

有珠火山周辺における地下水観測

佐藤 努¹・松本則夫¹・高橋 誠¹・太田英順²・松島喜雄¹
秋田藤夫³・柴田智郎³・鈴木敦生⁴

Tsutomu SATO, Norio MATSUMOTO, Makoto TAKAHASHI, Eijun OHTO, Nobuo MATSUSHIMA, Fujio AKITA, Tomo SHIBATA and Atsuo SUZUKI (2001) Observation of water level, temperature and electric conductivity of groundwater around Usu Volcano. Bull. Geol. Surv. Japan, vol.52 (4/5). p. 143 - 148, 6 figs. 1 table.

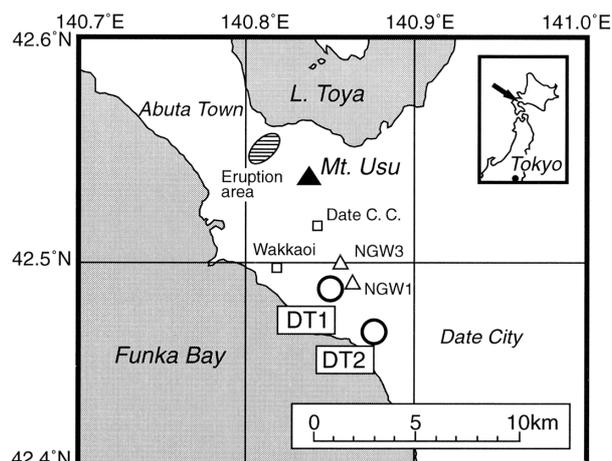
Abstract : Observation of water level, temperature and electric conductivity of groundwater started at the DT1 and DT2 wells where remarkable groundwater-level changes were observed related to the 2000 eruption of Usu Volcano. Especially in DT1 an anomalous groundwater discharge of over 400 L/min began on March 30, a day before the volcanic eruption. After the eruption, the water levels at both the wells have gradually decreased. The water level in DT1 continues to decay on October, while the water level in DT2 returned the previous level on July. No significant change was observed in the temperature and electric conductivity of groundwater.

要 旨

有珠火山2000年噴火に伴って著しい水位変動が観測された観測井(DT1とDT2)において,水位,水温,電気伝導率の観測を開始した.特にDT1では,噴火の1日前の3月30日に毎分400リットルを越える地下水の自噴が起きている.噴火後,DT1とDT2の水位は徐々に低下した.DT1の水位は10月の時点でもまだ低下しているが,DT2では7月に元のレベルに落ち着いた.水温と電気伝導率には顕著な変化は観測されていない.

1. はじめに

2000年3月31日に23年ぶりに噴火した有珠火山では,その周辺で様々な地下水の異常が生じた(秋田ほか,2000).その中でも顕著な例として挙げられるのが,地下水位の上昇や自噴である.伊達市に位置するDT1(第1図)では,噴火の3日前からの水位上昇開始と,噴火前日からの自噴が北海道通商産業局によって観測された(佐藤ほか,2000).この時の水位上昇量は,自噴に至るまでに約4m,自噴後はさらに約6mと推定されている(Matsumoto *et al.*, 2001).もう一つの観測井(DT2:第1図)においても,噴火の前に約1mの水位上昇が観測されている.これらの水位上昇は,マグマの上昇に伴う縮みの



第1図 観測井DT1とDT2の位置.四角印は1977年の噴火の際,地下水にHCO₃⁻濃度の上昇が観測された場所.三角印は今回の噴火に伴って著しく動水位が変化した伊達市の水道ポンプ場.

Fig. 1 Location map of the DT1 and DT2 wells. Squares show locations of the Date C. C. well and the Wakkaoi spring where increment of bicarbonate ion concentration were observed after the 1977 eruption of Usu Volcano. Triangles are wells for water supply where water levels changed related to the 2000 eruption.

