

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 67 No. 6 2016



国立研究開発法人

産業技術総合研究所 地質調査総合センター



平成28年

論文

- 北長期連続観測にもとづく会津盆地における地下水位及び地下水温変動の特徴
金子翔平・柴崎直明・庄司美由・内田洋平 183

概報

- 十和田火山, 先カルデラ期溶岩の K-Ar 年代
工藤 崇 209

表紙の写真

甲岳台から望む十和田湖

青森県・秋田県の県境に位置する十和田湖は、十和田火山の火山活動により形成されたカルデラ湖である。カルデラの大きさは直径約 11 km に及ぶ。十和田火山の活動史は、先カルデラ期 (55 ka 以前)、カルデラ形成期 (55–15.5 ka)、後カルデラ期 (15.5 ka–現在) の 3 つの活動期に区分される。十和田湖の外形はカルデラ形成期の噴火で形成された。後カルデラ期には、カルデラ中央部に小規模な成層火山体が形成され、その後、その頂部に直径 2 km の小カルデラが形成された。両カルデラは湖水で満たされ、二重カルデラの地形を示す。

(写真・文：工藤 崇)

Cover photograph

A view of Lake Towada from Kougakudai lookout

Lake Towada, located on the border of Aomori and Akita prefectures, is a caldera lake formed by the volcanic activity of Towada volcano. The diameter of the caldera is approximately 11 km. There are three stages in the eruptive history of Towada volcano: the pre-caldera (200–55 ka), caldera-forming (55–15 ka), and post-caldera (15–0 ka) stages. The lake was formed by eruptions during the caldera-forming stage. In the post-caldera stage, a small stratovolcano was formed in the center of the caldera, followed by the subsequent formation of a small caldera of 2 km diameter on the top. The calderas, both filled with water, have formed double caldera topography.

(Photograph and Caption by Takashi Kudo)

長期連続観測にもとづく会津盆地における地下水位及び地下水温度変動の特徴

金子翔平^{1,*}・柴崎直明²・庄司美由³・内田洋平¹

Shohei Kaneko, Naoaki Shibasaki, Miyu Shoji and Youhei Uchida (2016) Characteristics of changes in groundwater level and groundwater temperature based on long-term monitoring in the Aizu Basin, Fukushima, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.67 (6), p.183–208, 7 figs, 4 tables, 16 appendices.

Abstract: Groundwater level and groundwater temperature have continuously been monitored at 16 sites in the Aizu Basin, Fukushima Prefecture. Groundwater level, which declined by pumpage for snow-melting in winter around the urban areas, gets recovered in summer. However, it cannot necessarily reach to its level of previous years. In these sites, water balance may be deficit. Groundwater temperature in some deep wells declined year by year. This is because groundwater in shallow aquifer is drawn downward by decline of groundwater level in deep wells in winter. In this region, groundwater temperature is considered to be affected by not only thermal conductivity but also the induced groundwater flow by artificial pumpage.

Keywords: Aizu Basin, long-term monitoring, groundwater level, groundwater temperature

要 旨

福島県会津盆地における16地点において、地下水位及び地下水温度の連続観測を行った。市街地付近での冬季の消雪用井戸の稼働によって低下した地下水位は、夏季に向かい回復するが、深層においては必ずしも前年の地下水位まで回復しない地点もある。このような地点では水収支がマイナスになっていると推察される。深井戸での地下水温度は、年々低下する地点がみられた。この理由は冬季に深井戸の地下水位が低下したことにより浅層部の地下水を下方へ引き込んでいるためと推定される。地下水温度は熱伝導の影響だけではなく、揚水により誘発された地下水流動の影響も受けている可能性が考えられる。

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーの1つである地中熱の普及が始まっている。地下の温度は、気温よりも昼夜間又は季節間の温度変化が小さい(地中熱利用促進協会, 2016)。地中熱ヒートポンプは、この温度差を利用した省エネルギーのための設備である。地下の温度構造は深部からの熱伝導や地下水の動きによる熱移流などによって支配されている。そのため広域の地下水流動と地下温度分布等

を把握することによって、地中熱利用の適地選定を効果的に行うことができる可能性がある。この手法を用いるためには、広域地下水流動解析と熱輸送解析を同時に行う必要がある。

一方、本研究地域である会津盆地における地下水に関する研究としては、金子・中川(1969)、東北農政局計画部(1978)、農業用地下水研究グループ「日本の地下水」編集委員会(1986)、福島県地質・地下水分布図編集委員会(2013)などが挙げられる。金子・中川(1969)は会津盆地の地下水面図を作成し、東北農政局計画部(1978)は会津盆地南部における地質断面図及び電気伝導度の分布図を作成した。福島県地質・地下水分布図編集委員会(2013)は深度毎の比湧出量分布図を作成し、地下水の利用状況を述べている。

このように精力的な調査研究が行われているにもかかわらず、盆地全体の地下水流動解析・熱輸送解析は行われていない。本研究では、そのための第一段階として、会津盆地における地下水位及び地下水温度の連続観測データの結果をまとめ、それらの特徴を考察した。このような取り組みは、地中熱利用の面だけでなく、水循環基本法の施行にて将来的に必要とされる、盆地内地下水流動の実態把握の面でも重要である。

¹ 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター (AIST, Department of Energy and Environment, Renewable Energy Research Center, 2-2-9 Machiikedai, Koriyama, Fukushima 963-0298, Japan)

² 福島大学共生システム理工学類 (Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University, 1 Kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan)

³ 株式会社ダイユーエイト (DAIYU EIGHT Co., Ltd, 58 Sekinoue, Taiheiji, Fukushima, Fukushima 960-8151, Japan)

*Corresponding author: S.Kaneko, Renewable Energy Research Center, 2-2-9 Machiikedai, Koriyama, Fukushima 963-0298, Japan. Email: shohei-kaneko@aist.go.jp

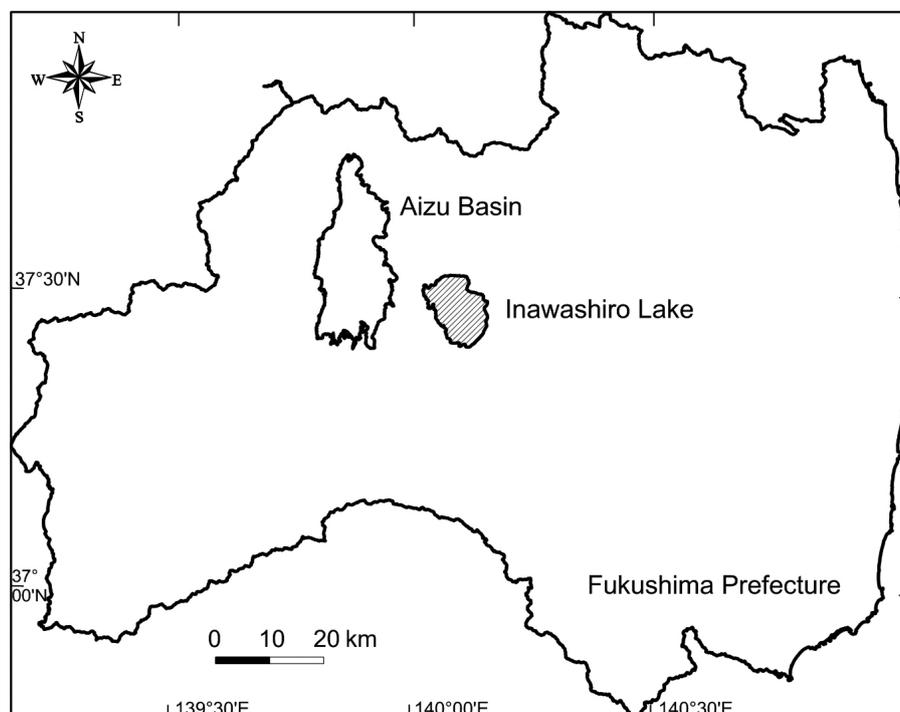
2. 調査地域の地下水に関する研究

福島県喜多方市街地は会津盆地北部に位置しており、かつては市街地の各所で湧水が数多くみられた。しかし、2006年の合併前の旧喜多方市内に約160か所分布していた湧水は、早いところでは戦前から枯渇しはじめ、さらに昭和の高度経済成長期から平成にかけて市街地に分布していた湧水の大部分は枯渇してしまった(超学際的研究機構, 2007)。福島大学共生システム理工学類(柴崎研究室)は、2007年から喜多方市における地下水位の実態を明らかにするために、地下水位及び地下水温の連続観測を開始し、現在は会津盆地における16地点で地下水の連続観測を行っている。同研究室では、湧水の再生とともに、地下水の賦存量を増やすための「冬水田んぼ」(地下水人工涵養)の取り組みや、浅層から深層に及ぶ地下水流動系解明のための研究、そして地下水についての理解を深めるための「湧水ウォーク」プラン作成にも取り組んできた(柴崎ほか, 2010; 半谷ほか, 2011a)。2010年からは同研究室で会津盆地南部の地下水位及び地下水温の連続観測をはじめとする地下水流動に関する研究が行われ、その成果の一部は半谷ほか(2011b)によって報告されている。また、柴崎ほか(2014)は、喜多方市街地ほぼ全域にて井戸を所有する家庭や事業所約400軒の地下水利用実態調査結果を取りまとめ、喜多方市の家庭用地下水利用量を推定した。

3. 調査地域の概要

会津盆地は福島県北西部に位置し(第1図)、南北約30 km、東西約12 kmの構造性的内陸盆地である(山元ほか, 2006)。盆地の周辺には、北西に標高2,000 m級の飯豊山地、東に磐梯山・猫魔火山の両火山、南方に大戸山がそびえる。盆地の西側には活断層である会津盆地西縁断層系が存在し(山元ほか, 2006)、盆地の東側には会津盆地東縁断層の存在が報告されている(池田ほか, 2002)。

第四紀更新世の七折坂層・塔寺層は未固結の礫層・砂層・泥層・火山砕屑物からなり、盆地西側に近接した丘陵から盆地地下に連続する。盆地内には、塔寺層の上位に未区分の上部更新統が堆積すると推定されている(山元ほか, 2006)。盆地北部の喜多方市街地では、深度250 mまで掘削しても水文地質基盤に到達しない。会津盆地は、第四紀更新世以降の地層が主要な帯水層となっているため、本研究では、第四系よりも下位の地層を水文地質基盤とみなした。地下地質は主に砂礫層からなるが、浅層部から深層部にかけていくつかの層準に粘土層の存在が確認されている(超学際的研究機構, 2007)。盆地南部では、東側や西側の地域のいくつかの層準に粘土層が挟在するが、南部の中央部付近には粘土層がほとんど分布しない地域がある(福島県地質・地下水分布図編集委員会, 2013)。



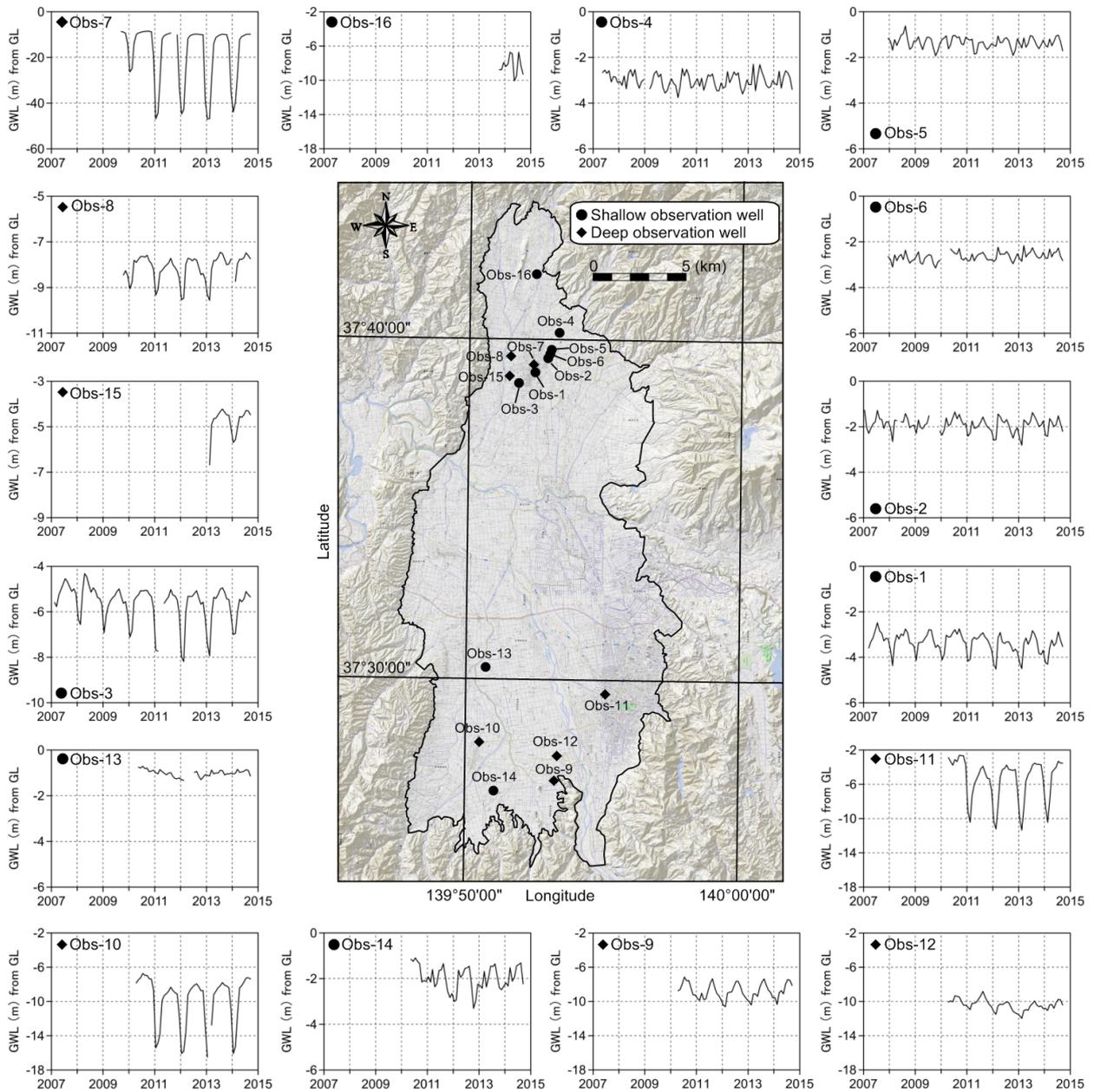
第1図 調査地域.

Fig. 1 Study area.

4. 観測方法

会津盆地の浅井戸9地点、深井戸7地点の計16地点において、自記水位計を設置して、水位及び水温の連続観測を行った(第2図)。観測井の位置座標、井戸深度、標高、測定開始日等に関する諸元は第1表のとおりである。本研究では、深度30 mよりも浅い位置にスクリーンを設置しているものを浅井戸、深い位置に設置しているものを深井戸とみなした。また、スクリーン位置が不明な井戸は、井戸深度から判断した。

本研究では、測定開始から2014年9月30日までのデータを使用し、各種解析を行った。水位計のデータを回収する際に水位を実測し、水位データの補正を行った。また、本文中の夏季及び冬季という表現について、例えば2010年の夏季は2010年6～8月を指し、2010年の冬季は2010年12月～2011年2月を指すこととする。日平均気温、日降水量は、会津盆地北部では気象庁(2016)のアメダスの喜多方観測所のデータを使用し、南部では若松観測所のデータを使用した。



第2図 各観測井の月平均地下水位。GWLは地下水位 (Groundwater Level) で、GLは地表面 (Ground Level) である。

Fig. 2 Changes in monthly average groundwater level at observation wells. GWL and GL denote Groundwater Level and Ground Level, respectively.

第1表 観測井諸元.
Table 1 Specifications of observation wells.

| Name | Location | Longitude (deg.) | Latitude (deg.) | Well Depth (m) | Screen Depth (m) | Well Diameter (mm) | Ground Elevation (m) | Height of MP*1 (m) | Date of Measurement Started | Installed Device | Sensor Depth (m) from GL | Measurement Item | Measurement Interval (min) |
|--------|----------|------------------|-----------------|----------------|--|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|--|--|---------------------------------------|----------------------------|
| Obs-1 | OSM-S | E139.8737 | N37.65105 | 15 | 2.0-15.0 | 50 | 209.8 | 1.03 | 2007/3/9 | D1-001A | -6.7 | GWL*2 and GWT*3 | 30 |
| Obs-2 | KMP | E139.8814 | N37.65780 | 4.2 | unknown | 30 | 218.3 | 0.25 | 2007/1/10 | 2007/1/10-:miniTROLL 2008/6/15-:S&DLmini Barometer | -3.8 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-3 | SGW | E139.8637 | N37.64557 | 19.2 | unknown | 100 | 203.4 | 0 | 2007/2/17 | 2007/2/17-:RT510 2011/5/2-:S&DLmini | -10.0 | RT510:GWL S&DLmini: GWL and GWT | 30 |
| Obs-4 | INM-Agr | E139.8884 | N37.67025 | 5 | unknown | 900 | 239.7 | 0.72 | 2007/5/10 | 2007/5/10-:HRL-5 2009/4/25-:S&DLmini | -4.4 | HRL-5:GWL S&DLmini: GWL and GWT | 30 |
| Obs-5 | INM-1 | E139.8834 | N37.66203 | 5 | 1.05-5.0 | 50 | 223.1 | 0.65 | 2007/12/31 | S&DLmini | -3.7 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-6 | INM-2 | E139.8825 | N37.65981 | 5 | 1.05-5.0 | 50 | 220.1 | 0.71 | 2007/12/31 | S&DLmini | -4.6 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-7 | FRA | E139.8729 | N37.65476 | 200 | 74.5-85.5 102.0-146.0 162.5-168.0 184.5-190.0 | 300 | 214.8 | 0 | 2009/9/14 | RT510 | -54.4 | GWL | 60 |
| Obs-8 | WS-5 | E139.8587 | N37.65856 | 100 | 29.5-34.0 39.5-89.0 | 350 | 216.9 | 0.20 | 2009/10/19 | S&DLmini | -15.2 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-9 | HNG | E139.8878 | N37.45092 | 75 | 20.5-31.5 37.0-48.0 53.5-59.0 | 350 | 227.4 | 0 | 2010/4/8 | S&DLmini Barometer | -15.7 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-10 | ODA | E139.8422 | N37.46958 | 151 | 52.0-63.0 68.5-74.0 79.5-90.5 96.0-145.5 | 300 | 216.4 | 0 | 2010/4/21 | S&DLmini | 2010/4/21- :-16.6 2014/3/21- :-85.2 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-11 | HNM | E139.9188 | N37.49353 | 152 | 58.5-80.5 86.0-97.0 102.5-152.0 | 300 | 212.9 | 0 | 2010/4/21 | S&DLmini | -11.4 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-12 | JSI | E139.8897 | N37.46306 | 140 | 52.0-58.0 63.0-71.0 74.0-102.0 109.0-120.0 | 250 | 224.8 | 0.78 | 2010/4/26 | S&DLmini | -19.5 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-13 | HND | E139.8452 | N37.50620 | 4 | unknown | 40 | 193.6 | 0 | 2010/5/20 | S&DLmini | -3.3 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-14 | KTB | E139.8510 | N37.44586 | 5 | unknown | 40 | 235.0 | 0 | 2010/5/20 | S&DLmini | -4.9 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-15 | WS-6 | E139.8580 | N37.64898 | 100 | 23.0-28.5 34.0-50.5 56.0-89.0 | 350 | 201.8 | 0.27 | 2013/3/4 | Levellogger Edge | -12.1 | GWL and GWT | 30 |
| Obs-16 | HKM | E139.8739 | N37.69910 | 30 | unknown | 125 | 273.3 | 0 | 2013/9/25 | S&DLmini | -15.2 | GWL and GWT | 30 |

