

北海道内の温泉における療養泉判定のためのガス成分を除く溶存物質濃度と電気伝導率の関係解明

Elucidation of Relationship between Concentrations of Dissolved Matters Excluding Gaseous Substances and Electric Conductivities for the Judgement of Therapeutic Springs in Hokkaido

高野 敬志 内野 栄治

Keishi TAKANO and Eiji UCHINO

Key words : therapeutic spring (療養泉) ; dissolved matter (溶存物質) ; electric conductivity (電気伝導率)

緒 言

療養泉は、入浴または飲用することで何らかの疾患を持つ人の病状及び苦痛を軽減し、健康の回復及び増進が期待できる温泉で、特定の基準を満たした温泉が該当する。療養泉の基準は、泉温 25℃ 以上、もしくはガス成分を除く溶存物質（以下、溶存物質とする）濃度 1.000 g/kg 以上または水素イオンや総硫黄などの 6 種の特殊成分がそれぞれ決められた濃度以上含有するうち、いずれか一つ以上条件を満たすこととされている¹⁾。

療養泉に該当した場合、単純温泉や塩化物泉などの泉質に分類され、泉質に応じた適応症が決定される。該当しない場合には、泉質名はつかず、適応症の該当項目もない。

療養泉の基準の一つである溶存物質濃度は、陽イオン、陰イオン及び非解離物質のそれぞれの物質の濃度を合計して表される。それらの物質の定量には、それぞれに誤差が含まれていることから、結果的に溶存物質濃度の測定値と真値との間に大きな差が生じる可能性があり、療養泉判定に重大な影響を及ぼすことが考えられる。そのため、溶存物質と関連性の大きい測定項目の数値を参照することで、溶存物質濃度の妥当性を確かめることが必要と考えられる。

電気伝導率は水中における電気の通りやすさを示し、溶存している電解質の濃度が高いほどおおむね大きな数値となる。2014 年度から鉱泉分析法指針が改正され、温泉分析書に必須項目としてその測定値が記載されるようになり、現在までデータが蓄積されている。温泉では一般に 25℃ における電気伝導率の測定値（単位 S/m）のおおよそ 7-9 倍が溶存物質濃度（g/kg）となる関係が示されている¹⁾。北海道内で湧出する温泉の電気伝導率を有効に活用するためには、これまでの温泉分析における溶存物質濃度と電気

伝導率の関係を明らかにすることが必要である。電気伝導率は現地でハンディタイプの装置で測定するので、その測定値を基に迅速に溶存物質濃度を推定することができると思われる。

本報告では、北海道において 2015-2019 年度に発行された温泉分析書から、療養泉の溶存物質濃度の基準を考慮して、溶存物質濃度が 0.800-1.200 g/kg であった温泉の電気伝導率の数値を調べ、療養泉の判定に対する電気伝導率の有効性を検討した。

方 法

温泉分析は道内 10 カ所の登録分析機関で行った。分析方法は鉱泉分析法指針¹⁾に準じた。電気伝導率は温泉採水地でハンディタイプの電気伝導率計を用いて、測定値の単位を S/m とし、25℃ における値に換算して小数点第 2 位まで測定した。溶存物質濃度は、0.1 mg/kg 以上の陽イオン、陰イオン及び非解離物質濃度を積算した。

結果及び考察

2015-2019 年度に行われた温泉分析のうち、溶存物質濃度が 0.800-1.200 g/kg であったのは 70 件であった。その内訳は 1.000 g/kg 未満が 46 件、1.000 g/kg 以上が 24 件であった。溶存物質濃度と電気伝導率の関係を図 1 に示した。溶存物質 1.000 g/kg 未満の電気伝導率は 0.06-0.27 S/m、1.000 g/kg 以上では 0.10-0.20 S/m の範囲にあった。溶存物質 1.000 g/kg 未満では、図 1 中の点線で囲った 5 件を除いて電気伝導率は 0.15 S/m 以下であった。

pH と電気伝導率の関係を図 2 に示した。5 件（このうち 2 件については同じ pH かつ電気伝導率）を除いた温泉の pH は 6 以上の中性-アルカリ性泉であった。5 件につ

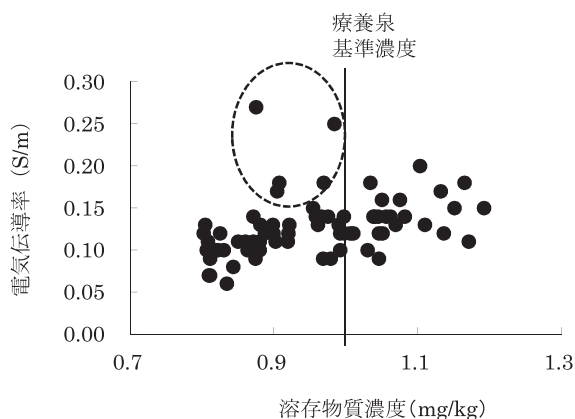


図1 溶存物質濃度と電気伝導率の関係
点線内は酸性泉

いては pH が 2.3-2.7 の酸性泉であり、これらは図 1 中の点線で囲まれた 5 件に該当した。通常、溶存物質濃度が低い場合は電気伝導率が低くなるが、この結果は、酸性泉は溶存物質濃度が低くても電気伝導率が大きい値となることを示している。電気伝導率の測定において、水素イオンは、プロトン電荷が水分子の水素結合鎖を伝って移動し（プロトンジャンプ機構またはグロツタス機構と呼ばれる）^{2,3)}、一般のイオンのようにそれ自体が移動することにより電気が流れるのではない。従って、水素イオンのモル伝導率は他イオンと比較して大きい値となり、このことから酸性泉の電気伝導率は大きくなる傾向があると考えられた。

