 武志
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 74, 1-19
Issue Date	2011-03-19
DOI	10.14943/gbhu.74.1
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/45144
Type	bulletin (article)
File Information	P1-19miyaura.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 74, March 2011, pp. 1－19

十勝岳における自然電位繰り返し測定

宮村　淳一
北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
岡崎　紀俊
北海道立総合研究機構 地質研究所
伏谷　祐二
札幌管区気象台
重野　伸昭
気象庁地震火山部火山課
橋本　武志
北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

（2011 年 1 月 6 日受理）

Repeat Surveys of Self-potential in Tokachidake Volcano

Jun'ichi MIYAMURA
Institute of Seismology and Volcanology,
Faculty of Science, Hokkaido University
Noritoshi OKAZAKI
Geological Survey of Hokkaido
Yuji FUSHIYA
Sapporo District Meteorological Observatory
Nobuaki SHIGENO
Volcanological Division,
Seismological and Volcanological Department,
Japan Meteorological Agency
and
Takeshi HASHIMOTO
Institute of Seismology and Volcanology,
Faculty of Science, Hokkaido University

(Received January 6, 2011)

We have performed repeat surveys of self-potential (SP) in Tokachidake Volcano since 1995, in which some elevated volcanic activity followed the appearance of fumaroles at 62-0 Crater. Since thermal anomalies had always preceded to the eruptions at Tokachidake in the last 100 years, we expected some temporal and spatial variations of SP anomalies accompanying the thermal activity beneath active craters.

Topography-related SP distribution was seen on the northwestern flank in the surveys of 1995, 2008 and 2010. This characteristic feature with a gradient of −0.3 mV/m was independent of the survey year and thus thought to be generated from stable flow of ground water. We assumed that the gradient is uniform over the survey area and corrected the topographic effect prior to the following analyzes in order to emphasize the SP of volcanic origins.

We found positive SP anomalies on 62-Craters and Taisho Crater where thermal anomalies have been seen throughout our SP surveys. These SP anomalies are probably related to the hydrothermal activity beneath the craters but the corresponding electrokinetic current sources should not be very deep since spatial size of these SP anomalies are smaller than a few hundred meters. We also detected temporal variations of SP anomalies corresponding to the thermal activity at 62-Craters. The positive SP anomaly on 62-Craters gradually developed toward 1998 up to +100 mV, being accompanied by an increase of thermal activity. The anomaly showed a subsequent attenuation down to −50 mV by 2001 in accordance with a decrease of thermal activity. In addition, another large positive SP anomaly with an amplitude of approximately +200mV appeared near the active fumaroles on Taisho Crater where fuming was enhanced in 2010. The result of our SP surveys implies that main thermal activity in the near future may develop at Taisho Crater rather than at 62-Craters. We point that attention should be paid not only to 62-Craters but also to Taisho Crater in monitoring the volcanic activity until the next eruption at Tokachidake.

Ⅰ．は　じ　め　に

北海道中央部に位置する十勝岳（標高 2,077m）は，北海道で最も活動的な火山のひとつである．Fig.1 に十勝岳山頂北西側に分布する火口地形および最近 100 年間における噴火発生地点を示す．石塚ほか（2010）によると，完新世以降の主な活動は十勝岳山頂北西側に位置するグラウンド火口およびその周辺で繰り返され，最新のものは約 500 年前に始まる中央火口・62 火口での活動である．

Table 1 に有史以降の十勝岳の火山活動をまとめる．このうち，19 世紀の 2 回の噴火については，古文書の記述内容が限定的で噴出物調査も進んでおらず，その詳細は明らかとなっていない．それ以降の噴火についてはその都度調査が行われ，噴火形態や活動推移が詳しく残されている．最近 100 年間にマグマ噴出を伴う主な噴火が 3 回発生している．これらはいずれも噴火形態が大きく異なるにもかかわらず，共通点として有感地震発生や地温上昇などの明瞭な前兆現象が観測され，同様な活動推移を辿った後に噴火に至っている（札幌管区気象台・旭川地方気象台，1990）．火山活動に際して適時的確な防災対策を講じるためには，前兆現象に注目した火山監視が極めて重要である．気象庁が 2008 年 12 月，十勝岳に導入した噴火警戒レベルでも，本格的な噴火活動への移行段階と位置づけられるレベル 2 および 3 の判断根拠として，熱活動の活発化や

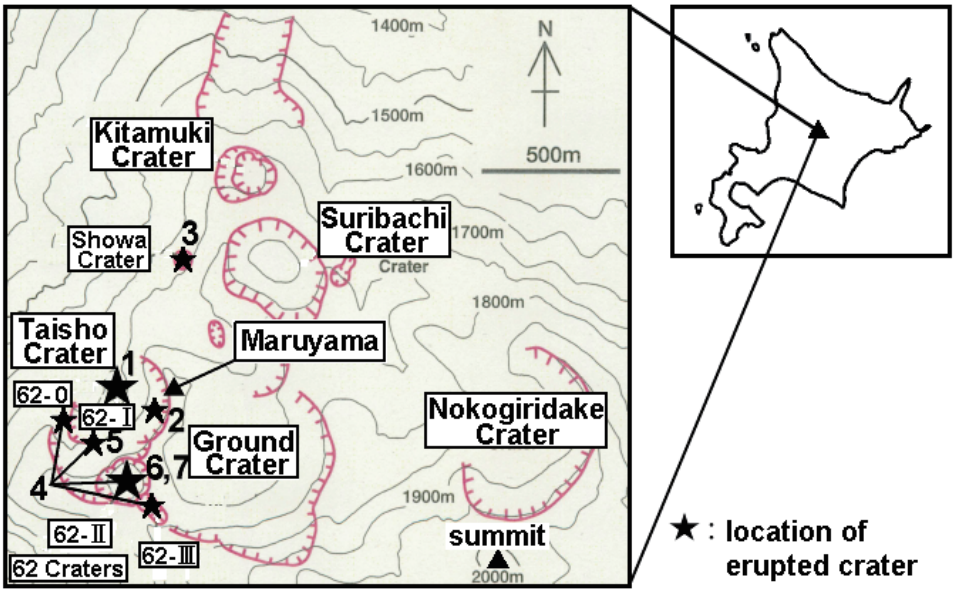

Fig. 1. Map of craters erupted in the last 100 years at Tokachidake. Stars with numbers show the locations of the historical eruptions listed in Table 1 (Modified from Ishizuka et al., 2010).

Table 1. List of historical eruptions at Tokachidake.

No.	Year	Interval in year	Place	Type	Volcanic phenomena
—	1856	unknown	unknown	unknown	black smoke, fire
—	1887	30	unknown	unknown	black smoke, ash fall
1	1926	39	Taisho Ctarer	magmatic	explosive eruptions, sector collapse, mud flow
2	1926-28	—	Taisho Crater	phreatic	small explosions
3	1952-59	—	Showa Crater	phreatic	small explosions
4	1962	36	62-Craters	magmatic	sub-plinian and strombolian eruptions, ash fall widely
5	1985	—	62-Ⅰ Crater	phreatic	smoke
6	1988-89	26	62-Ⅱ Crater	magmatic	explosive eruptions, pyroclastic flow and surge, ballistic bombs, ash fall
7	2004	—	62-Ⅱ Crater	phreatic	smoke

有感地震の発生を想定している（気象庁，2008）．最近の主な噴火の発生間隔は，19 世紀の 2 回の噴火も含めると平均で 33±5 年となる(Table 1)．2010 年時点で最後のマグマ噴火(1988-89年)から既に 22 年が経過しており，関係方面では次期噴火に対する関心が次第に高まりつつある．

十勝岳では最後のマグマ噴火が終息した 1989 年 3 月以降，しばらく静穏な状態が続いていた．ところが，1995 年 2 月になり，噴気活動を停止していた 62-0 火口から立ち上る弱い噴気を現地