*1: Measuring Point

*2: Groundwater Level

*3: Groundwater Temperature

5. 結果及び考察

5.1 地下水位変動

各観測地点の月平均地下水位の変動を第2図に示し、喜多方市街地での月平均地下水位の変動を第3図に示す。月平均水位を求めるにあたり、水位低下による欠測期間を除いて平均値を求めた。地下水位の測定結果をまとめたものを第2表に示す。なお、観測地点毎の地下水位及び地下水温変動については、付図としてとりまとめた。

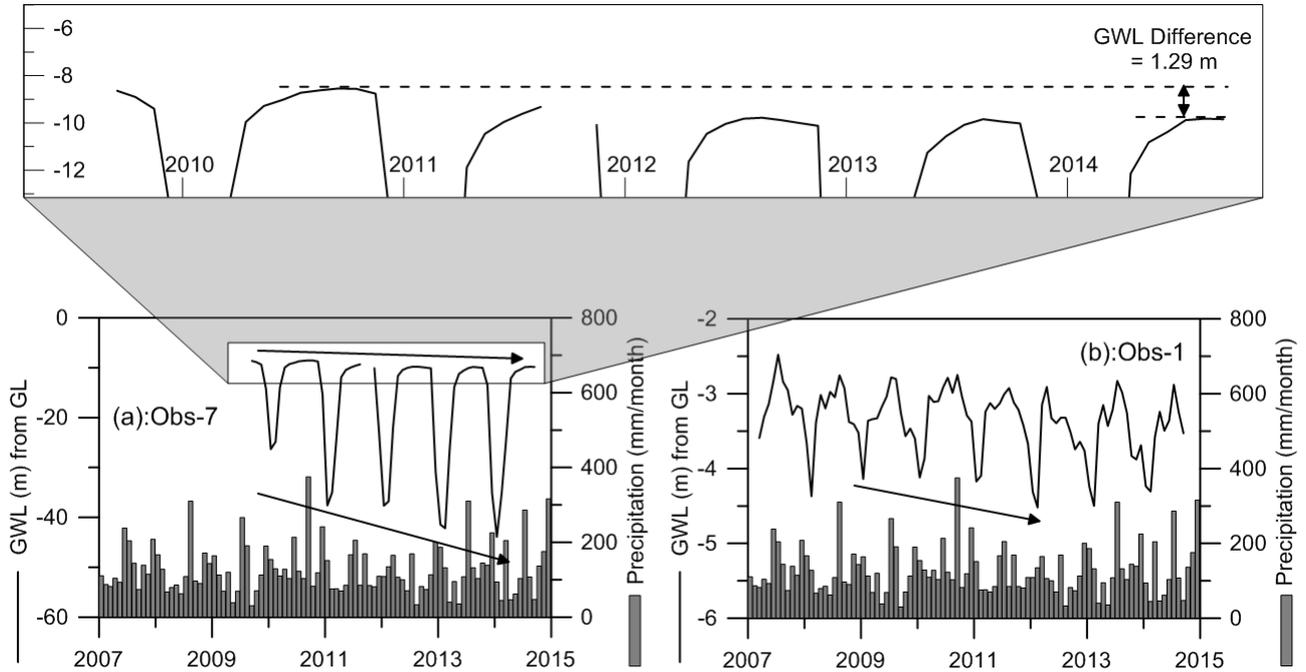
会津盆地では、浅井戸、深井戸に関係なく冬季に地下水位の低下がみられる地点が多い。冬季の水位低下の理由に関しては、水位低下が最も大きいObs-7での観測結果が参考になると思われる。2009年の冬季、この井戸では地表面から-39.46 mというひととき大きな水位低下を示したが、この年は、Obs-7からは揚水は行われていない。すなわち、周囲の揚水によって、水位低下が生じたということである。また、水位低下が生じている井戸地点の土地利用は、平成18年度の土地利用細分メッシュデータ(国土交通省, 2016)によると建物用地に分類

されるものが多い(第2表及び第4図のbuilding)。市街地の道路沿いには消雪用井戸が分布していることが多いため、冬季の揚水の影響によって市街地の深層の帯水層の水位が低下し、浅層部の地下水を引き込むことにより浅層の帯水層の水位低下を引きおこしたと推察される(第2図及び第3図(b))。

深井戸Obs-9, Obs-10, Obs-11, Obs-12において、2010年から2012年にかけての冬季の最低水位はいずれも年々低下する傾向がみられた。これは、冬季の揚水量が年々増加している可能性を示唆する。また、Obs-7(第3図(a))における夏季の地下水位も年々低下傾向にあるが、これは年間の深層部の帯水層の水収支がマイナスになっている(消雪用井戸の揚水量が涵養量よりも上回っている)ことを意味すると思われる。

浅井戸での灌漑期における水位上昇幅及び水位上昇速度は、市街地よりも市街地以外で大きい傾向があるが、これは灌漑水による涵養の影響の受けやすさに関係していると考えられる(第2表)。

会津盆地における地下水位及び地下水温変動の特徴（金子ほか）



第3図 喜多方市街地での月平均地下水位. GWLは地下水位 (Groundwater Level) で, GLは地表面 (Ground Level) である.

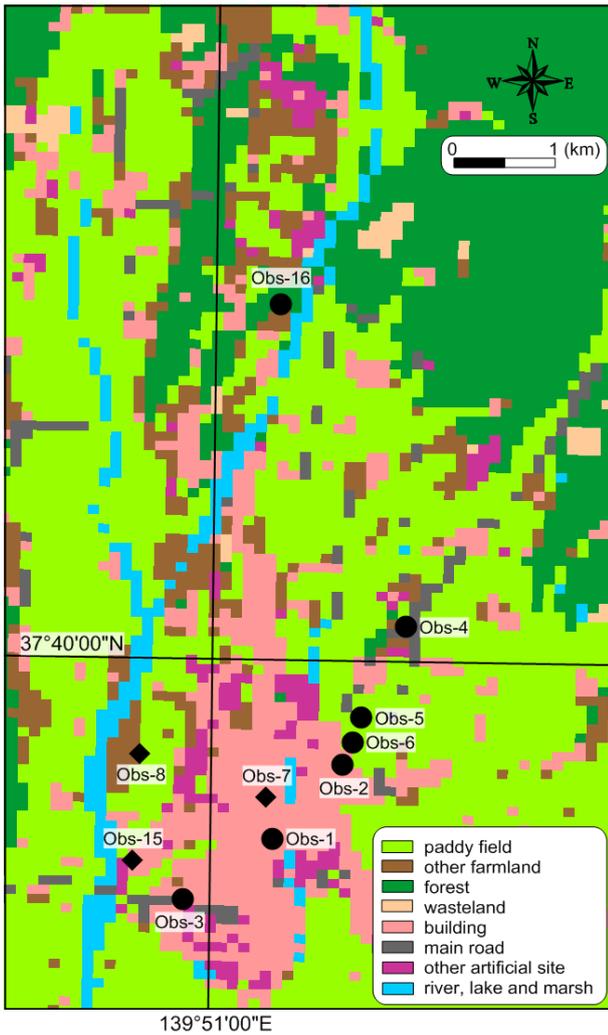
Fig. 3 Changes in monthly average groundwater level in Kitakata urban area. GWL and GL denote Groundwater Level and Ground Level, respectively.

第2表 地下水位測定結果.

Table 2 Result of groundwater level monitoring.

| Name | Land Use* | Pumped Well | Artificial GWL Decline in Winter | Groundwater Level | | | | | | | |
|---------|----------------|-------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--|--------|---------|------|
| | | | | Minimum (m) from GL | Maximum (m) from GL | Average (m) from GL | Fluctuation Range (m) | Rise during Irrigation in 2014 (m/day) | from | to | (m) |
| Obs-1 | building | × | ○ | -4.96 | -1.81 | -3.36 | 3.15 | 0.02 | May 12 | May 28 | 0.27 |
| Obs-2 | building | × | ○ | -3.15 | -0.59 | -1.94 | 2.56 | 0.06 | May 9 | May 18 | 0.52 |
| Obs-3 | building | ○ | ○ | -9.93 | -4.04 | -5.64 | 5.89 | 0.03 | May 12 | May 18 | 0.17 |
| Obs-4 | main road | × | × | -4.19 | -1.35 | -3.00 | 2.84 | 0.14 | May 7 | May 18 | 1.53 |
| Obs-5 | paddy field | × | ○ | -2.10 | -0.44 | -1.35 | 1.66 | 0.20 | May 4 | May 8 | 0.80 |
| Obs-6 | paddy field | × | ○ | -3.22 | -1.22 | -2.65 | 2.00 | 0.09 | May 6 | May 14 | 0.75 |
| Obs-7 | building | ○ | ○ | <-54.5 | -7.87 | -15.23 | 46.63< | - | - | - | - |
| Obs-8 | paddy field | × | ○ | -10.43 | -7.00 | -8.13 | 3.43 | 0.08 | May 11 | May 18 | 0.56 |
| Obs-9 | building | × | ○ | -12.06 | -6.89 | -8.80 | 5.17 | 0.05 | May 11 | June 12 | 1.54 |
| Obs-10 | building | × | ○ | <-16.6 | -6.51 | -8.78 | 10.09< | 0.03 | May 8 | May 27 | 0.61 |
| Obs-11 | building | × | ○ | <-11.4 | -2.04 | -5.12 | 9.36< | 0.03 | May 11 | May 27 | 0.49 |
| Obs-12 | paddy field | × | ○ | -12.42 | -8.40 | -10.40 | 4.02 | 0.03 | May 11 | June 12 | 1.04 |
| Obs-13 | paddy field | × | × | -1.36 | -0.34 | -1.01 | 1.02 | 0.14 | May 11 | May 13 | 0.28 |
| Obs-14 | building | × | × | -3.49 | -0.54 | -1.99 | 2.95 | 0.11 | May 5 | May 20 | 1.62 |
| Obs-15 | building | × | ○ | -7.58 | -3.78 | -4.66 | 3.80 | 0.01 | May 12 | May 26 | 0.16 |
| Obs-16 | other farmland | ○ | × | -13.18 | -4.61 | -8.31 | 8.57 | - | - | - | - |
| Average | - | - | - | - | - | -5.65 | - | 0.07 | - | - | 0.74 |

* Land use data are based on Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2016)



第4図 会津盆地北部の観測井付近における土地利用図。土地利用データは国土交通省(2016)に基づく。

Fig. 4 Land use map around observation wells in the northern Aizu Basin. Land use data are based on Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2016).

5.2 地下水温度変動

第5図は各観測地点の月平均地下水温度の変動を示したものである。地下水温度は概ね周期的な変動をしているが、最高・最低値は年によって異なる。第3表は観測期間中の水温変化をまとめたものだが、地下水温度が最高値を示すのは2010年が多い。この期間中の気象庁の喜多方観測所及び若松観測所では、2010年が最も年平均気温が高いことから(気象庁, 2016)、地下水温度はその年の気温変化に大きく影響されると考えられる。一方で、最低値を記録する年は地点により異なる傾向が認められた。

地下水温度の変動のパターンは概ね①: 6か月毎に最高値と最低値が現れるもの、②: 6か月毎に現れないもの、③: 変動パターンが正弦曲線状にならないもの、④: そ

他に分類される(第4表)。パターン①に該当する井戸は全て浅井戸であったものの、地下水温度変動パターンと地下水位の変動パターンとの間には明瞭な関係は見られなかった。

ただし、個別の井戸毎に見ると、明らかに共通の傾向を示す地点がある。深井戸であるObs-8, Obs-9, Obs-10, Obs-11, Obs-12では、地下水温度が年々低下した。この理由として、深井戸では冬季になると地下水位が低下し、浅層部の地下水を引き込むために地下水の下向きの流れが生じ、地下水温度が低下した可能性が考えられる。

5.3 地下水温度の変動と熱伝導方程式との比較

前節の可能性を検討するために、熱伝導を基礎とした理論解と実測値との検討を行った。山本(1983)によると、深度 z (m)における地温 θ (°C)は次式で表される。

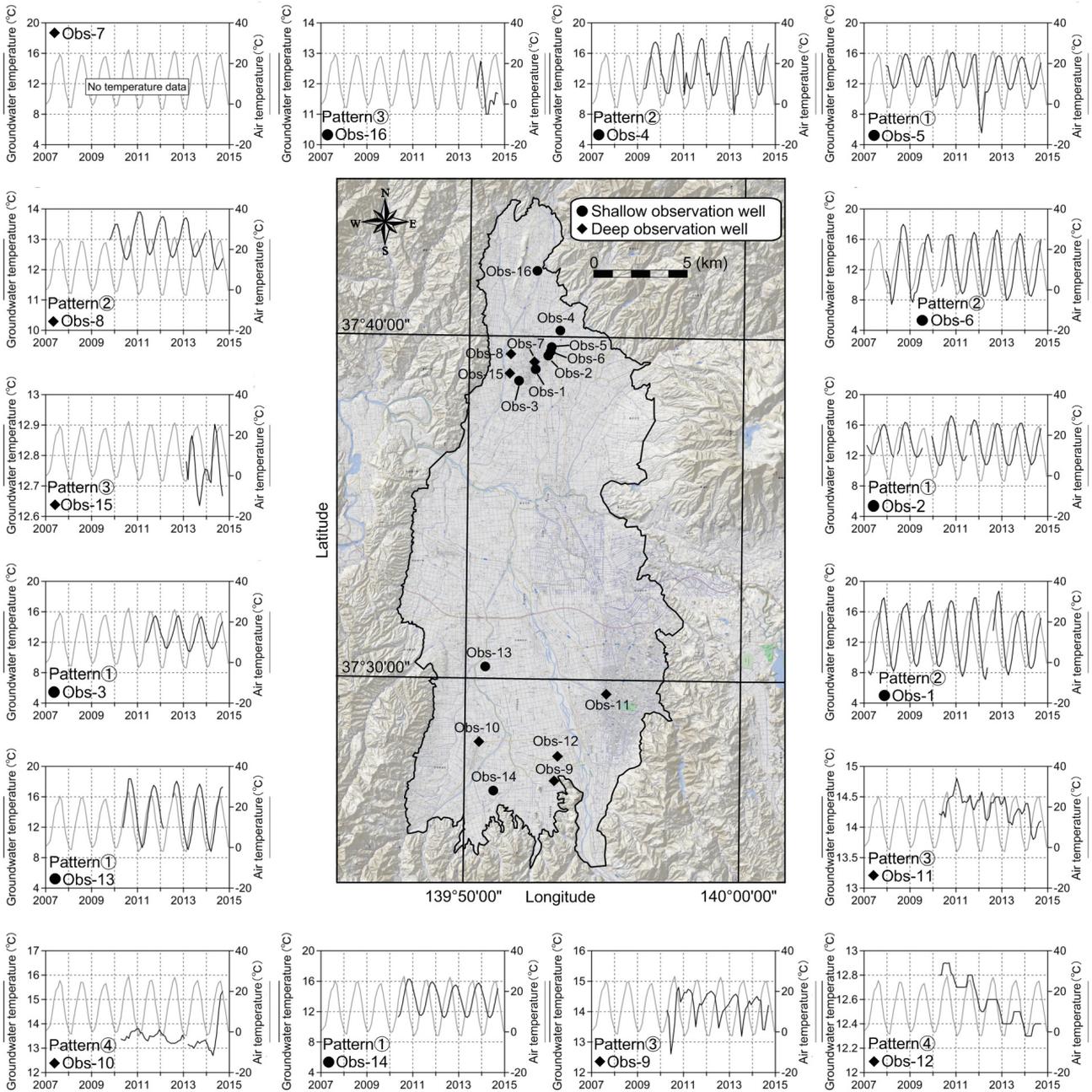
$$\theta = \theta_0 + a_0 \exp\left(-z \sqrt{\frac{c\rho\pi}{kT}}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \sqrt{\frac{c\rho\pi}{kT}}z\right) \dots \text{式(1)}$$

ここで、 θ_0 は無限深度での地温(°C)、 a_0 は地表面の温度変化を正弦曲線と仮定した場合の振幅(°C)、 c は土壌の比熱(J/g/K)、 ρ は土壌の密度(g/cm³)、 k は土壌の熱伝導率(W/m/K)、 T は地表面の温度変化の周期(day)、 t は時間(day)である。式(1)に気象庁(2016)の喜多方観測所のデータを与えたものが第6図である。ここで θ_0 は年平均気温11.2°Cと仮定し、 a_0 は12.8°Cとし、8月に最高値、2月に最低値をとるものとした。また、会津盆地の第四系は砂礫層が主体であることから、Domenico and Schwartz (1990)に基づいて、温度拡散率(= $k/c\rho$)を0.05 m²/dayとした。第6図にて示される通り、地温が気温の変化と熱伝導によって支配される場合は、温度変動幅は深度とともに小さくなる。

次に、実際に測定した15地点の水温計設置深度と地下水温度変動幅との関係を第7図に示す。各地点の変動幅は、観測期間の最高値・最低値の差から求めた。深度が大きくなるにつれて地下水温度の変動幅は小さくなる傾向が認められ、第6図と調和的である。

気温の季節変動の影響が消失する恒温層深度は10~20 m程度とされており(山本, 1983)、本地域でもObs-15では深度12 m付近にて温度変動はほぼ認められなくなる。しかしながら、Obs-8, Obs-9及びObs-16では深度15 m程度でも、2~3°Cの変動が認められ、温度変動幅が他の地点と比較して大きい。この理由として、谷口(1987)は、下向きの地下水の流れが生じている地域では、恒温層深度が熱伝導方程式に基づく理論解よりも下方へずれることを指摘している。仮に深層からの揚水が水温変動幅拡大の主要因なのであれば前節で指摘したObs-8~Obs-12において、変動幅が大きくなるはずである。Obs-16は消雪用井戸による水位低下の影響を受

会津盆地における地下水位及び地下水温変動の特徴（金子ほか）



第5図 各観測井の月平均地下水温.

Fig. 5 Changes in monthly average groundwater temperature at observation wells.

けておらず、盆地内北部の標高の高い場所に位置している。また、Obs-9は盆地内南部の標高の高い場所に位置し、Obs-8は河川の近くに位置している。以上のことから、恒温層までの深度が深くなる理由としては、揚水の他にも広域地下水流動系の涵養域に相当していることが影響していると考えられる。

一方、比較的浅層においてもObs-1及びObs-3は式(1)の解析解よりも著しく変動幅が大きい。藤縄(2010)は、冬季の市街地を中心とした消雪用地下水の利用により動

水勾配が著しく増大すると、広域的な地下水の流動が誘発され、帯水層の深部の地下水温が変化することを指摘している。したがって、これらの2地点では消雪用井戸からの揚水などの影響を受け、冬季に地下水の流れが活発になったことが示唆される。以上より、本地域の地下水温の変動には、熱伝導と移流による影響があると推察される。ただし、Obs-1及びObs-3の水温計の設置深度は比較的浅いため、測定器を増やし現在測定している深度よりも深い地点で測定するなど更なる検討が必要である。

第3表 地下水温度測定結果.

