

神奈川県の新火山性地域に分布する大深度温泉の経年変化

外山浩太郎^{1)*}, 板寺一洋¹⁾, 二宮良太¹⁾, 菊川城司¹⁾

(令和6年7月11日受付, 令和6年8月7日受理)

Secular Variations of Hot Springs from Deep Wells in
Non-volcanic Area, Kanagawa PrefectureKotaro TOYAMA^{1)*}, Kazuhiro ITADERA¹⁾, Ryota NINOMIYA¹⁾ and George KIKUGAWA¹⁾

Abstract

We investigated secular variations from 1987 to 2022 in the temperatures and electrical conductivities of hot spring waters sampled from 49 deep wells drilled to 1000~2000 m in non-volcanic areas of Kanagawa Prefecture. The recent temperatures of hot spring waters for the 18 wells were below 25°C, a lower temperature limit in the definition of hot springs under the Japanese Hot Springs Law. In wells where the hot spring water temperature decreased over time, the electrical conductivity also tended to decrease, reflecting that shallow groundwater was involved in deep hot spring reservoirs. Using a simple model based on long-term monitoring data, we estimated groundwater temperature, electrical conductivity, and their contribution rates in deep hot spring reservoirs.

Key words : Deep well, Temperature, Non-volcanic area, Kanagawa Prefecture, Secular variation

要 旨

神奈川県の新火山性地域における掘削深度 1000~2000 m の大深度温泉の温度や電気伝導率の 1987 年から 2022 年までの経年変化を調査した。対象とした 49 源泉のうち 18 源泉について、温泉水の温度は経年的に減少し、直近の温度は温泉法の温泉の定義である 25°C を下回っていた。経年的な温度低下を示す温泉は、電気伝導率も低下傾向にあり、このことは揚湯している地下深部の温泉源への浅部地下水の寄与の増加を反映している。この傾向を持つ温泉井は、温泉の枯渇化が進行している可能性がある。実測した温泉の温度と電気伝導率の経年変化を基に、簡易的なモデルを作成することで、動力の装置当初の温泉源へ寄与した地下水の温度や電気伝導率およびその寄与率の推定を試みた。

キーワード：大深度温泉, 泉温, 新火山性地域, 神奈川県, 経年変化

¹⁾ 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586 番地. ¹⁾ Hot spring research institute of Kanagawa Prefecture, Iryuda 586, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan. *Corresponding author : E-mail k_toyama@onken.odawara.kanagawa.jp

1. はじめに

神奈川県では深度が1000 m以上のいわゆる大深度温泉の掘削が1990年以降盛んに行われるようになり、その源泉数は2022年3月末時点で85カ所にのぼる。この内、箱根や湯河原といった火山の近傍を除く非火山性地域における源泉数は65カ所であり、大深度温泉井全体の約75%を占めている。

温泉法（1948年施行）では、温泉の定義の一つとして「ゆう出時の温度が25℃以上であること」と定めている。関東地方における地温増温率は2~3℃/100 mである（例えば、鈴木, 1985; 菊川ほか, 2007）。関東地方の表層地下水は約15℃であり、深さ1000~1500 mに貯留されている流体の温度は35~60℃であると予想される。大深度の温泉が開発される主な動機の一つは、この温度の定義を満たす流体を得るためである。すなわち、非火山性地域であっても、ある程度深く掘削することで、汲み上げた流体が温泉法の定義を満たし、かつ浴用利用できる十分な温度を有することが期待できるからである。さらに、大深度温泉の開発が主に進められる平野部では、化石海水や海生層由来の成分を含む流体が分布している可能性があり、それらが開発の対象となる場合は温泉法における成分の基準（例えば1 kg中に1000 mg以上の溶存物質）を満たす場合も少なくない。

こうした大深度の温泉については、その成因や賦存状況についての知見が乏しいまま開発が先行しており、長らく、大深度の温泉源を保護するための「科学的根拠に基づいた」ルールづくりが課題とされてきた（環境省, 2020）。そうした中、大深度温泉井の掘削後、温泉を揚湯し利用し続けるうちに、経年的な温度の低下、湧出量の減少や泉質の変化など温泉の枯渇化が疑われる変化が認められた事例が日本各地で報告されており、一部では廃止となった例もある（齊藤ほか, 2011; 宮崎ほか, 2012; 酒井, 2018; 環境省, 2020）。

環境省（2020）は大深度の温泉源保護のための「科学的根拠に基づいた」ルールづくりに向けて、温泉の三要素と呼ばれる湧出量（水位）、化学成分濃度、温度などのモニタリングを実施し、現況を把握することが重要であると指摘した。神奈川県内の源泉では各地域の管轄保健福祉事務所および保健所設置市の各保健所による温泉実態調査（以下、実態調査と呼ぶ）が古くから実施されており、年に1度~数年に1度の頻度で温泉の温度、湧出量（揚湯量）および水質（pH、電気伝導率）が実測されている。板寺ほか（2012）は、1983年から2011年に実施された実態調査の結果をまとめ、非火山性地域に分布している大深度温泉の温度や揚湯量が経年的に減少傾向にあることを報告し、枯渇化進行の可能性を指摘した。さらに、外山ほか（2023）は、2001年から2022年に神奈川県横浜市内で実施された大深度温泉の実態調査の結果をまとめ、16カ所の大深度温泉の内6カ所で温泉の温度が経年的に減少し、25℃を下回ったと報告した。

本稿では、上記の先行研究の結果も含め神奈川県内の非火山性地域に分布する大深度温泉について、1987年から2022年に実施された実態調査や温泉分析書のデータをもとに、温度に加えて水質（電気伝導率）の経年変化について定量化し、現況を把握するとともに長期的な変化の要因について検討した。

2. 対象源泉と調査方法

対象とする49源泉は、掘削深度が1000~2000 mの大深度温泉である。その位置をFig. 1に、各源泉の基本情報（源泉名、動力許可申請時の温泉の温度、孔底深度、水止（パッカー）深度、揚湯のための動力の種類とその装置許可日、泉質名）をTable 1にそれぞれ示した。以下の検討では、それぞれの源泉において動力装置許可日以降に行われた実態調査や温泉分析書のデータを用いた。

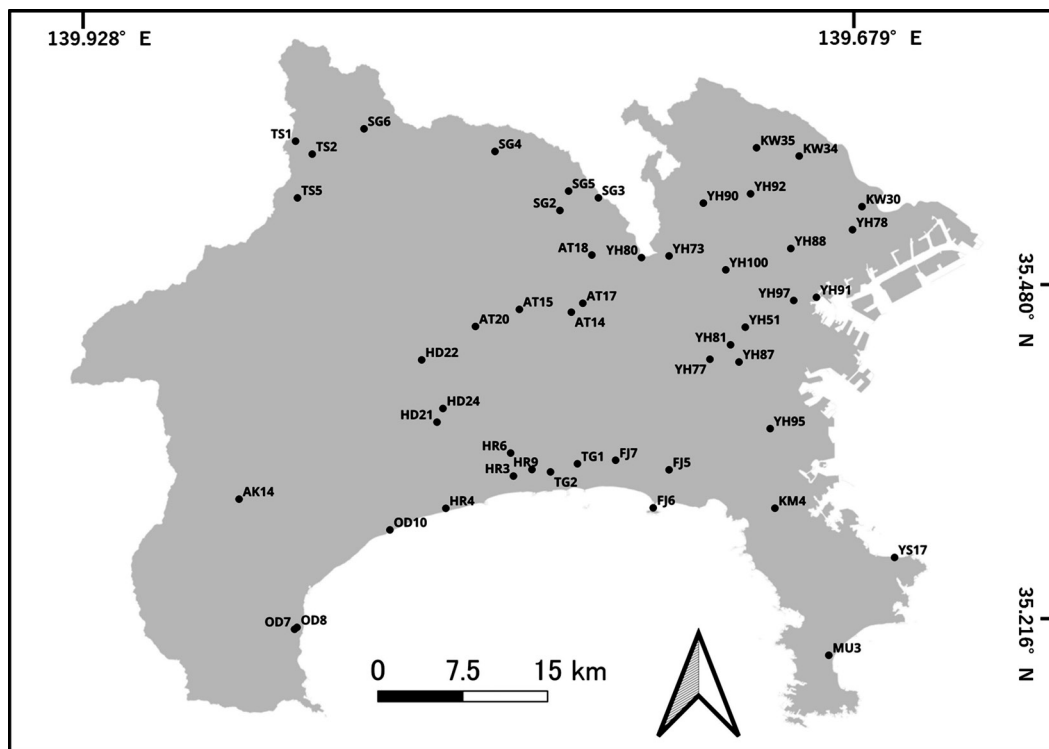


Fig. 1 Distribution of sampling wells in Kanagawa Prefecture.

Background map is GSI map (<https://maps.gsi.go.jp/#10/35.353776/139.457703/&base=blank&ls=blank&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f2&d=m>).

