

比抵抗・地温・磁気測定から見た有珠西山火口付近の地熱活動

高倉伸一・松島喜雄（産業技術総合研究所）

佐波瑞恵(北海道大学大学院理学研究科)

Geothermal activity around the Nishiyama craters, Usu volcano, estimated from resistivity, ground temperature, and geomagnetic data

Shinichi Takakura, Nobuo Matsushima (Geological Survey of Japan / AIST)

Mizue Saba (Graduate School of Science, Hokkaido University)

1. はじめに

北海道有珠山の西山火口群の西部（第1図）では、有珠山2000年噴火後に新規に地熱地帯が生成され、地表では活発な噴気や温泉が観察されるようになった(宇井ほか,2002)。この新生地熱地帯の範囲は現在も広がりつつあることから、地下では活動的熱水系の存在が予想されている。そこで、地下の活動的熱水系の状況を推定し、地熱地帯の発達推移をモニタリングするための基礎資料を得るため、当該地域で比抵抗・地温・磁気の繰り返し測定を実施した。本報ではこれらの結果を示すとともに、推定される当該地熱地帯の地下の状況について考察する。

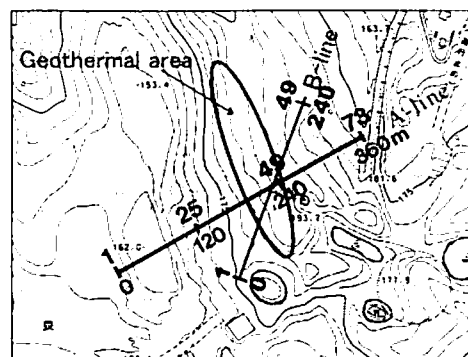
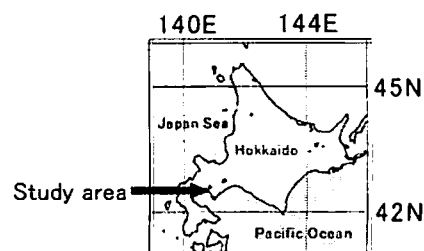
2. 調査の概要

比抵抗と地温の測定は測線Aに沿って、2000年12月、2001年10月、2002年3月と12月に実施した。第1図に示すように測線は長さ360mで、東北東-西南西(N63°E)方向で、噴気活動や温泉活動が見られる開口割れ目とほぼ直交している。

比抵抗の測定は測線上に水平距離ほぼ5m間隔に鉄製の電極を73本配置して、SYSCAL-R2を用いてダイポール・ダイポール配置およびウエナ配置でデータを取得した。なお、電極番号は最西端の電極を1番(距離:0m)とし、最東端の電極を73番(360m)とした。

地温の測定では熱電対温度計を用いて、それぞれの電極の近傍で67cm深の温度を計測した。

磁気の測定は測線Aおよび測線Bに沿って、2002年3月と12月に実施した。測線Bは長さ240mで、北北東-南南西方向(N21°E)である。いずれの測線においても、セシウム磁力計(Geometrics, G858)を用いて、5m間隔で全磁力測定を行った。