Table 3 Result of groundwater temperature monitoring.

| Groundwater Temperature | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|--|
| Name | Sensor Depth (m) from GL | Minimum (°C (recorded year)) | Maximum (°C) | Fluctuation Range (°C) | Average (°C) | Time Lag between the Peaks of Groundwater Temperature and Air Temperature (month) |
| Obs-1 | -6.7 | 6.9(2012) | 19.0(2012) | 12.1 | 12.7 | 3 |
| Obs-2 | -3.8 | 10.5(2013) | 17.3(2010) | 6.8 | 13.6 | 2 |
| Obs-3 | -10.0 | 10.0(2013) | 16.1(2012) | 6.1 | 13.1 | 2 |
| Obs-4 | -4.4 | 10.4(2012) | 18.6(2010) | 8.2 | 14.2 | 3 |
| Obs-5 | -3.7 | 10.8(2012) | 16.3(2010) | 5.5 | 13.1 | 3 |
| Obs-6 | -4.6 | 8.5(2014) | 17.8(2006) | 9.3 | 12.5 | 3 |
| Obs-7 | | Temperature sensor is not installed. | | | | |
| Obs-8 | -15.2 | 12.3(2010, 2012) | 14.0(2011) | 1.7 | 13.0 | 6 |
| Obs-9 | -15.7 | 12.5(2010) | 15.4(2010) | 2.9 | 14.2 | 6 |
| Obs-10 | -16.6 | 13.0(2014) | 13.7(2010) | 0.7 | 13.4 | ? |
| Obs-11 | -11.4 | 13.8(2014) | 14.9(2011) | 1.1 | 14.3 | 5 |
| Obs-12 | -19.5 | 12.3(2014) | 12.9(2010) | 0.6 | 12.6 | 0 |
| Obs-13 | -3.3 | 8.5(2013, 2014) | 19.0(2010) | 10.5 | 14.1 | 1 |
| Obs-14 | -4.9 | 11.2(2010, 2012-2014) | 16.4(2010) | 5.2 | 13.6 | 3 |
| Obs-15 | -12.1 | 12.6(2013) | 12.9(2014) | 0.3 | 12.8 | ? |
| Obs-16 | -15.2 | 10.6(2014) | 13.6(2013) | 3.0 | 11.7 | 3 |
| Average | - | - | - | 4.9 | 13.3 | - |

第4表 地下水温度変動パターンの分類.

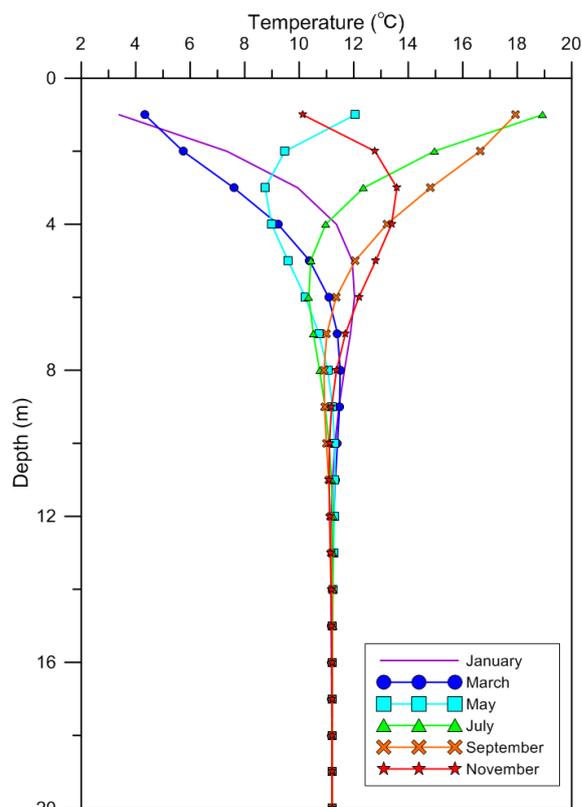
Table 4 Classification of changing patterns in groundwater temperature.

| Classification | Name |
|----------------|---------------------------------|
| Pattern① | Obs-2/Obs-3/Obs-5/Obs-13/Obs-14 |
| Pattern② | Obs-1/Obs-4/Obs-6/Obs-8 |
| Pattern③ | Obs-9/Obs-11/Obs-15/Obs-16 |
| Pattern④ | Obs-10/Obs-12 |

6. まとめ

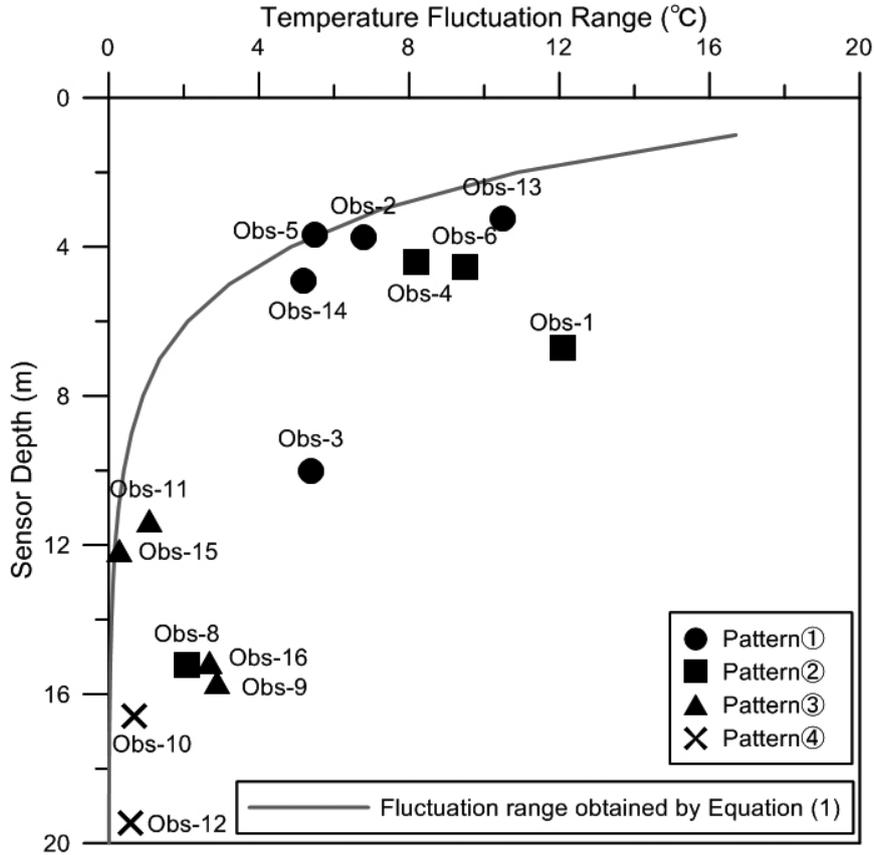
会津盆地の地下水位、水温調査の結果、以下のことが明らかになった。

- 市街地付近にて冬季の消雪用井戸の稼働によって低下した地下水位は、夏季に向かい回復するが、必ずしも前年の地下水位まで回復しない地点もある。このような地点では深層部の帯水層の水収支がマイナスになっていると推察される。
- 深井戸の地下水温度は、年々低下する傾向を示す地点がみられた。この理由は冬季に深層部の水位が低下したことにより浅層部の地下水を下方へ引き込むためと推定される。このように地下水温度は熱伝導の影響だけではなく、揚水によって誘発された地下水流動の影響も受けている可能性が考えられる。



第6図 熱伝導方程式による解析結果.

Fig. 6 Calculated vertical temperature profiles by heat conduction equation.



第7図 水温計の設置深度と地下水温変動幅との関係。

Fig. 7 Relationships between sensor depth and fluctuation range of monthly average groundwater temperature.

今回の調査によって会津盆地の地下水位及び地下水温変動の大まかな実態を把握することができた。現在観測している地点は一樣に分布していないため、盆地全体の地下水流動の実態をより詳細に把握するためには、盆地中央部付近をはじめ、現在観測を行っていない地域においても測定する必要があると考える。今後も地下水位及び地下水温の連続観測を行うとともに、測定器の設置地点を選択することにより、さらに詳細な会津盆地の地下水流動及び地下温度構造の実態を解明したい。

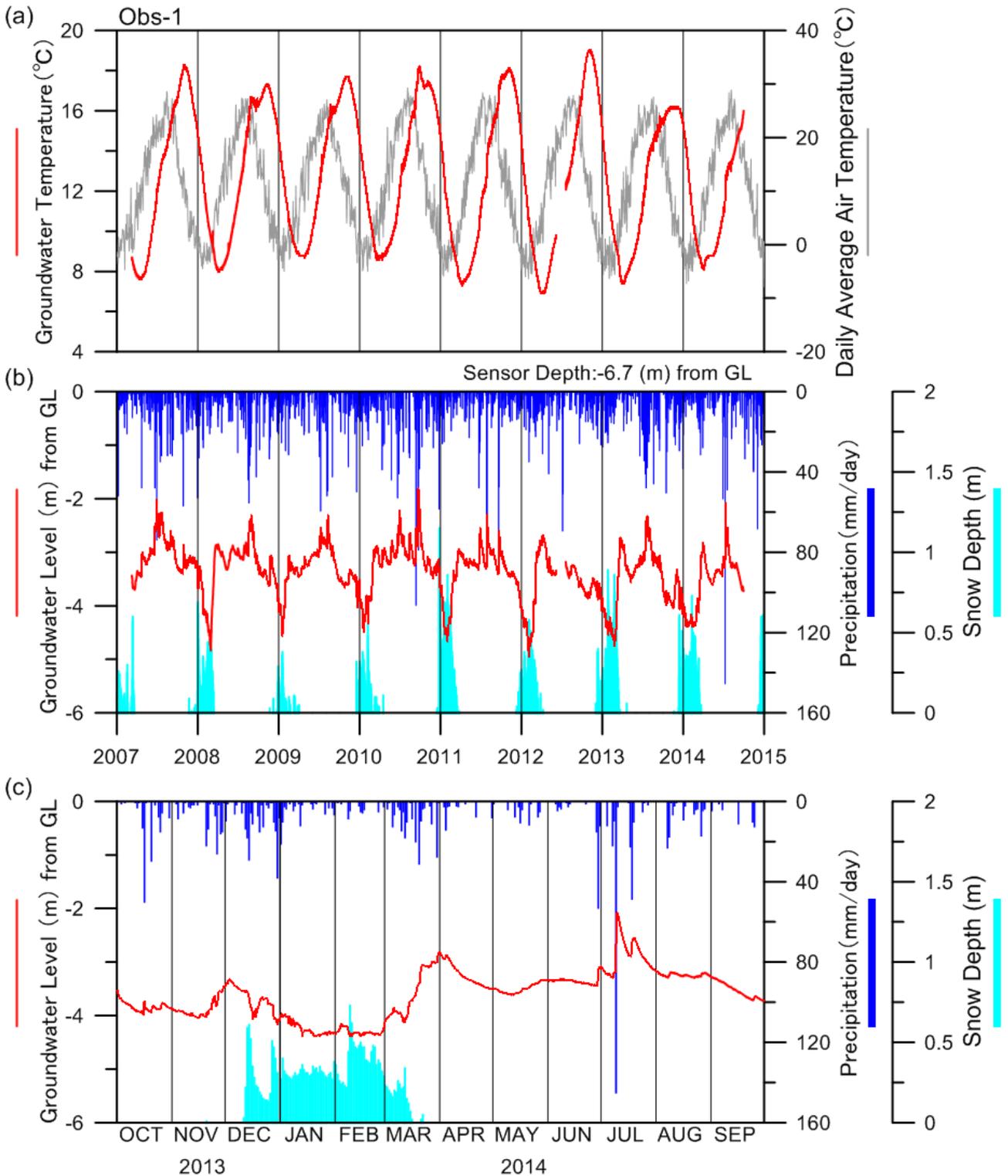
謝辞：水位計の設置にあたり、地域住民の方々、喜多方市水道課、喜多方建設事務所、会津若松建設事務所及び会津若松市水道部の協力を得ました。株式会社三本杉ジオテックの皆様には、カンブク清水における地下水位測定でお世話になりました。査読者である町田 功氏には貴重な助言をいただき、本論文は改善されました。以上の方々及び関係各機関に対し、厚く御礼申し上げます。本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金(基盤研究(B)25289332)の助成を受けたものです。

文献

- 地中熱利用促進協会(2016) 地中熱利用の概要, <http://www.geohpaj.org/introduction/index1/howto> (2016年4月3日参照).
- 超学際的研究機構(2007) きたかた清水の再生によるまちづくりに関する調査研究報告書. 平成18年度福島県委託事業, 特定非営利活動法人超学際的研究機構, 101p.
- Domenico, P. A. and Schwartz, F. W. (1990) *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley and Sons, New York, 824p.
- 藤縄克之(2010) 環境地下水学. 共立出版, 東京, 354p.
- 福島県地質・地下水分布図編集委員会(2013) 福島県地質・地下水分布図, 全国さく井協会, 91p.
- 半谷尚之・柴崎直明・池田健一(2011a) 喜多方市における人工涵養実験冬水田んぼの効果検証及び将来予測. 地学団体研究会第65回総会(青森), 講演要旨・巡検案内書, 86-86.
- 半谷尚之・柴崎直明・山岸和真(2011b) 会津盆地におけ

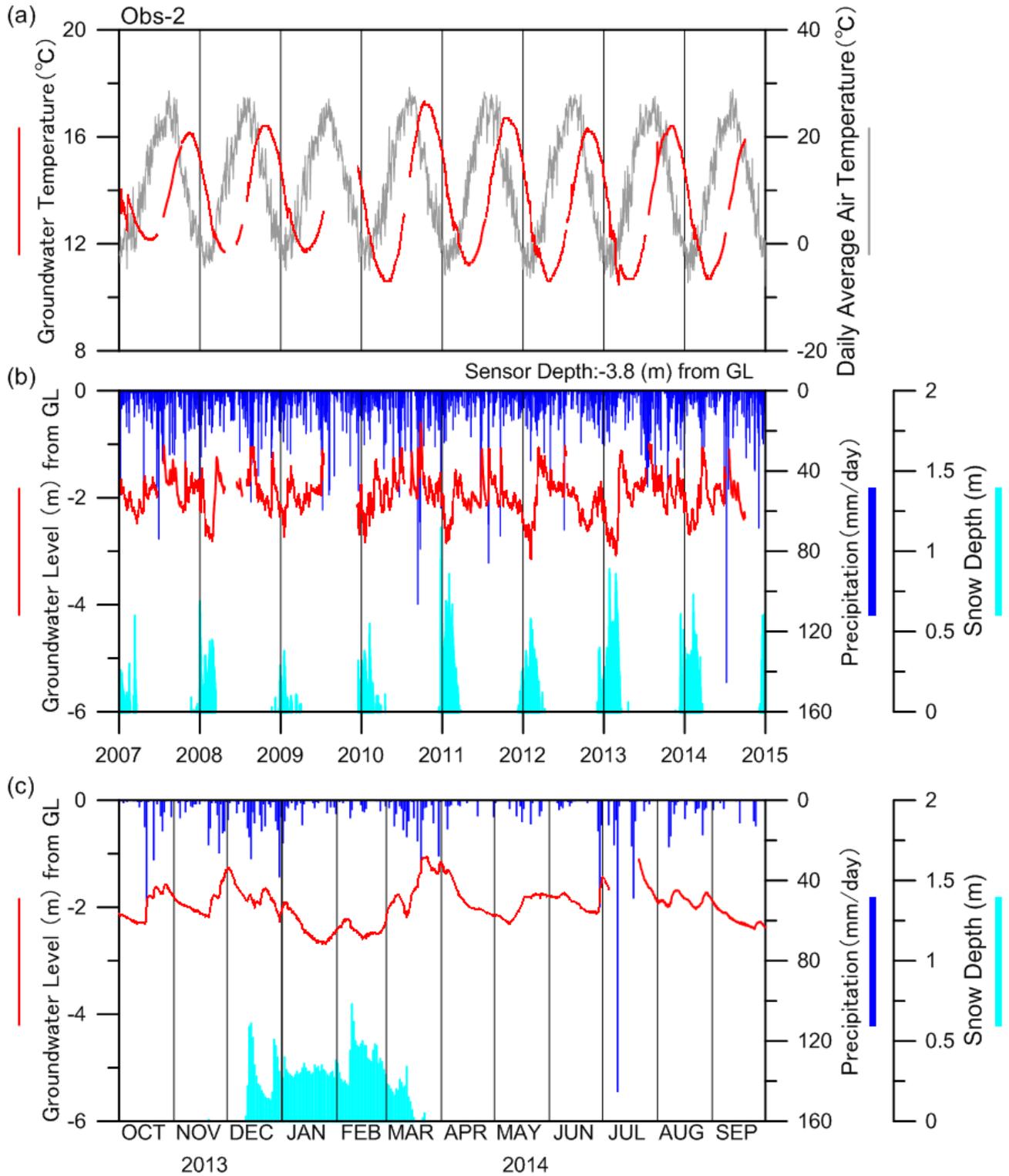
- る東日本大震災時の地下水位と水温の変化. 地学団体研究会第65回総会(青森), 講演要旨・巡検案内書, 102-102.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志(2002) 第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会, 東京, 254p.
- 金子 良・中川昭一郎(1969) 会津盆地の水収支. 農業土木試験場報告, 7, 33-52.
- 気象庁(2016) 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2016年4月1日参照).
- 国土交通省(2016) 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-L03-b.html> (2016年4月7日参照).
- 農業用地下水研究グループ「日本の地下水」編集委員会(1986) 日本の地下水. 地球社, 東京, 1042p.
- 柴崎直明・半谷尚之・若菜愛実(2010) 喜多方の地下水と清水再生. 地学団体研究会第64回総会(福島), 講演要旨集・巡検案内書, 111-118.
- 柴崎直明・金子翔平・庄司美由(2014) 学生実習による喜多方市街地の地下水利用実態調査. 福島大学地域創造, 25, 47-64.
- 谷口真人(1987) 長岡平野における地下水温の形成機構. 地理学評論, 60, 725-738.
- 東北農政局計画部(1978) 福島県水文地質図集 農業用地下水調査 山形・福島地区調査報告書. 48p.
- 山本壯毅(1983) 新版地下水調査法. 古今書院, 東京, 490p.
- 山元孝広・吉岡敏和・牧野雅彦・住田達哉(2006) 喜多方地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 63p.
- (受付: 2015年10月23日; 受理: 2016年11月21日)

付図 Appending Figures



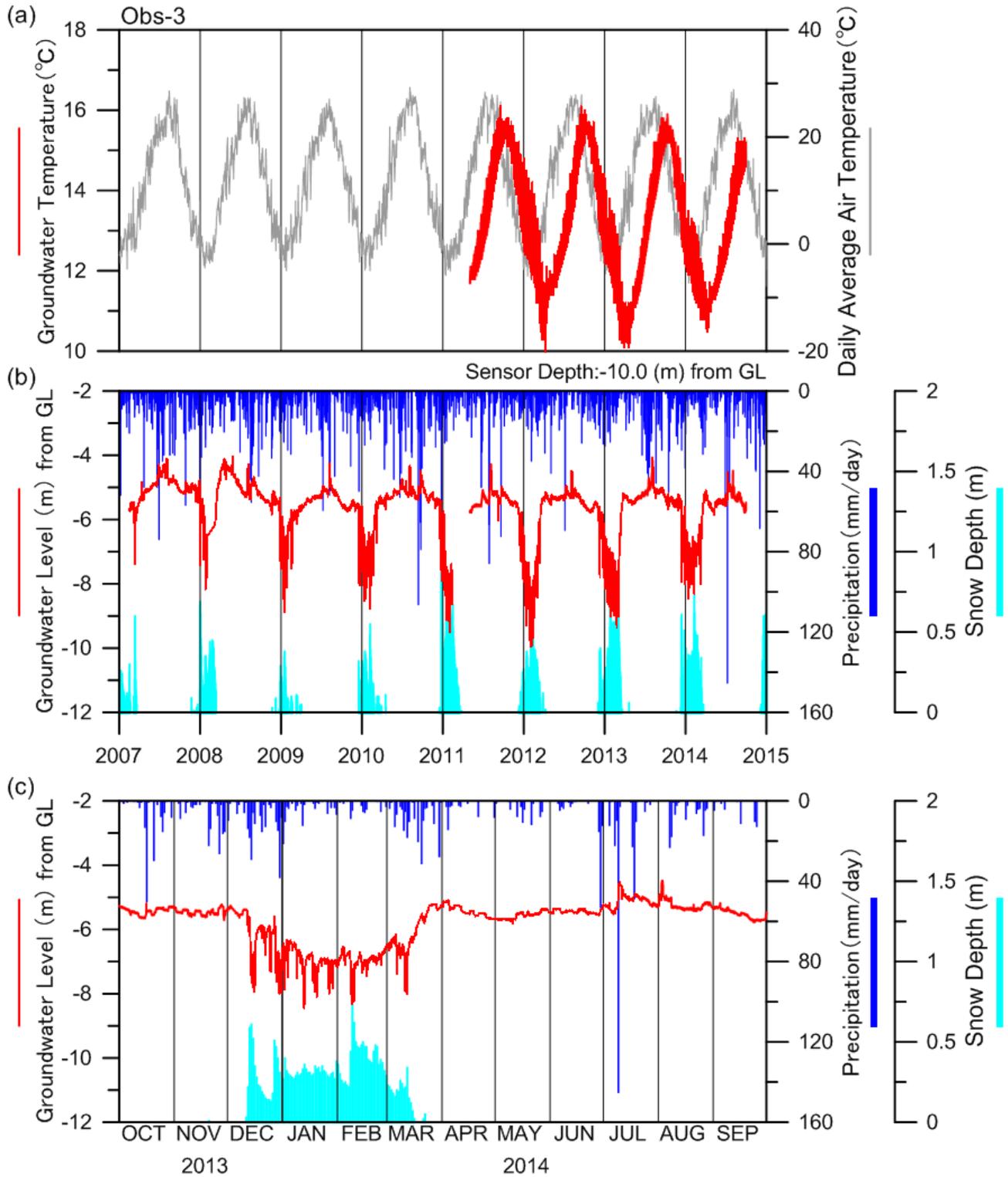
第A1図 観測井Obs-1における地下水位及び地下水温変動。(a)測定開始からの地下水温変動、(b)測定開始からの地下水位変動、(c)2013年10月1日～2014年9月30日の地下水位変動。線が途切れている所は欠測期間である。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A1 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-1. (a) Changes in groundwater temperature since measurement started, (b) Changes in groundwater level since measurement started, (c) Changes in groundwater temperature from October 1, 2013 to September 30, 2014. Interrupted lines show data missed. GL denotes Ground Level.