の気象庁十勝岳火山観測所職員が発見した．その後，山麓の気象庁A点地震計で火山性地震増加や火山性微動が観測されるなど，火山活動が次第に活発化する様子が捉えられた（札幌管区気象台，2001）．

火山活動の変化に伴う自然電位（Self-potential，以下SPと呼ぶ）の変動が捉えられた事例がこれまでに数多く報告されており（たとえば，Hashimoto and Tanaka，1995），SP変動は火山活動を評価するための一つの有力な指標と考えられている．なお，活動火口域に出現する高電位異常の主な原因として，従来は火山活動の活発化に伴う熱水対流の活発化（石戸，1981）あるいは噴気活発化による火口域の天水下降流の消失（Ishido et al., 1997）などが考えられていた．最近では，Ishido（2004）が流量，比抵抗，浸透率，ゼータ電位などの物理パラメータを考慮した数値シミュレーション結果に基づき，火道周辺の低比抵抗体が重要な役目を果たしており，熱水対流自体は高電位異常にあまり影響を与えないと述べている．相沢（2008）は，活動火口域直下に存在する熱水領域の上面を被う不透水層が火山活動の活発化によって破壊されるため，SP変動が起こる可能性を指摘し，火山活動モニタにおけるSP分布の有効性を述べている．

十勝岳においては，岡崎ほか（1994）が1988-89年噴火後の62-Ⅰ火口周辺で1989年から1993年にかけてVLF-MT観測および電気探査を繰り返し実施して，熱活動の消長に対応する低比抵抗分布の時間変化を捉え，比抵抗測定が中長期的な噴火予知の一手法として有効であると述べている．彼らは1992年の比抵抗測定の際にSP測定を予察的に行い，高電位異常域が熱活動により形成された低比抵抗域とほぼ一致することを確認した．

我々は活動が活発化した1995年の時点で，十勝岳が熱的前兆を発現しやすい火山であることに着目した．岡崎ほか（1994）の観測結果を踏まえ，熱活動に伴うSP変動を捉える目的で，熱活動の進行が期待される62火口群およびその周辺においてSP繰り返し測定を開始した．十勝岳は険しい山岳地形を有しているため，機材搬入および測定作業には大きな負担がかかり，活動火口域での長期にわたる測定継続は相当な困難を伴うと考えられた．しかし，SP測定で使用する機材は小型軽量で搬入の負担は小さく測定作業自体も非常に簡便であることから，十勝岳で繰り返しSP測定を継続的に実施する負担はそれほど大きくないと判断した．

この小論では，十勝岳で1995年以来実施してきたSP繰り返し測定で得られた活動火口域におけるSP分布の特徴について報告するとともに，最近の熱活動変化とSP分布の関係について若干の考察を行う．

Ⅱ．SP測定とその結果

1．測　定

SP繰り返し測定は62火口群とその周辺を中心に1995年以降これまでに8回実施してきた．繰り返し測定を開始した1995年は，北西斜面全体のSP分布を把握する目的で，北西側山麓の望岳台を始点とし，そこから水平距離で約3.4km離れた62火口群までの広い範囲を対象として

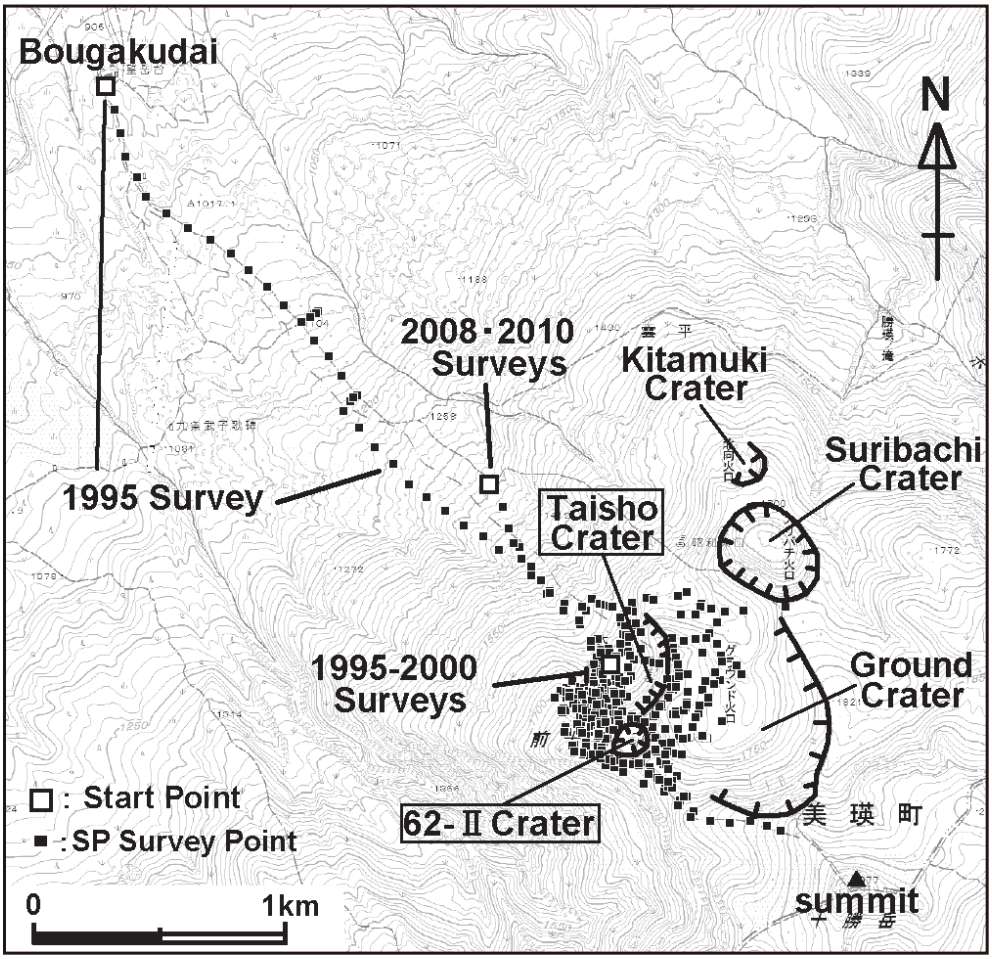

Fig. 2. Compiled location map of SP measurement for all surveys since 1995 through 2010.

実施した．また，2008 年および 2010 年には，後述する地形効果の再現性を確認する目的で，北西斜面中腹にある避難小屋付近を始点とし，そこから水平距離で約 1.2km 離れた 62 火口群までの北西斜面上部を対象として実施した．過去 8 回の測定における全ての測点分布を Fig.2 に示す．1995 年から 2001 年までの測点分布が 62 火口群に集中している理由は，繰り返し測定を開始した当初は熱活動が 62 火口群を中心に進行すると予想したためである．

SP 測定には，非分極性である素焼きの銅－硫酸銅電極および入力インピーダンス 10MΩのデジタルテスタを使用した．測定方法は，2001 年までは電線長 100m のシールド線を用いて 2 つの電極を交互に移動させながら測定する，いわゆる尺取り法を採用した．ただし，基準点には移動測定用の電極とは別のもう 1 つの電極を設置し，全測定が終了するまで固定させた．しかし，尺取り法は電極設置を繰り返すことによる測定誤差の蓄積が懸念されるため，2008 年以降は電線に 1 巻の電線長が 1000m の H-KV 線を複数用い，固定した一つの基準電極から各測点まで電線

Table 2. Survey condition for each SP measurement.