図 1 対象とした大深度温泉井の分布

背景地図は神奈川県を示しており、国土地理院地図を使用した (<https://maps.gsi.go.jp/#10/35.353776/139.457703/&base=blank&ls=blank&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f2&d=m>).

3. 結 果

3.1 温度, 揚湯量, pH, 電気伝導率

各源泉における調査日別の温度、揚湯量、pH、電気伝導率の各測定値およびそれぞれの平均値を Supplementary Table S1 に示す。温度の平均値が最も低かったのは AT20 の 18.8℃で、最も高かったのは TS1 の 45.1℃であった (Supplementary Table S1)。pH の平均値は、FJ6 の 7.1 が最も低く、SG6 の 9.6 が最も高い値であった。電気伝導率の平均値については、TS1 の 1.2 mS/cm が最も低く、OD8 の 47 mS/cm が最も高い値であり、各源泉間で最大 40 倍の差があった (Supplementary Table S1)。揚湯量の平均値については、AK14 の 4.2 L/min が最も少なく、TS1 での 315 L/min が最も多い値であった。揚湯量については、同じ源泉で測定時期が近いにも関わらず著しく異なる事例が多く見られた (外山ほか, 2023)。例えば、YH77 では 65 L/min (2002 年 1 月 30 日) から 270 L/min (2001 年 2 月 7 日) の範囲であり、YH78 では 60 L/min (2002 年 12 月 24 日) から 290 L/min (2001 年 10 月 4 日) の範囲で変動していた (Supplementary Table S1)。このような変動の原因として、温泉利用施設の営業状況によって事業者が揚湯ポンプの稼働状況を変えている可能性があるため、本報告では議論に含めないこととした。

Table 1 Information of sampling wells.

表 1 対象源泉の基本情報

Well name	pump	Temperature before pump installation approve** (DD/MM/YYYY)	Borehole depth (m)	Depth of water stopper (m)	Approval date for pump installation* (DD/MM/YYYY)	Water quality type**
YH51	Submersible pump	33.2 (03/09/1971)	1000	972	16/05/1972	Na-HCO ₃ ・Cl
YH73	Submersible pump		1500	800	23/08/1993	Na-Cl
YH77	Submersible pump	44.8 (18/01/2000)	1700	1000	12/09/2000	Na-Cl
YH78	Submersible pump		1500	1198	05/09/2001	Na-Cl
YH80	Submersible pump	45.4 (29/11/2001)	1700	992	06/09/2002	Na-Cl
YH81	Submersible pump	44.1 (25/06/2002)	1300	1000	24/02/2003	Na-Cl・HCO ₃
YH87	Submersible pump	42.2 (20/06/2005)	1500	790	16/09/2005	Na-Cl・HCO ₃
YH88	Submersible pump	42.2 (14/11/2005)	1500	900	14/09/2006	Na-Cl
YH90	Submersible pump	40.1 (28/04/2006)	1500	900	14/09/2006	Na-Cl・HCO ₃
YH91	Submersible pump	43.1 (26/04/2006)	1500	900	14/09/2006	Na-Cl
YH92	Submersible pump	42.5 (06/09/2006)	1503	1001	22/02/2007	Na-Cl
YH95	Submersible pump	43.8 (20/08/2007)	1507	901	12/09/2008	Na-Cl・HCO ₃
YH97	Submersible pump	43.9 (20/08/2007)	1500	900	25/02/2008	Na-Cl
YH100	Submersible pump	42.7 (07/12/2007)	2000	1500	31/08/2012	Na-Cl
KW30	Submersible pump	38.5 (22/04/2002)	1300	802	06/09/2002	Na-Cl
KW34	Submersible pump	41.3 (11/05/2006)	1800	980	14/09/2006	Na-Cl・HCO ₃
KW35	Submersible pump	37.6 (22/04/2006)	1500	900	22/02/2007	Na-HCO ₃ ・Cl
SG2	Submersible pump	31.8 (11/07/1995)	1500	1000	11/12/1995	Na-HCO ₃ ・Cl
SG3	Submersible pump	30.8 (30/06/2004)	1400	1000	14/09/2004	Na-Cl・HCO ₃
SG4	Submersible pump	33.0 (16/11/2004)	1700	1000	03/03/2005	Na-Cl
SG5	Submersible pump	42.6 (15/11/2006)	1300	900	22/02/2007	Na-Cl・HCO ₃
SG6	Submersible pump	27.1 (26/10/2010)	2000	900	01/03/2011	Na-HCO ₃ ・Cl
TS1	Submersible pump	46.7 (27/10/1992)	1500	1200	17/07/1992, 23/02/2004	Na-HCO ₃ ・Cl
TS2	Submersible pump	41.8 (19/09/1996)	1800	1200	07/09/1995	Na・Ca-SO ₄ ・Cl
TS5	Submersible pump	38.1 (10/04/2002)	1311	500	06/09/2002	Ca・Na・SO ₄
HR3	Submersible pump	35.0 (23/02/1999)	1301	800	27/04/1999	Na-HCO ₃ ・Cl
HR4	Submersible pump	30.0 (06/01/2000)	1600	800	21/03/2000	Na・Ca-Cl
HR6	Submersible pump	25.0 (27/06/2003)	1500	511	12/09/2003	Na・Ca-Cl
HR9	Submersible pump	28.0 (17/01/2006)	1500	1000	08/09/2006	Na-Cl
FJ5	Submersible pump	38.6 (18/03/2005)	1203	900	05/09/2001	Na-Cl
FJ6	Submersible pump	37.0 (18/12/1999)	1500	494	06/09/2002	Na-Cl
FJ7	Submersible pump	40.5 (25/12/2007)	1500	1000	08/09/2010	Na-Cl
HD21	Artesian well	35.8 (11/09/1992)	1001	500	—	Na・Ca-Cl
HD22	Submersible pump	28.7 (30/09/1999)	1000	600	21/03/2000	Na・Ca-Cl・SO ₄

Table 1 (Continued)

表 1 (続き)

Well name	pump	Temperature before pump installation approve** (DD/MM/YYYY)	Borehole depth (m)	Depth of water stopper (m)	Approval date for pump installation* (DD/MM/YYYY)	Water quality type**
HD24	Submersible pump	38.8 (25/11/2010)	1010	500	08/09/2011	Ca・Na-Cl
AT14	Submersible pump	30.7 (07/12/2002)	1500	992	04/09/2003	Na-Cl
AT15	Submersible pump	27.5 (23/05/2003)	1500	1000	04/09/2003	Ca-HCO ₃
AT17	Submersible pump	37.7 (30/06/2004)	1301	1018	14/09/2004	Na-Cl
AT18	Submersible pump	38.6 (18/03/2005)	1300	1000	16/09/2005	Na-Cl・HCO ₃
AT20	Submersible pump	21.2 (26/03/2009)	1352	400	26/02/2010	Na・Ca-Cl
MU3	Airlift pump	35.3 (03/07/2002)	1500	1000	22/02/2007	Na-Cl
TG1	Submersible pump	33.0 (04/03/2004)	1500	504,609	14/09/2004	Na-Cl
TG2	Submersible pump	35.5 (08/09/2006)	2000	1000	06/10/2009	Na-Cl
KM4	Submersible pump	35.6 (21/11/1997)	1600	1000	31/03/1998	Na-Cl
YS17	Submersible pump	33.1 (05/11/2010)	1800	1200	01/03/2011	Na-Cl
AK14	Submersible pump	29.5 (20/06/2007)	1500	1000	20/08/2007	Na-SO ₄ ・HCO ₃
OD7	Submersible pump	31.2 (13/09/1994)	1500	801	31/03/1997、12/09/2000	Na-Cl
OD8	Submersible pump	35.2 (06/08/2001)	1500	1014	21/02/2002	Na-Cl
OD10	Submersible pump	23.6 (24/08/2006)	1000	500	08/08/2007	Na・Ca-Cl

* Date on which the installation of the pump was authorised after the Hot Springs Subcommittee of the Kanagawa Prefecture Council for Nature Conservation.

** Data in the hot spring analysis submitted to the hot spring subcommittee of the Kanagawa Prefecture Nature Conservation Council.