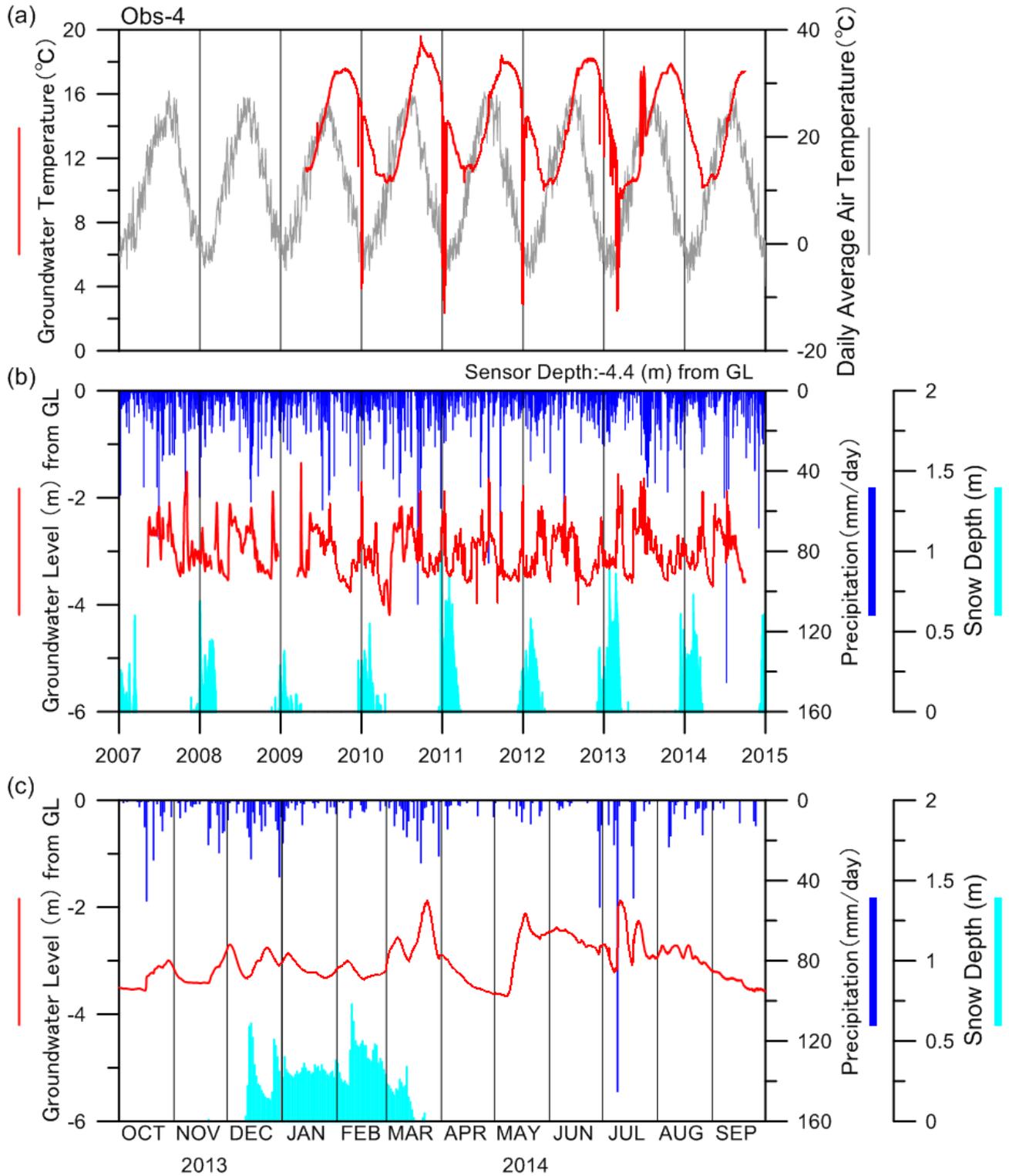
第A2図 観測井Obs-2における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A2 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-2. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



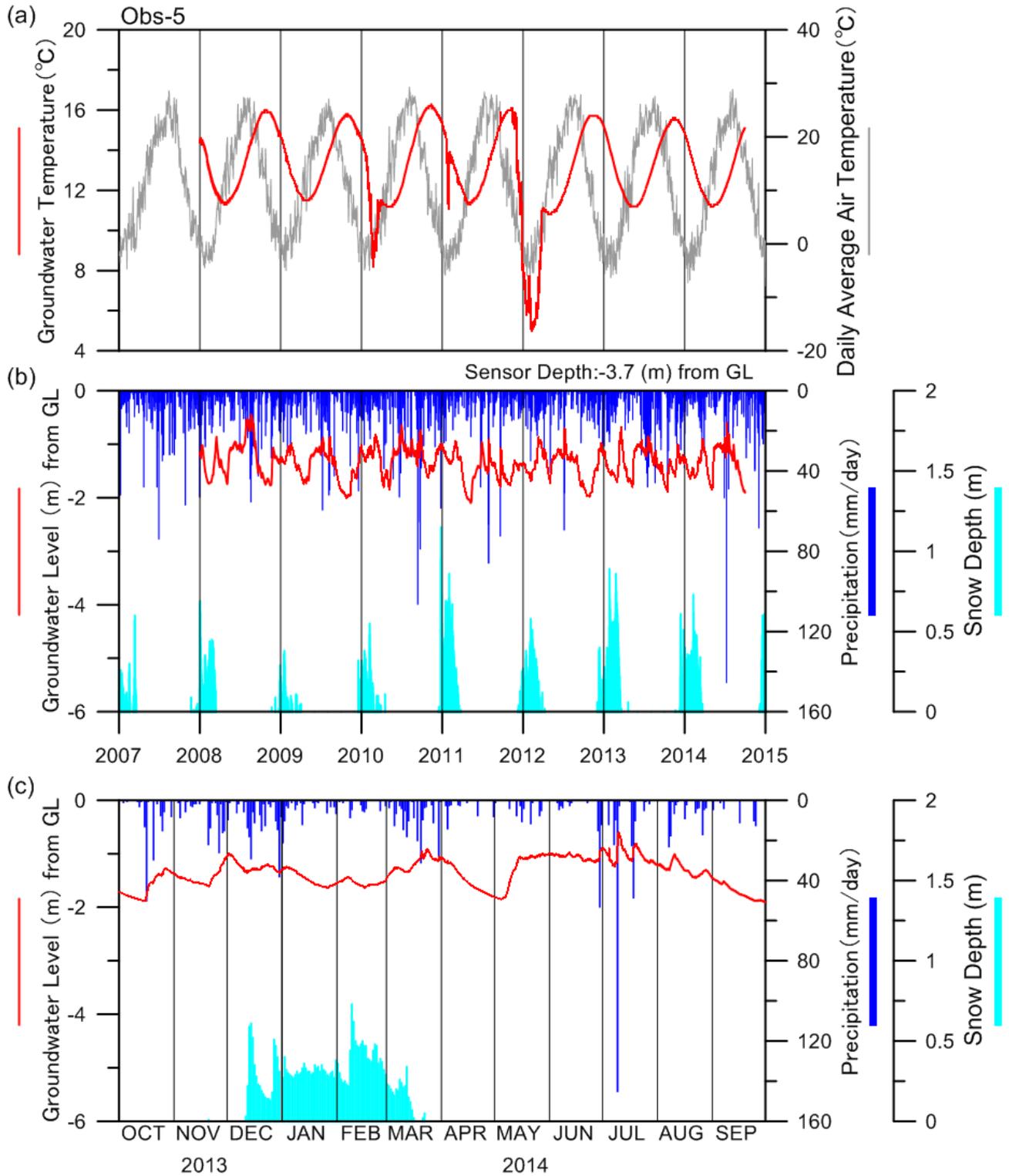
第A3図 観測井Obs-3における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A3 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-3. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



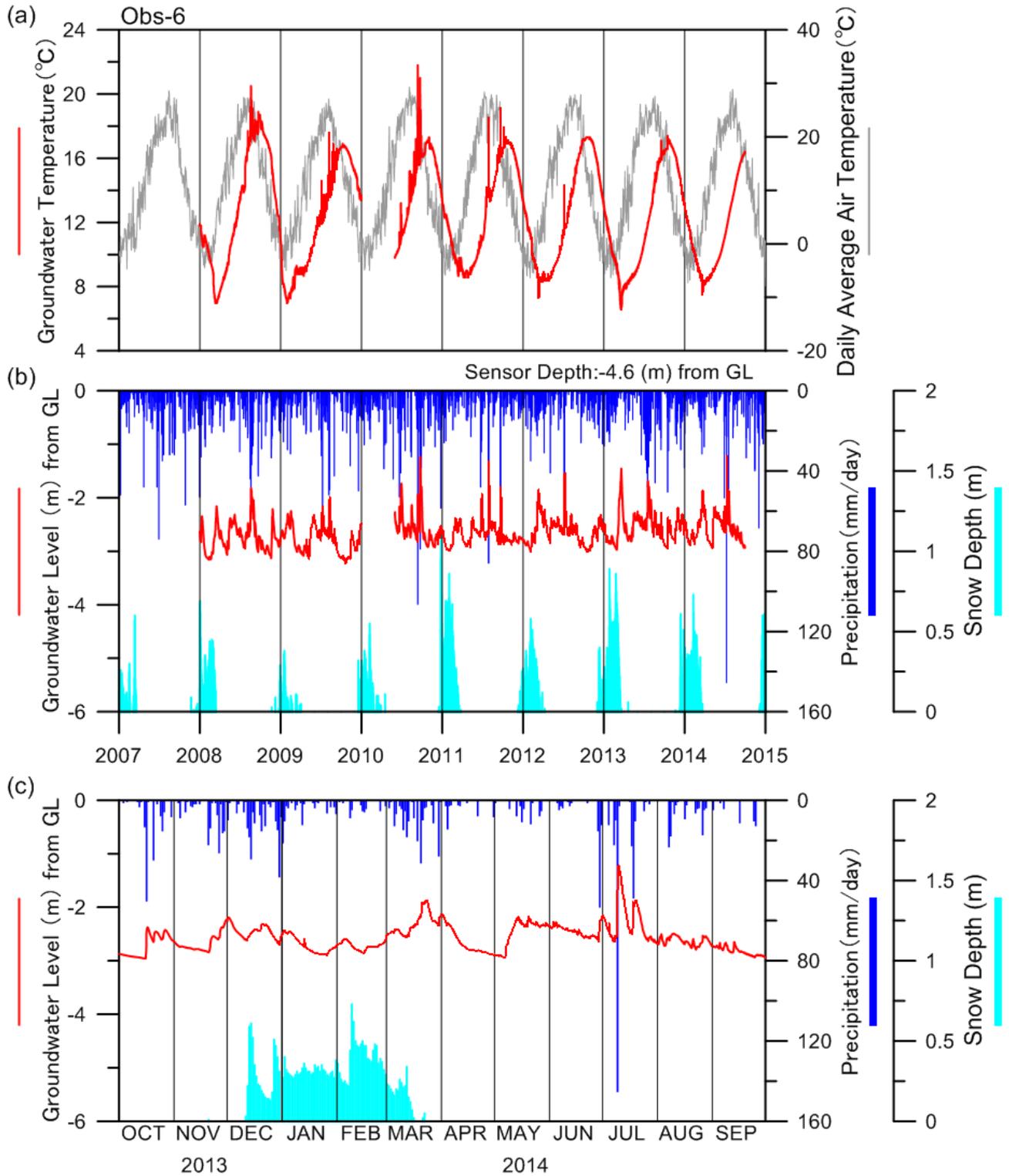
第A4図 観測井Obs-4における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A4 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-4. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



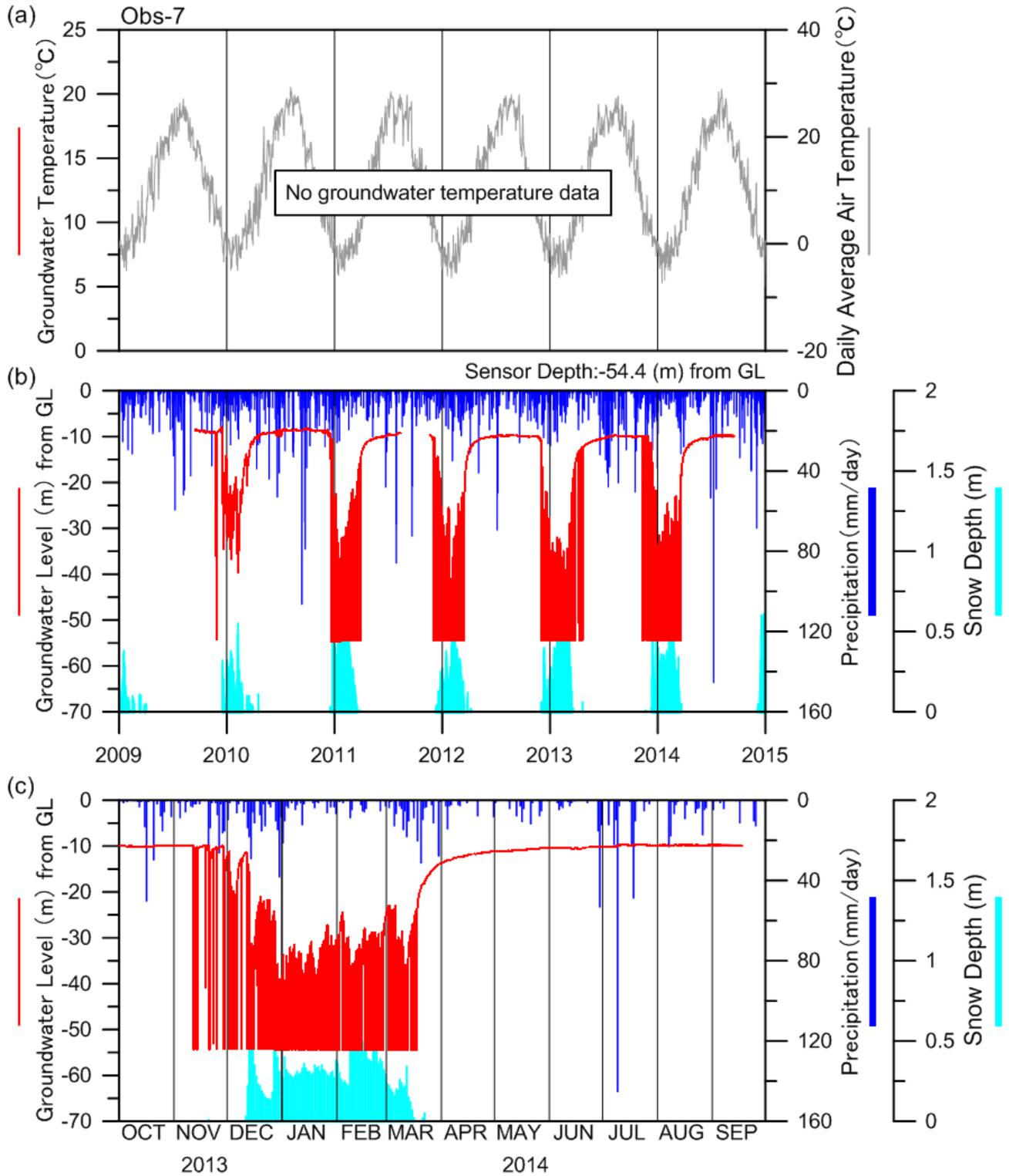
第A5図 観測井Obs-5における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A5 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-5. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



