

大涌谷の地下はどうなっているのか？

電磁探査の最新結果と新手法の開発

○萬年 一剛

1. はじめに～探査とは？

地下に何らかの信号を送って、返ってくる信号から地下の地層や岩石の分布を推定することを探査といいます。使う信号が地震波の場合は地震探査、電気の場合は電気探査といいます。電磁探査とは地下に磁場を送り込んで、返ってくる磁場の変化をもとに、地下の様子を推定する探査です。

2. 電磁探査と比抵抗構造

地下に送り込む磁場の強さを変えたときに、地層には誘導電流と呼ばれる電流が(勝手に)流れます。この電流は磁場をつくります。この磁場は、最初に送り込んだ磁場とは別物なので、二次磁場と呼ばれています。二次磁場の大きさは、地下に流れる電流の強さによって変化しますが、地下に流れる電流の強さは電流の流れる地層の電気の流れやすさによって変わります。電気の流れやすさを電気伝導度、その逆数を比抵抗と言います。つまり比抵抗とは、電気の流れにくさのことです。二次磁場はその大きさが地上で観測できるので、地下の比抵抗が地上の観測で推定できるのです。

比抵抗は、岩石のもともとの性質や、岩石に空いた細かい穴や亀裂に何が含まれるかによって変化します。一般に、硬い岩石は比抵抗値が高く、砂や泥などからできた柔らかい地層は比抵抗が低くなります。また、岩石の細かい穴や亀裂が、空気で満たされている場合は比抵抗が高く、温泉など溶けている成分が多い水で満たされている場合は比抵抗が低くなります。比抵抗の値の地下での分布を、比抵抗構造といい、これは地下の岩石や熱水の分布と関係していると考えられます。

3. 大涌谷におけるこれまでの電磁探査

大涌谷の北側では、2001年頃から林の中で噴気が突然始まる現象が見られるようになりました。噴気は地下から高温の水(熱水と呼びます)が上昇している事を示しますが、どこから熱水が上昇してくるのかを確かめる必要があります。このため、当所や防災科学技術研究所などは、2008年から数回にわたって大涌谷とその周辺で電磁探査をして、大涌谷の谷の中や新しい噴気地帯の比抵抗構造が良くわかってきました。しかし、大涌谷の西側(玉子茶屋など大涌谷自然研究路方面)は探査が行き届いておらず、なぜ、このあたりに噴気が生じているのか、という問題が未解決のまま残されていました。

このため、当所では、2021年から国の科学研究費助成事業(科研費)のサポートを得て、これまでの探査範囲を西側に拡大することで、大涌谷全体の比抵抗構造が明らかにすることにしました。

4. 大涌谷全体の比抵抗構造

今回明らかになった比抵抗構造の例を図1に示します。ご覧に入れているLine FとLine Gの位置は図2に示しています。図1は、これらの線で断面を切って、比抵抗の分布をお見せしています。暖色系が低比抵抗、寒色系が高比抵抗を示します。Line Fではθとマークした低比抵抗の層が右から左まで伸びています。これは、キャップロックと呼ばれる構造と考えられます。キャップロックとは、熱水系の周りにできる粘土に富んだ地層で、噴気地帯では珍しくない構造です。興味深いのはキャップロックの中にιやλで示した高比抵抗部分があることです。このうちλは、2015年噴火の2ヶ月前頃から膨張していたことが地殻変動の観測からわかっており、地下から熱水の供給を受けていると考えられます。噴

火口 (Line G の 15-1) も λ の直上にあることから、噴火に関する構造とみられます。高比抵抗を示すことから、キャップロックの中で亀裂に温泉ではなく蒸気が溜まっている蒸気溜まりと解釈されています。Line G で a2 や WW、15-1 は噴気が活発な場所を示しますが、また Line F には「みけんの平」(図中 MKN) というかつて噴気が活発で、現在は多数の蒸気井がある場所があります。こうした場所の直下にも蒸気溜まり (ι , ξ) が認められます。蒸気溜まりは、地表に蒸気を供給する亀裂が集まった構造なのかも知れません。噴気地帯の比抵抗構造がここまでわかった例はあまりなく、さらなる解析を進めて行きたいと考えています。