* 神奈川県自然環境保全審議会温泉部会において動力の装置が許可された日。

** 神奈川県自然環境保全審議会温泉部会（動力の装置）に提出された温泉分析書に記載された泉質。

各源泉の温度の経年変化を調査する。Supplementary Table S1 に示した温度の経年変化を最小二乗法により近似し、その傾きから 1 年あたりの平均的な温度の変化量を求め、その分布を Fig. 2 に示した。49 源泉中 33 源泉の温度が低下傾向にあり、その内 9 源泉が 0.5℃/年以上の割合で低下していた。一方で、温度が 0.5℃/年以上の割合で上昇していた源泉は確認できなかった。経年的な温度変化の地域的（地理的）な特徴として、温度低下の著しい（0.5℃/年以上）源泉が県中・西部と比べて県東部に多く分布していたことを挙げることができる。特に注目すべきなのは、動力の装置許可の申請以前には 25℃ 以上であった 47 源泉について（Table 1）、16 源泉が直近数年のデータにおいて温泉法で定められた温泉の基準である 25℃ を下回っており、そのうちの 9 源泉は、動力の装置許可日から 5 年以内に 25℃ を下回っていたことである。

3.2 温度と電気伝導率の経年変化の関係

温泉の経年的な温度低下の原因として、温泉を採取している深部温泉源に対し浅部地下水が新たに関与すると仮定すると、温度の低下だけでなく泉質にも影響が及ぶと考えられることから、温度と水質の経年変化の関係を調査した。温泉の化学組成は経年変化を把握できる程のデータ数が得られていないため、本稿では水質の指標として電気伝導率を用いることとした。各源泉について Supplementary Table S1 のデータの内、温度と電気伝導率の両方の結果が得られた期間を抽出し、1 年あたりの平均的な温度変化量を算出した。電気伝導率については、各源泉で値が大きく異なり、変化量を単純に比較できないために、経年変化の最小二乗法による近似式から傾きを求め、対象期

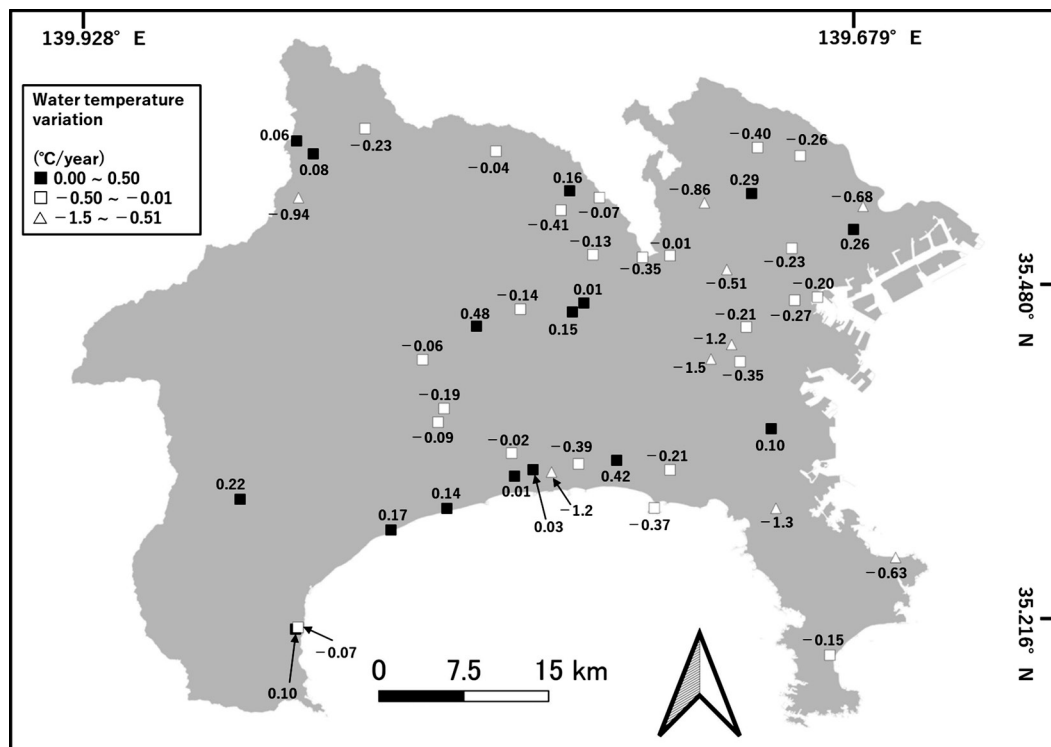


Fig. 2 Yearly variation in water temperature for each well.

The method for determining yearly variation in water temperature is shown in the text.

図 2 各源泉の 1 年あたりの温度の変化量

1 年当たりの平均的な温度の変化量の求め方は、本文中に示されている。

間の最初の測定値に対する 1 年あたりの変化率 (%) を算出した。得られた温度の変化量と電気伝導率の変化率の関係を Fig. 3 に示す。

温度の変化量と電気伝導率の変化率の間の関係は、概ね正の相関を示しており (Fig. 3), 両結果とも顕著な減少を示す源泉 (YH77, YH81, YH100, KW35 および TS5 など) は、浅部地下水の寄与を反映している可能性がある。地下の岩盤や地層の亀裂に胚胎している化石海水などを除いて、地下水に含まれる化学成分の濃度は、一般的に滞留時間の長い深部の地下水ほど、周囲の岩石との反応時間が長くなるなどの要因により高くなり、滞留時間の短い浅部の地下水ほど低くなる傾向にある。このようなことから、温度や電気伝導率の低下が顕著な源泉では、深部の温泉貯留層に対する浅部地下水の寄与が増加している可能性が考えられる。一方、温泉の温度に上昇傾向が見られた YH92, YH95, HR4 および FJ7 などでは、電気伝導率も上昇傾向にあり、このことは、揚湯に伴ってより深部に胚胎している温度や化学成分濃度の高い流体の寄与が増加したことを示唆している。以上のように、経年的な温泉の温度変化は、温泉の揚湯による補償分を補うために、当初に揚湯していた温泉帯水層の上位あるいは下位に存在している別の帯水層からの流体の寄与を反映していると考えられる。また、温泉保護の観点からは、温度や電気伝導率の両方が減少傾向にある源泉については、温泉の枯渇化が進行していると言えるため、その後の推移を注視する必要がある。

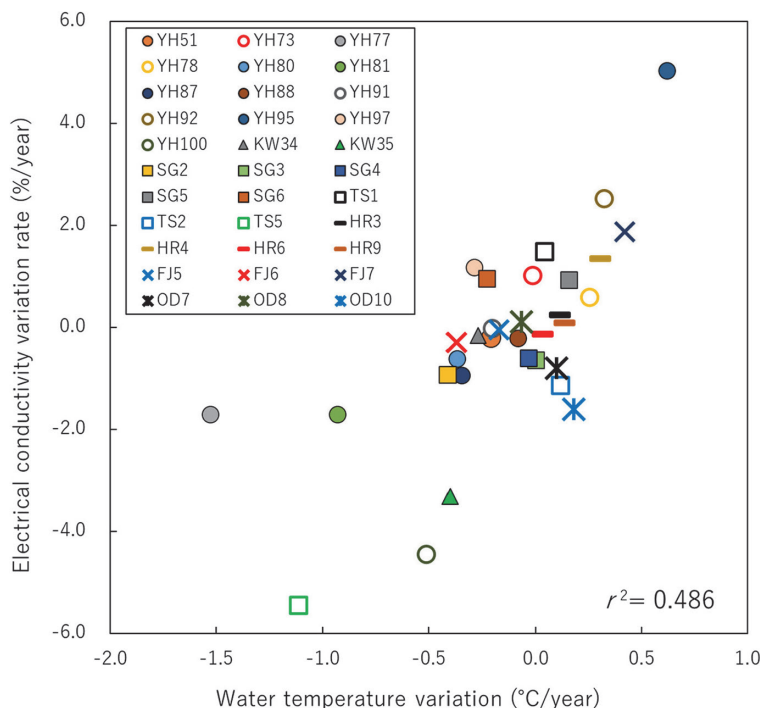


Fig. 3 Relationship between temperature and electrical conductivity variation rate of hot springs.
The estimation methods of temperature and electrical conductivity variation are shown in the text. r : correlation coefficient.

図 3 温泉の温度の変化量と電気伝導率の変化率の関係

図中の温度の変化量と電気伝導率の変化率は、各源泉で温度と電気伝導率の両結果が得られた期間の値である（本文を参照）。 r は相関係数を示す。

4. 考 察

実測値の経年変化を基にして、経年的な温度変化に関与した地下水の温度と電気伝導率及びその寄与率の推定を試みた。深部の温泉源への浅部地下水の影響があった場合、その詳細を解明するためには、地域の地質構造や透水性の3次元分布、温泉・地下水の涵養機構やそのメカニズム、水・熱収支など多岐にわたる検討が必要であるが、ここでは、温度と電気伝導率の経年変化を基にした簡単なモデルにより、大深度の温泉源の開発利用にともない、新たに影響することとなった地下水の特徴（ここでは、温度や電気伝導率）やその割合の推定した。具体的には、動力の装置当初の温泉水の温度と電気伝導率にある値を与えた上で、実測値の経年変化を基にして、温泉源に寄与した浅部地下水の値とその寄与率（ r ）を帰納的に見積もるというものであり、以下の式で推定した。

$$A_t = A_0 \cdot (1-r)^t - a \cdot [(1-r)^t - 1] \quad (1)$$

ここで、 t は開発後からの経過年数であり、 A_t は t 年後の温泉源の温度あるいは電気伝導率であり、 A_0 は動力の装置当初の温泉源の値である。 a は、当初の温泉源に寄与した浅部地下水の温度あるいは電気伝導率を示す。このモデルについて、温度と電気伝導率がともに減少傾向にあったTS5を例として示す。TS5のデータは2006年10月4日から2022年1月22日までであるが、2006年10