Year	Start time	End time	Number of points	Loop error (number of points in loop)
1995	Aug. 1 14:25	Aug. 4 17:07	72	loop 1：－0.3mV (11) loop 2：－10.6mV (22)
1996	Jul. 25 09:45	Jul. 26 16:13	57	loop 1：－16.8mV (25) loop 2：－22.7mV (28)
1997	Jul 25 09:30	Jul. 25 15:30	30	2.2mV (30)
1998	Jul. 23 13:11	Jul. 25 15:45	46	－30.1mV (46)
1999	Jul. 7 09:38	Jul. 7 16:31	38	－28.0mV (38)
2001	Jun. 26 11:12	Jun. 26 16:55	27	－11.0mV (27)
2008	Sep. 20 11:47	Sep. 21 14:31	80	no loop
2010	Jul. 13 16:02 Sep. 8 08:57	Jul. 14 16:47 Sep. 8 15:29	61 40	no loop no loop

を延ばして電位差を直接測定する，いわゆる全電位法を採用した．各回の繰り返し測定の実施状況を Table 2 にまとめる．測点位置の再現性は厳密ではなく，その都度現場で測定場所を選定した．測点の座標値は，2001 年までは電線長と方位磁石を用いて地形図から緯度・経度・標高を読み取った．2008 年以降は簡易 GPS により緯度・経度を計測し，地形図から標高を読み取った．各回の測点数は 27 ～ 80 である．2001 年までの尺取り法では，大正火口底西部の基準点を始点とするループ状の測線を展開させた．ループ閉合誤差は最小で－0.3mV（測点数 11），最大で約 30mV（測点数 46）であった．これらのループ閉合誤差は測定開始からの経過時間により補正した．また，2010 年の測定は 7 月と 9 月の 2 回に分けて実施した．約 2 ヶ月の間隔をあけたことによる SP 値の時間変化を確認するため 4 測点で再測を行い，－11.7 ～ 0.9mV の範囲で SP 値が再現されていることを確認した．以降の解析では，7 月および 9 月の各測定データを合わせ，2010 年の測定データとして取り扱った．

なお，大正火口北西側の一部斜面には 1962 年噴火の噴出物によって当時の硫黄鉱山に関連する機材等が埋没している．2010 年の測定時には大正火口底西縁から北北西約 250m 地点に表面が赤く錆びついた鉄製の動輪とその周辺で SP 測定を行った．その結果，動輪付近では +400mV 程度の電位差が見られることが分かった．しかし，動輪から 10m 程度離れた場所の SP 値には動輪の影響がないことも確認できた．この結果を踏まえ，機材等が埋没していると考えられる範囲に位置し，かつ，その周辺の測点と電位差が 50mV 以上ある 2 測点については，埋没物の影響があると判断して，以降の解析から除外した．

2. 地形効果

1995 年の測定結果を Fig.3 に示す．望岳台を基準とした SP 分布と地形標高を比較すると，標高 1340m 付近から山麓側（Fig.3 中の区間①）の SP 分布は地形標高と無関係にほぼ一定の値を

示すが，標高 1340m 付近から 62 火口群側（Fig.3 中の区間②）の SP 分布は地形標高と強い負の相関（線形関係）が認められる．地形標高と負の相関を示す SP 分布は，地形の標高差で生じる天水の移動に伴う，いわゆる地形効果の影響によると考えられる．しかし，標高 1610m 付近から山頂側では線形関係から逸脱する測点が多数認められる．これらの測点は，同時に実施した地中温度測定で熱異常が認められた活動火口域に位置することから，熱活動に関連した地下の流動電位が重複した SP 分布を示していると考えられる．

Fig.4 には石塚ほか（2010）による北西斜面の地質図上に 1995 年の測点がプロットしてある．地形効果が認められた区間②の領域には，約 500 年前の中央火口による活動の際に流出した中央火口溶岩（Fig.4 中の Cl）が広く分布しており，その上位には 1926 年大正火口からの噴火に伴う泥流堆積物（Fig.4 中の Cm）が覆っている．SP 測定作業の際に，標高 1500m 付近の沢筋に存在

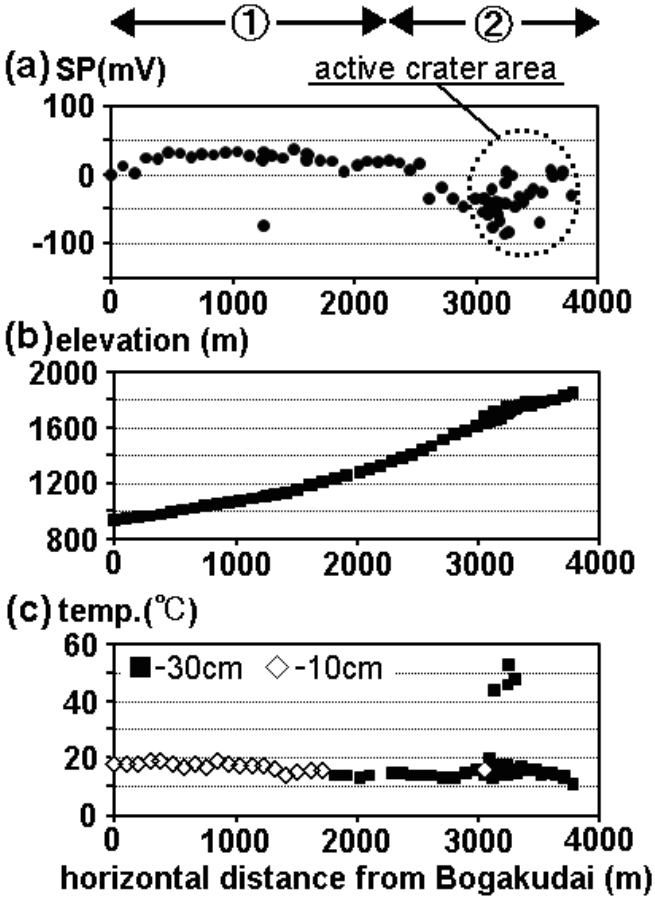

Fig. 3. Profiles along the northwestern flank of Tokachidake by the SP measurement in 1995. (a) SP referred to the Bogakudai, (b) topographic height and (c) temperature at a depth of 30cm or 10cm. Topographic effect is recognized for the section ②, but not for the section ①.

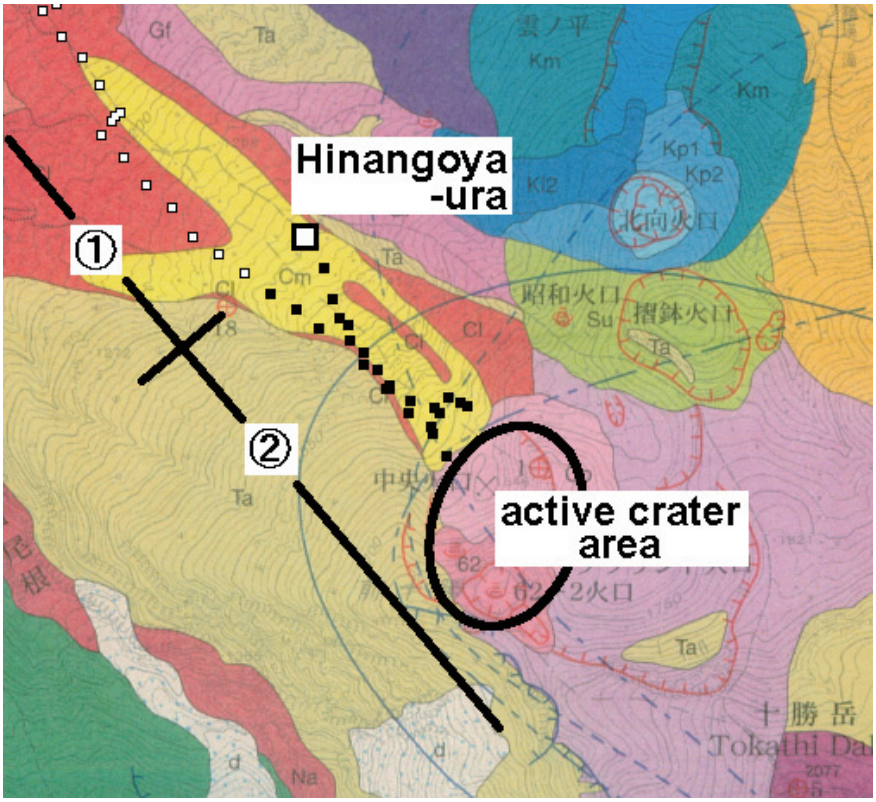

Fig. 4. Geological map (after Ishizuka et al., 2010) and survey points of SP measurement in 1995. Cm and Cl denote the 1926 debris avalanche deposits and the Central Cone lava, respectively. Small closed squares denote the points with topographic effect and small open squares denote the points without topographic effect. Sections ① and ② correspnd to those in Fig.3.