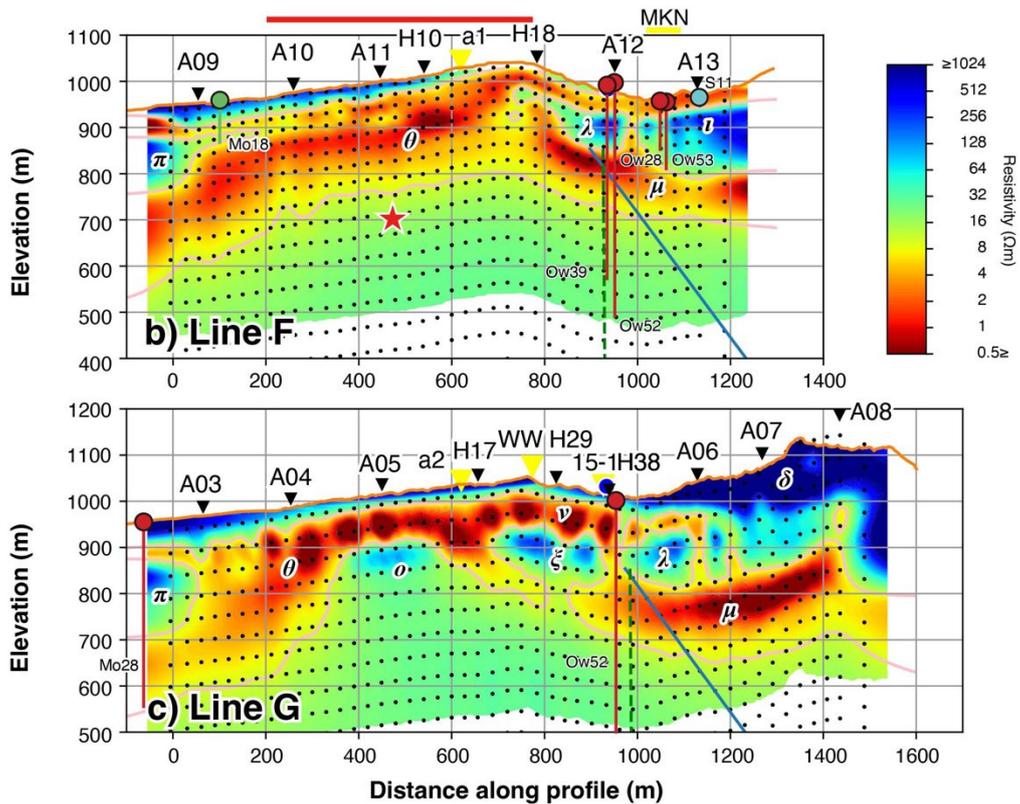


図 1 今回得られた大涌谷付近の比抵抗構造の例

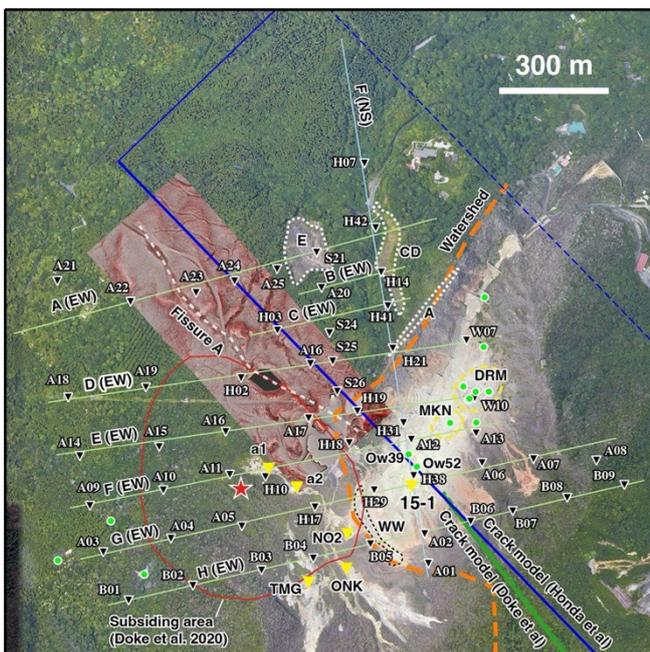


図 2 今回、比抵抗構造を得た線 (東西に延びる緑色と南北に延びる水色の線)。噴火の時に地下に入った熱水のクラック (青い四角)、噴火前に沈降をしていた場所とその中心 (赤線と赤星)、古い火口列 (Fissure A 黄点線) も示している。

地層別にみた神奈川の湧水の特徴

○難波 あゆみ、宮下 雄次、菊川 城司

1. はじめに

湧水は、動植物の貴重な生息環境として豊かな自然環境を創出するなど、全国各地で地域の自然を象徴する存在となっています。神奈川県内でも各地に湧水が湧出しており、身近な水源ややすらぎの場として親しまれている一方で、災害時の水源としても見直されています。ところが、近年では開発や都市化などにより湧水を取り巻く環境が変化し、各地で水量減少や枯渇、水質悪化などが懸念されています。湧水はある範囲から集まった地下水が自然状態で地表に流出したもの（中には河川などに直接流入しているものもあります）であり、いわば「地下水の露頭」です。その水質が、地下水が流れてきた経路(地質・地形)や時間によってどのように変わるのかを知っておくことは、たとえば土壌・地下水汚染状況の把握など、水質を通して直接目にするできない地下環境をうかがい知る上で重要かつ不可欠な知見となります。そこで、本発表では、神奈川県内における地下水水質の空間分布を把握するために行った湧水の地層別の水質調査結果について発表します。

2. 調査地点および調査方法