月4日から2008年1月25日の期間は電気伝導率が実測されていない (Supplementary Table S1).
ここでは, データの整合性をとるために温度と電気伝導率が得られている調査日 (2009年3月11
日から2022年1月22日) のデータを用いる (Fig. 4). 動力の装置当初の温泉の温度と電気伝導率

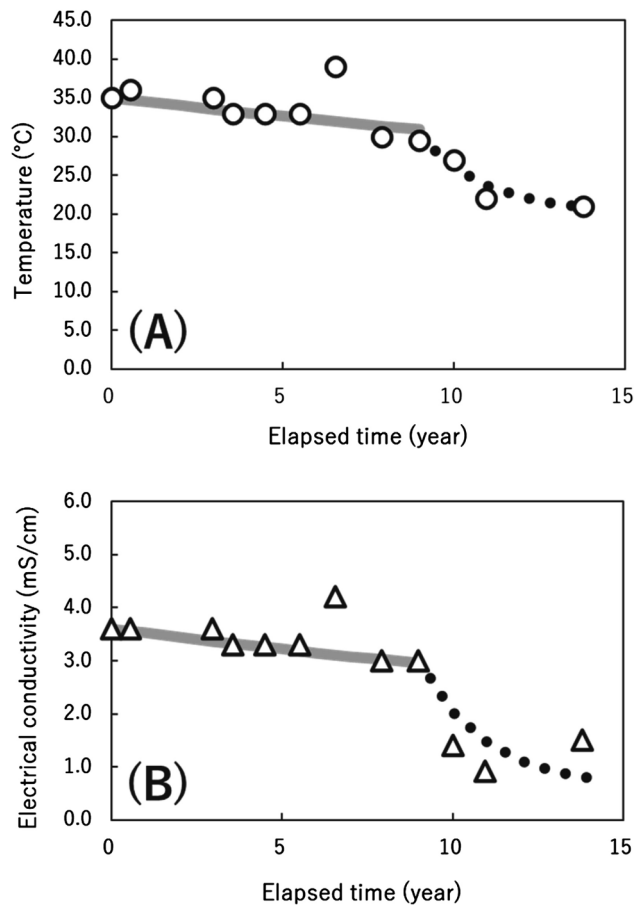


Fig. 4 Secular variation of (A) temperature and (B) electrical conductivity of the hot springs in TS5.

The grey line shows the secular variation when groundwater with a spring temperature of 18°C and an electrical conductivity of 0.9 mS/cm is contributed at 3% per year to the hot spring at the start of the measurement (11/03/2009 of TS5 in Supplementary Table S1). The dotted line shows the change over time when groundwater with a spring temperature of 20°C and an electrical conductivity of 0.6 mS/cm contributed 40% per year to the hot spring after about 9 years (05/03/2018 of TS5 in Supplementary Table S1). The method of this modeling is present in the text.

図 4 TS5 の温泉の (A) 温度と (B) 電気伝導率の経年変化

グレーの線は動力の装置当初の温泉 (ここでは, Supplementary Table S1 における TS5 の 2009 年 3 月 11 日) へ, 温度 18°C, 電気伝導率 0.9 mS/cm の地下水を 1 年あたり 3% の割合で寄与した場合の経時変化である. 点線は, 約 9 年後 (Supplementary Table S1 の 2018 年 3 月 5 日) の温泉へ, 温度 20°C, 電気伝導率 0.6 mS/cm の地下水を 1 年あたり 40% の割合で寄与した場合の経時変化である. このモデル化に関する詳細は, 本文中に示されている.

として、2009 年 3 月 11 日の値（温度：35℃，電気伝導率：3.6 mS/cm）を用いた。実測値の経年変化にモデルが適合するように、式(1)の寄与率（ r ）と浅部地下水の温度あるいは電気伝導率の値（ a ）を変化させる。ここでのパラメータは、非火山性地域の掘削深度が 1000 m 未満である源泉の温泉成分分析の結果（十河・菊川，2019）などを参考に、温度を 10～30℃，電気伝導率を 0.1～3.0 mS/cm，寄与率を 1～50% の範囲とした。その結果、浅部地下水の温度を 18℃で電気伝導率を 0.9 mS/cm として、その寄与率を 1 年あたり 3% とした場合が、TS5 での実測開始から 9 年間（2009 年 3 月 11 日から 2018 年 3 月 5 日）の緩やかな減少を最も良く説明できることがわかった。一方、TS5 では 9 年目から 14 年目（2018 年 3 月 5 日から 2022 年 12 月 22 日）にかけて温度、電気伝導率の両方が急激に低下・減少していた。この原因は不明であるが、温度を 20℃で電気伝導率 0.6 mS/cm である浅部地下水の寄与率を 1 年あたり 40% とした場合の変化に相当することから、水止めの破損など井戸の構造に関わる支障によるものかもしれない。きわめて簡単ではあるが、このような手法を用いることで、長期的に蓄積された温泉水の温度と電気伝導率データをもとに、温泉源の現況について大まかな定量的な評価・検討が可能になると考えられる。

本研究で示したような定期的な温泉のモニタリングは、温泉源の現況の評価や温泉保護のための施策を検討する際の基礎データとして重要である。神奈川県では従来から温泉資源の保護のために神奈川県温泉保護対策要綱（1962 年 9 月 1 日適用）を定め、温泉特別保護地域、温泉保護地域、温泉準保護地域を指定し、新規源泉の開発や揚湯量の規制を行っている。一方、こうした規制の対象とならない地域（一般地域）における大深度温泉の開発に対しては、新規の掘削申請において既存の大深度温泉井から水平距離で 1 km 以上の距離をとることおよび掘削深度は 2 km までであることを定めている。この規制は、降水量やその浸透量など様々な仮定の基に水や熱収支について検討した結果に拠るものである（環境省，2020）。本稿で報告した通り、この規制を満たす開発であっても長期的には温度低下や成分が減少する傾向が認められたことは、現行の規制が必ずしも十分なものではなく、将来的に見直す必要があることを示している。本研究のような定期的なモニタリングにより温泉源の現況を把握することは、大深度温泉の枯渇化進行の有無やその程度および温泉水の収支を推定するために重要であり、行政機関が温泉保護のための施策を検討する上でも有益であると考えられる（大山，2004）。

5. 結 論

神奈川県非火山性地域に分布する大深度温泉の現況を把握するために、1987 年から 2022 年にかけて保健所が行った実態調査と温泉分析書の結果をまとめた。対象とした 49 源泉のうち 18 源泉については、経年的に温泉の温度が低下し、直近の結果では温泉法の定める温泉の定義である 25℃を下回っており、温泉の温度を獲得するという大深度温泉の掘削の意義に関わる重要な結果を得た。今後の課題として、温泉の定義には成分に関するものもあり、化学成分の定期的なモニタリングを行うことにより、泉質の変化やこれに寄与している流体の詳細を明らかにする必要がある。

揚湯開始以降に温度が低下した源泉は、電気伝導率も低下傾向にあり、このことは揚湯している地下深部の温泉源への浅部地下水の寄与率の増加を反映しており、この傾向が顕著な場合は温泉の枯渇化が進行している可能性がある。一方で、温度が上昇した源泉については電気伝導率も上昇傾向にあることから、揚湯に伴いより深部あるいは別の温泉貯留層に由来する、より高温で成分量の多い温泉の寄与が増加した可能性がある。実測した温度と電気伝導率の経年変化をもとに簡易的なモデルを作成することで、当初汲み上げていた深部の温泉源へ寄与した地下水の温度や電気伝導率および寄与率を推定できる。本研究では、化学成分などの詳細なデータはなくても、簡便に測定可

能な温度, pH, 電気伝導率を定期的にモニタリングし, 蓄積したデータを解析することが, 温泉源の現況把握に有効であることを示した.

謝 辞

本稿をまとめるにあたり, 神奈川県温泉保護対策要綱に基づく指導により集められた資料, および神奈川県の各保健福祉事務所および保健所設置市の各保健所による実態調査の結果を利用させていただきました. 温泉保護の趣旨を御理解いただき, 温泉分析書のデータの使用を承諾して頂いた事業者の関係各位, 事務手続きおよび実態調査を担当した行政職員各位に心より感謝申し上げます. また, 2名の匿名の査読者からの建設的なコメントにより, 本稿は大きく改善された. ここに記して感謝致します.