¹ 地球科学情報研究部門 (Institute of Geoscience, GSJ)

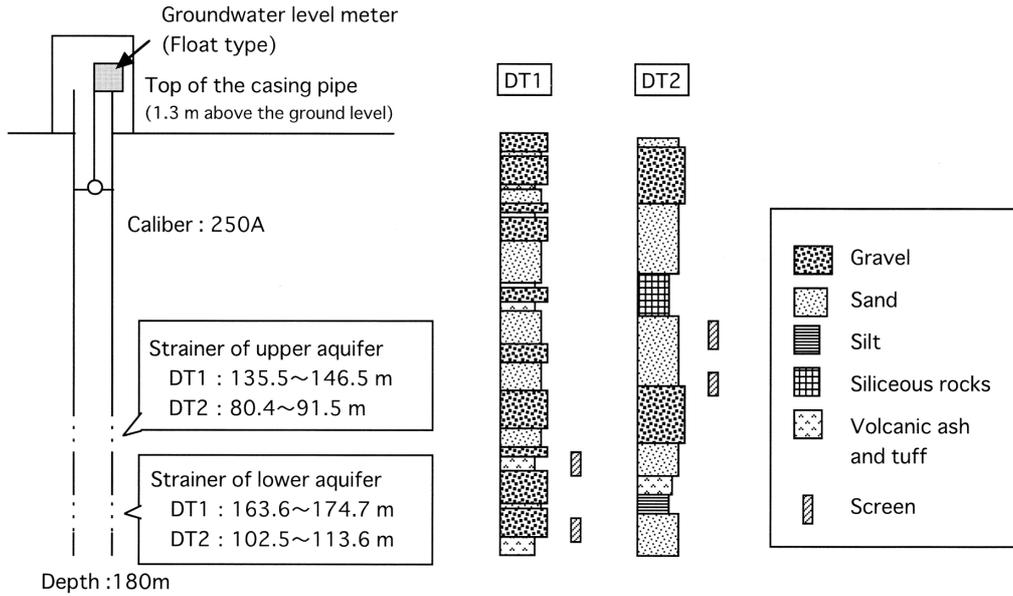
² 北海道地質調査連携研究体 (Hokkaido Branch, GSJ)

³ 北海道立地質研究所 (Geological Survey of Hokkaido)

⁴ 北海道大学大学院 有珠火山観測所

(Usu Volcano Observatory, Graduate School of Science, Hokkaido University)

Keywords : groundwater, observation well, Usu Volcano, volcanic eruption



第2図 観測井の構造と柱状図.

Fig. 2 Schematic structure and geologic log of the DT1 and DT2 wells.

地殻歪によってもたらされたと考えられ、よって噴火の前兆現象と注目された(佐藤ほか, 2000)。

地質調査所では、両観測井において水位・水温・電気伝導率の連続観測を開始した。本報では、この地下水観測に関する詳細と観測結果について述べる。

2. 観測井について

DT1とDT2は、北海道通商産業局によって1994年度の地下水利用適正化調査のために伊達市内に掘削された観測井である。DT1は伊達市立長和中学校の校庭に、DT2は伊達市立伊達小学校の校庭に位置する。北海道通商産業局(1995)によると、深さは共に180mで、井戸の径は250mmである。ストレーナーはそれぞれ上下2カ所に設置されており、共に第四紀層に位置している(第2図)。伊達市付近の第四紀層は主に礫と砂の互層から成り、この地域で最も地下水が利用されている帯水層となっている。掘削後の揚水試験によって求められた透水量係数はDT1が $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 、DT2が $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ で、ストレーナー長から単純に計算される透水計数は両観測井とも砂層と同程度の値を示している。

両観測井における地下水観測は、1995年4月から開始され、観測項目は水位のみであった。観測井の孔管は地表約1.3mの高さまで立ち上げられており、その上部にはフロート式水位計(横河ウエザック製W-761型)が設置されていた。この水位計は水位変化を1cmの精度でチャート紙にペン記録し、電池で駆動するものである。観測井の地表部は簡易な建屋で覆われ、電気等の引き込みはされていない。