神奈川県を特徴づける地形として、西部の箱根火山や丹沢山地、東部の多摩丘陵や三浦半島、そして相模川を低地とそれに続く平坦な段丘などを挙げることができ、それぞれを形作る地質も異なっています。今回の調査では、地形・地質に着目し、県西部の「火山エリア」、「山地エリア」、県東部の「丘陵・台地エリア」、秦野盆地がある「盆地エリア」の4地域を設定し、合計45カ所の湧水を対象としました(図1)。

本調査では、湧水の①帯水層の推定と②水質調査を行いました。それぞれの湧水の帯水層となっている地層については、20万分の一地質図(通商産業省工業技術院地質調査所、1987 および産総研地質調査総合センター、2005)、秦野市地下水総合保全管理計画(秦野市、2021)、地理院地図および当所が所有する地下水位データに基づき作成した浅層地下水流動図から推定し、図1に示しました。②湧水の水質調査は、試料採取現場にて水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位および溶存酸素濃度を測定しました。また、実験室に持ち帰った試料は、イオンクロマトグラフィーにて陽イオン(Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} および Ca^{2+})及び陰イオン(Cl^- 、 NO_3^- および SO_4^{2-})を測定し、ICP-OES(誘起結合プラズマ発光分光分析装置)にて金属類(Cu、Pb、Fe、Mn、Zn)を測定しました。炭酸水素イオン濃度は0.05mol/L 塩酸を用いた滴定法により求めたアルカリ度と化学平衡式を用いて推定しました。水質は水道水質基準(厚生労働省、2003)と比較し、地層ごとの湧水の特徴を捉えました。