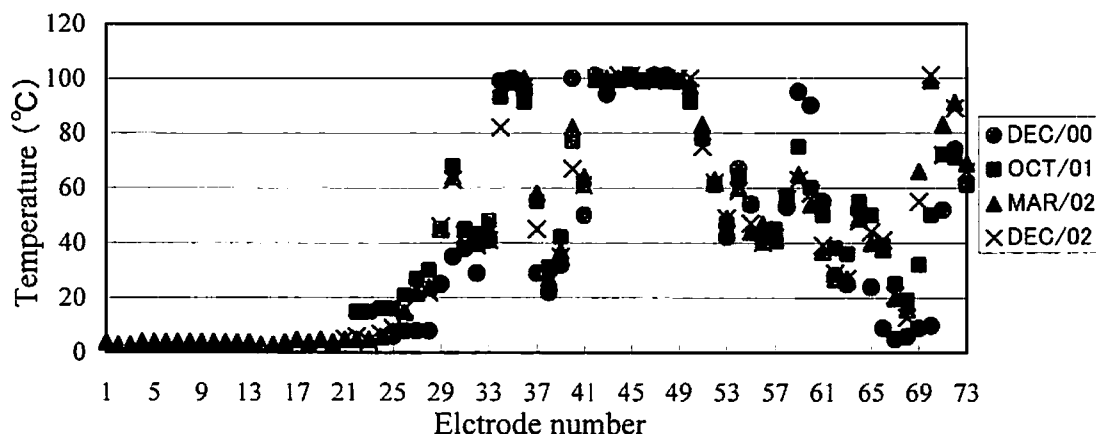


第1図 有珠山の位置と西山火口の地形と測線。

3. 調査結果

3.1 地温データ

これまで得られた4度の地温データを第2図に示す。温泉・噴気帯は電極番号43から47で観察されるが、その範囲を含む43~49で地温はほぼ100℃を示す。電極番号34から64の間は地温の高いところであるが、2000年12月から2002年12月まではほぼ一定の温度を保っている。ただし、電極番号41および60~61付近では地温の低下が見られる。電極番号33より西側および65より東側では地温は時間とともに上昇する傾向があり、地熱地帯が水平的に拡大していることがわかる。



第2図 測線における67cm深地温の変化。

3.2 比抵抗構造

各測定で得られたデータに2次元解析を適用し、得られた比抵抗構造を第3図に示す。電極番号29から64まで地表は10Ωm以下の低比抵抗を示し、その深部には数Ωm前後の低比抵抗層が深度10~20m付近まで存在する。この範囲は67cm深地温が約100℃を示す場所であるので、地表の比抵抗はおもに高温あるいは熱水の存在を反映していると思われる。低比抵抗の原因の一つとして、地表に堆積する粘土質の火山噴出物の存在が考えられる。電極番号16より西側の地表は噴出物で覆われていないが、ここが高比抵抗を示すことより、噴出物の影響があることは確かである。しかし、電極番号20~28付近および66~69付近も同様の噴出物に覆われているが、地表は比較的高比抵抗を示すので、高温あるいは熱水の存在という要因に比較すると、噴出物の比抵抗への影響は小さいと考える。

深度約20m以下は20~50Ωm前後の比抵抗を示すが、電極番号43~52前後では100Ωm以上の高比抵抗帯が現れている。この範囲の地表では活発な噴気活動や温泉活動が観察されることより、最も熱水活動が活発な場であり、地下深部から大量の熱が上昇してきていると推定される。したがって、この高比抵抗帯は高温の蒸気により地層中の水分が減少した領域(蒸気溜り)と考えることができる。あるいは、この付近では火山噴火に伴い大きな隆起が起きている(三浦・新井田,2002)ことより、高比抵抗帯は火山噴出物が堆積する以前のもともとの地盤が隆起したことを反映している可能性もある。

3.3 比抵抗構造の変化

比抵抗構造の時間変化を詳しく検討するため、各測定で得られた比抵抗の変化率を計算した。変化率は前の測定時の比抵抗を ρ_1 と、後の測定時の比抵抗を ρ_2 として、変化率 R を以下のように定義した。

$$R = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1 \times 100 \quad (\%)$$

2000年12月から2001年10月までの比抵抗変化率の断面を第4図(a)に、2001年10月から2002年3月までの比抵抗変化率の断面を第4図(b)に、2002年3月から2002年12月までの比抵抗変化率の断面を第4図(c)示す。また、2000年12月から2002年12月までの2年間の比抵抗変化率の断面を第4図(d)示す。第2図と比較すると、地表付近は比抵抗の変化と温度の変化とは整合的であると判断できる。すなわち、温度が上昇した場所は比抵抗が低下し、温度が低下した場所は比抵抗が上昇している傾向がある。ただし、電極番号40から50にかけての地表付近では温度はほぼ100°Cで一定であるが、比抵抗は全体的に高くなっている。これは、地表付近の噴出物中の水分が蒸発して、地表付近が乾燥したからと考えられる。