する地層断面で，地下水が中央火口溶岩層の最上部からしみ出している様子が観察された．したがって，標高 1340m 付近から 1610m 付近までの領域では，地下水が表層を構成する空隙率の高い 1926 年泥流堆積物を浸透した後，緻密な溶岩層最上部面を北西斜面下方に向かって流下する水理構造が存在していると推定される．

Fig.5 には，北西斜面の広い範囲で SP 測定を行った 1995 年，2008 年および 2010 年の SP 分布と地形標高の関係を示す．2008 年および 2010 年の SP 分布にも 1995 年と同様の地形効果が認められることが分かる．線形関係が認められる範囲のデータに最小自乗法を適用して求めた地形効果の係数は，1995 年が 0.31mV/m，2008 年が 0.33 mV/m，2010 年が 0.29 mV/m となり，3 回の測定でほぼ同じ値を示すことが分かった．このことから，北西斜面上の区間②の標高 1340m ～ 1610m の範囲には安定した水理構造が存在すると考えられる．以降の SP マッピング作業では，測定データから係数 0.3mV/m により地形効果の影響を取り除いた後の SP 値を用いた．

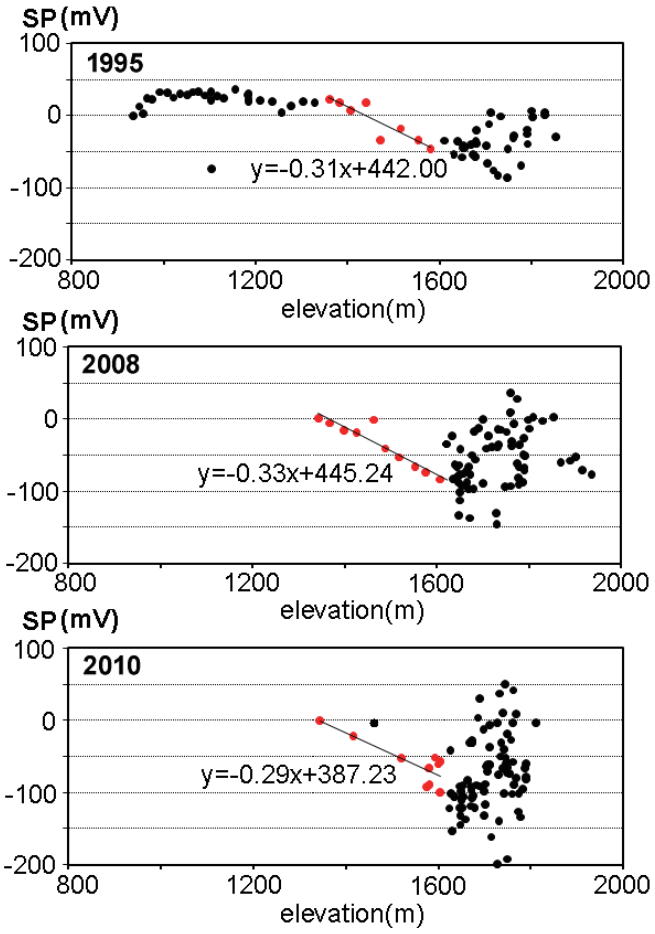

Fig. 5. Relation between the topographic elevation and the observed SP for each measurement in 1995, 2008 and 2010. In all cases, coefficients of topographic effect are about 0.3.

3. 高電位異常分布

Fig.6(a)，(b)には8回の繰り返し測定で得られた活動火口周辺におけるSPマッピングの結果を示す．いずれも大正火口底西部を基準（電位ゼロ）とした場合の相対電位分布である．前述の理由により測点が62火口群周辺に集中しているため，それ以外の領域ではSP分布の詳細が不明な測定年がある．

繰り返し測定を実施した1995年から2010年までの期間中に，測定対象範囲内で熱活動が継続していたのは62火口群および大正火口である．62火口群では，62-0火口から62-Ⅱ火口にかけての領域で高電位異常が1995年以降，次第に増大する時間変動が認められた．1998年には62-Ⅱ火口付近を中心に，その北東側の大正火口東壁上部まで含む領域で+100mVを超える高電位異常が出現した．さらに，62-Ⅱ火口北西側に位置する62-Ⅰ火口から62-0火口にかけての

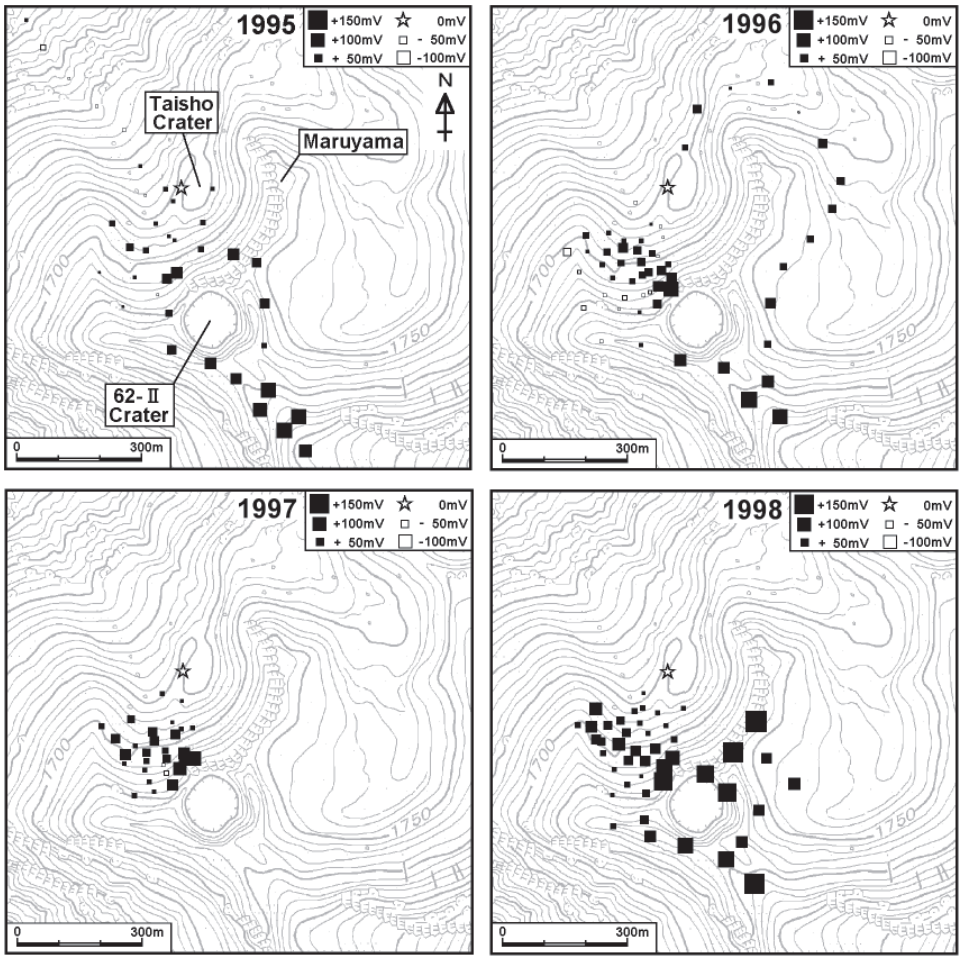

Fig. 6(a). Distribution of SP from 1995 to 1998. Stars denote the location of voltage reference.