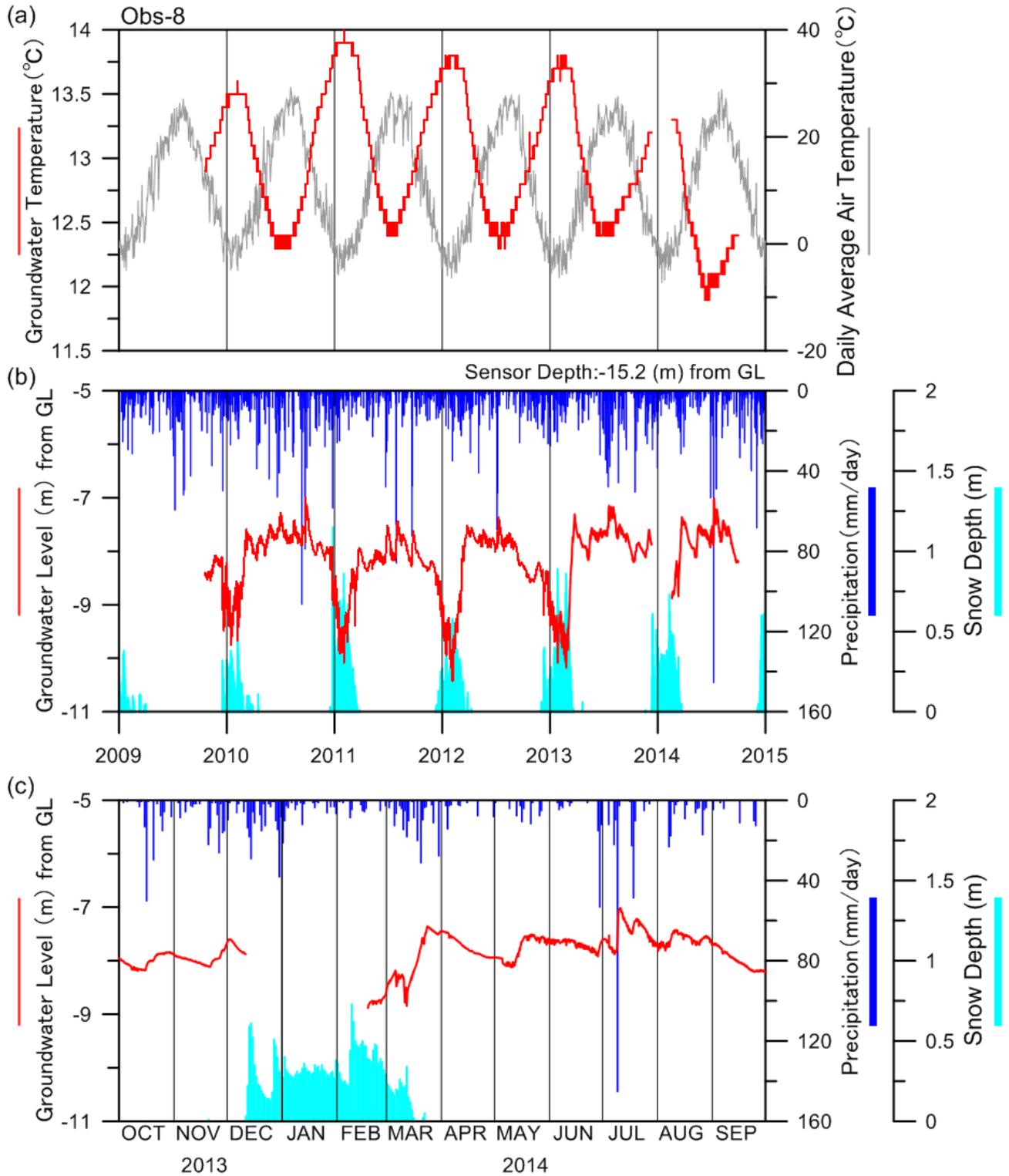
第A6図 観測井Obs-6における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A6 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-6. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



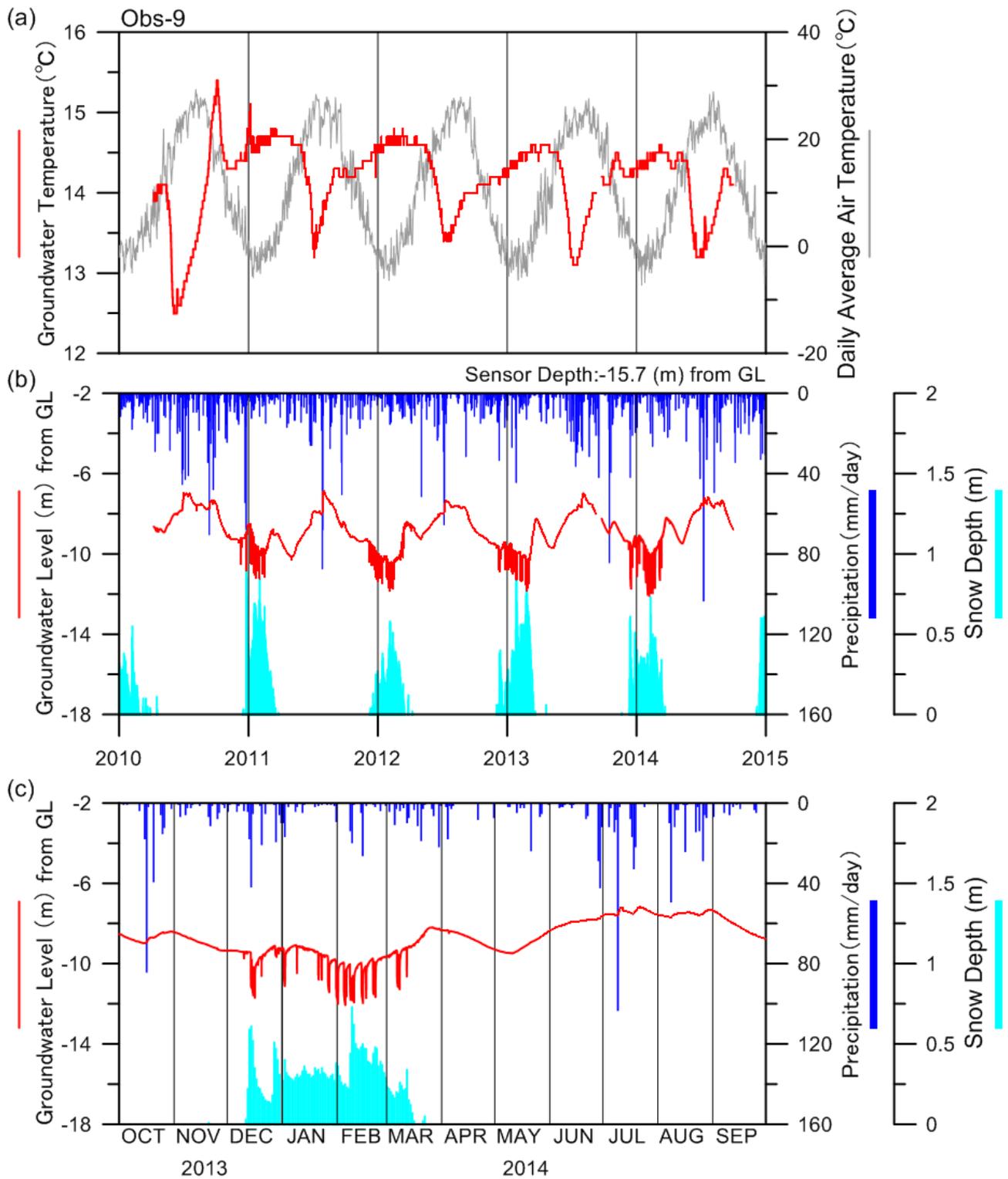
第A7図 観測井Obs-7における地下水位変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A7 Changes in groundwater level at Obs-7. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



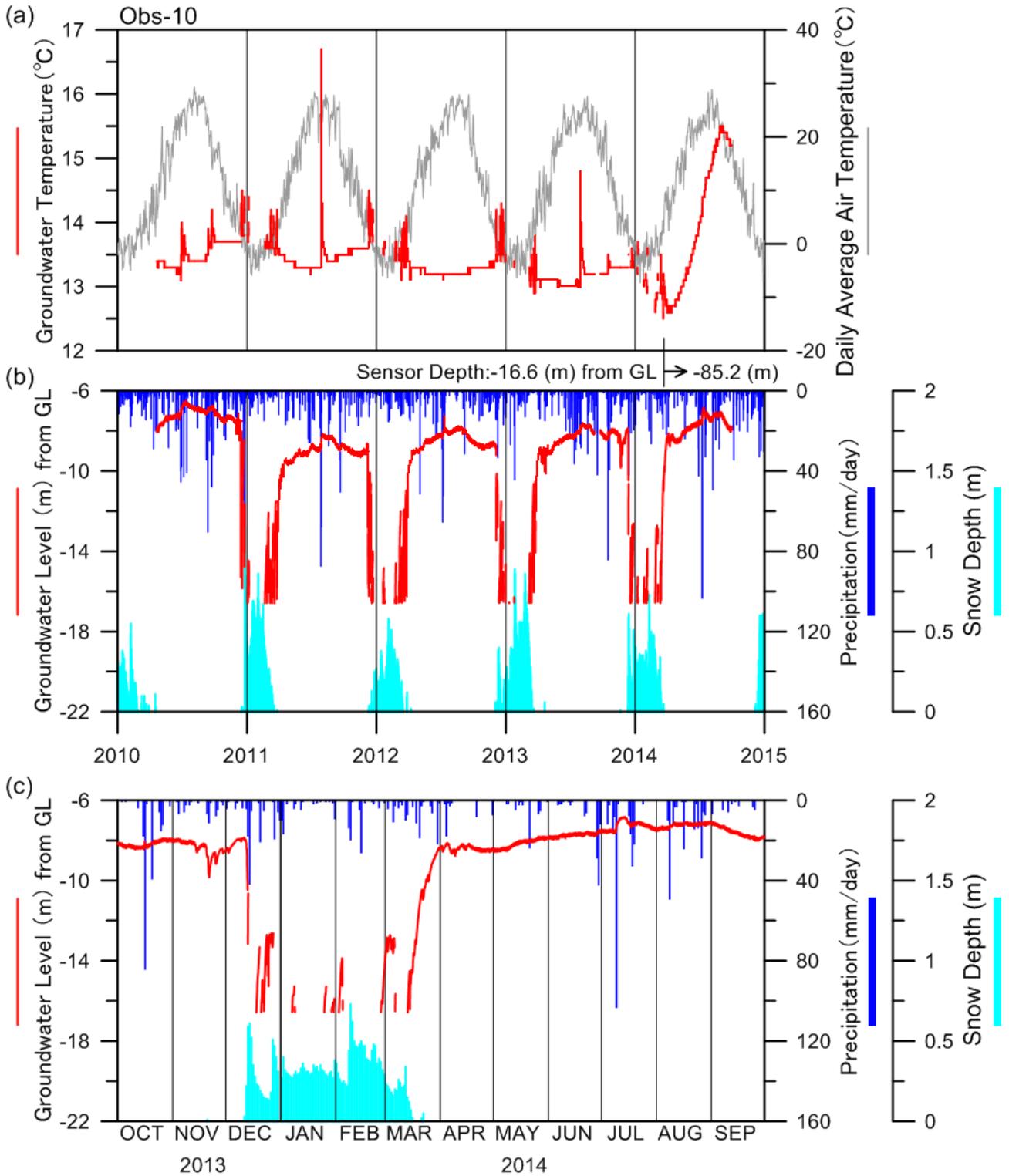
第A8図 観測井Obs-8における地下水位及び地下水温度変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A8 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-8. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



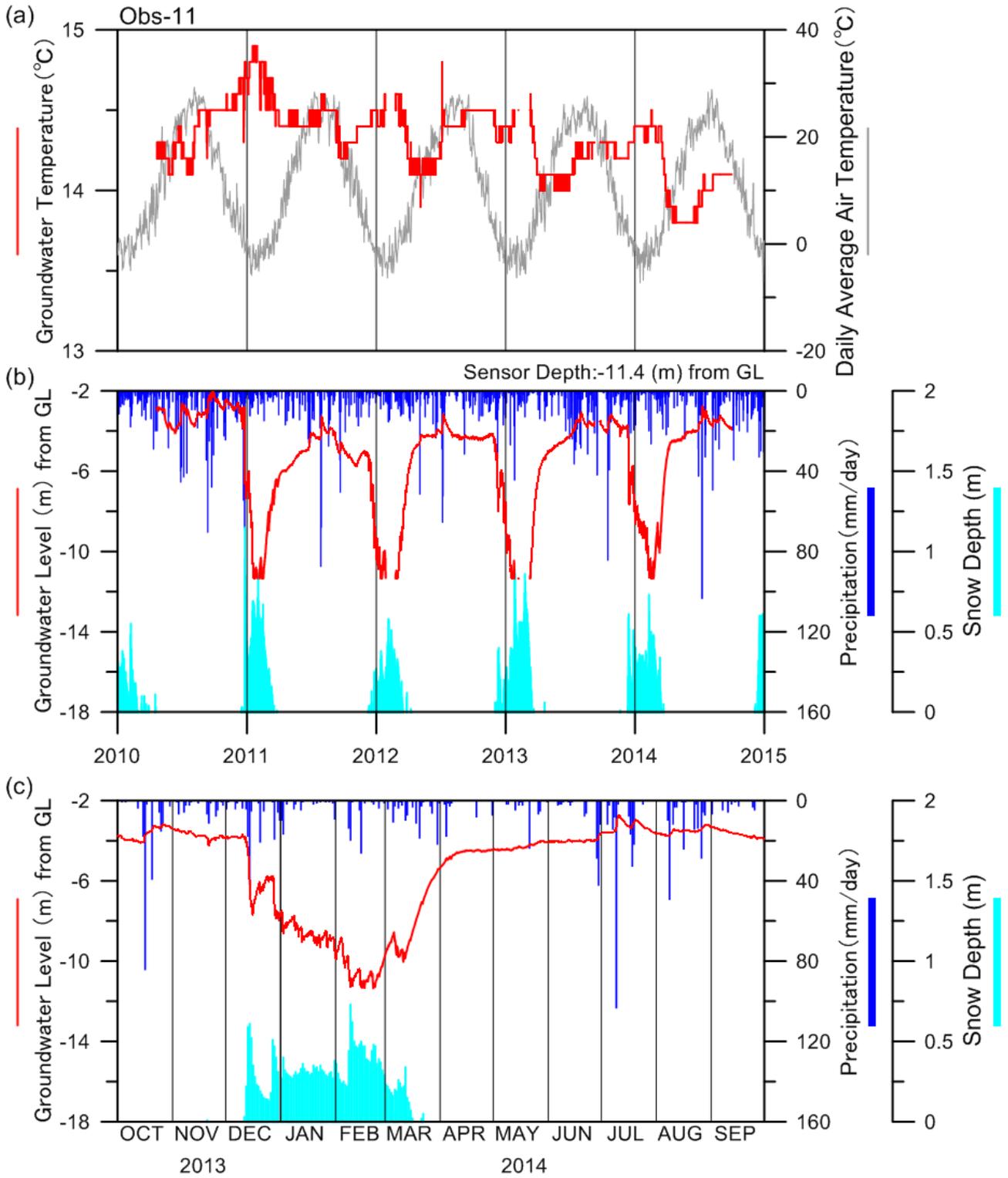
第A9図 観測井Obs-9における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A9 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-9. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



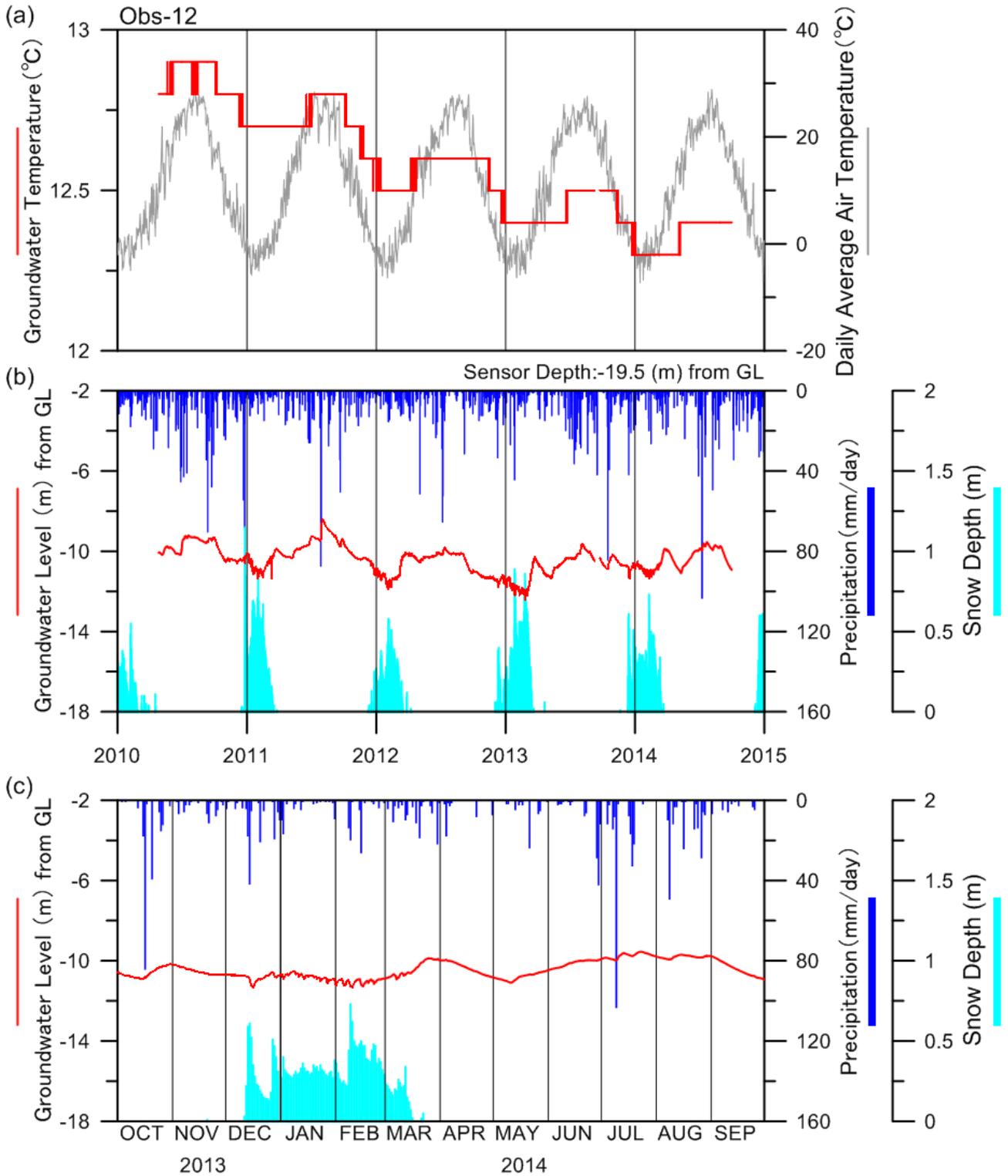
第A10図 観測井Obs-10における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A10 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-10. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



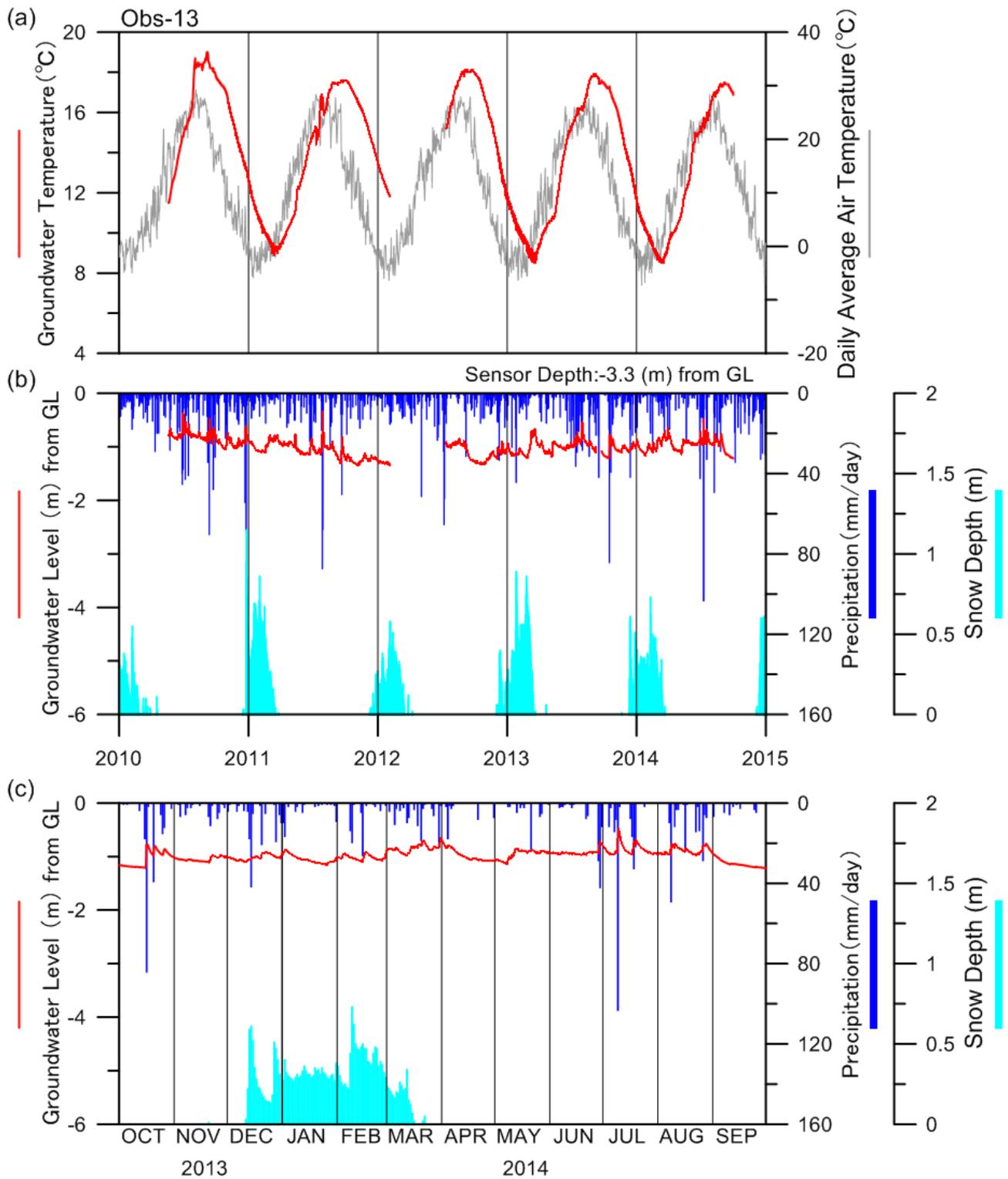
第A11図 観測井Obs-11における地下水位及び地下水温度変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A11 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-11. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



