

## 温泉水のヌルヌル感の謎—科学的に解明！

法政大学生命科学部教授 大河内正一

ヌルヌルする温泉の代表として、鳴子温泉（宮城県）の“うなぎ湯”が有名です。文字通り入浴中、うなぎの表面のヌルヌル感と同様の皮膚感覚にさせられます。しかし，“うなぎ湯”では、pH が 9 前後とアルカリ性が特に強いわけではなく、また pH が 11 もある強アルカリ性の白馬八方温泉ではそれほどヌルヌル感が強くありません。さらには、pH が中性の 7 を下回るヌルヌル感を与える温泉（小谷温泉、長野県）もあります。そこで、皮膚にヌルヌル感を与える温泉成分の条件がどのようなになっているかを研究しました。その結果、500 を超える温泉について、それらの温泉分析表の温泉成分からヌルヌル感を与える温泉とそうでない温泉を、97%を越える確率で見分けることができました。以下の(1)～(4)で具体的に説明します。

### (1) 皮膚にヌルヌル感を与えるメカニズム

温泉水中のアルカリ性成分と皮膚に存在する皮脂とが反応してナトリウム (Na) あるいはカリウム (K) 石鹸 ( $R-COONa(K)$ ) 様の物質ができ、皮膚にヌルヌル感を与えます。一方、温泉水中に含まれるカルシウム (Ca) やマグネシウム (Mg) により金属石鹸 ( $(RCOO)_2-Ca(Mg)$ ) が生じ、皮膚のヌルヌル感が阻害されます。さらには、生成された  $Na(K)$  石鹸は pH が低下すると水素イオン ( $H^+$ ) の増加により ( $R-COOH$ ) が生成され、ヌルヌル感が抑制されます。すなわち、皮膚のヌルヌル感には温泉水中の  $Na(K)$  系アルカリ成分が多く、 $Ca(Mg)$  が少ない程、ヌルヌルする温泉となります。そのため、アルカリ成分と  $Ca$  および  $Mg$  の割合が重要となります。

### (2) ヌルヌル感を与えるアルカリ成分の種類とそれらの強さ

温泉分析表から温泉水に含まれると思われるアルカリ成分のヌルヌル感に与える強さは、 $NaOH$  系 ( $NaOH, KOH, Na_2CO_3, Na_2S, Na_2SiO_3$ )、 $NaBO_2$  系（メタホウ酸系）および  $NaHCO_3$  系（重曹系）の 3 種類のアルカリ成分系に分類でき、それらの相対的ヌルヌル感の強さは 1 : 0.18 : 0.1 となります。例えば、重曹では同じヌルヌル感を与えるには、 $NaOH$  系のアルカリ成分と比較して 10 倍量の重曹が必要となり、重曹はヌルヌル感を与え難いことになります。また、メタケイ酸 ( $Na_2SiO_3$ ) は皮膚のヌルヌル感に大きく寄与すると宣伝されていますが、 $Na_2CO_3$  などの他の  $NaOH$  系アルカリ成分と差がないことも分かります。

### (3) ヌルヌル感判別式

ヌルヌル感を与える上記 3 種類の異なるアルカリ成分を、 $NaOH$  系に統一した有効アルカリ成分濃度を  $[Ae]$ 、 $Ca$  と  $Mg$  の合計濃度を  $[Ca+Mg]$  とすると、皮膚のヌルヌル感に与える温泉成分との関係は、(1) 式のヌルヌル感判別評価式で示すことができます。

$$[Ae] \geq 0.30(1 - Ke) / 0.55(1 - 1.55Ke) \quad (1)$$

ここで、 $Ke = [Ca+Mg] / ([Ae] + [Ca+Mg])$  で、濃度はいずれも温泉水 1kg 当りのミリモル  $[mmol/kg]$  または  $[mM]$  で示します。図中の実線で示す曲線となり、その内側の領域がヌルヌル感を示す領域、その外側はヌルヌル感を示さない領域となります。