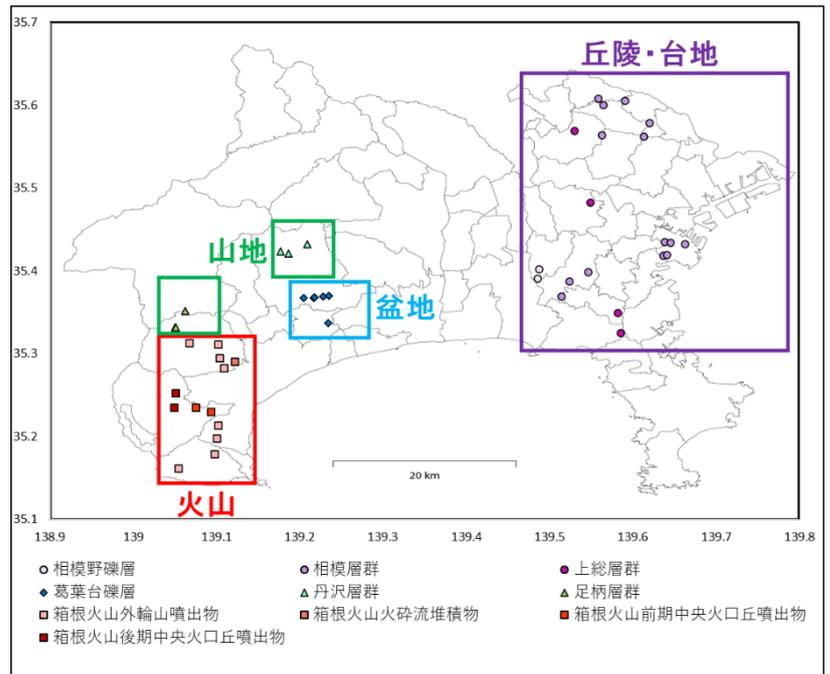


図1 調査地点と地形・地質の区分

3. 結果および考察

図2にトリリニアダイアグラムを示します。山地を形成する丹沢層群や足柄層群、秦野盆地を形成する葛葉台礫層由来の湧水の主成分は、主に重炭酸カルシウム型(地下水起源型)でした。一方で、丘陵・台地エリアでみられる上総層群と火山エリアを形成する箱根火山後期中央火口丘噴出物由来の一部の湧水は、主に硫酸イオン濃度が高く、非重炭酸カルシウム型(熱水・化石水起源型)でした。

金属成分は、鉄およびマンガン以外の項目は水道水質基準未満でした。一方で、鉄においては図3に示すように、上総層群由来の湧水が他の地層由来に比べて濃度が高く、水道水質基準(0.3mg/L)を上回る地点がありました。

このように上総層群由来の湧水の硫酸イオンおよび鉄濃度が高い要因の一つに、泥岩の存在が考えられます。多摩丘陵から横浜市北部にみられる上総層群は海成層であり、泥岩中に硫化鉱物(黄鉄鉱、二硫化鉄)を豊富に含むものがあります(石坂、1993)。特に黄鉄鉱は水と反応することで、鉄(II)イオンと硫酸イオンが生じることが知られており、これにより湧水中の硫酸イオンおよび鉄濃度上昇が起こった可能性が唆されます。

以上をまとめると、本調査で採水した神奈川県内の水の主成分は主に重炭酸カルシウム型(地下水起源型)でしたが、高濃度の硫酸イオン由来の非重炭酸カルシウム型(熱水・化石水起源型)が一部でみられました。金属類は上総層群において、水道水質基準を上回る鉄濃度が確認され、その要因として上総層群中の泥岩による影響が考えられました。