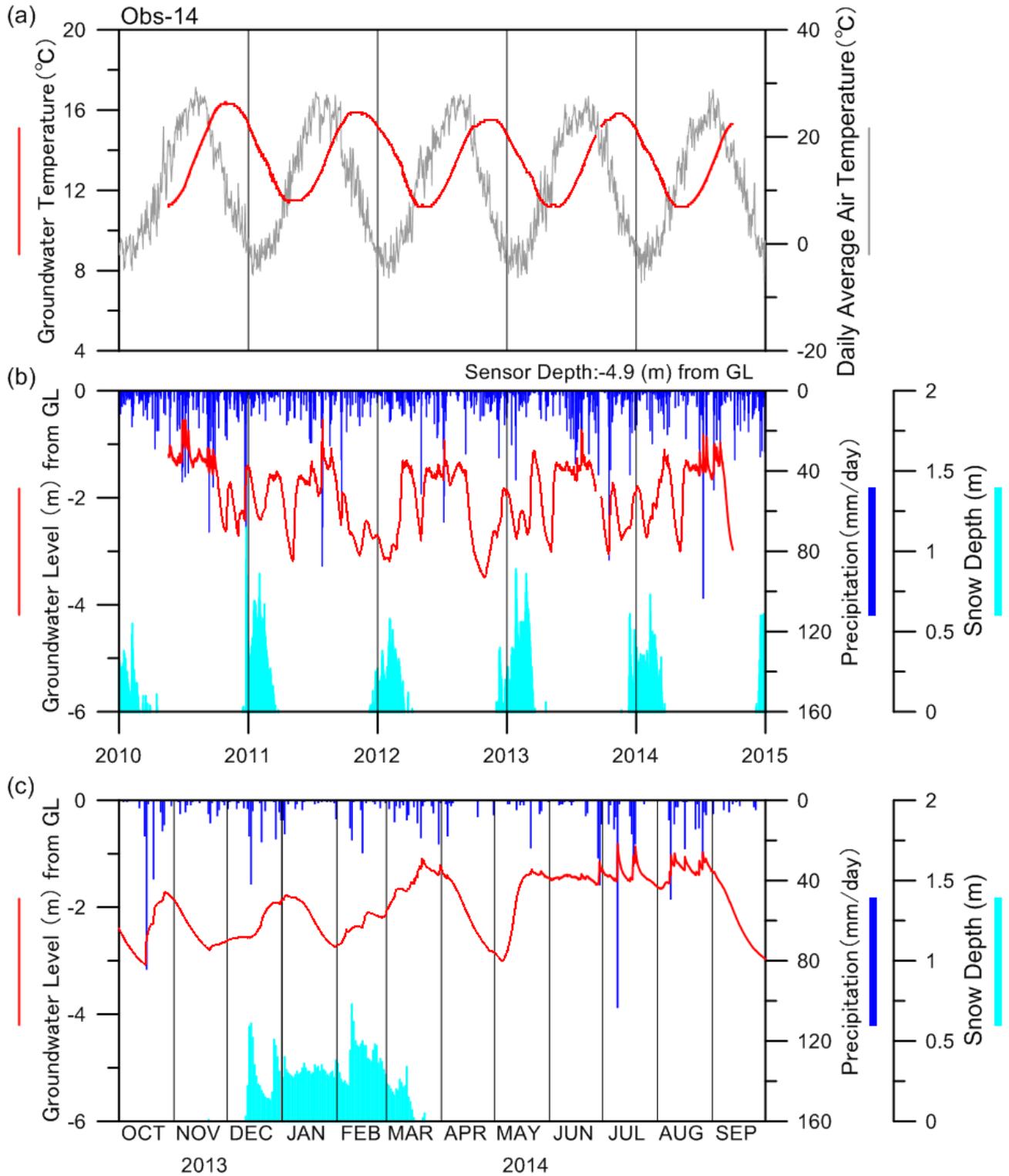
第A12図 観測井Obs-12における地下水位及び地下水温度変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A12 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-12. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



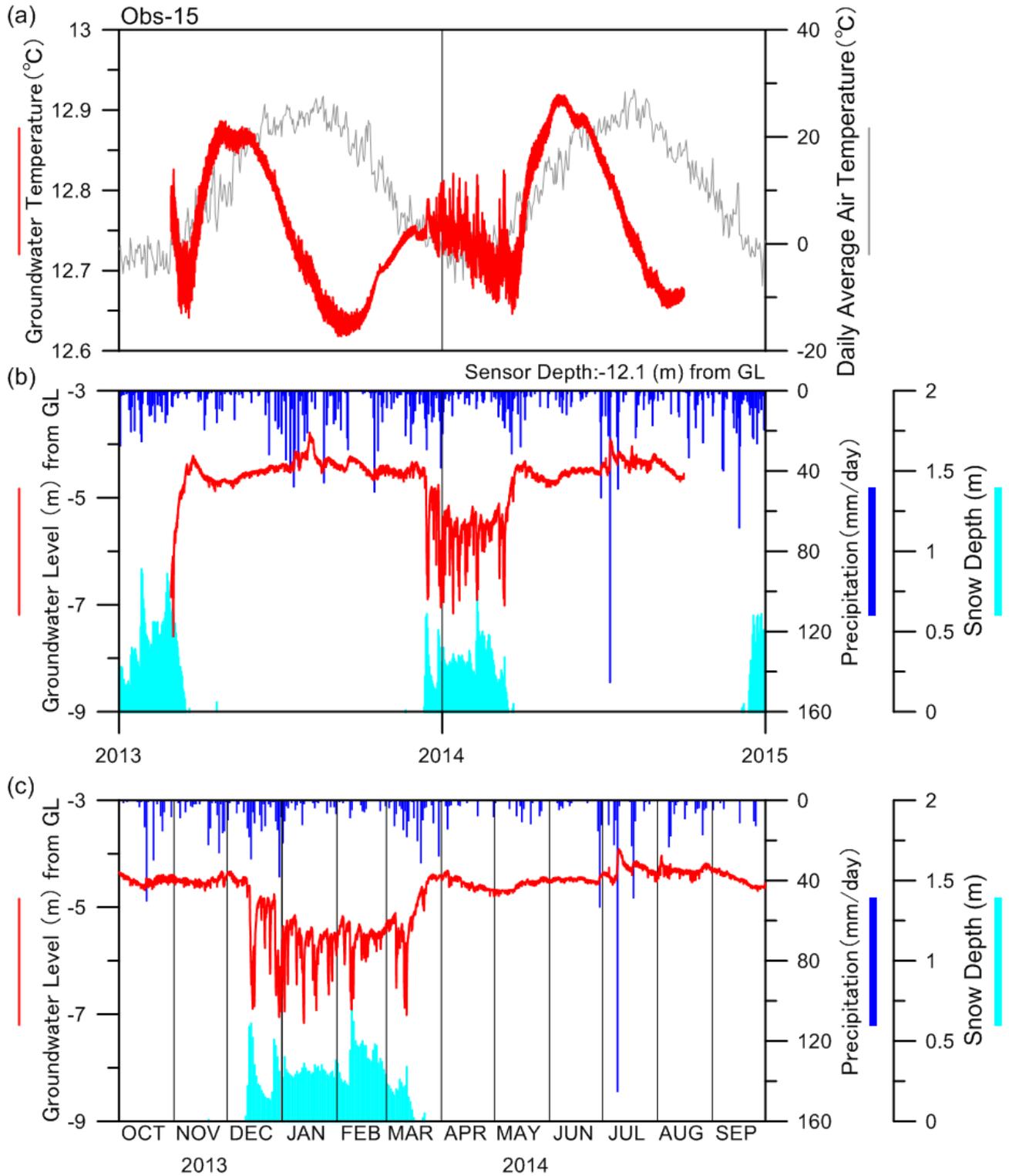
第A13図 観測井Obs-13における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A13 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-13. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



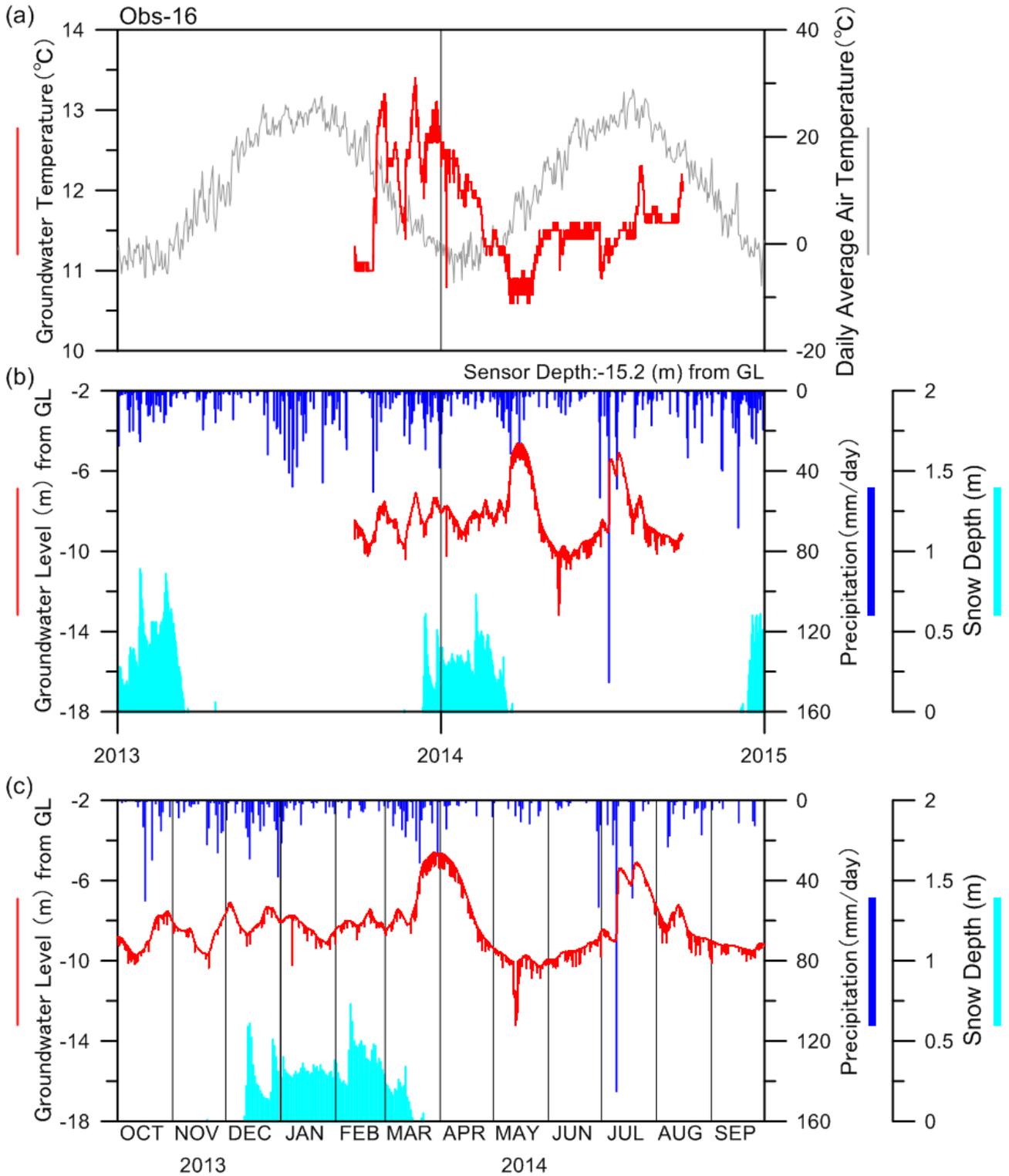
第A14図 観測井Obs-14における地下水位及び地下水温度変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A14 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-14. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



第A15図 観測井Obs-15における地下水位及び地下水温変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A15 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-15. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.



第A16図 観測井Obs-16における地下水位及び地下水温度変動。(a)–(c)の項目及び期間は、第A1図と同じ。GLは地表面(Ground Level)である。

Fig. A16 Changes in groundwater level and groundwater temperature at Obs-16. Parameters and periods in panels (a)–(c) are the same as Fig. A1. GL denotes Ground Level.

十和田火山, 先カルデラ期溶岩の K-Ar 年代

工藤 崇^{1,*}

Takashi Kudo (2016) K-Ar ages of lavas from the pre-caldera stage, Towada volcano, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.67 (6), p.209–215, 4 figs, 1 table.

Abstract: Towada volcano is an active volcano located in the northern part of the Northeast Japan arc. K-Ar ages of lavas exposed at the Towada caldera wall were determined to establish a detailed eruptive history during the pre-caldera stage of Towada volcano. The obtained K-Ar ages were 0.26 ± 0.07 and 0.13 ± 0.06 Ma for Ohanabeyama Lava and 0.09 ± 0.06 and 0.09 ± 0.06 Ma for Hakka Lava and Pyroclastics. Although these K-Ar ages have large error ranges, they are consistent with stratigraphy. Distal tephra stratigraphy at the Kamikita Plain suggests that the main volcanic activity of Towada volcano have started at no earlier than ca.0.22 Ma. The newly obtained K-Ar ages of proximal lavas are consistent with the onset age of the volcanic activity estimated from the distal tephra stratigraphy.

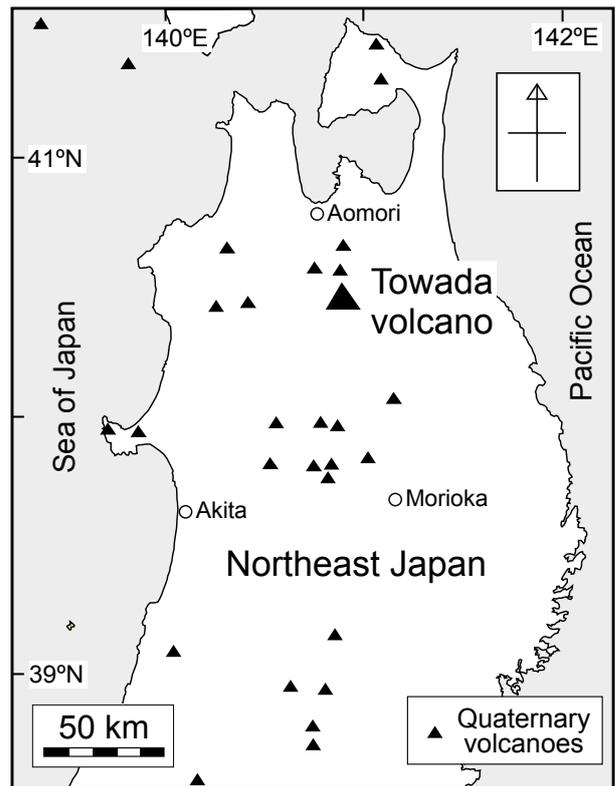
Keywords: Towada volcano, pre-caldera stage, K-Ar age, eruptive history, Pleistocene, Northeast Japan

要 旨

十和田火山先カルデラ期のより詳細な噴火史編年を目的として、給源近傍に分布する溶岩を対象に、K-Ar年代測定を行った。その結果、御鼻部山溶岩より 0.26 ± 0.07 及び 0.13 ± 0.06 Ma、発荷溶岩・火砕物より 0.09 ± 0.06 及び 0.09 ± 0.06 Maの年代が得られた。得られたK-Ar年代は、比較的誤差が大きいものの、いずれも層序と矛盾しない。給源遠方の上北平野におけるテフラ層序からは、十和田火山の主要な活動は約0.22 Ma以降に開始したと推定される。今回、給源付近の溶岩から得られたK-Ar年代は、上記の活動開始時期とは矛盾しない。

1. はじめに

十和田火山は、東北日本弧北部に位置し、直径約11 kmのカルデラを有する活火山である(第1図)。十和田火山の噴火活動史は、Hayakawa (1985), 松山・大池(1986), 中川ほか(1986)などにより明らかにされてきた。それらによれば、十和田火山の活動は、先カルデラ期(55 ka以前)、カルデラ形成期(55–15.5 ka)、後カルデラ期(15.5 ka–現在)の3つの活動期に区分される。なお、ここでの各活動期の年代は、Hayakawa (1985) 及びHoriuchi *et al.* (2007) による。十和田火山最新の後カルデラ期については、近年の研究によって、より詳細な噴火活動履歴が明らかにされつつある(久利・栗田, 2003; 工藤・佐々

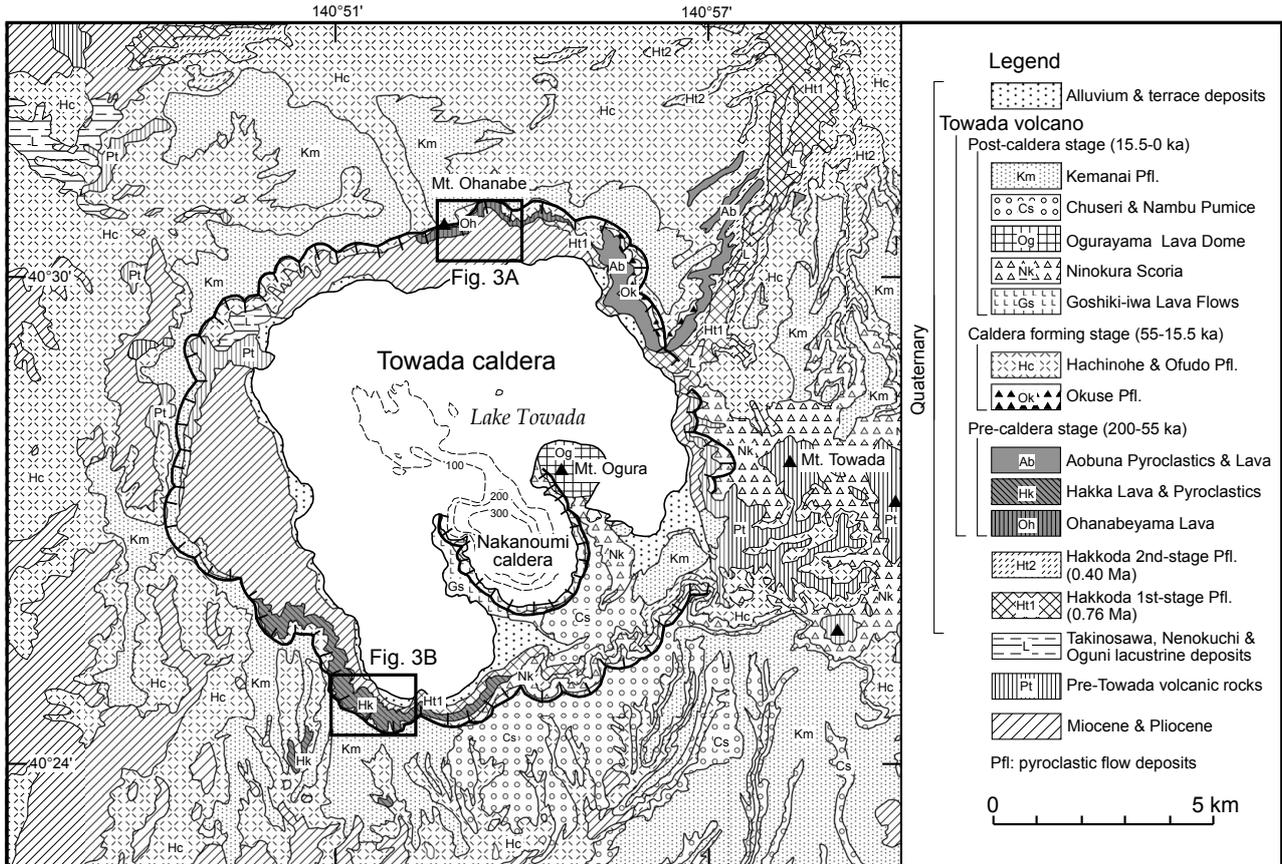


第1図 十和田火山の位置図。

Fig. 1 Location map of Towada volcano.