深度10~20m付近は比抵抗が上昇している部分が多く、逆に深度30m以深は比抵抗が低下している部分が多い。この原因については、現段階では不明である。可能性の一つとして、地下では温度が時間とともに下降しており、深度10~20m付近はその影響により比抵抗は上昇し、深度30m以深は温度の低下により蒸気が熱水に変化したため、比抵抗が低下したことがあげられる。この可能性が正しければ、地下深部から熱の供給が減っており、地表あるいは周辺からの冷却が進んでいると推測できる。

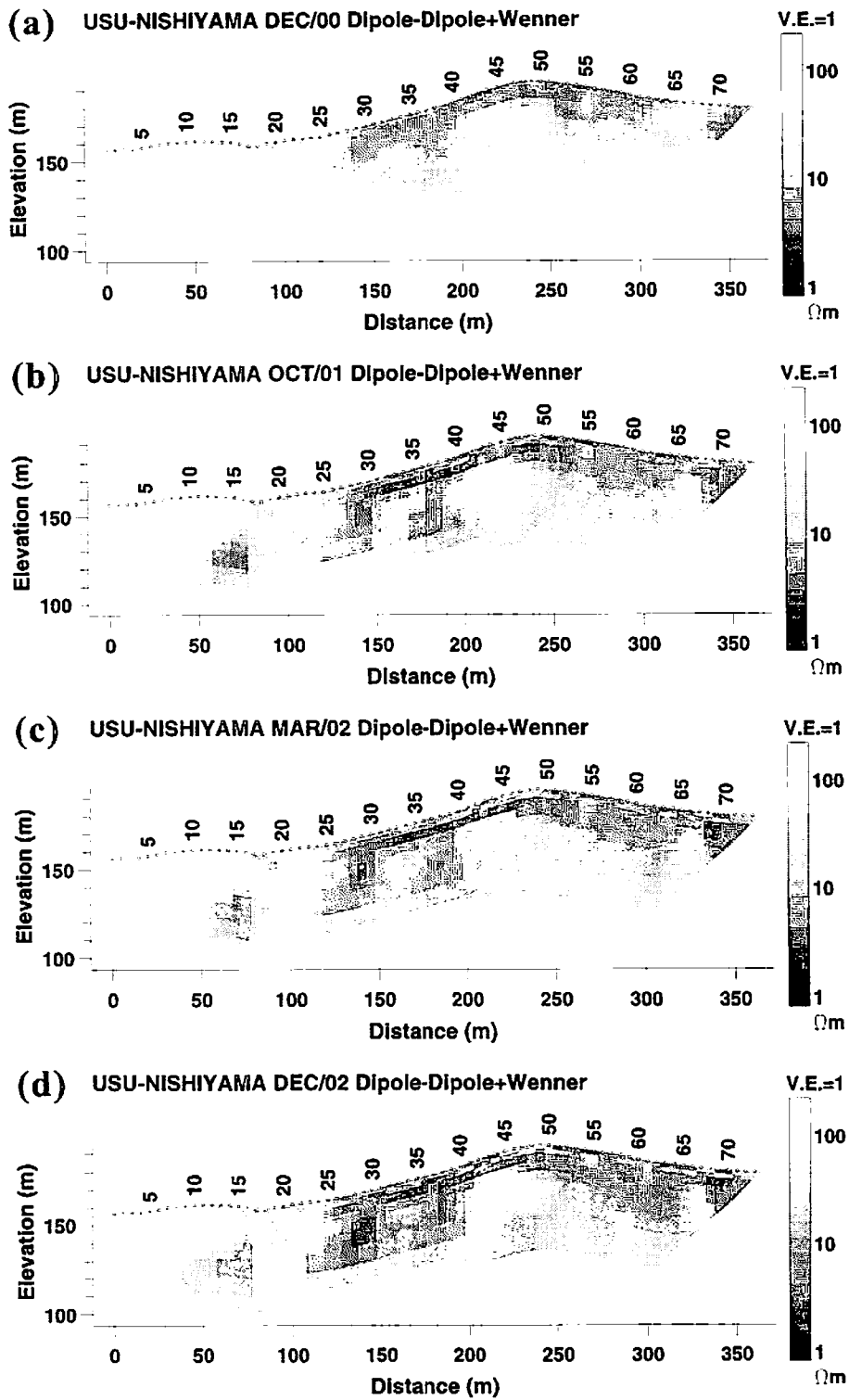
また、それぞれの図を比較すると、期間は長いものの2000年12月から2001年10月までの変化の方が、他の期間での変化より大きいことがわかる。2000年3月に開始された火山活動が収束に向かうにつれて、地熱活動の変化も小さくなり、比抵抗構造の変化も小さくなっていると考えられる。しかし、測線の端の方では、比抵抗の低下が見られる。地熱活動は小さくなっているものの、熱は周辺に拡散しているものと考えられる。