領域でも数 10mV の高電位異常が認められた．これらの 62-Ⅱ火口周辺に発達した高電位異常は，1999 年以降には衰退を始め，2001 年には 62-Ⅰ火口から 62-0 火口にかけての範囲で明瞭な低電位異常へと転じた．その後，2008 年以降には再び高電位異常に戻ったものの，1998 年当時のレベルまでには回復していない．一方，大正火口周辺では，測点数が少ないため SP 分布の詳細な時間変化は不明であるが，2010 年の測定では従来から噴気活動が継続する東壁噴気孔付近に +200mV に迫る顕著な高電位異常が出現しており，62 火口群の高電位異常と比べて明らかに大きな高電位を示すことが確認された．

これらのほか，地熱兆候が認められない非熱活動域においても，2008 年の測定では 62 火口群南東側の山頂に向かう尾根の領域で，2010 年の測定では丸山北東側斜面の領域で，それぞれ +100mV を超える高電位異常が認められた．山谷ほか（2010）が十勝岳の活動火口周辺で行った AMT 探査で求めた比抵抗構造モデルによると，熱活動域である 62 火口群および大正火口では，

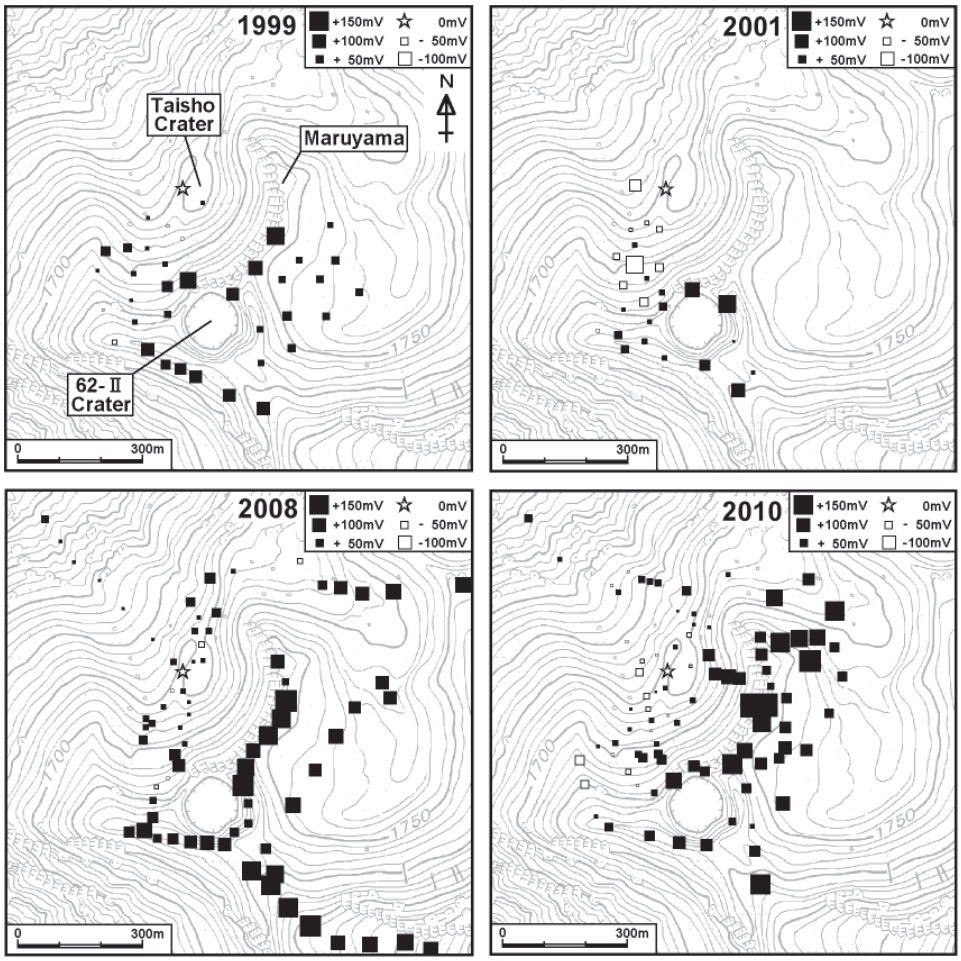

Fig. 6(b). Distribution of SP from 1999 to 2010. Stars denote the location of voltage reference.

その直下浅部に10Ωm以下の低比抵抗領域が存在する．特に，62-Ⅱ火口直下では1Ωm以下と比抵抗の極めて低い領域が深さ数100mまで伸びており，火道との対応について議論されている．2010年の測定で捉えた高電位異常分布はこれら10Ωm以下の低比抵抗領域と空間的に対応がよく，岡崎ほか（1994）の指摘（低比抵抗域と高電位異常分布の関連性）とも調和的である．一方，山谷ほか（2010）の比抵抗構造モデルによると，非熱活動域であるグラウンド火口および62火口群南東側には，表層に数100Ωm～1000Ωmの高比抵抗領域が存在している．これらの高比抵抗領域は2010年の測定で捉えた高電位異常分布と空間的におおむね一致した．その理由は現時点では不明だが，Nishida and Tomiya（1987）が有珠山山頂部のSP分布に関して議論したような表層における比抵抗構造の横方向への急変も一つの原因として考えられるかもしれない．

Fig.7は活動火口域における過去8回の繰り返しSP測定点および各火口の位置を示す．Fig.7中のPR-1（62火口群）およびPR-2（大正火口）内の全てのSP値を北西－南東方向の測線

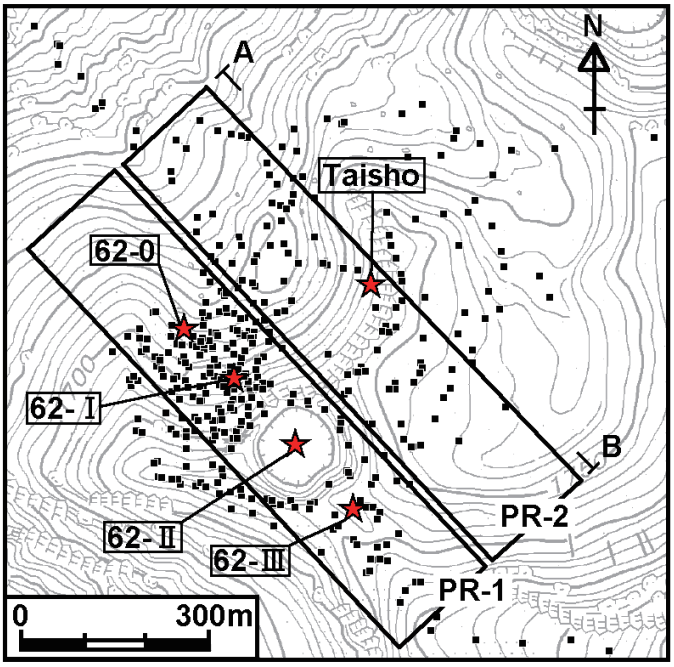

Fig. 7. Close-up view of the active craters area with measured points (solid squares) and major vents (stars). Measurements in the area enclosed by PR-1 (62-Craters) and PR-2 (Taisho Crater) are projected in Fig.8 along the line A-B.