さらに、簡易的な式で表すと (2) 式（破線）のそれぞれの直線で囲まれた内側の領域がヌルヌル感を示します。

$$[Ae] \geq 0.6 \text{ および } Ke \leq 0.30 \quad (2)$$

図 1 に、簡易式の (2) 式に基づいたヌルヌル感判別のフローチャートを示します。図中の  $[ ]$  内は温泉分析表の温泉成分の数値  $[mg/Kg]$  をそのまま入れて計算して下さい。フローチャートにしたがい進めることでヌルヌル感の判別ができます。なお、有効アルカリ成分の濃度計算で  $10^{pH-11}$  の項がありますが、温泉水の pH が 10 とすと、

0.1mM となり、ヌルヌル感を与える最小の[Ae]は 0.6mM であることから、溶解成分の少ない単純温泉を除いて、pH10 以下の温泉では  $10^{\text{pH}-11} \approx 0$  としても影響はすくないと思われる。

### (3) ヌルヌル感判別評価式の検証例

ヌルヌル感判別式の有効性を，“うなぎ湯”を含めた 9 の泉質（旧泉質名）を有する鳴子温泉で検証しました。鳴子温泉のゆさや旅館の温泉水（pH 8.9）は、代表的な“うなぎ湯”として知られています。その温泉分析表から、有効アルカリ濃度[Ae]に換算すると 7.2 mM となり、ゆさや旅館のうなぎ湯は単一のアルカリ試薬でヌルヌル感を与える濃度の 13 倍もの多量のアルカリ成分を含むことになります。また、Ke は [Ae]に比較して[Ca+Mg]が小さく、そのため 0.026 と非常に小さくなります。これらのデータを図 2 で示すと、ゆさや旅館のうなぎ湯（a 印）はヌルヌル感を十分示す領域に位置していることが確認できます。一方、同じうなぎの湯の“しんとろの湯”（b 印，pH 9.4）では、温泉分析表から有効アルカリ成分濃度[Ae]は 7.7 mM，Ke は 0.018 となり、しんとろの湯はゆさや旅館のうなぎ湯以上に、ヌルヌル感を与えます。両者の成分的な違いは、ゆさや旅館はヌルヌル感の弱い  $\text{NaHCO}_3$ （重曹）が全体のアルカリ成分の約 50%を占める一方、しんとろの湯ではよりヌルヌル感の強い  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ （メタ珪酸）が全体のアルカリ成分の 65%を占めています。同じヌルヌル感を与えるうなぎ湯でも成分的に大きな違いがあることが分かります。

さらに鳴子温泉には、ゆさや旅館およびしんとろの湯の他にヌルヌル感を与える温泉（c ～ n 印）およびヌルヌル感を与えない温泉水（o ～ s 印）があり、(1) 式に基づき解析した結果を、図 2 に合わせて示しました。鳴子温泉のヌルヌル感を与える（○印）および与えない（□印）温泉が、図に示す実線および破線を境に左右に分かれ、鳴子温泉での(1)式および簡易的な(2)式のヌルヌル感判別式の有効性が確認できます。

一方、図 2 に鳴子温泉以外でヌルヌルする温泉で知られているなご野温泉（t 印）および同じ佐賀県にある高串温泉（u 印）や、pH が 11 を越す強アルカリ性の白馬八方温泉（v 印）および都幾川温泉（w 印，埼玉県）を示しましたが、いずれもヌルヌル感の領域にあることが分かります。しかし、前者のなご野や高串温泉と比較して、後者の両温泉は、pH が非常に高くても(1)および(2)式の線に比較的近い位置にあり、pH に比例してヌルヌル感が増すとは限らないことが分かります。

さらに、x 印で示す小谷温泉（長野県）は、重曹( $\text{NaHCO}_3$ )を 1961 [mg/kg]と多量に含む皮膚にヌルヌル感を与える重曹泉として知られていますが、その温泉水は pH6.8 のアルカリ性ではありません。しかし、有効アルカリ成分濃度[Ae]は 9.35 mM とうなぎ湯より高く、また Ke も 0.14 と特に大きくないことから、pH が中性以下でもヌルヌル感を保持していると考えられます。また、A と B 印は、芦野温泉（栃木県）の同じ敷地内から湧出する pH9 台のアルカリ単純温泉の源泉ですが、同じアルカリ単純温泉でも、A はヌルヌル感を与え、Ca、Mg 成分が僅かに多い B ではヌルヌル感を与えないことが確認できます。

判別評価式の具体的な計算法は、論文<sup>1)</sup>や大河内研ホームページ<sup>2)</sup>を参照していただき、判別評価式のより一層の精度を上げる工夫をご提案していただければ幸いです。