3. 観測井の整備

地質調査所ではDT1とDT2の整備を行い、水位、水温、電気伝導率の連続観測を開始した。整備の項目は、以下の4点である。

1) 孔口の改造。孔口に蓋を取り付けて密閉できる構造とした(第3図)。DT1では最初の噴火の前日から大量の地下水が自噴し、観測井の位置する長和中学校の校庭が水浸しになるほどであった。自噴量は多い時には毎分400リットルに達し、その後だんだんと減少したものの5月末までの2ヶ月間続くこととなり、学校生活に影響を与えた。DT2では自噴は起こらなかったものの、噴火に伴う水位上昇によって地表から約1mの深さまで地下水が上昇した。自噴を停止あるいは防止するために、両観測井の孔口にフランジを溶接し、蓋をフランジにボルト固定して孔口を密閉した。各種センサーは、蓋に開けたセンサー用の穴を通して設置し、テーパ状に加工したゴム栓で穴をふさいだ。ゴム栓は専用の蓋を用いて上から押さえつけ、気密性を保持している。この工事によって、観測井は水位が孔口より上昇しても地下水が外にあふれ出ない構造となった。また水位計に圧力式センサーを採用することによって、そのような場合でも連続的に水圧が測定できるようになった。ただし過剰に水圧が上昇した場合、ストレーナー上部のパッキングが壊れて孔管の外側から漏水する可能性があるため、孔管の地上部に排水用の設備も取り付け、水圧を逃がすことができるようにした。

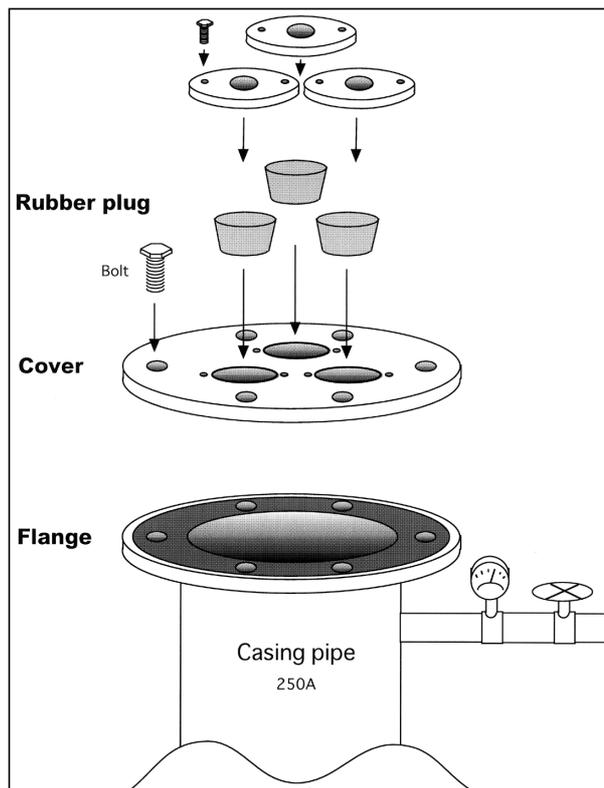
2) 水位計の交換。水位計を圧力式水位計(横河電子機器製W-445型)に交換した。その主な理由は、孔口を密閉して水圧を測定するためである。その他にも、分解能を

1mmにしてより精度のある観測を行うためと、データ通信のために電気信号が得られる機器に交換するという意味を持つ。得られた水位データの解析には気圧および雨量データが必要なため、気圧計（横河電子機器製F - 4711型）と雨量計（横河電子機器製B - 011型）を設置した。伊達市は寒冷地であるため雨量計はヒーター付きのものを選択し、外気温計（Pt100Ω）を設置して外気温が5℃以下になるとヒーターが作動するように設定した。また、室内温度監視のための室内温度計（Pt100Ω）も設置した。

3) 機器の追加。新たに水温計（テクノセブン製D642型）や電気伝導率計（CTIサイエンス製KX22J型）を孔内に設置した。これは、水質変化について連続観測を行うためである。1977年8月から始まった前回の有珠火山噴火の際には、噴火に関連して伊達市内の2カ所（第1図の伊達カントリークラブ井戸：Date C. C.と若生湧水：Wakkaoi）において、 HCO_3^- 濃度の増加が報告されている（安孫子，1984）。この原因として、マグマから放出された CO_2 ガスの帯水層への混入が考えられている。1977年の噴火は大規模な山頂噴火であり、伊達市側の帯水層への CO_2 ガスの混入が比較的容易だったことも変化が観測された要因であると考えられる。今回の噴火は、伊達市から離れた虻田町側での山腹噴火であるため（第1図）、1977年の噴火の時のような伊達市側での地下水の化学成分の変化は観測されない可能性も考えられる。しかし、1977年の噴火における地下水に変化が現れた時期は、伊達カントリークラブ井戸では最初の噴火から約1年後からで、その後約1年間かけて HCO_3^- 濃度が1.5倍に上昇した。また若生湧水では、噴火直後と2年後のデータを比較すると HCO_3^- 濃度が3倍以上上昇した（安孫子，1984）。そのため、水温と電気伝導率の変化を捉えるためには、連続観測を今後数年にわたり実施する必要がある。具体的な観測期間としては、有珠火山山頂とDT1との距離が伊達カントリークラブ井戸との距離の2倍強である（第1図）ことから、水質変化の到達時間が約2倍として噴火開始から2年間の観測を考えている。