3.4 全磁力測定結果

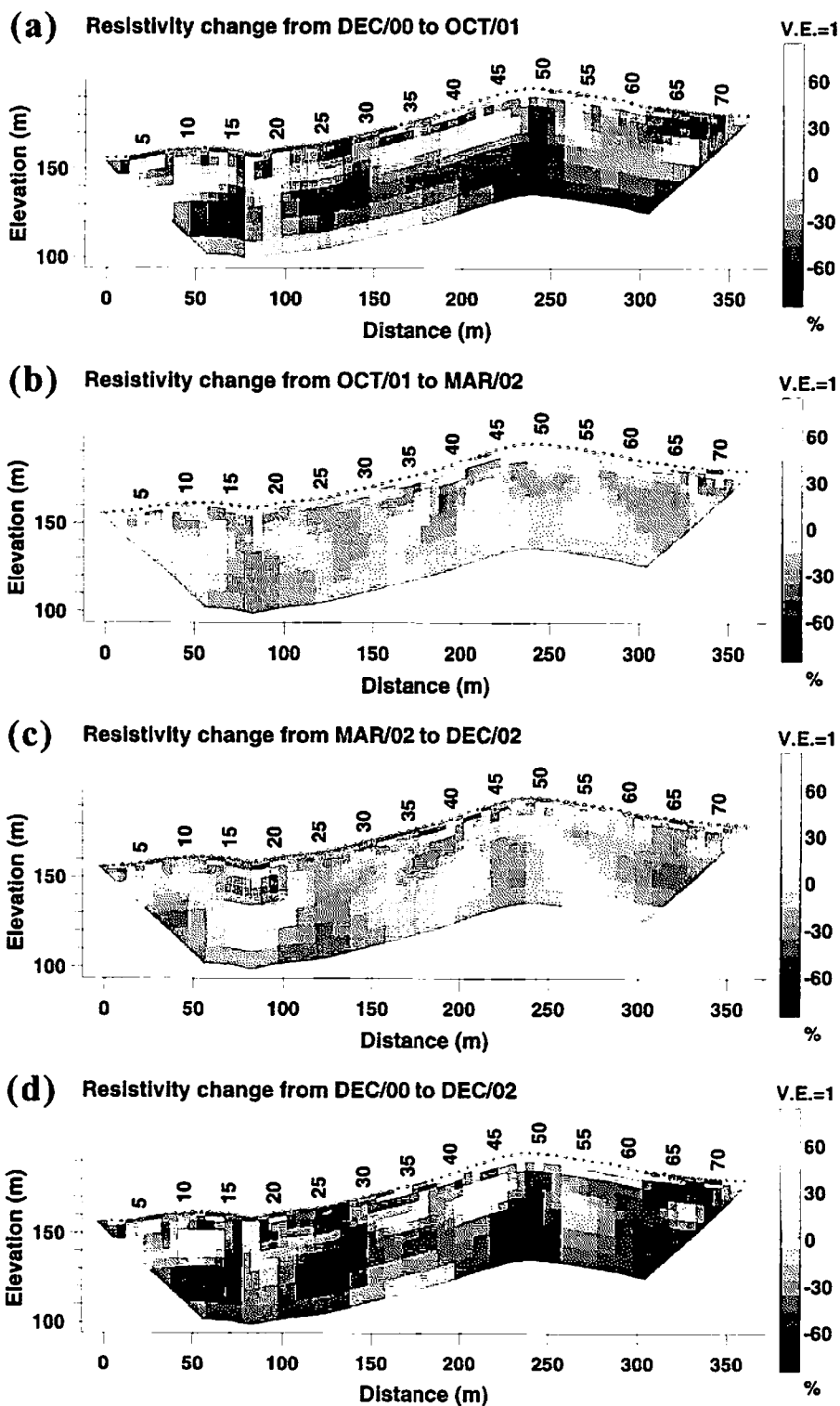
全磁力の測定結果を、第5図(2002年3月)と第6図(2002年12月)に示す。図中の点線は同じ測点での地中温度値(67cm深)である。測線A、Bともに、地温の高い部分に対応して約1500nTの全磁力の負異常(A測線で150mから250m、B測線で80mから150m)が現れている。その傾向は3月、12月ともに変わらない。12月の結果から3月の結果を差し引いたものを第7図に示す。地球磁場は時間変化するので、異常がないと思われる0から100mのあたりを基準にすると、負異常のみられた場所での有意な変化はないようである。