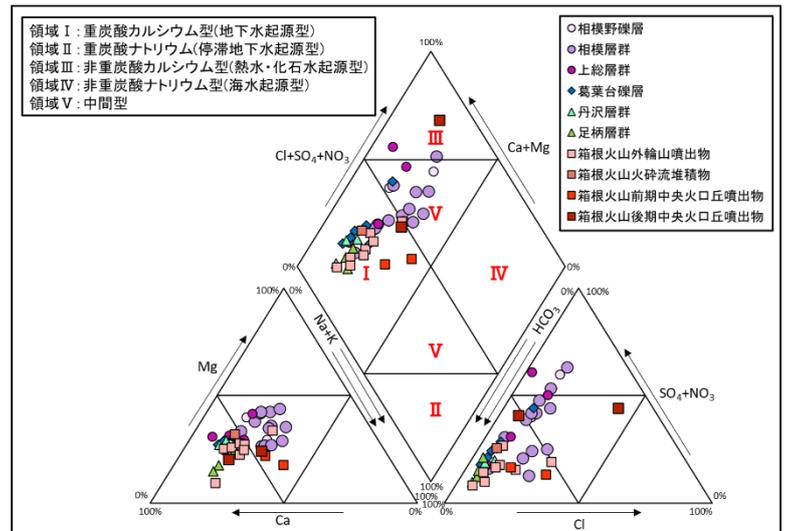


図2 トリリニアダイアグラム (単位は当量%)

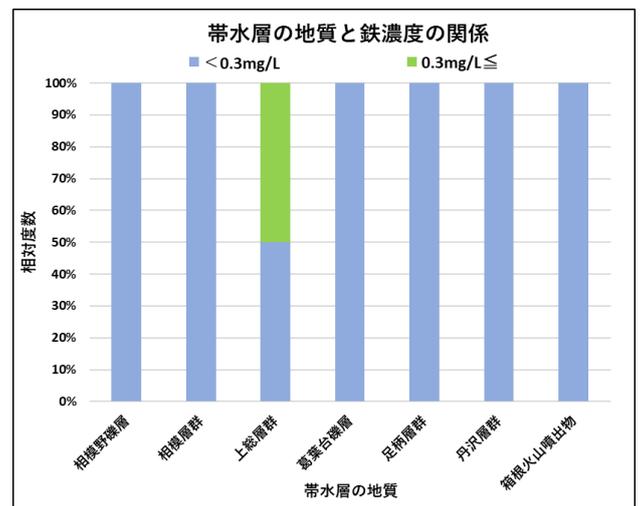


図3 帯水層の地質と鉄濃度の関係

参考文献

- 環境省水・大気環境局土壌環境課地下水・地盤環境室 (2010) 湧水保全・復活ガイドライン, 1-125.
- 通商産業省工業技術院地質調査所 (1987) 20万分の1地質図幅「東京」
- 産総研地質調査総合センター (2005) 20万分の1地質図幅「横須賀 (第2版)」
- 秦野市 (2021) 秦野市地下水総合保全管理計画, 1-178.
- 厚生労働省 (2003) 水質基準に関する省令, 平成15年5月30日厚生労働省令第101号[一部改正 平成19年11月14日厚生労働省令第135号]
- 石坂 (1993) 酸性泥岩の化学的特徴について, 神奈川県温泉地学研究所報告, 24, 2, 1-26.

箱根温泉～60年超の観測結果から見えるもの

○菊川 城司

1. はじめに

箱根温泉には約350箇所の源泉があり、神奈川県内源泉の半分以上を占めています。その歴史は古く、奈良時代に自然湧泉が発見されたのが始まりと伝えられており、江戸時代には、自然湧泉を利用した7箇所の温泉場を併せて箱根七湯と呼び、庶民に親しまれました。

昭和以降、温泉井が数多く掘削され、ポンプを利用して温泉水を汲み上げるようになると、自然湧泉の枯渇や源泉の相互影響が問題となりました。神奈川県では、温泉の枯渇化問題に対応するため、保護対策要綱による保護地域の設定や、温泉に関する専門機関として温泉研究所（現在の温泉地学研究所）を設立するなど対策を進めました。

また、神奈川県では、温泉の状況を把握するため、小田原保健所が主体となり1958（昭和33）年から定期的に箱根温泉の実態調査を行っており、60年以上経った現在でも継続しています。この調査によって、個別源泉の温度や揚湯量などの貴重なデータが長期間に渡り蓄積されてきました。

本報告では、この実態調査結果を中心にして、箱根温泉の長期的な変化を見てみると共に、温泉保護のあり方について考えてみます。

2. 経年変化

図1に、温泉台帳ごとの温度平均値の経年変化を示しました。温泉台帳は、大正末期から昭和初期にかけて、当時の町村ごとに作成されたもので、現在でも、県ではその区分で台帳の管理を行っています。図からは、元箱根台帳や芦之湯台帳などに掲載された源泉で低下している一方、宮城野台帳などではあまり変化がない傾向がみえます。