溶存物質濃度が 1.000 g/kg 以上の温泉の電気伝導率の最小値は 0.10 S/m であり、電気伝導率が 0.10 S/m 未満の温泉は、療養泉の溶存物質濃度の基準を満たしていなかった。また、溶存物質濃度が 1.000 g/kg 未満の温泉の電気伝導率の最大値は、酸性泉を除くと 0.15 S/m であり、電気伝導率が 0.16 S/m 以上の温泉は療養泉の溶存物質濃度の基準を満たしていた。なお、5 件の酸性泉は療養泉の溶存物質濃度の基準を満たしていないが、水素イオン濃度の基準である 1.0 mg/kg 以上の条件を満たしていた。

図 3 に溶存物質濃度に対する電気伝導率の回帰直線と 95% 予測区間の上限及び下限を示す直線を示した。なお、この図では 5 件の酸性泉は除外した。回帰直線式からの計算によると、電気伝導率が最小の 0.06 S/m から最大の 0.20 S/m の範囲において、電気伝導率の 7.4-9.1 倍が溶存物質濃度となり、鉱泉分析法指針¹⁾で示された 7-9 倍の条件をおおむね満たす結果となった。なお、全 65 件の個々の分析では電気伝導率の 5.5-13.9 倍が溶存物質濃度となり、7-9 倍の範囲内であった例は 36 件（55%）であった。療養泉の基準となる最低溶存物質濃度 1.000 g/kg における電気伝導率の 95% 予測区間は 0.08-0.17 S/m であり、高い確率で 0.07 S/m 以下では療養泉の溶存物質濃度の基準を外れ、0.18 S/m 以上で基準に該当することが統計的に明らかとなった。電気伝導率が 0.08-0.17 S/m であった場合、溶存物質濃度が療養泉の基準を満たす場合と満たさない場合が混在していると考えられるため、溶存物質に

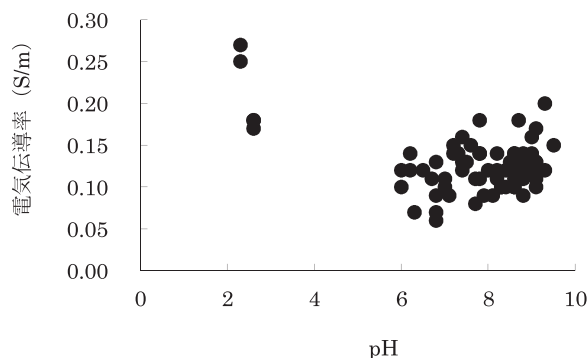


図2 pHと電気伝導率の関係

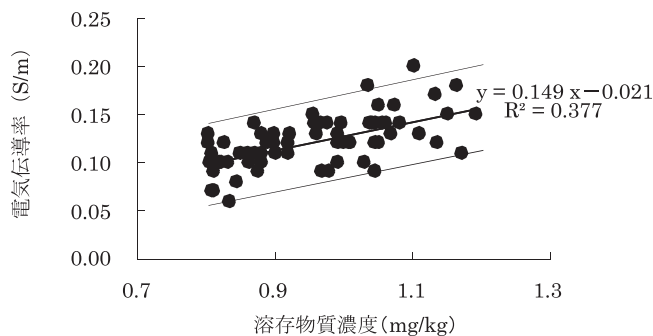


図3 溶存物質濃度に対する電気伝導率の回帰直線及び95%予測区間

含まれる項目の分析を慎重に行う必要があると考えられた。

本研究における電気伝導率の測定では、各登録分析機関がそれぞれ個別の電気伝導率計を使用しているため、使用機器の校正状況等の影響により同試料でも測定値が一定にならないことが予想された。そのため、図 3 で 95% 予測区間を表すことにより、溶存物質濃度に対して信頼できる電気伝導率の数値幅を示した。温泉現地分析で可能な限り同条件で電気伝導率を測定することができれば 95% 予測区間の数値幅が狭くなり、療養泉の判断に利用できる電気伝導率に対して、更に焦点が絞られた値を示すことができると考えられる。今後、外部精度管理の実施など、全登録分析機関に対して測定値の信頼性をさらに高めることを考慮する必要があると考えられた。

今回の解析結果により、道内の療養泉の溶存物質濃度を簡易的に推定する手段として、電気伝導率による 0.07 S/m と 0.18 S/m の値が目安となることが示唆された。泉温が 25℃ に満たない道内の冷鉱泉の現地分析では、この値が療養泉判定の一助になると考えられた。

文 献

- 1) 環境省自然環境局：鉱泉分析法指針（平成 26 年改訂）．環境省，東京，2014
- 2) 阿部文一：水溶液中のイオンと電気伝導率．化学と教育，57，562-565（2009）
- 3) 坂本一光：イオンと溶媒の相互作用に関する研究Ⅳ．電気伝導率の測定と電解質のイオン会合平衡．島根大学教育学部紀要（自然科学），21，101-131（1987）