AB に投影させた SP 空間分布を Fig.8 に示す．PR-1 では 62-Ⅱ火口を中心とする高電位異常が 100mV 以上に達し，その広がりは 400m 程度となっている．一方，PR-2 では東壁噴気孔を中心とする高電位異常が 62 火口群の高電位異常を超えて 200mV 近くにまで達し，その広がりは 250m 程度となっている．Fig.8 から読み取れる両領域の高電位異常の広がりは，例えば，有珠山や北海道駒ケ岳の 1 ～ 2km（Nishida et al.，1996）に比べてかなり狭いことから判断して，高電位異常をもたらす電流源の深さは極めて浅いと推測される．

次に，62 火口群および大正火口に見られた高電位異常と熱活動の関係について，時間変化に着目しながら検討する．Table 3 は，62 火口群の各火口について，火口中心から約 100m 以内の測点から求めた SP 値の平均および標準偏差を表に整理したものである．Fig.9 には各火口の SP 平均値と 62-Ⅱ火口の噴煙高度および火口温度の時間変化を 1995 年以降の時系列グラフで示す．62 火口群では，1995 年 2 月の 62-0 火口における噴気活動の再開以降，熱活動が次第に活発化した．1998 年には 62-Ⅱ火口で熱泥水噴出や火山灰噴出，火口内が明るく見える現象が次々に観測され，熱活動はピークを迎えた．この熱活動の高まりに対応するように，各火口の高電位異常が増大する傾向が Fig.9 から見て取れる．その後，62-Ⅱ火口の噴煙高度や火口温度は 2000 年を境に低下に転じ，62 火口群の熱活動は次第に衰退した．これに呼応するように，62 火口群の SP 値も大きく低下した．特に，62-0 火口や 62-Ⅰ火口では SP 値が低電位異常に反転し，局所的に

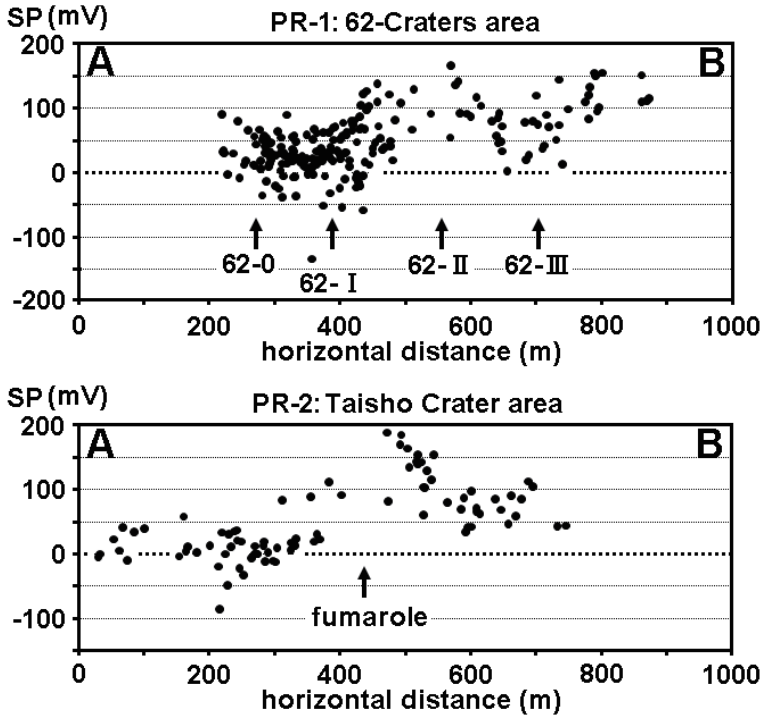

Fig. 8. Spatial distributions of SP in PR-1 (top) and PR-2 (bottom) along the AB line in Fig.7.

－100mV を超える測点も出現した．以上のように，1995 年以来継続的に行ってきた SP 繰り返し測定によって，62 火口群における熱活動の消長に対応した SP 分布の時間変化を捉えることができた．

Fig.10 には大正火口周辺の領域 PR-2 内の測点を北西－南東方向の測線 AB 断面に投影させた

Table 3. Temporal variation of SP value in mV for each crater in the 62-Craters.

Year	62-0 Crater		62-Ⅰ Crater		62-Ⅱ Crater		62-Ⅲ Crater	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1995	+21.7	17.2	+31.8	37.3	+60.9	27.7	+51.1	33.4
1996	+23.8	20.1	+26.1	31.0	+83.7	28.1	+60.4	25.8
1997	+35.3	18.6	+39.9	36.1				
1998	+46.2	25.5	+56.1	36.1	+114.8	39.2		
1999	+27.8	27.1	+55.7	57.3	+55.2	31.9	+59.5	27.4
2001	−16.9	24.8	-55.5	54.9	+69.6	46.1	+38.2	52.8
2008	+37.5	11.1	+30.1	43.8	+81.7	41.9	+108.4	51.7
2010	+2.1	23.1	+23.0	35.2	+75.8	28.9	+47.5	37.8

SP 分布の時間変化を示す．2010 年の分布には，大正火口東壁で活動中の噴気孔付近を中心とする，＋ 200mV に迫る明瞭な高電位異常が認められる．しかし，大正火口周辺における 2008 年以前の測点は圧倒的に少なく，この高電位異常の出現時期を特定することはできない．ただし，大正火口では東壁噴気孔の噴気量が 2010 年に入り増加している状況を踏まえると，この熱活動の高まりに対応して高電位異常が顕在化した可能性がある．

Ⅲ．考　　察

ここでは，十勝岳で 2006 年以降に見られている熱活動の変化と SP 繰り返し測定の結果について考察する．

Fig.11 に十勝岳の 1991 年以降の熱活動の推移をまとめる．62-Ⅱ火口の噴煙高度（a）は 2000 年頃をピークとして次第に減少する傾向にあり，これに対応するように火口温度（b）も低下傾向を示している．その後，2006 年春頃に噴煙高度が急激に低下し，2007 年以降は 100m 程度と低いレベルで推移した．一方，札幌管区気象台が 2003 年以降繰り返し行ってきた GPS 観測によって 2007 年頃に始まる火口直下浅部での局所的な膨張が捉えられた（気象庁，2009）．その後，北海道大学が中心となって 2008 年以降行ってきた繰り返し磁気測量によって 62-Ⅱ火口の直下極浅部で熱消磁が起こっていることが明らかとなった（橋本ほか，2010）．これらの現象を総合的に説明する物理モデルはまだ得られていないが，山体深部における地震活動や地殻変動の活発化が捉えられていないことから判断すると，マグマ貫入などによる深部からの新たな熱供給が生じたのではなく，浅部の熱活動に何らかの変化が生じたものと考えられる．

Fig.11（e）には，十勝岳北西側山麓の白金温泉にある気象庁十勝岳火山観測所を基準とする GPS 基線解析で得られた，62-Ⅱ火口西側に位置する前十勝 GPS 観測点の東西方向の変位の時間変化を示す．グラフ中矢印付近の 2003 年十勝沖地震に伴う coseismic step（5 cm 程度の急激な東側への変位）を除外して見ると，2007 年頃に始まった火口直下浅部の膨張によると考えられる西側への変位は 2009 年以降，次第に鈍化する傾向が認められる．また，62-Ⅱ火口の直下極浅部で見られている熱消磁にも鈍化の傾向が認められている（橋本，私信）．しかし，62-Ⅱ火口では噴煙高度が低下した状態が依然として続いており，2006 年以前の熱活動レベルまで回復していない．一方，大正火口に目を転じると，Fig.11（d）に示すように，2005 年頃から火口壁の表面温度が上昇する傾向が認められており，2010 年にはさらに昇温したことが分かっている．これに対応するように，2010 年に入り噴煙量の増加が認められている（Fig.11（c））．このような最近の浅部熱活動の状況の変化は，繰り返し測定で得られた高電位異常の時間変化と調和的である．したがって，高電位異常の分布は浅部熱活動の中心が 62 火口群から大正火口へ移動しつつあることを示唆しているのかもしれない．現在，大正火口東壁上に存在する活発な噴気孔の位置は，過去約 100 年間にわたって消長を繰り返しながら熱活動を継続してきた場所であり，今後の浅部熱活動の中心となる可能性もあると考えられる．