図2には、実態調査の結果から計算した箱根温泉の温度の年間変化量を示しました。年間変化量は、各源泉の観測値を最小二乗法により直線近似してその傾きから把握しました。源泉によっては、直線で近似することが難しいものや、データの誤差が大きいと考えられるケースがありますが、今回は大まかな傾向を捉えるため、そのような源泉も除外せずにすべて直線回帰して計算しています。

図2では、○印が暖色系の源泉ほど温度の低下（枯渇化）が大きく進んでいることを表しており、温度低下は、温泉台帳単位ではなく、底倉温泉、宮ノ下温泉、姥子温泉、蛸川温泉など特定の地域に偏って分布していることが判りました。

温泉の3大要素は温度、量、成分と言われていますが、実態調査の結果をまとめてみると、量や成分の変化量についても、地域的な偏りがあることが判りました。

3. 温泉保護のあり方

神奈川県では、温泉保護対策要綱によって保護地域における新規掘削の制限、揚湯量の規制などを定めて、既存源泉の枯渇化対策を進めてきました。その成果もあり、箱根温泉の急激な枯渇化の進行は抑えられています。しかし、数十年単位で見ると、地域によっては温度の低下や、揚湯量の減少、成分の減少が進んでいます。このような枯渇化が進んだ地域で、更にきめ細かい対策を行うためには、現在の保護地域区分よりも、帯水層や成因によって区分できるもっと小さな地域に目を向けて対策を考えていく必要があります。

また、規制がない地域で新たに温泉を掘削することも、規制区域内の枯渇化を進めることになる場合があります。さらに、箱根温泉の水の大部分は箱根山に降った雨が元になっています。温泉ではない地下水を多量に使うことも温泉の枯渇化に繋がります。このような視点での保護対策も重要です。

箱根七湯の時代のように限られた数の自然湧泉だけを利用してれば、温泉の枯渇化はあまり意識する必要はないかも知れません。しかし、井戸を掘削してポンプで温泉水を汲み上げる方法が主流となり、箱根全山に数多くの温泉が分布している現在では、温泉保護をいくら意識しても、枯渇化がある程度進むのは必然と言えるのかも知れません。将来にわたって箱根温泉の恵みを受けるためには、これまで以上に、様々な温泉保護のための対策を工夫していく必要があるでしょう。

箱根温泉に関する参考文献の例

- 菊川城司（2008～2024）ワクワクはこね温泉 第1～16回，観測日より，第58～74巻。
- 菊川城司（2011）箱根温泉の泉質分布図，湿地研報告，第43巻，73～79ページ。
- 箱根温泉調査班（1981）箱根温泉誌（Ⅰ～Ⅱ），湿地研報告，第12巻，第5～6号。

※何れも温泉地学研究所ホームページ (<https://www.onken.odawara.kanagawa.jp/periodical/>) からご覧いただけます。)