引用文献

- 板寺一洋・菊川城司・代田 寧 (2012): 神奈川県における大深度の温泉取水層の透水性, 温泉地学研究所報告, 44, 47-53.
- 環境省 (2020): 温泉資源の保護に関するガイドライン (改訂), 102 p.
- 菊川城司・小田原啓・板寺一洋 (2007): 孔底温度から見た神奈川県内の地温勾配, 神奈川県温泉地学研究所報告, 39, 79-84.
- 宮崎哲郎・森 康則・青柳直樹・内野栄治・甘露寺泰雄 (2012): 関東平野, 大阪平野, 石狩平野, 濃尾平野, 伊勢・志摩・鈴鹿地方における大深度非火山性温泉の経年変化, 温泉科学, 61, 242-258.
- 大山正雄 (2004): 大深度温泉井の水収支について, 温泉科学, 54 (3), 107.
- 十河孝夫・菊川城司 (2019): 依頼試験 (温泉分析) の結果から見た神奈川県内の温泉, 神奈川県温泉地学研究所報告, 51, 51-70.
- 齊藤由倫・木村真也・森尾 誠 (2011): 群馬県平野部における大深度掘削泉の定期モニタリング II 温泉資源保護総合対策調査研究事業 (西部地域) —温泉揚湯による温泉資源への影響に関する調査研究事業一, 群馬県衛生環境研究所年報, 43, 52-57.
- 酒井幸子 (2018): 群馬県の大深度掘削泉, 温泉科学, 68, 99-108.
- 鈴木宏芳 (1985): 関東平野の地中温度. 防災科学技術センター研究報告, 35, 139-154.
- 外山浩太郎・二宮良太・菊川城司 (2023): 横浜地区に分布する大深度温泉の経年変化: 2001 年度 ~2021 年度の温泉実態調査結果から, 神奈川県温泉地学研究所報告, 55, 45-50.

Supplementary Table S1 Temperature and water quality of non-volcanic hot spring from deep well in Kanagawa Prefecture.

補足資料 表 S1 神奈川県非火山性地域に分布する大深度温泉の温度と水質

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
YH51	21/08/1987	36.4	143	8.4	5.2
	28/07/1997	35.7	68	8.1	5.4
	28/03/2001	34.0	60	8.1	5.4
	06/03/2002	27.5	60	8.0	5.0
	18/09/2002	27.5		7.6	5.0
	31/03/2005	27.0		8.2	5.4
	27/03/2006	25.0		8.0	5.2
	20/03/2007	33.5		7.6	4.4
	16/01/2008	26.0		8.0	5.0
	27/02/2009	21.0		8.0	5.5
	22/03/2012	25.0		7.6	5.0
	28/03/2013	26.6		7.6	4.1
	25/03/2014	30.0		7.6	
	29/01/2015	30.3	86	8.0	4.4
	16/03/2016	28.8	96	8.0	5.9
	21/03/2017	28.1	102	8.0	4.8
	30/06/2017	34.8	68	8.2	5.2
	12/03/2018	28.0	103	7.8	
	11/03/2019	26.9	37	8.0	4.8
	17/02/2021	26.1	75	8.4	4.7
	25/01/2022	25.6	52	8.0	5.3
	Average value	28.8	79	8.0	5.0
YH73	24/12/1993	42.3	124	7.7	14
	16/04/1998	45.0	86	7.7	15
	07/03/2001	40.0	75	7.4	20
	10/04/2002	44.5	76	7.4	
	14/03/2003	42.0	77	7.4	
	07/04/2004	46.2	75	7.5	14
	13/03/2006	45.8	77	7.5	20
	13/03/2007	44.0	78	7.6	20
	07/03/2008	43.5	98		20
	18/03/2009	44.0	107		14
	29/10/2009	45.8	75	7.5	14
	14/03/2012	44.0	95	7.4	19
	13/03/2013	45.5	150	7.3	20
	31/01/2014	39.0	23	7.5	18
	25/03/2015	40.1	32	7.5	17
	28/10/2015	43.0	53	7.4	18
	14/11/2016	41.8	42	7.6	17
	23/02/2018	40.7	106	7.4	19
	05/03/2019	44.0	59	7.4	
	12/03/2020	44.5	68	7.6	17
	09/03/2021	44.0	50	7.3	20
	15/12/2021	45.2	139	6.9	20
	Average value	43.4	80	7.5	18
YH77	07/02/2001	43.5	270	8.0	8.0
	30/01/2002	38.0	65	7.6	
	08/10/2002	39.2	230	7.6	8.6
	25/03/2005	39.6	184	7.6	8.6
	01/02/2006	41.8	229	7.6	7.3
	20/02/2008	30.0	94	7.4	
	14/01/2009	28.0	87	7.6	7.2
	Average value	37.2	166	7.6	7.9
YH78	04/10/2001	37.2	290	7.2	30
	24/12/2002	34.0	60	7.4	33
	06/04/2004	31.5	240	7.6	30
	07/04/2005	35.5	240	7.4	45
	20/12/2006	34.0	120	7.6	37
	06/02/2008	34.6	120	7.4	40
	26/03/2009	32.1	95	7.4	37
	21/02/2012	34.8	94	7.4	31
	17/01/2013	34.5	97	7.2	37
	12/03/2014	37.0	76	7.4	38
	16/03/2015	35.0	71	7.6	34
	25/02/2016	35.5	92	7.4	35
	21/02/2017	34.5	118	7.4	36
	26/03/2018	34.5	60	7.6	35
	13/03/2019	38.0	70	7.6	
	26/02/2020	36.0		7.6	39
	24/03/2021	37.0	108	7.7	40
	Average value	34.5	122	7.5	36
YH80	01/04/2004	28.1		7.6	31
	27/04/2005	30.3	19	7.7	29
	26/12/2005	26.0		8.0	30
	26/12/2006	31.0		7.8	30
	20/02/2008	28.0		7.4	28
	01/01/2009	29.5		7.6	29
	02/03/2012	26.0	90	8.0	30
	07/03/2013	26.0	126	8.0	20
	20/03/2014	27.2	26	8.2	30
	19/03/2015	25.0	127	8.2	26
	09/02/2017	25.1	131		30
	01/02/2018	23.4	129		28
	07/03/2019	23.4	129		
	27/02/2020	25.0	130		
	Average value	26.7	101	7.9	28
YH81	28/03/2004	38.4	226	7.2	6.9
	30/03/2006	38.4	226	7.2	6.9
	19/02/2008	35.6	180	7.6	
	16/01/2009	35.8	185	7.5	7.3
	30/03/2012	39.0		7.4	7.5
	30/03/2012	39.0	194	7.4	
	24/02/2014	33.0	240	7.6	6.2
	12/03/2014	32.8	201	8.1	5.5
	09/02/2015	25.5	233	8.0	5.7
	01/02/2016	29.0	296	8.0	5.6
	16/01/2017	25.4	257	8.4	5.9
	07/02/2018	27.8		8.0	5.7
	18/02/2019	21.0		8.0	
	16/03/2020	17.0		7.8	
	Average value	31.3	221	7.7	6.4
YH87	27/02/2008	36.5	177	8.7	5.6
	13/03/2009	39.3	177	8.7	5.5
	02/03/2012	31.5	179	8.0	4.0
	21/02/2013	25.0	177	8.0	5.0
	30/01/2014	38.0	176	7.6	4.8
	29/01/2015	33.0	158	8.0	4.7
	28/01/2016	33.0	38	8.4	4.4
	26/01/2017	36.0	182	7.8	4.6
	26/01/2018	34.0	182	8.2	5.6
	24/01/2019	31.0	176	8.4	3.5
	15/01/2020	30.0	167	8.0	4.9
	15/12/2021	32.0	163	8.0	4.8
	Average value	33.3	163	8.2	4.8
YH88	08/02/2008	28.2	130	7.6	
	12/02/2009	27.7	130	7.8	
	14/02/2012	28.2	180	7.8	27
	27/02/2013	20.0	160	7.8	22
	12/12/2013	29.3	123	7.8	26
	19/01/2015	24.2	148	7.5	24
	16/12/2015	22.0	181	7.5	23
	16/01/2017	29.2	175	7.5	26
	18/01/2018	24.3	190	7.5	24
	17/01/2019	24.0	136	7.2	
	16/01/2020	27.0	146	7.6	
	25/12/2020	23.5	170	7.5	24
	Average value	25.6	156	7.6	25
YH90	26/03/2007	39.4	97	7.8	
	24/01/2008	25.0	88	7.5	
	16/03/2009	24.5	84	7.5	
	29/03/2012	22.0	77	7.6	
	14/03/2013	21.8	66	7.6	
	27/02/2014	21.5	63	7.6	
	13/02/2015	22.0	48	7.6	
	04/02/2016	22.0	81	7.6	
	04/02/2016	22.5	64	7.6	
	05/12/2017	17.4	56	7.6	
	21/11/2018	21.0	67	8.4	
	25/10/2019	20.5	44	8.4	
	25/11/2020	19.5	87	8.0	
	Average value	23.0	71	7.8	
YH91	27/03/2008	29.5	80	7.4	33
	19/01/2009	26.8	104	7.4	35
	13/02/2014	25.3	101	7.7	30
	18/12/2014	27.7	103	7.8	20
	08/02/2016	21.5	103	8.0	
	23/03/2017	27.3	68	7.7	
	05/12/2017	27.9	59	7.8	33
	07/02/2019	23.8	58	7.8	33
	13/12/2019	22.6	76	7.8	35
	17/12/2020	29.9	121	7.8	32
	17/02/2022	24.1	93	7.8	32
	Average value	26.0	88	7.7	31
YH92	19/02/2008	35.0	191	8.2	18
	27/01/2009	39.1	174	8.2	18
	13/03/2012	39.5	178	8.2	20
	18/03/2013	40.0	157	8.2	24
	06/02/2014	39.5	161	8.2	25
	20/03/2015	39.0	195	8.2	21
	24/03/2016	38.0	178	7.4	23
	26/09/2016	41.4	171	7.9	18
	21/03/2017	41.0	147	8.2	24
	14/03/2018	40.0	185	8.2	24
	20/03/2019	40.5	161	8.2	24
	19/12/2019	40.0	32	7.5	
	Average value	39.4	161	8.1	22