4) 通信の整備。新たにデータ通信のための機器や回線を設置した。転送されたデータは、火山活動の監視に役立てるためにインターネットで公開されるように設定を行った。データの更新は1日1回で、URLは<http://www.gsj.go.jp/>である。

インターネットで公開されるまでのデータの流れを第4図に示した。各機器から得られたデータは、データ記録装置（白山工業製LS - 3300PtV型）に記録される。記録されたデータは、1日2回データ制御装置（メック製MB - 3000型）によって回収される。このデータ制御装置は地質調査所北海道支所に設置されており、一般電話回線とモデム（オムロン製ME - 5614型）を経由してデータの回収を行っている。回収されたデータはデータ制御装置によって工業技術院の内部LANのTACC（Tsukuba Advanced Com-



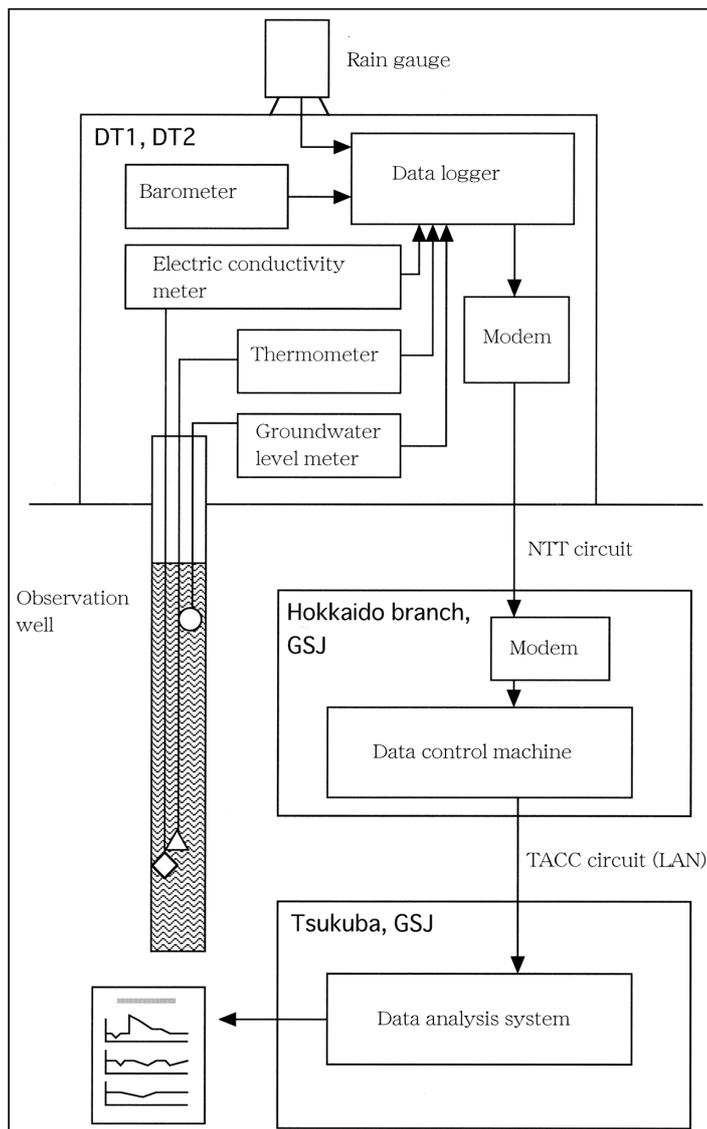
第3図 改造された孔口の構造。
Fig. 3 Repair of top of wells.