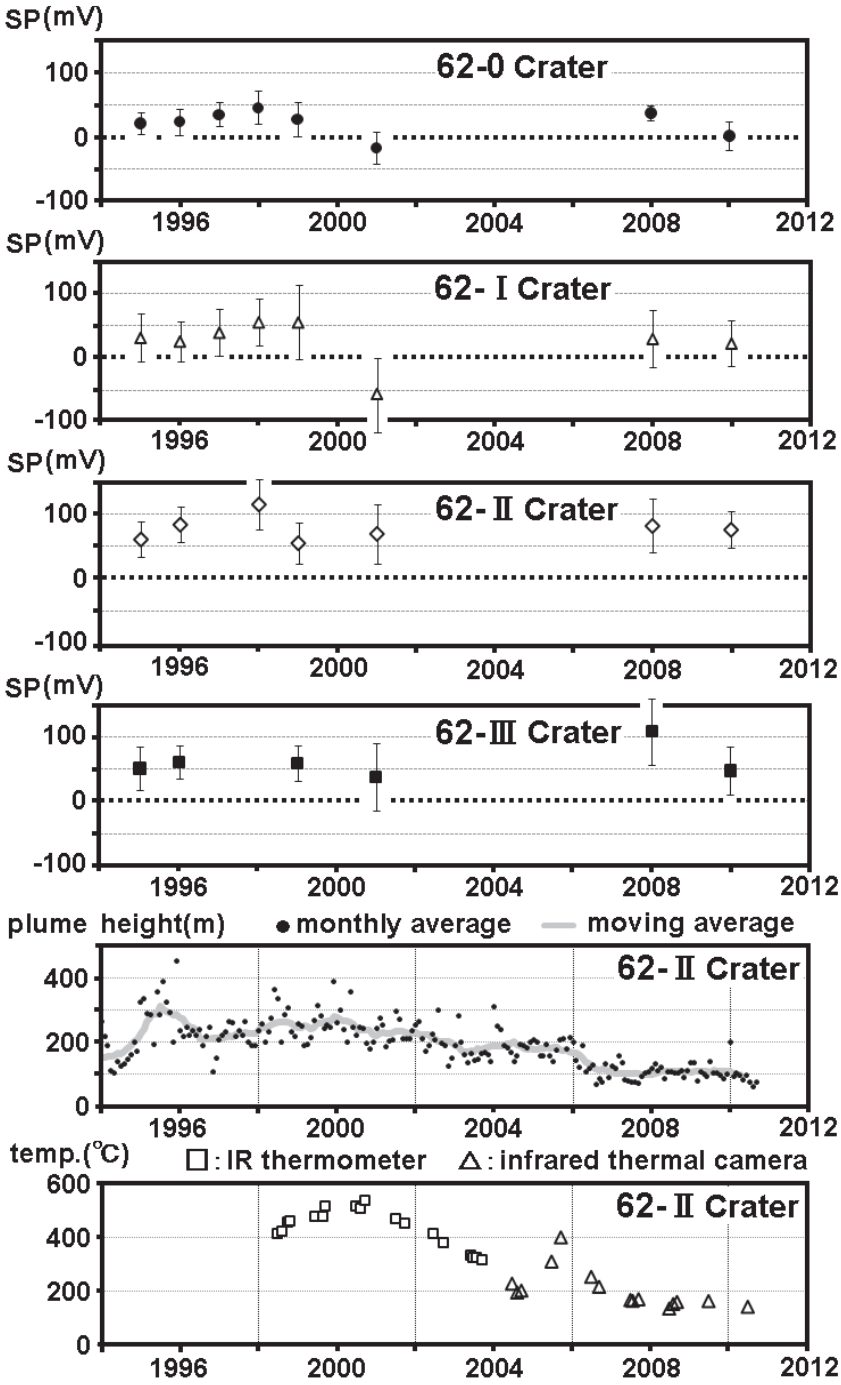

Fig. 9. Temporal variations of SP for 62-0, 62-Ⅰ, 62-Ⅱ, and 62-Ⅲ Craters, plume height and temperature at 62-Ⅱ Crater.

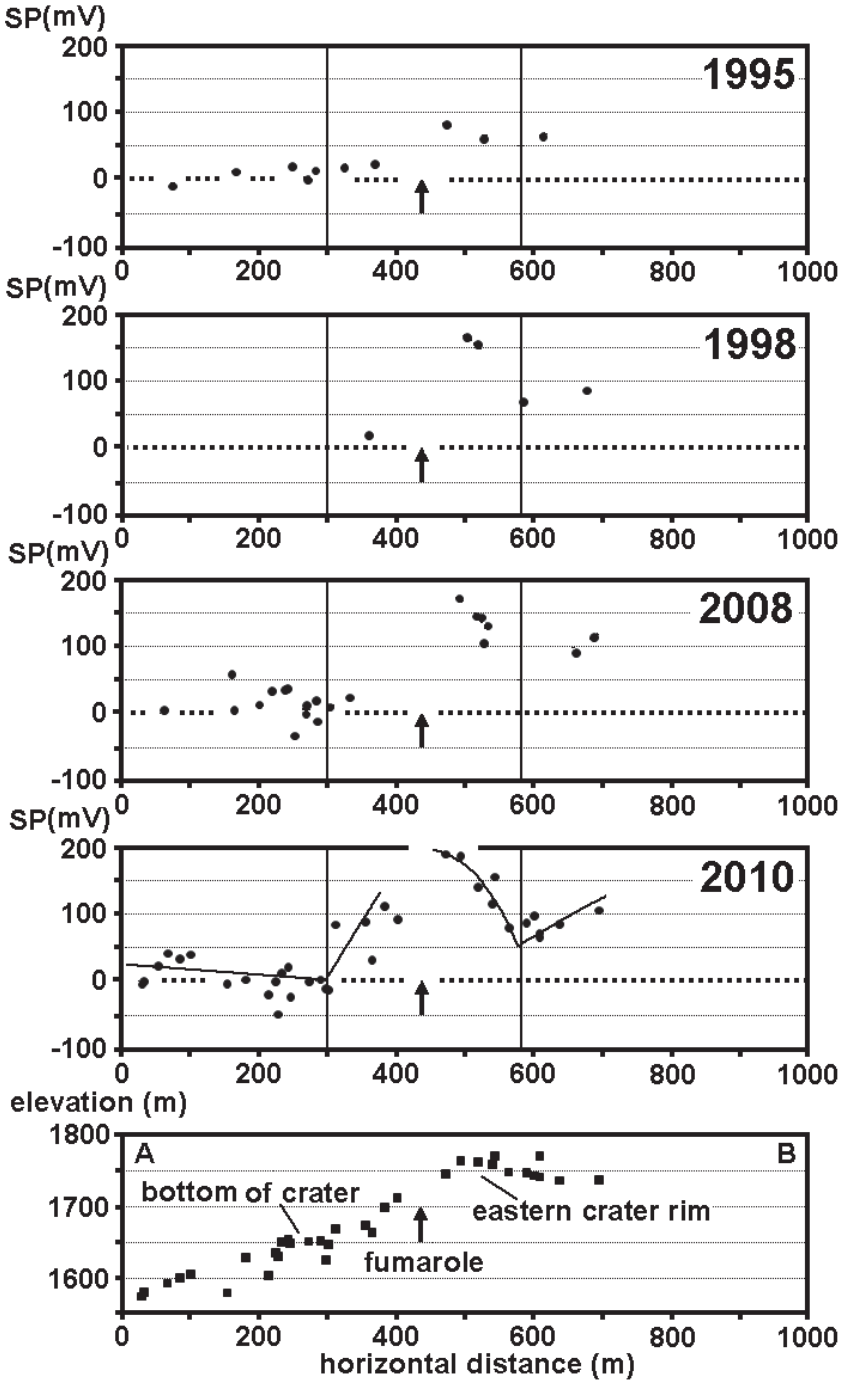

Fig. 10. Temporal variations of spatial distribution of SP for Taisho Crater (PR-2) along the AB line in Fig.7.