Supplementary Table S1 (Continued No. 2)

補足資料 表 S1 (続き No. 2)

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
YH95	22/10/2008	37.0	125		
	28/02/2012	34.5	133	7.6	8.5
	26/02/2013	36.8	105	7.4	10
	03/03/2014	36.0	75	7.6	12
	26/03/2015	30.5	111	7.6	10
	16/03/2016	35.0		7.6	12
	09/03/2017	38.0	67	7.6	12
	19/03/2018	40.0	70	7.6	12
	24/01/2019	36.5	74	7.6	
	31/01/2020	35.5	70	7.6	
	Average value	36.0	92	7.6	11
YH97	26/03/2009	42.0	94		
	06/03/2012	42.0	97	8.2	29
	14/03/2013	41.0	97	8.2	20
	12/11/2013	40.5	83	8.2	20
	03/03/2015	40.5	100	8.4	30
	25/02/2016	39.0	100	8.4	
	14/03/2017	40.0	118	7.8	20
	11/01/2019	40.0		8.2	30
	Average value	40.6	98	8.2	25
YH100	04/02/2014	35.0	203	7.6	19
	09/02/2015	41.5	203	7.8	20
	05/11/2015	40.5	251	7.6	19
	06/03/2017	33.4	204	7.6	18
	22/02/2018	37.6	184	7.6	19
	11/03/2019	37.8	161	7.6	
	28/01/2020	35.3	186	7.6	17
	12/03/2021	34.0	217	7.6	12
	Average value	36.9	201	7.6	18
KW30	08/02/2006	38.3		7.6	
	23/02/2007	30.4		7.4	
	07/04/2008	35.1	69	6.3	
	10/03/2009	27.4	83	6.7	
	15/03/2010	25.0		6.0	
	13/03/2012	24.2	57	7.7	
	12/02/2013	22.0	50	7.8	
	25/02/2014	24.7	45	7.6	
	27/01/2015	23.1	32	7.5	
	17/03/2016	22.5	75	7.6	
	07/02/2017	24.3	44	6.7	
	15/03/2019	23.9	61	7.7	
	02/03/2020	25.4	87	7.7	
	17/02/2021	21.9	79	7.4	
	23/03/2021	24.1	47	8.2	
	Average value	26.2	61	7.3	
KW34	26/03/2007	40.9		8.1	
	24/03/2008	38.9			
	13/03/2009	38.6	130	8.2	6.2
	17/03/2010	37.8	117	8.2	5.8
	20/12/2011	39.9	180	7.8	7.6
	22/02/2013	38.8	176	7.9	5.9
	13/03/2014	40.0	142	8.0	6.0
	10/03/2015	41.0	131	8.0	5.7
	03/03/2016	37.9	136	8.0	6.0
	17/01/2017	37.8	141	7.8	6.1
	26/02/2018	35.8	140	8.2	6.5
	26/02/2019	34.1	141	8.3	6.0
	03/03/2020	36.4	130	8.4	6.6
	27/01/2022	37.3	130	8.3	5.9
	Average value	38.2	141	8.1	6.2
KW35	26/03/2008	32.0			5.3
	04/03/2009	34.5	270	8.4	5.6
	26/02/2010	37.0	209		
	24/01/2012	36.2	173	8.0	
	05/03/2013	33.5	357		
	18/03/2014	35.0	114	8.0	
	03/03/2015	36.0	187	8.1	
	15/03/2016	35.5	180	7.9	5.0
	02/03/2017	35.7	179	8.1	4.8
	22/02/2018	27.5	233	8.1	4.6
	22/01/2019	33.0	240	8.3	3.1
	13/03/2020	33.0	251	8.1	3.3
	26/02/2021	27.8	267	8.1	3.3
	23/12/2021	28.8	234	8.3	3.1
	Average value	33.3	223	8.1	4.2

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
SG2	08/08/1996	29.1	48	8.43	3.5
	09/09/2004	30.0	57	8.1	3.3
	14/09/2005	26.0	58	8.5	2.4
	02/09/2006	26.0	46	7.9	3.7
	10/03/2008	25.0	22	8.4	3.3
	07/01/2009	27.0	48	8.2	3.2
	04/12/2009	24.0	64	7.7	3.1
	24/11/2011	25.5	50	8.2	1.9
	20/11/2012	25.0	48	8.1	3.2
	19/03/2014	19.5	48	8.2	2.6
	16/12/2014	24.0	48	8.1	2.4
	18/03/2016	25.0	56	8.4	1.1
	01/12/2016	21.0	46	8.5	3.1
	12/12/2017	18.0	45	8.4	3.2
	12/11/2019	20.0	32	8.3	2.0
	27/11/2020	24.0	30	8.3	3.9
	25/11/2021	19.0	41	8.4	2.6
	Average value	24.0	46	8.2	2.9
SG3	24/11/2004	30.8	120		
	16/12/2005	27.0	180	7.9	2.0
	02/10/2006	26.5	106	7.9	2.0
	24/03/2008	27.0	127	7.5	
	04/12/2008	27.0	171	8.1	2.4
	03/12/2009	26.5	156	7.7	2.3
	26/07/2011	27.5	117	7.9	2.2
	17/01/2013	28.0	76	7.9	2.3
	23/01/2014	27.0	51	8.2	2.3
	08/12/2015	27.0	156	8.1	2.6
	05/12/2016	27.0	158	8.1	2.6
	08/12/2017	24.0	118	8.4	2.5
	12/11/2019	27.5	92	8.2	1.5
	25/11/2020	28.0	111	7.9	1.4
	26/11/2021	27.0	102	8.3	2.2
	Average value	27.2	123	8.0	2.2
SG4	23/02/2005	30.0	160		
	09/12/2005	31.0	120	8.4	1.7
	07/11/2006	29.0	123	8.7	1.6
	28/03/2008	29.0	93	9.2	
	20/11/2008	29.0	129	8.9	1.7
	17/12/2009	29.5	40	9.0	1.7
	08/12/2011	29.0	147	9.1	1.5
	13/12/2012	29.0	129	9.0	1.0
	04/12/2013	24.0	130	9.0	1.3
	02/12/2014	30.0	120	8.4	1.8
	03/12/2015	30.0	128	8.9	1.8
	17/11/2016	30.0	124	9.0	1.4
	14/11/2017	28.0	111	8.4	1.4
	19/11/2019	28.0	111	8.4	1.4
	30/11/2020	30.5	152	8.9	1.8
	18/11/2021	29.0	87	8.1	1.3
	Average value	29.1	119	8.8	1.5
SG5	28/03/2008		135	8.5	
	20/11/2008	40.0	124	8.2	3.5
	08/12/2009	38.0	135	8.1	3.2
	13/12/2011	34.0	132	8.4	3.6
	12/12/2012	36.0	157	8.2	3.1
	25/03/2014	41.0	145	8.1	3.8
	10/12/2014	40.0	50	8.0	2.9
	07/12/2015	38.0	92	8.3	3.4
	05/12/2016	39.5	157	8.2	4.0
	Average value	38.3	125	8.2	3.4
SG6	27/09/2012		22	9.5	
	06/09/2013	27.0		9.3	1.3
	22/09/2014	27.8	24	9.8	
	24/03/2016	27.5	40	9.2	1.3
	10/02/2017	24.8	41	9.3	1.5
	15/01/2018	26.5	18		1.4
	20/02/2019	26.0	21	10	1.4
	19/02/2020	27.0	24	9.7	1.4
	16/03/2022	25.0	41	9.6	1.4
	Average value	26.5	29	9.6	1.4

Supplementary Table S1 (Continued No. 3)

補足資料 表 S1 (続き No. 3)