puting Center)回線を経由してつくばの地質調査所のデータ解析システムに転送される。データ解析システムでは、1日1回BAYTAP - Gを用いた水位解析が行われ、水位データから気圧や潮汐の影響が取り除かれる。最後に、解析済みのデータを用いて経時変化の図が作製され、インターネットにて公開されている。これらの一連の作業はすべて自動化されているが、データ制御装置を手動操作することにより緊急のデータ回収が行えるようになっている。なお、このデータ解析システムは、東海地域や近畿地域における地震予知研究のための地下水観測システム（佃，1998）の一部と同じ物である。

このような観測井の整備に伴って、電気工事や電話工事を行った。電気工事では耐雷措置を施し、停電対策として無停電電源装置（APC製AP500J型）を設置した。また建屋のペンキのはがれが著しかったため、耐久性を高めるための塗装工事を行った。

4. 観測結果

第5図は、2000年1月から10月までの10ヶ月間の観測結果を示したものである。Aは北海道通商産業局による観測期間、Bは北海道立地質研究所を中心とした観測期間、Cは本報で紹介した観測機器による観測期間である。なおCの期間における各センサーの設置深度は、第1表に示し



第4図 データの取得および流れ
についての概略図.

Fig.4 Outline of data sampling
and transmission.

た通りである。

まずAの期間について見ると、3月31日の噴火開始の前に急激に水位が上昇しており、この変化は明らかに異常であることがよくわかる。この時の水位上昇量はDT1が4m以上、DT2が約1mで、DT1では3月30日に自噴に至っている。水位上昇の開始時期や様子などについては、佐藤ほか(2000)に詳しく記したので参照されたい。

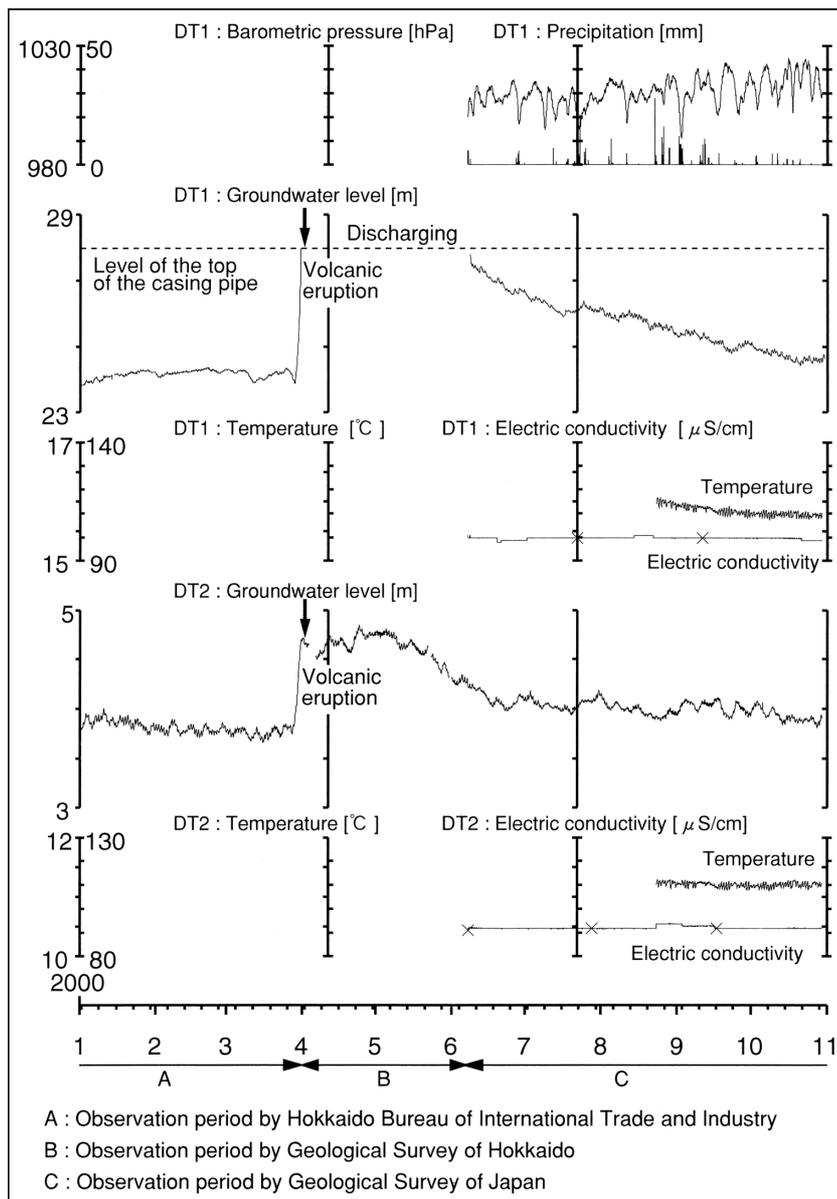
Matsumoto *et al.* (2001)は、DT1の水位変化が伊達市の2カ所のポンプ場(第1図のNGW1とNGW3)の動水