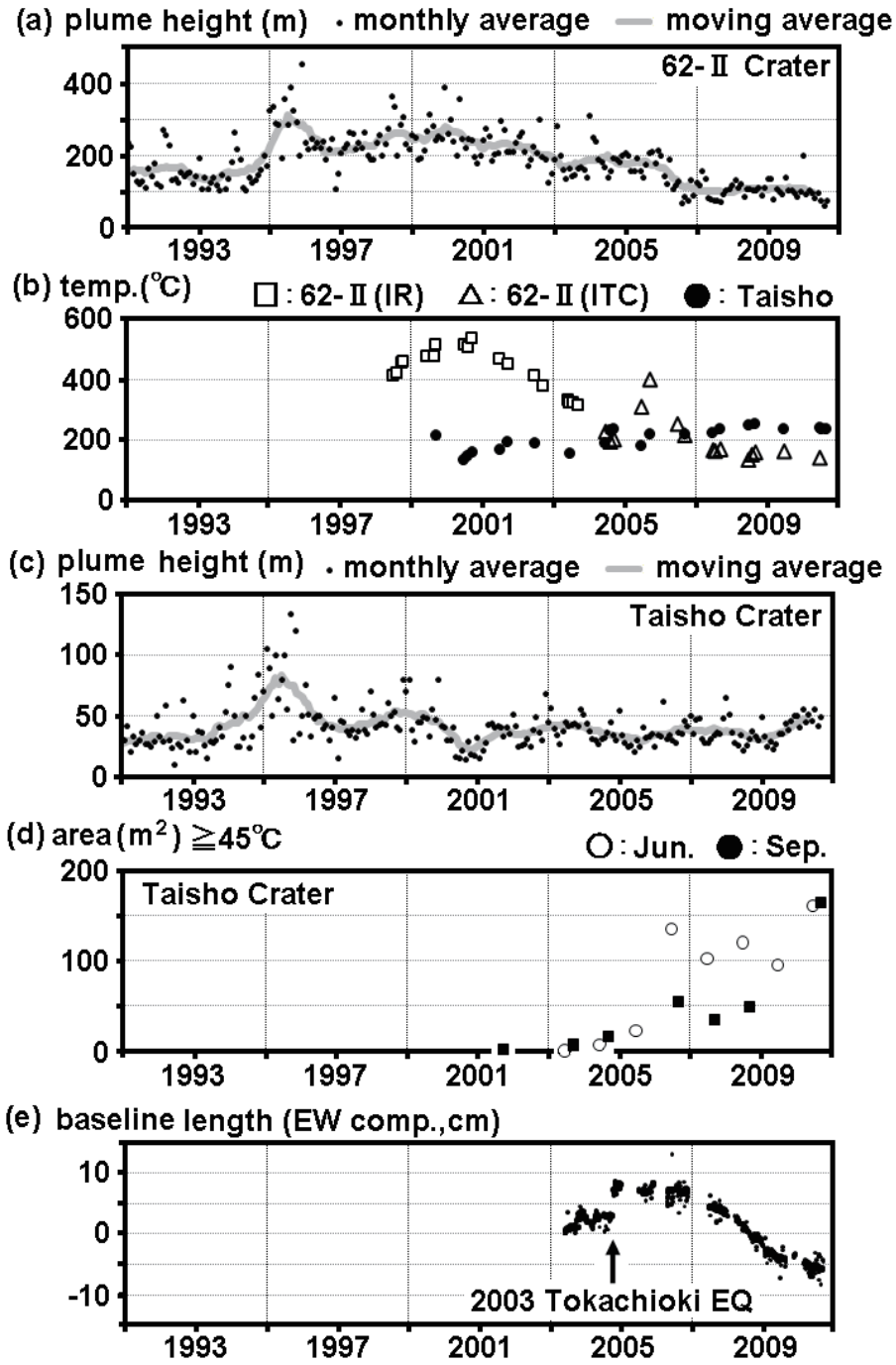

Fig. 11. Temporal variations of recent volcanic activity at Tokachidake.

Ⅳ．ま　と　め

十勝岳では1995年2月に62-0火口で噴気活動が再開して以来，火山活動が活発化した．熱活動の進行を捉える目的で，62火口群周辺を中心に1995年以来，8回のSP繰り返し測定を実施した．その結果，62火口群では浅部熱活動の消長に対応したSP分布の時間変化を捉えることができた．また，大正火口では，最近の熱活動の高まりに対応すると考えられる高電位異常の出現を捉えることができた．さらに，2006年以降見られている浅部熱活動の変化に関連したSP分布の変化も捉えることができたと考えている．ただし，今回はSP分布の定性的な評価を行ったにすぎず，定量的な議論は一切行っていない．浅部熱活動の推移を解釈するためには，データの蓄積を進めつつ，比抵抗や地殻変動などその他のデータも含め統一的に説明する物理モデルを構築する必要がある．

十勝岳では，次期噴火に向け今後の火山活動の推移が注目されている．1962年以来，十勝岳の活動中心として考えられてきた62火口群に注目することはもちろんのこと，今後は過去約100年の間，熱活動を継続してきた大正火口にも注目する必要があると思われる．

謝　辞　繰り返し測定には次の方々が参加されました（所属は当時のもの）：宮本聖史・松山輝雄・佐藤十一・池田友紀子・橋本政樹（札幌管区気象台），一柳昌義・田村　愼・吉田邦一・ニコライーシェスタコフ・熊谷玲美（北海道大学），石丸　聡・廣瀬　亘（北海道立地質研究所）の諸氏．ここに記してこれらの方々に感謝申し上げます．

文　献

相沢広記・長岡信太郎・小川康雄・志藤あずさ・石戸経士，2008．自然電位と比抵抗構造と地熱兆候分布を説明する火山体内部水流モデル構築の試み，CA研究会論文集．

Hashimoto T. and Y. Tanaka, 1995. A Large Self-Potential Anomaly on Unzen vocano, Shimabara peninsula, Kyushu island, Japan, *Geophys. Res. Let.*, **22**, 191-194.

橋本武志・西村三治・有田　真・山本輝明・小木曽　仁・重野伸昭・岡崎紀俊・茂木　透，2010．十勝岳の全磁力変化と蓄熱過程，北海道大学地球物理学研究報告，**73**，269-280．

石戸経士，1981．地熱水対流に伴う流動電位―地熱地域における自然電位異常の１つのメカニズムとして―，日本地熱学会誌，**3**，87-100．

Ishido, T., T. Kikuchi, N. Matsushima, Y. Yano, S. Nakao, M. Sugihara, T. Tosha, S. Takakura and Y. Ogawa, 1997. Repeated Self-Potential profiling of Izu-Oshima Volcano, Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, **49**, 1267-1278.

Ishido, T., 2004. Electrokinetic mechanism for the "W"-shaped self-potential profiling on volcano, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L15616.

石塚吉浩・中川光弘・藤原伸也，2010．十勝岳火山地質図，火山地質図，No.16．

気象庁，2008．十勝岳噴火警戒レベル，気象庁ホームページ（http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/level_toha/level_108.htm）．

気象庁，2009．第 114 回火山噴火予知連絡会資料．

Nishida, Y. and H. Tomiya, 1987. Self-Potential studies in volcanic area (1)－Usu volcano－, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, *Ser. Ⅶ*, **8**, 173-190.

Nishida, Y., N. Matsushima, A. Goto, Y. Nakayama, A. Oyamada, M. Utsugi and H. Oshima, 1996. Self-potential studies in volcano area (3) － Miyake-jima, Esan and Usu －, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, *Ser Ⅶ*, **10**, 63-77.

岡崎紀俊・秋田藤夫・村山泰司・黒沢邦彦・荻野　激, 1994．十勝岳 62- Ⅰ火口周辺の比抵抗変化（1989 年～ 1993 年），地下資源調査所報告，**66**，69-83.

札幌管区気象台・旭川地方気象台，1990．昭和 63 年 12 月から平成元年 3 月 5 日までの噴火活動，災害時火山現象調査報告，207pp.

札幌管区気象台，2001．十勝岳・樽前山，北海道地域火山機動観測実施報告，**21**，110pp.

山谷祐介・橋本武志・茂木　透・村上　亮・岡崎紀俊・吉本充宏・伏谷祐二・橋本政樹・山本輝明・西村三治・有田　真・的場敦史・土屋遼平，2010．十勝岳 62- Ⅱ火口周辺の 3 次元比抵抗構造，北海道大学地球物理学研究報告，**73**，281-294.