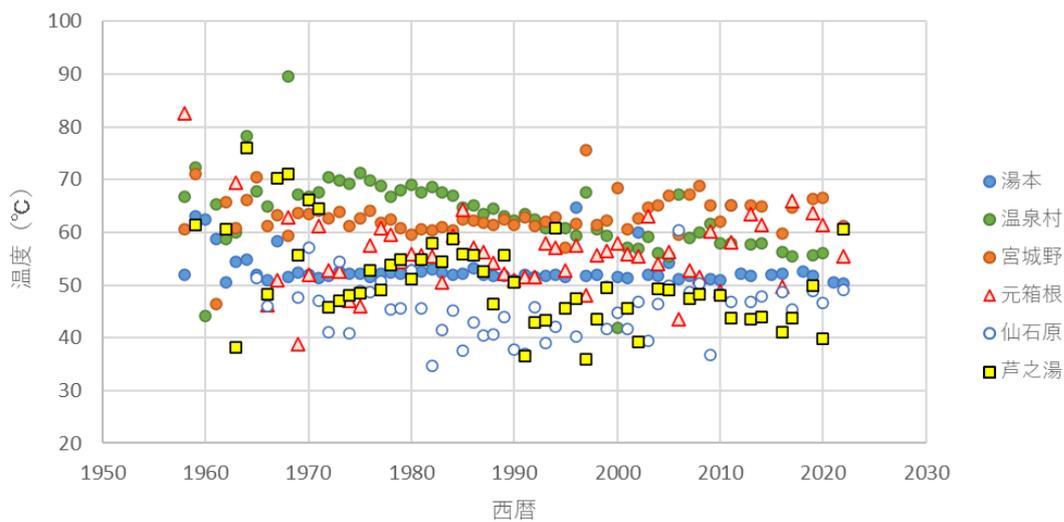


図1 温泉台帳ごとの温度平均値の経年変化

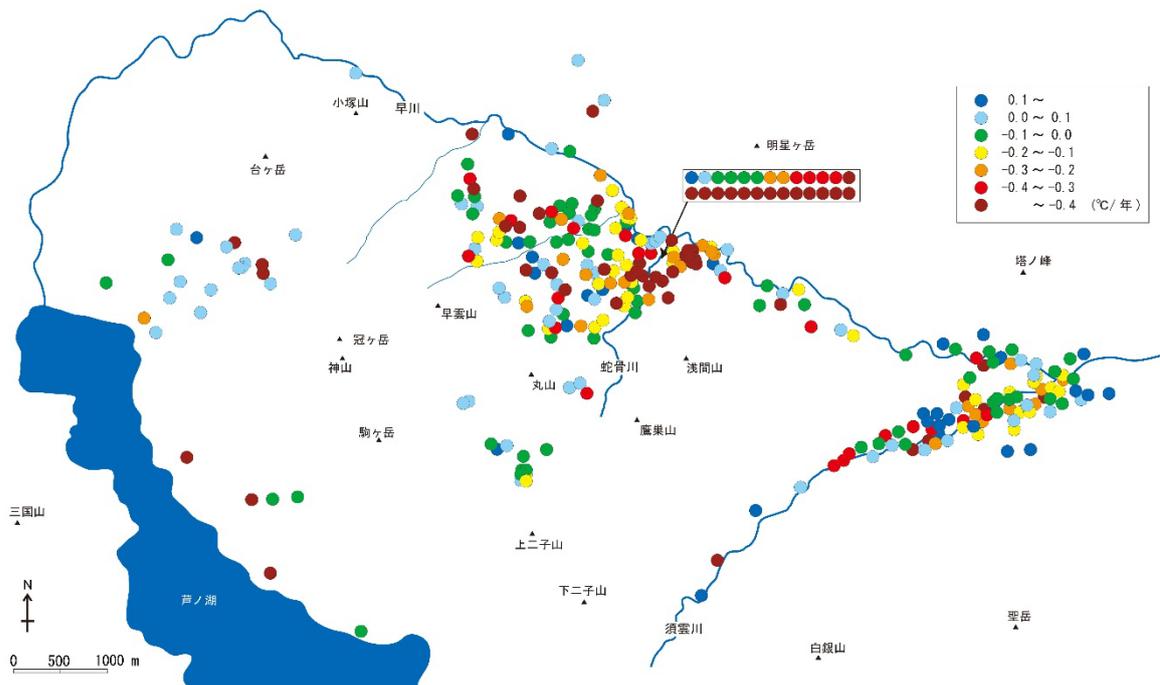


図2 実態調査結果から計算した各源泉温度の年間変化量

神奈川県温泉地学研究所
令和6年度研究成果発表会講演要旨集（2024）

発行・印刷

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

電話：0465-23-3588

FAX：0465-23-3589

本講演要旨集を神奈川県温泉地学研究所の許可無く、複製、転用、販売などの
2次利用することを固く禁止します。