位変化と似ていることを利用して、噴火前のDT1の帯水層の圧力上昇量の推定を行い、もしDT1の管が上方に長かった場合には水位は9.7m上昇したはずと結論している。さらにMatsumoto *et al.* (2001)は、水位解析から水位変化の歪感度を求め、この水位上昇量がどれくらいの歪変化に相当するのかを計算した。これによると、DT1の9.7mの水位上昇は 6×10^{-6} から 1×10^{-5} の縮みの歪に、DT2の1mの水位上昇は 4×10^{-7} から 1×10^{-6} の縮みの歪に相当するという結果が得られている。GPSなどの地殻変動データを参考にする、この縮みの歪変化はマグマの上昇によってもたらされたと考えられることから、Matsumoto *et al.* (2001)は茂木モデル(Mogi, 1958)にこの歪変化量を当てはめ、今回の噴火の前に上昇したマグマの体積は $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ から $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ と推定している。

次にBの期間について、DT2では5月の中ごろまで水位の高い状態が続いた後、徐々に水位が低下している(第5図)。DT1では自噴が続いており、自噴量の測定結果(第

第1表 観測機器センサーの設置深度(値は管頭からの深さ)。
Table 1 Sensor locations from the top of the casing pipe.

	DT1	DT2
Groundwater level meter	28m	7m
Thermometer	170m	110m
Electric conductivity meter	170m	110m



第5図 DT1とDT2における観測結果(2000年1月～10月).

Fig.5 Results of observation at the DT1 and DT2 wells from January to October, 2000.

6図)によると,DT1の自噴量は単調に減少して5月下旬には自噴が停止した。

Bの期間には水位変化をもたらす要因がいくつか考えられるため,変化の解釈を単純に行うことはできない。まず歪変化の視点から,噴火が始まると上昇したマグマからガスや火山灰が地表に放出されるため,マグマの体積は減少し周囲には伸びの歪変化が生じると考えられる。この伸びの歪変化は,水位を低下させると予想される。しかし,もし新たなマグマの供給やマグマの移動が起きたとしたら,その量や方向によっては縮みの歪変化が起きる可能性もある。次に地下水流動の視点から,マグマの上昇によって高められた帯水層内の水圧は,地下水流動によって徐々に解消されると考えられる。これは,水位や自噴量の低下を意味する。しかし,今回のように広域的に帯水層の圧力が上昇した場合,上流側からの地下水流入も増えることに

なり,もし流入量が流出を上回る場合には逆に水位上昇が起きる可能性も考えられる。よって,Bの期間の変化の解釈を行うためには,火山活動によって生じた歪変化と観測井周辺の地下水流動を把握しなければならない。今後は,地殻変動データとの比較検討や地下水流動研究などを通して,水位変化についての解析を行う予定である。

最後にCの期間であるが,新たに水温と電気伝導率の観測が開始された。なお,水温計は電気伝導率計と同時に設置されたが,機器の不調により8月下旬まで満足なデータが得られなかったため,第5図に初期のデータは表示していない。この期間DT2では,水位は徐々に低下し,7月には元のレベルに落ち着いたように見える(第5図)。DT2の水温と電気伝導率は,水温の振幅0.2℃ほど日変化以外にはほとんど変化は起きていない。一方DT1では,水位は徐々に下がり10月の時点でも下降傾向が残ってい

る。DT1の電気伝導率はDT2と同様にほとんど変化は見られないが、水温には振幅0.2℃ほどの日変化に加えて長期の低下傾向が見られる。この水温低下は、水位の低下に連動しているように見える。