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
TS1	27/01/2005	45.5	309	9.6	
	11/09/2007	43.0	322	9.5	
	18/01/2008	45.4	327	9.6	
	04/03/2009	44.0	285	9.6	1.1
	30/09/2009	45.0	319	9.2	1.1
	20/09/2011	45.0	336	9.3	1.0
	09/02/2012	45.8	330	9.9	1.5
	28/09/2012	46.0	307	8.2	1.1
	11/09/2013	46.0	327	9.2	1.4
	03/09/2014	46.0	309	9.1	1.6
	22/10/2015	44.0	322	9.2	1.1
	06/02/2017	45.0	285	9.4	1.1
	Average value	45.1	315	9.3	1.2
TS2	24/01/2005	37.4	91	9.3	
	08/09/2006	35.5	112	9.4	5.3
	11/09/2007	36.0	42	9.1	
	20/01/2008	36.5	72	9.3	
	04/03/2009	37.0	35	9.4	4.5
	30/09/2009	32.0	116	9.0	4.7
	20/09/2011	41.0	106	9.1	4.9
	28/09/2012	37.0	94	8.7	4.5
	03/09/2013	37.0	98	8.8	4.8
	11/09/2014	36.0	109	9.2	3.9
	29/09/2015	34.0	38	9.0	3.6
	31/01/2017	39.0	99	9.1	1.2
	16/02/2018	39.0	93	9.7	4.2
	13/02/2020	38.0	82	9.0	5.0
	21/01/2022	36.0	104	9.1	4.9
	Average value	36.8	86	9.1	4.3
TSS	04/10/2006	36.0	40	8.1	
	20/09/2007	37.0	70	9	
	25/01/2008	38.5	29	9.4	
	11/03/2009	35.0	48	9.4	3.6
	30/09/2009	36.0	44	8.9	3.6
	27/02/2012	35.0	38	9.2	3.6
	26/09/2012	33.0	40	8.8	3.3
	04/09/2013	33.0	34	8.9	3.3
	10/09/2014	33.0	32	8.9	3.3
	28/09/2015	39.0	83	9.9	4.2
	03/02/2017	30.0	39	9.3	3.0
	05/03/2018	29.5	39	8.9	3.0
	13/03/2019	27.0	40	8.8	1.4
	14/02/2020	22.0	41	9.6	0.9
	22/01/2022	21.0	18	9.2	1.5
	Average value	32.3	42	9.1	2.9
HR3	15/11/2004	30.6	66		
	18/10/2005	29.9		8.7	
	24/10/2006	27.6	42	8.8	19
	30/10/2007	30.4	70	8.5	19
	14/10/2008	29.3	86	8.9	17
	09/10/2009	28.1	89	8.5	18
	08/11/2011	26.2	140	9.2	19
	30/10/2012	28.9	110	9.2	19
	06/11/2013	31.6	74	8.8	18
	13/11/2014	27.1	90	8.6	
	21/10/2015	31.1	77	8.7	19
	31/10/2016	30.0	67	8.7	
	26/10/2017	26.0	65	8.8	
	29/10/2018	30.0	59	9.6	
	11/03/2020	31.0	55	8.8	
	Average value	29.2	78	8.9	18
HR4	15/11/2004	21.4	77		
	17/10/2005	23.9	73	7.9	
	25/10/2006	21.9	68	8.2	40
	24/10/2007	22.8	65	8.0	39
	14/10/2008	25.4	79	8.5	27
	05/10/2009	26.2	73	8.3	
	29/11/2011	22.2	73	8.6	41
	31/10/2012	29.2	60	8.6	40
	31/10/2013	29.0	51	8.1	40
	28/10/2014	24.1	61	8.5	
	19/10/2015	23.9	59	8.3	40
	27/10/2016	21.0	69	8.0	
	20/10/2017	25.5	94	8.3	
	26/10/2018	23.0	86	8.3	
	23/03/2020	27.0	66	8.4	
	Average value	24.4	70	8.3	38
HR6	15/11/2004	21.7	82		
	18/10/2005	22	86	7.5	
	24/10/2006	21.8	80	7.5	28
	24/10/2007	20.5	88	7.1	27
	14/10/2008	22.4	120	7.7	24
	06/10/2009	22.4	65	7.4	26
	21/11/2011	22.2	64	7.7	20
	22/11/2012	22	92	7.7	27
	08/11/2013	22.1	96	7.3	28
	28/10/2014	22.1	90	7.4	
	16/10/2015	21.5	50	7.0	27
	27/10/2016	21.4	89	7.2	
	24/10/2017	21.2	64	7.7	
	28/12/2018	21.5	74	7.0	
	Average value	21.8	81	7.4	26
HR9	20/04/2007	25.2		7.6	19
	24/10/2007	21.1	72	7.3	18
	23/10/2008	25.1	63	7.6	16
	06/10/2009	25.5	38	7.0	18
	02/12/2011	25.9	75	7.7	18
	16/11/2012	25.9	81	7.7	18
	07/11/2013	25.5	75	7.5	18
	12/11/2014	24.6	37	7.4	
	21/10/2015	24.4	40	7.7	18
	19/10/2016	25.5	28	7.8	
	19/10/2017	24.5	26	7.5	
	29/10/2018	24.9	25	7.7	
	02/02/2020	24.0	33	7.5	
	Average value	24.8	49	7.5	18
FJ5	16/02/2005	30.0	73		
	11/05/2005	31.0	75		
	22/01/2007	30.0	74	7.4	43
	05/02/2008	30.4	62	7.3	31
	02/09/2008	30.4	56	7.3	32
	19/02/2009	30.5	53	6.9	28
	25/03/2010	29.5	56	7.4	30
	21/02/2012	24.0	38	7.3	31
	15/02/2013	24.0	90	7.7	30
	20/02/2014	24.0	91	7.3	31
	27/02/2015	26.6	77		30
	26/01/2016	28.0	70	7.5	37
	10/03/2017	25.0	70	7.5	33
	23/02/2018	28.0	77	7.7	32
	28/02/2019	30.0	57	7.6	34
	10/01/2020	28.0	88	7.6	31
	09/02/2021	28.0	91	7.6	31
	02/02/2022	26.0	92	7.5	36
	Average value	28.0	72	7.4	32
FJ6	26/08/2004	31.7	59	7.1	47
	17/02/2005	31.4	83		
	14/11/2005	34.7	56		
	30/01/2007	32.3	47	7.3	
	06/02/2008	32.0		7.3	47
	17/02/2009	28.2	53	7.2	48
	19/03/2010	30.5	19	7.1	47
	08/02/2012	24.5	18	7.0	47
	08/02/2013	26.5	17	7.3	47
	26/02/2014	29.0	35	6.8	47
	16/03/2015	28.0	37	6.7	45
	16/02/2016	25.0	38	7.2	47
	27/02/2017	25.5	80	7.2	47
	23/02/2018	28.0	74	7.4	45
	05/03/2019	27.0	68	7.1	45
	17/02/2020	29.0	83	7.3	43
	18/02/2021	27.0	71	7.2	48
	Average value	28.8	52	7.1	46
FJ7	08/02/2013	23.0	147	7.4	37
	26/02/2014	26.0	155	7.3	37
	12/02/2015	24.0	135	6.8	36
	19/02/2016	23.0	79	7.3	36
	23/02/2017	23.6	49	7.2	36
	15/12/2017	26.4	50	7.4	36
	22/10/2018	21.4	106	7.4	38
	25/12/2019	27.0	83	7.3	37
	20/01/2021	32.0	70	7.4	42
	28/02/2022	24.4	83	7.4	45
	Average value	25.1	96	7.3	38

Supplementary Table S1 (Continued No. 4)

補足資料 表 S1 (続き No. 4)