3.5 全磁力の負異常の解釈

比抵抗断面の電極番号45番の直下、15mから25mの深度で幅約20mの矩形領域が数100Ωmとな



第3図 各測定時の比抵抗断面。(a)2000年12月、(b)2001年10月、(c)2002年3月、(d)2002年12月。



第4図 比抵抗の時間変化断面。(a)2000年12月から2001年10月までの比抵抗変化率。(b)2001年10月から2002年3月までの比抵抗変化率。(c)2002年3月から2002年12月までの比抵抗変化率。(d)2000年12月から2002年12月までの2年間の比抵抗変化率。

り顕著な高比抵抗異常を示している。ここでは、地表において、噴気や温泉水の湧出が特に多いので、高比抵抗異常の一つの解釈として、蒸気が存在することによって比抵抗値が増したと考えることができる。これを蒸気溜りと考え、温度はキューリー一点温度（約 500°C）より高いと仮定し、地下の直方体領域の熱消磁によって全磁力の負異常の説明を試みた。

岩石が地球磁場の方向に一様に帯磁しているとし、直方体の部分だけ消磁したときの全磁力異常を Bhattacharyya(1964)の方法を用い、幅や奥行きや高さを変えたモデル計算を行った。ここで、もともとの帯磁の強さを 10A/m とした。試行錯誤の結果、蒸気溜り（熱消磁域）を幅 20m、奥行き 200m、厚さ 100m としたときに、第 8 図のように比較的よく観測値に一致することがわかった(基準値を 48500 nT とした)。なお、奥行きと厚さは設定値よりさらに大きくしても結果は変わらない。

ただし、高比抵抗域は深度 15m から 25m までの厚さ 10m 程度であるが、熱消磁域は、深度 15m から 100m 以上の厚さである必要がある。すなわち、より深部へ伸びていなければならない。一つの解釈として、地下深部のマグマによって熱せられた加熱蒸気が割れ目に沿って地下浅部まで分布しており、その蒸気域の一部を、電気探査において高比抵抗域として、磁気探査で熱消磁域として観測したと考えられる。