参考：1) 大河内ら、“皮膚のヌルヌル感に及ぼす温泉水の特性”、温泉科学、**62**, 237-250 (2012)、“皮膚のヌルヌル感に及ぼす温泉水の成分と pH の関係”、温泉科 **63**, (2013), 2)  
[http://www.geocities.jp/okouchi\\_hosei/](http://www.geocities.jp/okouchi_hosei/)

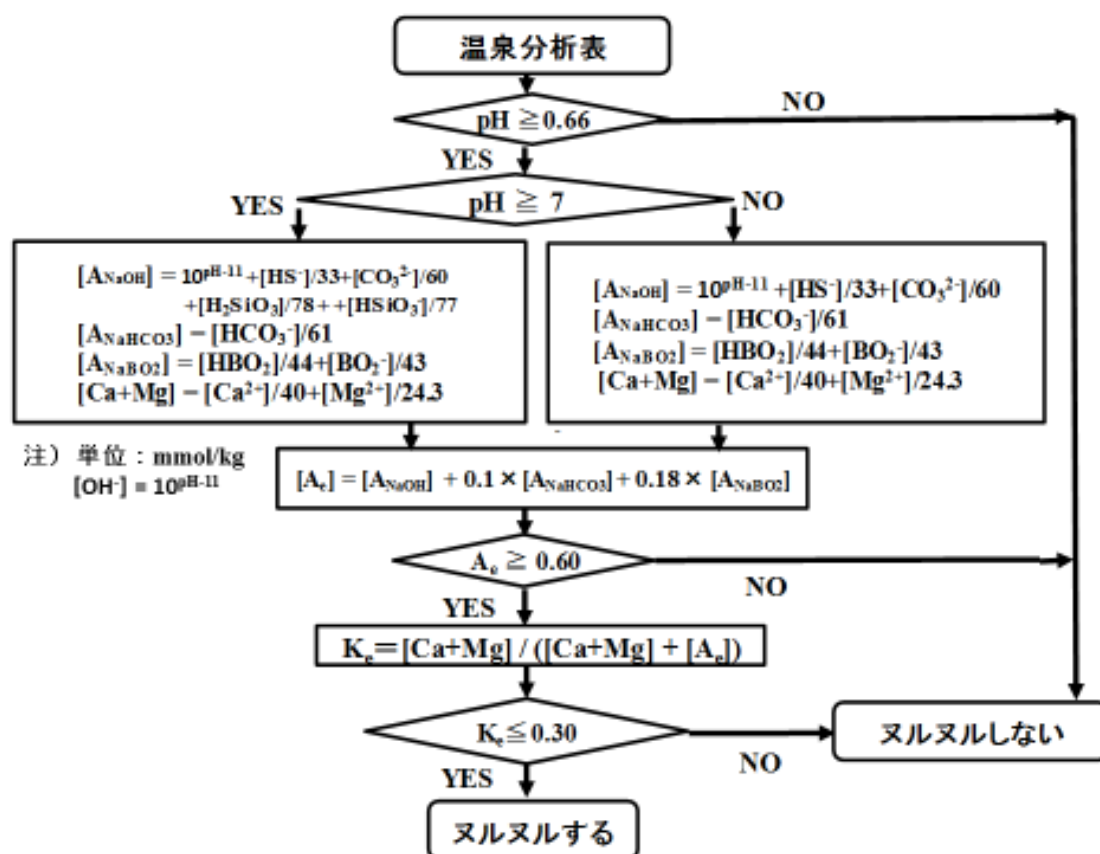


図1 ヌルヌル感の判別フローチャート

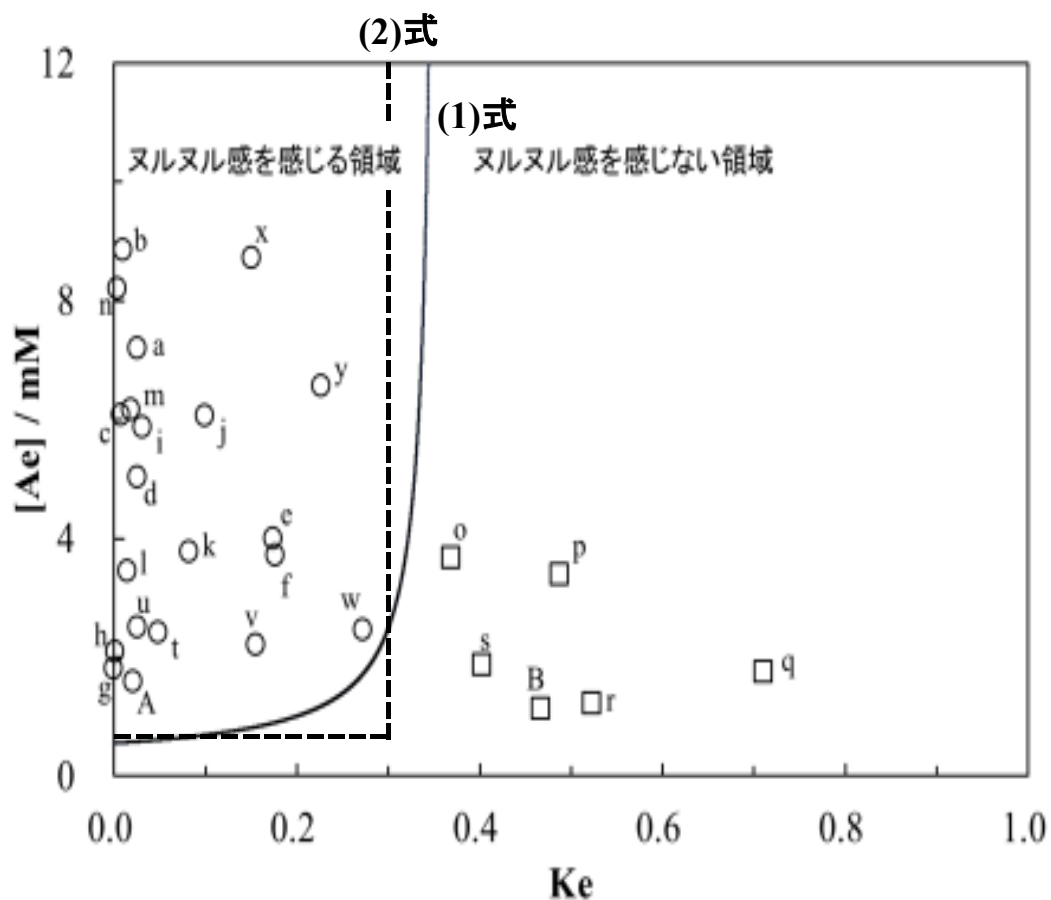


図2 うなぎ湯”を含む温泉水のヌルヌル感判別評価

a: ゆさや旅館 (含芒硝・硫黄泉), b: しんとろの湯 (含芒硝・食塩・硫黄泉), c 琢秀 (含芒硝重曹・硫黄泉), d: 仙庄館 (単純硫黄泉), e: ホテル扇屋 (食塩泉) f: 旅館大沼 (重曹泉), g: 