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
HD21	27/03/2000	34.2	159	8.9	4.1
	16/12/2004	35.8	128		
	13/12/2005	35.5	112		
	14/12/2006	35.3	97		
	11/12/2007	35.5	96		
	08/12/2008	34.2	77		
	20/10/2009	34.0	135		
	16/01/2012	35.0	84		
	08/01/2013	34.8	92		
	29/01/2014	35.0	87		
	26/11/2014	35.0	84		
	08/03/2016	35.0	90		
	18/01/2017	34.5	82		
	21/02/2018	31.0	76		
	16/01/2019	34.5	73		
	27/01/2020	34.5	77		
	12/11/2020	34.0	66		
	07/09/2021	34.5	70		
	Average value	34.6	94		
HD22	04/04/2000	29.0	78	9.5	3.8
	10/12/2004	29.2	52		
	15/12/2005	29.0	51		
	13/12/2006	29.0	49		
	11/12/2007	28.0	120		
	08/12/2008	27.8	131		
	15/10/2009	27.0	42		
	18/01/2012	29.0	114		
	21/02/2013	28.5	63		
	11/03/2014	29.0	30		
	02/03/2015	29.0	58		
	17/02/2016	29.0	36		
	17/01/2017	28.5	45		
	20/03/2018	27.5	44		
	27/02/2019	27.8	50		
	07/02/2020	28.5	35		
	13/11/2020	28.5	34		
	12/10/2021	25.5	38		
	Average value	28.3	59		
HD24	11/10/2011	39.0	298	7.7	
	08/01/2013	38.8	292		
	13/02/2014	38.5	287		
	10/02/2015	38.8	262		
	16/02/2016	38.0	197		
	01/02/2017	38.5	155		
	24/01/2018	35.0	144		
	17/12/2018	36.0	134		
	16/10/2019	38.5	250		
	09/09/2020	38.5	224		
	28/09/2021	37.0	257		
	Average value	37.9	227		
MU3	23/04/2007	24.5	90	7.9	46
	08/05/2008	27.3	62		
	04/03/2009	26.0	55		
	01/02/2010	25.0	44		
	06/12/2011	29.0	27		
	30/10/2012	26.0	77		
	19/03/2014	26.0	51		
	11/03/2015	27.6	42		
	14/03/2016	25.0	55		
	14/03/2016	27.0	54		
	12/03/2018	27.0	65		
	08/03/2019	26.5	51		
	12/03/2020	26.5	44		
	25/01/2021	23.0	48		
	08/03/2022	23.5	87		
	08/03/2022	23.5	87		
	Average value	25.8	59		
AK14	06/03/2008	29.5	4.7	11	
	28/01/2009	24.5	4.7		
	19/01/2010	30.0	4.0		
	18/01/2012	30.5	5.5		
	05/02/2013	27.5	4.0		
	17/12/2013	31.0	4.0		
	05/12/2014	25.5	4.0		
	28/01/2016	33.0	4.0		
	31/01/2017	32.5	4.0		
	31/01/2018	27.0	4.0		
	15/01/2019	30.0	4.0		
	05/02/2020	30.5	4.0		
	31/01/2022	31.2			
	Average value	29.4	4.2		

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
YS17	19/12/2011	37.8	37		
	14/11/2012	37.8	41		
	06/12/2013	37.3	40		
	22/12/2014	37.5	42		
	22/12/2015	28.2	14		
	15/12/2016	30.0	60		
	14/12/2017	32.2	22		
	20/12/2018	32.1	21		
	10/03/2020	32.4	24		
	26/02/2021	32.4	21		
	08/12/2021	32.2	24		
	Average value	33.6	31		
AT14	22/03/2005	30.0	52		
	30/01/2006	24.0	93		
	19/03/2007	25.7	51		
	06/03/2008	25.8	46		
	17/03/2009	30.9	45		
	11/03/2010	27.2	49		
	19/01/2012	28.5	30		
	22/01/2013	30.0	29		
	10/12/2013	25.5	18		
	27/01/2015	29.5	25		
	16/12/2015	29.0	30		
	08/12/2016	29.4	28		
	07/12/2017	30.1	35		
	27/03/2019	28.7	28		
	12/03/2020	29.1	30		
	18/02/2021	28.7	32		
	27/01/2022	29.0	34		
	Average value	28.3	39		
AT15	25/03/2005	26.0	72		
	28/03/2006	22.4	58		
	27/03/2007	27.2	49		
	26/03/2008	26.5	57		
	25/03/2009	26.0	61		
	04/03/2010	25.6	100		
	31/01/2012	25.5	57		
	11/03/2014	25.5	48		
	18/02/2015	25.4	51		
	16/09/2016	29.0	25		
	18/01/2018	24.8	38		
	10/04/2019	23.3	28		
	04/03/2020	23.6	26		
	09/02/2021	21.0	22		
	21/01/2022	24.0	22		
	Average value	25.1	48		
AT17	22/03/2005	34.8	124		
	09/03/2006		158		
	19/03/2007	34.7	126		
	06/03/2008	36.0	84		
	27/03/2009	35.5	104		
	08/03/2010	35.3	81		
	10/01/2012	35.8	79		
	22/01/2013	32.0	77		
	10/12/2013	32.5	74		
	28/01/2015	30.2	82		
	21/12/2015	35.8	82		
	02/12/2016	35.8	74		
	04/10/2017	36.5	73		
	22/03/2019	35.7	78		
	22/01/2020	35.5	66		
	20/01/2021	34.5	66		
	16/02/2022	35.0	74		
	Average value	34.7	88		
AT18	30/11/2005	33.7	160		
	27/03/2007	38.2	108		
	17/03/2008	38.4	111		
	24/03/2009	37.7	117		
	12/03/2010	37.5	193		
	19/12/2011	27.2	104		
	29/01/2013	27.6	136		
	20/01/2014	29.5	134		
	21/01/2015	24.5	132		
	11/12/2015	33.8	130		
	05/12/2016	34.0	116		
	14/11/2017	36.0	74		
	17/01/2019	34.6	216		
	10/12/2019	36.5			
	12/01/2021	34.2	193		
	08/02/2022	33.0	177		
	Average value	33.5	140		

Supplementary Table S1 (Continued No. 5)

補足資料 表 S1 (続き No. 5)

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
AT20	11/01/2012	18.5		7.6	
	29/01/2013	14.2		9.0	
	14/01/2014	16.0		7.4	
	13/01/2015	17.0		9.4	
	16/12/2015	17.5		9.3	
	29/11/2016	21.3		9.0	
	30/01/2018	20.4		9.3	
	07/11/2018	21.4		9.0	
	19/12/2019	21.1		9.2	
	22/12/2020	18.9		9.3	
	20/01/2022	20.0		9.3	
	Average value	18.8		8.9	
KM4	26/11/2004	33.6	71		
	15/06/2005	34.0	60		
	25/01/2007	30.4	59		
	04/02/2008	29.6	19		
	23/03/2009	30.0	31		
	31/03/2010	30.0	31		
	20/02/2012	24.0	33		
	28/02/2013	20.0	18		
	13/03/2014	22.3	26		
	23/02/2015	20.5	9.0		
	17/02/2016	19.0	9.0		
	24/02/2017	19.0	7.9		
	Average value	26.0	31		
TG1	25/10/2004	33.0	32		
	14/10/2005	32.0	31		
	06/11/2006	33.0	32		
	13/08/2007	33.0	32		
	15/10/2008	33.0	32		
	29/03/2010	31.5	32		
	21/03/2012	31.5	32		
	13/03/2013	26.3	30		
	21/02/2014	28.8	30		
	27/03/2015	28.0	29		
	04/02/2016	30.6	15		
	09/02/2017	28.4			
	08/03/2018	28.0			
	18/03/2019	27.2	30		
	24/03/2020	30.3	28		
	30/03/2021	25.1	31		
	20/12/2021	26.6	32		
	Average value	29.8	30		
TG2	05/11/2009	33.0	200		
	07/03/2012	26.4	200		
	22/03/2013	28.0	216		
	24/02/2014	29.1	106		
	30/03/2015	27.6	97		
	19/02/2016	22.1	45		
	13/02/2017	17.6			
	26/03/2018	26.1	153		
	19/03/2019	16.1	140		
	24/03/2020	19.7	159		
	21/12/2021	19.1			
	Average value	24.1	146		

Well name	Date (DD/MM/YYYY)	Temperature (°C)	Discharge (L/min)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)
OD7	10/07/2001	31.3	52	7.9	27
	08/07/2003	30.6	50	7.6	26
	14/07/2006	30.7	47	7.6	27
	17/07/2007	26.1	45	9.7	23
	14/07/2009	22.4	49	7.7	28
	07/07/2010	29.1	48	7.5	24
	11/07/2012	31.7	48	7.7	24
	12/07/2013	31.2	49	7.8	25
	08/07/2015	30.4	48	8.0	27
	12/07/2016	30.8	50		22
	09/07/2018	31.1	48	7.3	22
	18/07/2019	31.3	49	7.7	23
	Average value	29.7	49	7.8	25
OD8	08/07/2003	30.7	81	7.3	49
	14/07/2006	26.9	44	7.2	49
	17/07/2007	28.1	43	7.3	43
	14/07/2009	28.2	43	7.4	43
	07/07/2010	28.1	41	7.3	46
	11/07/2012	29.0	39	7.3	50
	10/07/2013	28.4	40	7.5	48
	28/07/2015	28.5	37	7.8	46
	12/07/2016	28.5	36		48
	09/07/2018	28.2	36	7.0	51
	18/07/2019	27.9	35	7.4	47
	04/08/2021	27.3	34	7.5	46
	Average value	28.3	42	7.4	47
OD10	10/08/2007	20.7	31	7.7	
	09/10/2009	20.4	33	8.5	31
	07/07/2010	19.7	32	8.0	30
	11/07/2012	21.6	27	8.3	31
	10/07/2013	25.7	37	7.4	29
	08/07/2015	18.8	30	8.7	29
	12/07/2016	20.1	36		28
	29/08/2017	20.7	28	8.2	28
	27/03/2019	23.4	30	8.4	28
	18/07/2019	28.6	33	8.3	29
	04/08/2021	19.4	33	8.4	23
	Average value	21.7	32	8.2	28