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

*Corresponding author: T. Kudo, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email: kudo-taka@aist.go.jp



第2図 十和田火山の地質図。Hayakawa (1985), 村岡・高倉(1988)をコンパイル及び一部改変した。

Fig. 2 Geological map of Towada volcano, compiled and partly modified from Hayakawa (1985) and Muraoka and Takakura (1988).

木, 2007; 工藤, 2008, 2010a, b; 広井ほか, 2015など)。一方, 先カルデラ期-カルデラ形成期に関しては, 一部の大規模な噴火イベントを除いて, 活動履歴の把握が十分になされているとは言い難い。このうち, 先カルデラ期の噴出物については, 給源近傍で溶岩を主体とする噴出物(第2図; Hayakawa, 1985など)が, 給源遠方の上北平野では降下テフラ群(松山・大池, 1986; 中川ほか, 1986; 工藤, 2005; 工藤・小林, 2013)が認められている。後者については, 詳細なテフラ層序がほぼ確立している。その一方, 前者については詳細な層序が未だ不明であり, 放射年代データも佐々木ほか(1998)による学会講演要旨において2点のK-Ar年代が報告されているのみである。そのため, 給源近傍相と遠方相の対比も明らかにされていない。

長期的な噴火活動予測のためには, 過去の噴火履歴をできるだけ詳細に把握しておくことが必要である。特に, 十和田火山の先カルデラ期は, 大規模カルデラ噴火に先行するステージとして位置づけられる。そのため, 詳細な噴火活動史を構築し, その時間変化傾向を把握することは, カルデラ噴火の長期的将来予測を行うためにも重

要である。そこで筆者は, 十和田火山先カルデラ期より詳細な噴火活動史の構築を目指して, 目下調査・研究を進めているところである。その調査・研究の過程で, 給源近傍に分布する先カルデラ期の溶岩類を対象としてK-Ar年代測定を実施した。本論では, その結果について報告するとともに, 十和田火山の活動開始時期について考察を行う。

2. 先カルデラ期噴出物の地質記載

十和田火山の先カルデラ期噴出物は, 給源近傍において, 御鼻部山溶岩, 発荷溶岩・火砕岩, 青樺山火砕岩・溶岩の3つの地質ユニットに区分されている(第2図; Hayakawa, 1985; 村岡・高倉, 1988; 宝田・村岡, 2004)。これら三者の層序関係は, それぞれの分布域が離れているため不明である。いずれも, 十和田火山カルデラ形成期噴出物(55-15.5 ka)よりも下位, 八甲田第2期火砕流堆積物(0.40 Ma; 村岡・高倉, 1988)よりも上位とされている(Hayakawa, 1985; 村岡・高倉, 1988; 宝田・村岡, 2004)。以下に, 各地質ユニットについて概要記

載を行う。

御鼻部山溶岩

地層名は Hayakawa (1985) による。Hayakawa (1985) は、本溶岩を南八甲田火山群起源としたが、村岡・高倉 (1988)、宝田・村岡 (2004) は十和田火山起源とした。その理由は明記されていないが、本溶岩の分布が十和田カルデラの北壁に限られること (第2図)、南八甲田火山群の火山体末端から 6 km 離れていること、地形的にも南八甲田火山群から流れてきたとは考えにくいことから、本論においても十和田火山起源と判断する。本溶岩は、十和田カルデラの北壁、御鼻部山付近に分布し (第2図)、複数枚の安山岩溶岩から構成される。本溶岩は、中新統を覆い、十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる。層厚は最大で 250 m 程度である。

発荷溶岩・火砕物

地層名は Hayakawa (1985) による「発荷火山」に由来する。ただし、「発荷火山」という名称は地層名としてふさわしくないため、本論ではこれを「発荷溶岩・火砕物」とする。本溶岩・火砕物は、十和田カルデラの南西壁付近に分布し (第2図)、主に玄武岩質安山岩-安山岩の溶岩から構成され、降下火砕堆積物及び火砕流堆積物を伴う。これらは小規模な成層火山体 (発荷火山) を構成していたと推定されている (Hayakawa, 1985)。本溶岩・火砕物は、中新統及び八甲田第1期火砕流堆積物 (約 0.76 Ma: 村岡・高倉, 1988; Suzuki *et al.*, 2005) を覆い、十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる。層厚は最大で 200 m 程度である。

青樫山火砕物・溶岩

地層名は Hayakawa (1985) による「あおふな青樫火山」に由来し、その後、宝田・村岡 (2004) により「青樫山火砕物・溶岩」に改称された。本火砕物・溶岩は、十和田カルデラの北東壁付近に分布し (第2図)、主に降下火砕堆積物及び火砕流堆積物から構成され、複数枚の玄武岩質安山岩-安山岩溶岩流を伴う。これらは小規模な成層火山体 (青樫火山) を構成していたと推定されている (Hayakawa, 1985)。本火砕物・溶岩は、八甲田第1期・第2期火砕流堆積物を覆い、十和田火山カルデラ形成期の奥瀬火砕流堆積物 (大池・中川, 1979; Hayakawa, 1985) に覆われる。また、中部付近では広域テフラである洞爺火山灰 (Toya: 町田ほか, 1987) を挟在する (Hayakawa, 1985; 早川, 1993)。層厚は最大で 150 m 程度である。

3. K-Ar 年代測定対象の選定

今回、御鼻部山溶岩 1 試料、発荷溶岩・火砕物 1 試料について、K-Ar 年代測定を実施した。これらの試料を選定した理由は、以下の通りである。

御鼻部山溶岩

本溶岩からは、佐々木ほか (1998) により 0.19 ± 0.10 Ma の K-Ar 年代が報告されている。しかし、学会講演要旨のため、試料採取地点、層準、詳細な分析データが示されていない。本溶岩については、テフラとの層序関係が不明なため、噴出時期を知るためには溶岩自体の放射年代値を得る必要がある。そこで、今回測定対象として選定した。

発荷溶岩・火砕物

本溶岩・火砕物からは、これまで放射年代の報告はない。本溶岩・火砕物も、テフラとの層序関係が不明なため、噴出時期を知るためには溶岩自体の放射年代値を得る必要がある。そこで、今回測定対象として選定した。

青樫山火砕物・溶岩

本火砕物・溶岩を構成する溶岩からは、佐々木ほか (1998) により 0.06 ± 0.06 Ma の K-Ar 年代が報告されている。本火砕物・溶岩に関しては、広域テフラである Toya との層序関係が判明していること、火砕物を主体としていることから、今後、上北平野に分布するテフラとの対比を進めることで、詳細な噴火史を編年できる可能性がある。また、既存の K-Ar 年代値から、本火砕物・溶岩は年代が若過ぎて十分な精度の年代が得られない可能性があると考えた。そのため、今回測定対象として選定しなかった。

4. 試料採取地点と産状・岩石記載

青森県十和田市御鼻部山の地点 1 (第3図A) 及び秋田県小坂町発荷の地点 2 (第3図B) で採取した試料 (試料番号 13091710 及び 13052509) を、K-Ar 年代測定に供した。前者は御鼻部山溶岩、後者は発荷溶岩・火砕物から得られた試料である。以下、各試料について、それぞれ産状・岩石記載を行う。

試料 13091710

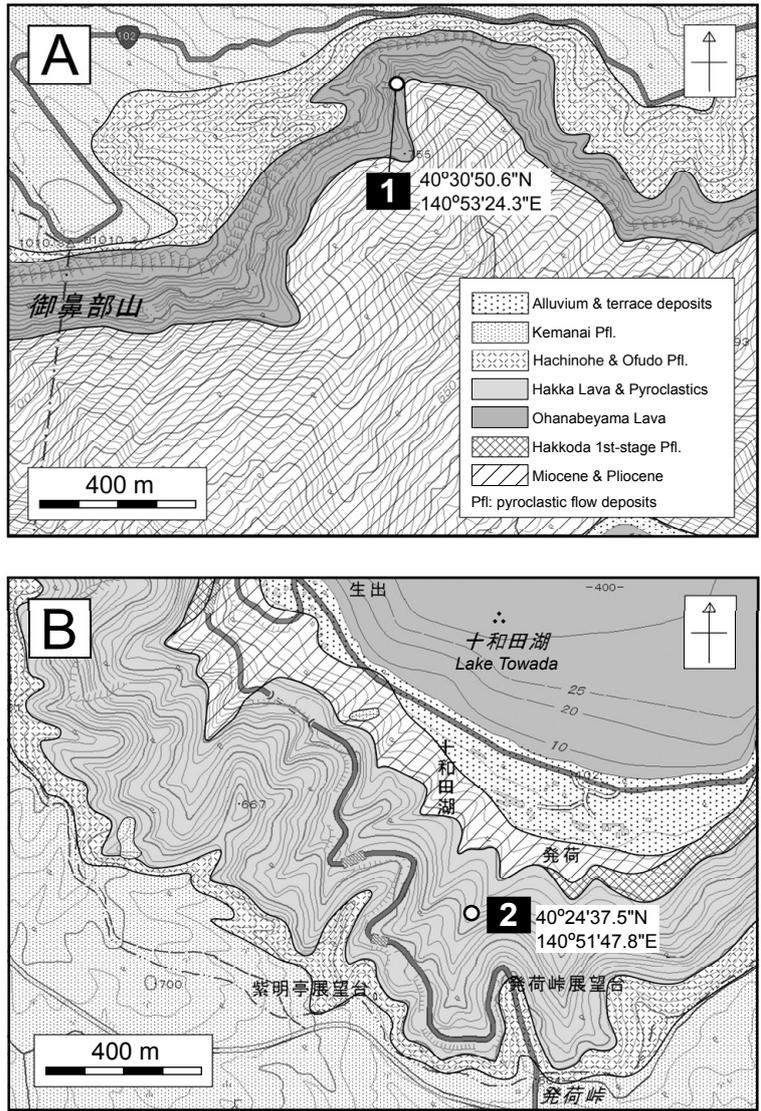
地層名 御鼻部山溶岩。

採取地点 地点 1 (第3図A)。

産状 地点 1 では、2 枚の溶岩流と、降下火砕物、シルト層の互層が観察される (第4図)。本試料は、下位に位置する層厚 5.3 m の溶岩流の塊状部から得られた。この溶岩流は、塊状部と上下のクリンカー部で構成される。この溶岩流は、地点 1 付近で認められる御鼻部山溶岩の中では最下位の溶岩流である。直接の層序関係を見ることはできないが、地点 1 より下流側では中新統が露出する (第3図A)。

岩石名 単斜輝石斜方輝石安山岩。

記載岩石学的特徴 斑状組織を示す。斑晶鉱物として



第3図 試料採取地点の位置及び地質図。それぞれの区域の位置は第2図に示してある。地質図は著者のオリジナルな調査結果に基づく。基図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(陸奥焼山及び小坂鉾山)を使用。凡例はAとBで共通。

Fig. 3 Locality and geological map showing the sampling sites. Location of each area is shown in Fig. 2. Geological maps are based on the author's original geological survey. Base maps are 1:25,000 topographic maps (Mutsu-yakeyama and Kosakakouzan) published by the Geospatial Information Authority of Japan. Legends are common in A and B.

斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物を含む。これらの斑晶はしばしば集斑晶を構成する。斜長石斑晶は長径4.5 mm以下で, 自形-半自形を呈する。斜方輝石斑晶は長径1.5 mm以下で, 自形-半自形を呈し, そのほとんどが外縁部に単斜輝石の薄いリムを有する。単斜輝石斑晶は長径2 mm以下で, 自形-半自形を呈する。不透明鉱物斑晶は長径0.4 mm以下で自形-他形を呈する。石基はインターサタル組織を示し, 針状の斜長石と単斜輝石, 粒状の不透明鉱物で構成される。石基は完晶質で, ガラスはほとんど認められない。石

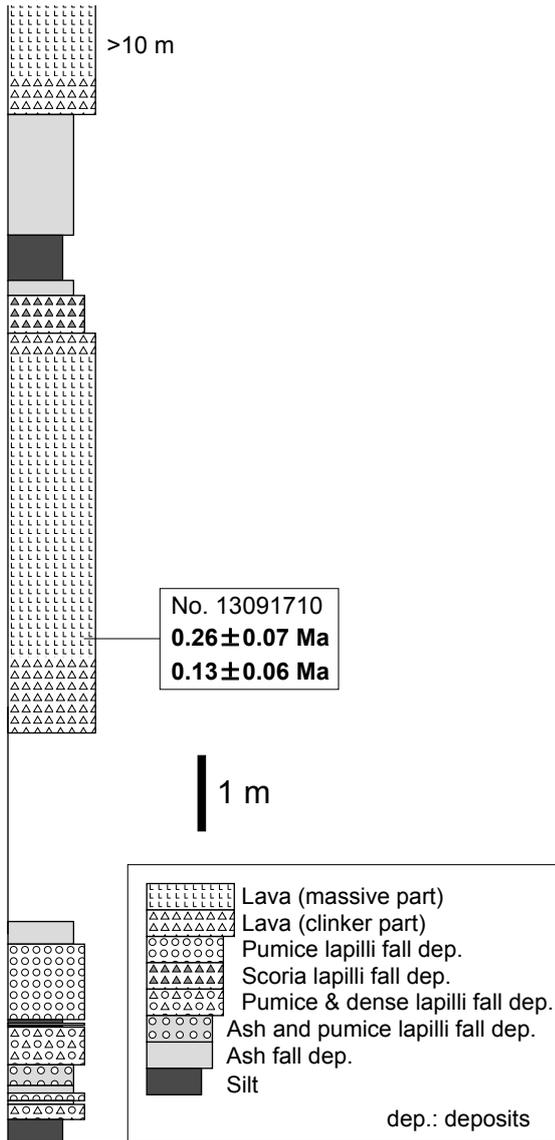
基部分に変質は認められない。

試料13052509

地層名 発荷溶岩・火砕物。

採取地点 地点2 (第3図B)。

産状 地点2では, 鉛直方向2 m, 側方向1 mほどの小規模な露頭であるが, 層厚2 m以上の溶岩流が観察される。上部1 mがクリンカー部, 下部1 mが塊状部からなる。試料は塊状部から採取した。この溶岩流は, 発荷溶岩・火砕物の中では相対的には中部付近の層準



第4図 地点1における地質柱状図。
Fig. 4 Stratigraphic columnar section at the location 1.

にあたる(第3図B)。

岩石名 かんらん石含有斜方輝石単斜輝石安山岩。

記載岩石学的特徴 斑状組織を示す。斑晶鉱物として斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物, かんらん石を含む。斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物斑晶は, しばしば集斑晶を構成する。斜長石斑晶は長径3.5 mm以下で, 自形-半自形を呈する。単斜輝石斑晶は長径1.5 mm以下で, 自形-半自形を呈する。斜方輝石斑晶は長径2 mm以下で, 自形-半自形を呈する。不透明鉱物斑晶は長径1 mm以下で自形-他形を呈する。かんらん石斑晶は薄片中に1個認められるのみであり, 長径0.5 mmで自形を呈する。石基はインターサタル組織を示し, 長柱状-粒状の斜長石, 単斜輝石, 不

透明鉱物で構成される。石基は完晶質で, ガラスはほとんど見られない。石基部分に変質は認められない。

5. K-Ar 年代測定手法

K-Ar年代測定は, 株式会社蒜山地質年代学研究所に依頼した。測定対象は石基とし, 分離方法は八木(2006)に従った。年代測定方法は, 長尾ほか(1984), 長尾・板谷(1988), Itaya *et al.* (1991)に従った。Kの定量は炎光分光法により行った。Arの定量には³⁸Arをトレーサーとした同位体希釈法を用いた。Ar同位体の測定は2回行い, それぞれの測定値を用いて年代を計算した。年代値の計算にはSteiger and Jäger (1977)による壊変定数を用いた。

6. K-Ar 年代と年代値の評価

K-Ar年代測定結果を第1表に示す。御鼻部山溶岩からは, 0.26 ± 0.07 Ma, 0.13 ± 0.06 Ma (誤差は1σ, 以下全て同様)の年代が得られた。これらの加重平均を求めると0.19 ± 0.05 Maとなる。ただし, 両者のデータは, 1σを越える差が認められることから, 統計学的にはつじつまの合わないデータと判断され, 扱いには注意を要する。先行研究においては, 御鼻部山溶岩より0.19 ± 0.10 MaのK-Ar年代が報告されている(佐々木ほか, 1998)。今回得られたK-Ar年代は, 先行研究による年代とは誤差の範囲で矛盾しない。また, これらの年代は, 御鼻部山溶岩が中新統を覆い, 十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる層序関係と調和する。年代値の誤差がやや大きいものの, 現時点では, 御鼻部山溶岩の噴出時期はおおよそ20万年前と推定される。

発荷溶岩・火砕物からは, 2回のAr測定により, いずれも0.09 ± 0.06 Maの年代が得られた。これらの加重平均は0.09 ± 0.04 Maとなる。年代値に対して誤差が大きなものとなったが, その原因としては, 年代の若い試料であることに加え, K含有量が低いことが挙げられる。この年代は, 発荷溶岩・火砕物が中新統及び八甲田第1期火砕流堆積物(村岡・高倉, 1988)を覆い, 十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる層序関係と調和する。発荷溶岩・火砕物については, これまで放射年代が未報告であり, テフラとの関係も不明であったため, 年代に関して不明な点が多かった。今回, 誤差が大きいとはいえ, 年代が得られた意義は大きい。

青楓山火砕物・溶岩の溶岩からは, 0.06 ± 0.06 MaのK-Ar年代が報告されている(佐々木ほか, 1998)。青楓山火砕物・溶岩は, 中部に0.112 Ma(白井ほか, 1997)のToyaを挟在し, 層序関係から約0.055 Ma(Hayakawa, 1985)とされる奥瀬火砕流堆積物に覆われる。これらの年代・層序関係から, 少なくとも青楓山火砕物・溶岩の一部については12-6万年前の産物と考えられる。以上の年代デー

第1表 K-Ar年代測定結果.
Table 1 Results of K-Ar age determination.

| Sample name | Geological unit | Occurrence | Locality* | Latitude (N) | Longitude (E) | K (wt.%) | Rad. ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁸ cc STP/g) | K-Ar age (Ma) | Non rad. ⁴⁰ Ar (%) |
|-------------|---------------------------|---------------|-----------|--------------|---------------|---------------|---|---------------|-------------------------------|
| 13091710 | Ohanabeyama Lava | Andesite lava | 1 | 40°30'50.6" | 140°53'24.3" | 0.388 ± 0.008 | 0.39 ± 0.10 | 0.26 ± 0.07 | 94.0 |
| | | | | | | | 0.20 ± 0.09 | 0.13 ± 0.06 | 96.7 |
| | | | | | | | weighted average: 0.19 ± 0.05 | | |
| 13052509 | Hakka Lava & Pyroclastics | Andesite lava | 2 | 40°24'37.5" | 140°51'47.8" | 0.616 ± 0.012 | 0.22 ± 0.14 | 0.09 ± 0.06 | 97.3 |
| | | | | | | | 0.22 ± 0.13 | 0.09 ± 0.06 | 97.2 |
| | | | | | | | weighted average: 0.09 ± 0.04 | | |

*See Fig. 3. The decay constants used in the present study are $\lambda_e(^{40}\text{K})=0.581\times 10^{-10}/\text{year}$, $\lambda_\beta=4.962\times 10^{-10}/\text{year}$ and $^{40}\text{K}/\text{K}=1.167\times 10^{-4}$ (Steiger and Jäger, 1977). Errors are given at the 1 σ uncertainty level. Rad.: radiogenic.