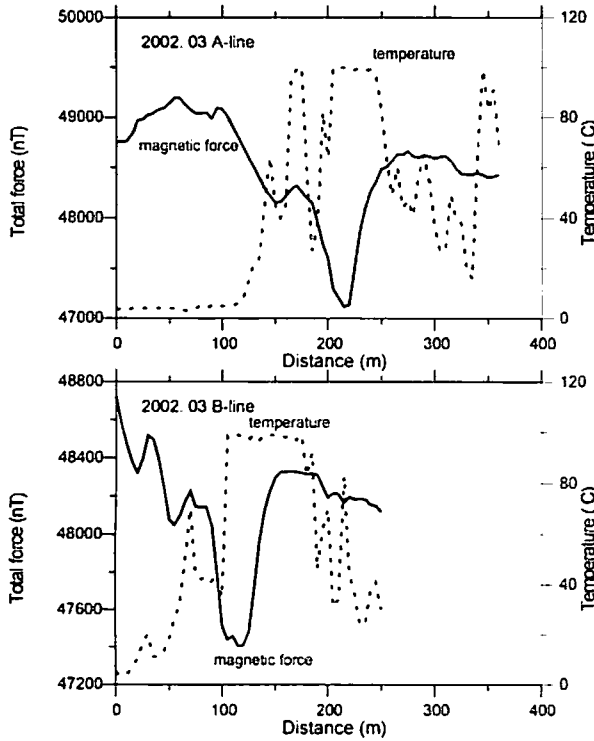
4. おわりに

本報では、有珠火山 2000 年噴火の後、西山火山口群の西部に生成された地熱地帯で実施した比抵抗、地温、磁気の繰り返し測定について述べた。これまでの結果、地熱地帯の浅部比抵抗構造とその変化がわかり、地表付近では温度の変化が比抵抗の変化に大きく反映されることが明らかになり、蒸気溜まりと考えられる高比抵抗域を熱消磁域と考えると全磁力異常を説明できる可能性が示された。また、深度 10m の比抵抗構造が時間変化をしていることから、地熱地帯の発達に伴い深部の温度分布や熱水あるいは蒸気の分布も変化していると予測された。

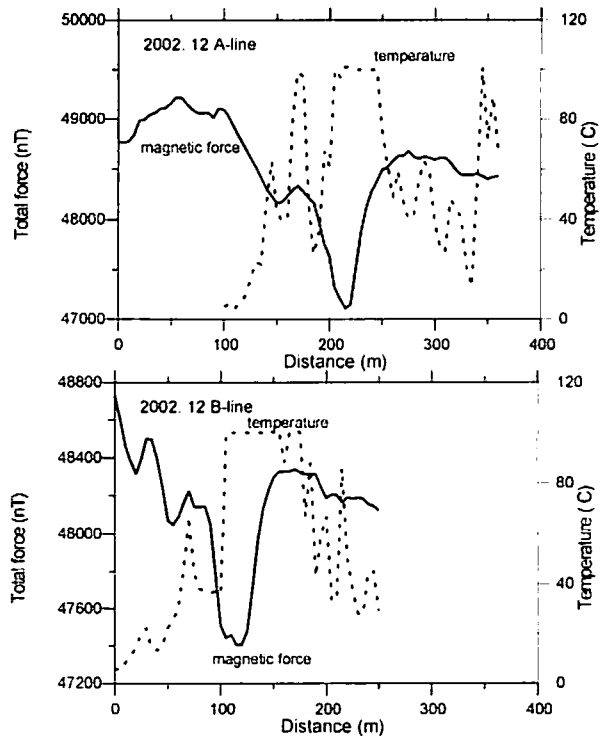
当該地域において地下の変動を把握するための測定を繰り返すことで、地熱系発達過程のモデルを構築し、熱水活動の変化の予測も可能になるであろう。この研究で対象としている地熱系は、最近の火山噴火に伴った時間的にも空間的にも小さなスケールの現象であり、観測しやすいという利点がある。得られる結果は、地熱開発地域のような大きなスケールの地熱系に応用することができると考えて、今後、このような実証的研究を進めていくつもりである。