もしDT1の水温の長期的低下が水位の低下と連動しているのであれば、DT1の地下水は主に下部ストレーナーから流入している可能性が高いと考えられる。掘削後の検層の結果、DT1の温度勾配はストレーナー付近で単純増加であった(北海道通商産業局, 1995)。つまり下部ストレーナーから流入する地下水は、上部ストレーナーの地下水よりもより高温と考えられる。水位低下に伴って孔内水温が低下したとすれば、それはより高温の地下水、つまり下部ストレーナーからの地下水の流入量が減少したことを示すと考えられる。

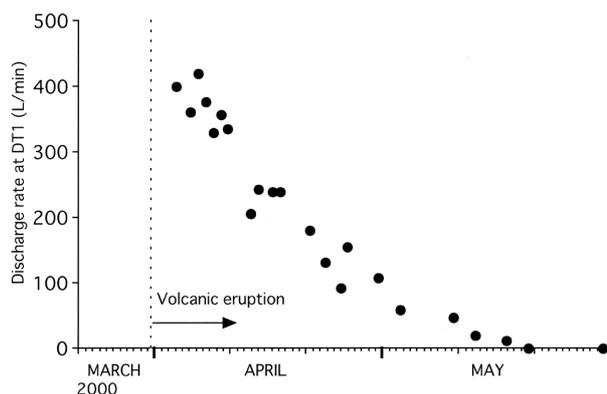
5. おわりに

2000年11月現在、有珠火山における噴火活動は小康状態となっている。今後噴火開始時のようにマグマの供給が地下深部のマグマ溜まりからもたらされたとしたら、その体積に応じて周囲に地殻歪変化が生じ、水位の変動が起きる可能性が考えられる。よってDT1とDT2の水位データの解析は、今後の噴火活動予測に重要であると考えられる。

水温や電気伝導率データには、まだ大きな変化は観測されていない。しかし、今回の噴火の際にマグマからCO₂ガスが帯水層に供給されていれば、有珠火山麓を涵養域とするとと思われるDT1の地下水の水温や電気伝導率は、今後変動する可能性がある。

今後はこれらの観測結果に注目しながら、噴火開始後の水位変化についての解析を行う予定である。

謝辞 当観測井における観測に際して、岡嶋博課長をはじめとする北海道通商産業局産業立地課の方々、伊達市経済部商工観光課の黒田正紀氏、地質調査所環境地質部の丸井敦尚氏に大変お世話になりました。データの解釈などに関して地質調査所環境地質部の風早康平氏、地殻熱部の茂野博氏、地震地質部の小泉尚嗣氏、また地質調査所有珠火山噴火対応本部の方々から様々なご指導・助言をいただきました。以上の方々をはじめ、現地調査及び測器の設置に当たり協力していただいた多くの方々に深く感謝いたします。



第6図 DT1における自噴量の変化(2000年4月~5月).
Fig. 6 Change of discharge rate at the DT1 well from April to May, 2000.

文 献

安孫子勤(1984) 1977~1978年有珠山噴火後における洞爺湖、杜暫両温泉の化学成分の経時変化。文部省科学研究費自然災害特別研究研究結果(No. A-59-4)火山ガス測定による噴火予測に関する基礎研究, 56-70.

秋田藤夫・柴田智郎・鈴木敦生・松島喜雄・佐藤 努(2000) 有珠山噴火に伴う温泉・地下水の変化(速報), 温泉科学, 50, 43-36.

北海道通商産業局(1995) 平成6年度伊達市周辺地域地下水利用適正化調査報告書, 80p.

Matsumoto, N., Sato, T., Matsushima, N., Akita, F., Shibata, T. and Suzuki, A. (2001) Hydrological anomalies before the 2000 eruption of Usu Volcano (submitted to GRL).

Mogi, K. (1958) Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 36, 99-134.

佐藤 努・太田英順・秋田藤夫・鈴木敦生・松島喜雄(2000) 2000年有珠山噴火の直前に起きた地下水の自噴, 地質ニュース, No. 551, 20-26.

佃 栄吉(1998) 変動解析研究室の現在の研究内容と今後の展望-東海地域の地震予知研究及び内陸活断層の活動モニタリング-, 地質ニュース, No. 523, 29-34.

(受付:2001年1月10日; 受理:2001年1月10日)