タより、青樫山火砕物・溶岩と発荷溶岩・火砕物の一部は、ほぼ同時期の火山活動による産物である可能性が指摘される。

7. 十和田火山の活動開始時期について

十和田火山の活動開始時期については、Hayakawa (1985) が約20万年前と推定している。ただし、その具体的な根拠は示されていない。十和田火山東方の上北平野において、十和田火山起源のテフラはWPテフラ(東北地方第四紀研究グループ, 1969)より上位の層準で出現する(岩崎, 1983; 松山・大池, 1986; 工藤, 2005)。WPの放射年代としては、 0.28 ± 0.05 MaのFT年代(桑原, 2007), 0.23 ± 0.05 MaのFT年代(工藤・小林, 2013)が得られている。一方、工藤・小林(2013)は、ローム層の植物珪酸体分析結果(桑原, 2009)に基づき、WPの年代をMIS(海洋酸素同位体ステージ)7/6境界にあたる0.19 Ma付近と推定している。さらに最近、Matsu'ura *et al.* (2014)は、海洋コアの酸素同位体層序よりWPの年代を約0.22 Maと見積もった。この年代は、上北平野における海成段丘面の編年及びローム層の植物珪酸体分析結果(桑原, 2004, 2009など)とも矛盾がなく、現時点ではWPの年代として最も妥当と判断される。以上のように、上北平野に分布するテフラからは、十和田火山の主要な活動は約0.22 Ma以降に開始されたと推定される。今回、給源付近の溶岩から得られたK-Ar年代は、誤差が大きなものではあるが、上記の活動開始時期とは矛盾しない。

謝辞：本報告で公表した年代値は、原子力規制庁からの受託研究において実施した「平成26年度 火山影響評価に係る技術的知見の整備」により得られたものである。本研究を行うにあたり、活断層・火山研究部門の山元孝広氏には諸般にわたってお世話になった。地質標本館室地質試料調製グループの大和田 朗氏、佐藤卓見氏、福田和幸氏、平林恵理氏には岩石薄片を製作していただいた。

査読者の山崎誠子氏、編集担当の田中明子氏には、本論を改善する上で大変有益なご意見をいただいた。関係各位に深く感謝申し上げる。

文 献

- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **60**, 507–592.
- 早川由紀夫(1993) 火山の地質巡検案内2：十和田湖。群馬大学教育学部紀要 自然科学編, **41**, 53–78.
- 広井良美・宮本 毅・田中倫久(2015) 十和田火山平安噴火(噴火エピソードA)の噴出物層序及び噴火推移の再検討。火山, **60**, 187–209.
- Horiuchi, K., Sonoda, S., Matsuzaki, H. and Ohyama, M. (2007) Radiocarbon analysis of tree rings from a 15.5-cal kyr BP pyroclastically buried forest: a pilot study. *Radiocarbon*, **49**, 1123–1132.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T. and Ogata, A. (1991) Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. Jour.*, **15**, 203–221.
- 岩崎孝明(1983) 青森県東部の火山灰。駒沢大学大学院地理学研究, **13**, 33–39.
- 工藤 崇(2005) 十和田地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。産総研地質調査総合センター。79 p.
- 工藤 崇(2008) 十和田火山、噴火エピソードE及びG噴出物の放射性炭素年代。火山, **53**, 193–199.
- 工藤 崇(2010a) 十和田火山、御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移。火山, **55**, 89–107.
- 工藤 崇(2010b) 十和田火山、御門石溶岩ドームの形成時期に関する考察。地質調査研究報告, **61**, 477–484.
- 工藤 崇・小林 淳(2013) 十和田火山、先カルデラ期～カルデラ形成期テフラの放射年代測定。地質調査

- 研究報告, **64**, 305-311.
- 工藤 崇・佐々木寿(2007) 十和田火山後カルデラ期噴出物の高精度噴火史編年. 地学雑誌, **116**, 653-663.
- 久利美和・栗田 敬(2003) 十和田火山二の倉スコリア群の層序区分の再検討—二の倉スコリア期の噴火活動の推移—. 火山, **48**, 249-258.
- 桑原拓一郎(2004) 青森県東部上北平野における海成段丘構成物の層序と相対的海面変化. 地質雑, **110**, 93-102.
- 桑原拓一郎(2007) 青森県上北平野に分布する白ベタテフラ(WP)のジルコン・フィッシュン・トラック年代. 第四紀研究, **46**, 433-436.
- 桑原拓一郎(2009) 青森県上北平野で掘削された中期更新世後半以降のテフラ—土壌累積層の植物珪酸体群集に基づく環境変遷と段丘との対比. 第四紀研究, **48**, 405-416.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史(1987) 北日本を広く覆う洞爺火山灰. 第四紀研究, **26**, 129-145.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J. (2014) Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan. *Quaternary Geochronology*, **23**, 63-79.
- 松山 力・大池昭二(1986) 十和田火山噴出物と火山活動. 十和田科学博物館, no. 4, 1-64.
- 村岡洋文・高倉伸一(1988) 10万分の1 八甲田地熱地域地質図説明書. 特殊地質図 no. 21-4, 地質調査所, 27 p.
- 長尾敬介・板谷徹丸(1988) K-Ar法による年代測定. 地質学論集, no.29, 5-21.
- 長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一(1984) K-Ar法による年代測定. 岡山大学蒜山研究所研究報告, no. 9, 19-38.
- 中川久夫・松山 力・大池昭二(1986) 十和田火山噴出物の分布と性状. 東北農政局計画部, 48p.
- 大池昭二・中川久夫(1979) 三戸地域広域農業開発基本調査「地形並びに表層地質調査報告書」. 東北農政局計画部. 103p.
- 佐々木 実・茂貫雅祥・西岡孝尚・梅田浩司(1998) 八甲田火山群及び十和田火山溶岩類のK-Ar年代と岩石学的特徴. 日本岩石鉱物鉱床学会平成9年度学術講演会講演予稿集, 65.
- 白井正明・多田隆治・藤岡換太郎(1997) ODP日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海岸更新世中—後期テフラの同定と年代. 第四紀研究, **36**, 183-196.
- Steiger, R. and Jäger, E. (1977) Subcommission on geochronology, convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Suzuki, T., Eden, D., Danhara, T. and Fujiwara, O. (2005) Correlation of the Hakkoda-Kokumoto Tephra, a widespread Middle Pleistocene tephra erupted from the Hakkoda Caldera, northeast Japan. *The Island Arc*, **14**, 666-678.
- 宝田晋治・村岡洋文(2004) 八甲田山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 86p.
- 東北地方第四紀研究グループ(1969) 東北地方における第四紀海水準変化. 地団研専報, no. 15, 37-83.
- 八木公史(2006) K-Ar年代測定のための鉱物分離マニュアル. 地質技術, 創刊準備号(蒜山地質年代学研究所創立10周年記念特集), 19-25.

(受 付 : 2016年8月16日 ; 受 理 : 2016年11月29日)

地質調査研究報告 第67巻 (第1号—第6号)

第1号

[論文]

- 1999年台湾集集地震の震源域周辺の扇状地における地震時の井戸水位増加と強震動との関係について
比嘉万友美・中村 衛・小泉尚嗣・頼 文基 1-10

[論文]

- 高知県須崎湾における潮位観測 — 1946年南海地震前の海水位変化の検証のため—
梅田康弘・板場智史・細 善信 11-25

[概報]

- Whole rock multiple trace element analyses using fused glass bead by laser ablation-ICP-MS
Toru Yamasaki and Kohei Yamashita 27-40

第2号

[論文]

- Geochemical variation of the Late Cretaceous-Paleogene granitoids across the Ehime-Hiroshima-Shimane transect, Japan
Shunso Ishihara and Tetsuji Ohno 41-58

[概報]

- SHRIMPによるジルコン U-Pb 年代測定：試料調製法及び標準試料測定結果
荒岡大輔・昆 慶明・江島輝美 59-65

第3号

[論文]

- 過去100年間における滋賀県琵琶湖の堆積速度と堆積環境
金井 豊・井内美郎 67-80

[概報]

- Jurassic radiolarians from the Ichinohe-Kunohe area (Iwate Prefecture) in the North Kitakami Belt, Japan
Satoshi Nakae 81-100

第4号

[論文]

- 北海道然別地域産の蛍光を呈するオパール標本の化学組成の検討
金井 豊・立花好子・青木正博・岡崎智鶴子・乙幡康之・三田直樹・松枝大治 101-110

[論文]

- 乾式磁力選鉱および分級による粘土質風化花崗岩からの脱鉄の検討
綱澤有輝・須藤定久・高木哲一 111-117

[概報]

- 四国東部観音寺地域の和泉層群から産出した後期白亜紀放射虫化石群集
野田 篤・栗原敏之 119-131

第5号

[口絵]

- 3Dプリンタによる地質標本の模型製作
兼子尚知・鶴野 光・岩下智洋 133-135

[論文]

- 北海道枝幸町歌登産 *Desmostylus* の記載：歌登第 2 ～第 7 標本の記載
鶴野 光・兼子尚知・高島孝宗 137-165

[論文]

- 北海道歌登産 *Desmostylus* の骨格 Ⅲ. 歌登第 8 標本の再記載と第 1 標本頭蓋形態の再考
犬塚則久・兼子尚知・高島孝宗 167-181

第 6 号

[論文]

- 長期連続観測にもとづく会津盆地における地下水位及び地下水温変動の特徴
金子翔平・柴崎直明・庄司美由・内田洋平 183-208

[概報]

- 十和田火山，先カルデラ期溶岩の K-Ar 年代
工藤 崇 209-215

CONTENTS OF VOLUME 67

No. 1

[Article]

Relation between the strong ground motion and coseismic well water level rises during the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake in the alluvial fan near the hypocentral region

Mayumi Higa, Mamoru Nakamura, Naoji Koizumi and Wen-Chi Lai 1–10

[Article]

The sea level observation at Susaki Bay in Kochi Prefecture –To validate the sea level changes before the 1946 Nankai earthquake–

Yasuhiro Umeda, Satoshi Itaba and Yoshinobu Hosono 11–25

[Report]

Whole rock multiple trace element analyses using fused glass bead by laser ablation-ICP-MS

Toru Yamasaki and Kohei Yamashita 27–40

No. 2

[Article]

Geochemical variation of the Late Cretaceous-Paleogene granitoids across the Ehime-Hiroshima-Shimane transect, Japan

Shunso Ishihara and Tetsuji Ohno 41–58

[Report]

Zircon U-Pb dating by SHRIMP: sample preparation procedure and result of reference material measurements

Daisuke Araoka, Yoshiaki Kon and Terumi Ejima 59–65

No. 3

[Article]

Sedimentation rate and sedimentary environment during the past 100 years in Lake Biwa, Shiga Prefecture, central Japan

Yutaka Kanai and Yoshio Inouchi 67–80

[Report]

Jurassic radiolarians from the Ichinohe–Kunohe area (Iwate Prefecture) in the North Kitakami Belt, Japan

Satoshi Nakae 81–100

No. 4

[Article]

Study on chemical composition of fluorescent opal specimens in the Shikaribetsu area, central Hokkaido

Yutaka Kanai, Yoshiko Tachibana, Masahiro Aoki, Chizuko Okazaki, Yasuyuki Oppata, Naoki Mita and Hiroharu Matsueda 101–110

[Article]

Iron removal from clayey weathered granite using magnetic separation and classification

Yuki Tsunazawa, Sadahisa Sudo and Tetsuichi Takagi 111–117

[Report]

Late Cretaceous radiolarian assemblages obtained from the Izumi Group in the Kan-onji district, eastern Shikoku, Japan

Atsushi Noda and Toshiyuki Kurihara 119–131

No. 5

[Frontispiece]

Modeling of geological specimen by 3D printer

Naotomo Kaneko, Hikaru Uno and Tomohiro Iwashita 133-135

[Article]

Description of the rest of previously studied Utanobori specimens of *Desmostylus* from Esashi town, Hokkaido, Japan

Hikaru Uno, Naotomo Kaneko and Takamune Takabatake 137-165

[Article]

The skeleton of *Desmostylus* from Utanobori, Hokkaido, Japan, III. Redescription of the 8th Utanobori specimen and reconsideration for cranial morphology of the 1st specimen

Norihisa Inuzuka, Naotomo Kaneko and Takamune Takabatake 167-181

No. 6

[Article]

Characteristics of changes in groundwater level and groundwater temperature based on long-term monitoring in the Aizu Basin, Fukushima, Japan

Shohei Kaneko, Naoaki Shibasaki, Miyu Shoji and Youhei Uchida 183-208

[Report]

K-Ar ages of lavas from the pre-caldera stage, Towada volcano, Northeast Japan

Takashi Kudo 209-215

本年掲載論文の査読を下記の方々にお願いたしました。記して厚くお礼申し上げます。

金井 豊・行谷佑一・杉山雄一・吉見雅行・町田 功・松浦浩久・星野美保子・西田尚央・
鈴木寿志 (大谷大学)・澤村 寛 (足寄動物化石博物館)・鈴木正哉・斎藤 真・山崎誠子 (敬称略)

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|---|-----------------------------|
| 620 | 第12回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集 | 謝 正倫・小泉 尚嗣・松本 則夫 編 |
| 621 | 第13回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集 | 小泉 尚嗣・松本 則夫・謝 正倫 編 |
| 622 | 地質標本館2015夏の特別展ジオパークで見る日本の地質(ポスターデータ) | 渡辺 真人 |
| 623 | 産総研による貞観地震の復元 | 澤井 祐紀 |
| 624 | 蛍光X線分析装置(地質調査総合センター鉱物資源研究グループ設置)による岩石化学分析の精度と測定限界 | 森田 沙綾香・高木 哲一・昆 慶明・ 荒岡 大輔 |
| 625 | 北海道厚岸町における湿原堆積物の説明 | 澤井 祐紀・田村 明子・黒坂 朗子 |
| 626 | 富士火山山頂部におけるテフラ層序記載 | 山元 孝広・石塚 吉浩・高田 亮・ 中野 俊 |
| 627 | 福岡県柳川市における産業技術総合研究所ボーリングの柱状図 | 松浦 浩久 |
| 629 | 吸気フィルタの火山灰目詰試験 | 山元 孝広・古川 竜太・奥山 一博 |
| 630 | 西暦869年貞観地震の復元 | 田村 明子・澤井 祐紀・黒坂 朗子 |
| 631 | 浅間火山におけるプリニー式噴火時の降灰評価 | 山元 孝広 |
| 632 | 支笏カルデラ形成噴火のマグマ体積 | 山元 孝広 |
| 634 | ウラン-鉛年代データ解析のためのPythonスクリプト | 野田 篤 |
| 635 | 大山倉吉テフラの降灰シミュレーション | 山元 孝広 |

地質調査総合センターの最新出版物

| | |
|-----------------|---|
| 5 万分の 1 地質図幅 | 茂原・母島列島・新潟及び内野・播州赤穂 |
| 20 万分の 1 地質図幅 | 横須賀 (第 2 版)・大分 (第 2 版)・松山 (第 2 版) |
| 200 万分の 1 地質編集図 | No. 4 日本地質図 (第 5 版) No. 11 日本の火山 (第 3 版) |
| 特殊地質図 | No. 12 富士火山地質図 (第 2 版) |
| 海洋地質図 | No. 87 金華山沖表層堆積図 (1:20 万) No. 88 見島沖海底地質図 (1:20 万) |
| 鉱物資源図 | No. 7 南西諸島 (1:50 万) |
| 構造図 | No. 14 全国主要活断層活動確率地区 |
| 火山地質図 | No. 18 蔵王火山地質図 (1:2.5 万) No. 19 九重火山地質図 (1:2.5 万) |
| 水文環境図 | No. 9 富士山 |
| 空中磁気図 | No. 46 養老断層地域高分解能空中磁気異常図 No. 47 富士火山地域高分解能空中磁気異常図 |
| 重力図 | No. 30 徳島地域重力図 (ブーゲー異常) No. 31 京都地域重力図 (ブーゲー異常) S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常) |
| 海外地球科学図 | アジア鉱物資源図 (1:500 万) 東アジア地域地震火山災害情報図 (1:1000 万) |
| 海陸シームレス地質図 | S-5 海陸シームレス地質情報集「駿河湾北部沿岸域」 |
| 燃料資源図 | FR-3 燃料資源地質図「関東地方」 |
| 土壌評価図 | E-6 表層土壌評価基本図「茨城県地域」 |
| 数値地質図 | G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版 G-17 九州地質ガイド GT-4 全国地熱ポテンシャルマップ S-2 海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」 S-3 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」 V-3 口永良部島火山地質データベース P-2 日本重力データベース DVD 版 G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版 G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版 |
| その他 | 日本の熱水系アトラス 海と陸の地球化学図 関東の地球化学図 |

地質調査研究報告編集委員会

| | |
|------|-------|
| 委員長 | 鈴木 淳 |
| 副委員長 | 田中 明子 |
| 委員 | 石塚 治 |
| | 清水 徹 |
| | 昆 慶明 |
| | 高倉 伸一 |
| | 大谷 竜明 |
| | 長森 英明 |
| | 内野 隆之 |
| | 高橋 浩 |
| | 工藤 崇 |
| | 板木 拓也 |
| | 森尻 理恵 |
| | 加瀬 治 |

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Atsushi Suzuki
Deputy Chief Editor: Akiko Tanaka
Editors: Osamu Ishizuka
Toru Shimizu
Yoshiaki Kon
Shinichi Takakura
Ryu Ohtani
Hideaki Nagamori
Takayuki Uchino
Yutaka Takahashi
Takashi Kudo
Takuya Itaki
Rie Morijiri
Osamu Kase

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
<https://www.gsj.jp/en/>

地質調査研究報告 第67巻 第6号
平成28年12月27日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol.67 No.6 Issue December 27, 2016

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 67 No. 6 2016

CONTENTS

- Characteristics of changes in groundwater level and groundwater temperature based on long-term monitoring in the Aizu Basin, Fukushima, Japan
Shohei Kaneko, Naoaki Shibasaki, Miyu Shoji and Youhei Uchida..... 183
- K-Ar ages of lavas from the pre-caldera stage, Towada volcano, Northeast Japan
Takashi Kudo..... 209