参考文献

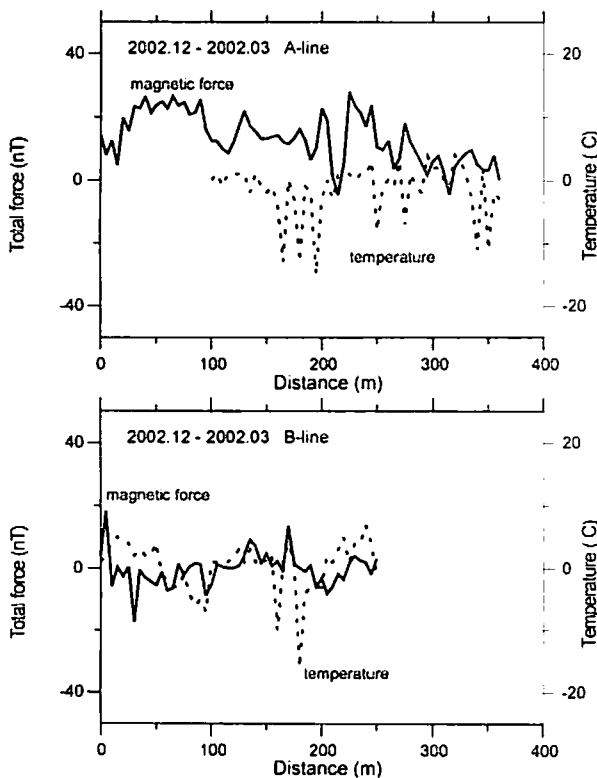
- Bhattacharyya, B., K. (1964): Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization, *Geophysics*, 4, 517–531.
oc. Petr. Eng. J., 8, 107-122, 1968.
- 三浦大助・新井田清信 (2002) : 有珠山 2000 年噴火における岩脈貫入過程と潜在ドームの形成メカニズム, *火山*, 47, 119-130.
- 宇井忠英・中川光弘・稲葉千秋・吉本充宏・総合観測班地質グループ(2002): 有珠火山 2000 年噴火の推移, *火山*, 47, 105-117.



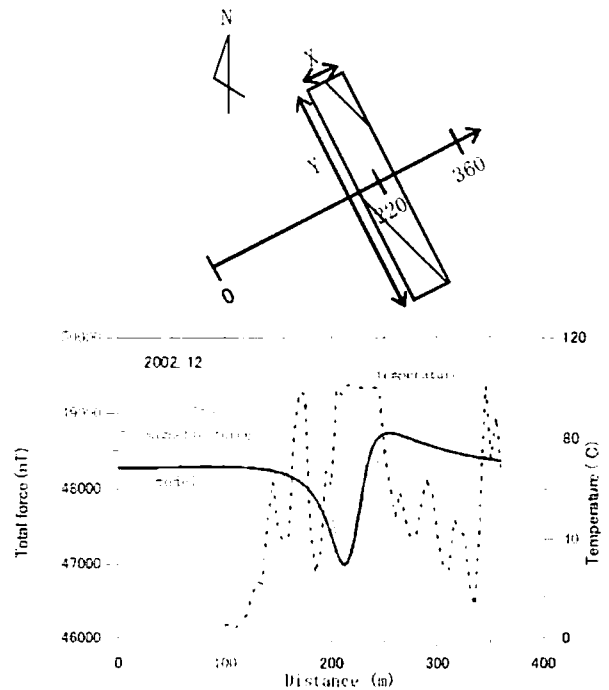
第 5 図 2002 年 3 月の全磁力(実線)と地温(点線)の測定結果。



第 6 図 2002 年 12 月の全磁力(実線)と地温(点線)の測定結果。



第 7 図 12 月と 3 月の全磁力の差。



第 8 図 最適モデルと観測値の比較。