星の湯旅館 (単純温泉), h: あすか旅館 (単純温泉), i: 鳴子ラドン温泉 (含重曹芒硝・硫黄泉), j: 東蛇の湯 (含重曹芒硝・硫黄泉), k: 旅館三之丞湯 (重曹泉), l: 菊池旅館 (単純温泉), m: 四季の宿花沢荘 (含重曹芒硝・硫黄泉), n: 老人休養ホームなかやま山荘 (含重曹・食塩・硫黄泉), o: 姥の湯旅館 (単純泉), p: 東多賀の湯 (含土類重曹・芒硝硫化水素泉), q: 鳴子観光ホテル (含土類・芒硝硫化水素泉), r: 吟の庄 (酸性芒硝泉), s: 滝の湯 (酸性含明礬・緑礬芒硝硫化水素泉), t: 嬉野温泉 (含食塩・重曹泉), u: 高串温泉 (重曹泉), v: 白馬八方温泉 (アルカリ性単純温泉), w: 都幾川温泉 (アルカリ性単純温泉), x: 小谷温泉山田旅館 (重曹泉), y: 小谷温泉熱泉荘 (重曹泉), A: 芦野温泉第一号泉 (アルカリ性単純温泉), B: 芦野温泉第二号泉 (アルカリ性単純温泉)