

カミナリの新理論

芳野赳夫

昨年(2009年)1月28日に開催された日本山岳会科学委員会主催のフォーラム「登山を楽しくする科学」において、長年の研究結果をもとに新しく改定構築された雷放電理論に基づいて大改正された2003年制定のJISA4201の避雷規定に準拠し、登山中の改良された避雷法について「山で雷にあつたら」との題名で解説講演を行った。この講演に関する反響は大きく、直後にその予稿を日本山岳会の年報である「山岳」の第104年号(2009年9月28日発行)に記事として掲載され発行されている。

この研究結果に基づいて開発された新しい一点接地による避雷姿勢、身に付けた金属装備品の取り扱い、樹木近傍の落雷に対する安全範囲などの新規定は、従来、長い間、登山技術書の内容や講習会などで指導され、指導要綱に記載されている事項からは大きな変更がなされているため、フォーラム開催後、筆者および科学委員会に多くの質問が寄せられている。この避雷に対する諸問題は、登山常識の基幹に抵触する問題であるため、質問は登山に対する初心・経験を問わず、また科学的解釈の経験度の浅深に関係なく広い山岳関係者から寄せられた。

これらの質問の内容を分析すると 1. 一点接地の避雷姿勢、2. 樹木近傍の安全範囲、3. 登山中の避雷退避等の問題などの技術面に関する件が最も多く、次いで気象予報に基づく登山行動への対処・判断などに関する件がそれに続いて多かった。また質問者には、山岳会、登山俱楽部などにおいて、この新しい避雷法式を伝達講習する立場の方が多数含まれていたことから、今年のフォーラムでは、昨年のフォーラムで記述した、各事項についてその物理学的解析など詳細な解説を行うことにした。

1. 一点接地の避雷姿勢について

昨年提案した避雷姿勢について最も多くの質問が寄せられた。2003年のJIS規定の改正以前は長い間の常識として、雷が接近した時には姿勢を低くして地面に伏せる事が常識とされており、特に登山においては、常にこのことが強く指導されていた。しかし、大地上に伏せる事は、側撃落雷による誘導電流に対して伏せた場

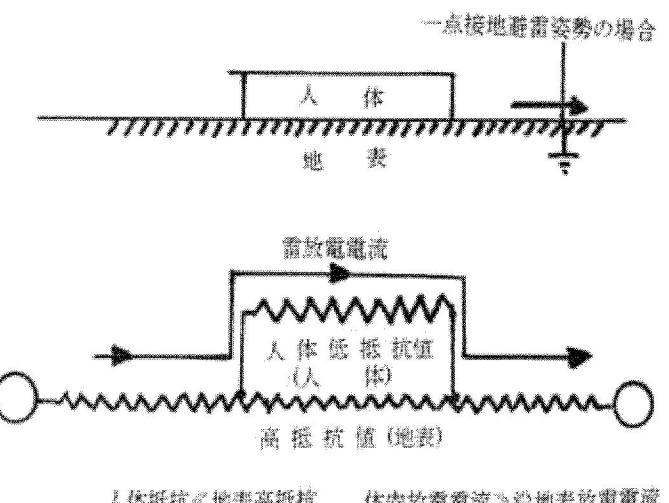


図1 地面に伏せた場合の側雷誘導電流の流路 (殆どの落雷電流が体内を流れる)

合の電流到来方向の先端、例えば手先から足先に掛けて、図1に示すように、その間の岩石の電気抵抗に比較して、はるかに低い電気抵抗を持つ人体が短絡回路を作る形となって、その区間は雷の誘導電流の大部分が人体内を流れ、特に心臓などの機能を破壊・焼損などにより、人体機能に重大な損傷を与え、しばしば死亡に至らしめることが確認されてきた。通常伏せた姿勢での手と足の間の人体の抵抗値と、同じ長さの岩石の抵抗値を比較すると、岩石の種類にもよるが、通常、人体の抵抗値の100倍、時には数1000倍に達するため、電流の殆どが身体内を流れる事になる。また伏せの姿勢では、電流は頭または手などから体内に入り、心臓などの体内の主要な内臓を貫通する形となり、生命の基盤を損傷する事は理解できる。統計上雷撃を受けた患者の大部分は心臓・呼吸停止である。そこで、前回にも述べたように直撃落雷に対しても(統計上の被害者の生存率67%・被害者中の死者率33%)、側撃落雷による誘導雷流に対しても、体内に電流を流さないために両足をそろえ一点接地の状態をつくり、雷放電とともに発生する強烈な閃光から眼に受ける損傷を防ぐため両眼を閉じ、同時に落雷時に電流が大気を絶縁破壊するときに発生する大気の衝撃波の大音響で耳の基幹を破壊される事を防ぐため、両手で耳を被いながらしゃがみこむ。図2に示す一点接地姿勢が統計的に最も雷撃事故が少ない姿勢として近年確立された。この姿

勢は2003年以前から欧米においても広く推奨され始めている。長期の統計データによると、落雷点は必ずしもその周辺に比較して高いものに落雷するものではないことが分かつてきた。前回において述べたように通常よく見られる直径数センチ程度の稻妻の進行は、20~50mごとに10万分の1秒程度の停止時間があり、次の大気の絶縁破壊(ブレイクダウン)抵抗の少ない区間を見つけて、また20~50m進み再び瞬停するというステップを繰り返しながら平均秒速約20万kmで進行する。そのため



図2 一点接地避雷姿勢

稻妻の写真を見ると放電経路は経路全体を直線に放電することではなく、大きくデグザグに進行するのである。稻妻はこのような放電経路を通り地表・建物・樹木などに落雷する直前の最終ステップに到達すると、その時最も絶縁破壊が起こりやすい経路に沿って落雷場所の地面などから上昇リーダと言う迎えの放電が発生する。通常、(最終)雷撃距離は上から来た稻妻の最終ステップの長さと上昇リーダの長さの合計であると定義されており、雷撃距離は稻妻の電流量に依存されるが、観測結果から通常その95%は30~200mとされている。

落雷地点は最終ステップを中心とし、雷撃距離を半径とした半球内の最も近い部分に落ちることが、放電実験により証明されており、山の峰や稜線などの背の高い部分が落雷点となるのは、稻妻のラストステップ位置との距離が落雷距離以内の最短距離であるためで、落雷点は金属のような電気伝導度の良さに関係なく、人体、樹木、ビニール、岩石などの電気伝導度の多少には関係なく落雷することが分かつてきた。

1・1 落雷電流と身に付けた金属類の関係

改定以前に広く指導されていた事項に、落雷の危険を感じた時は、金属が雷を引き寄せるのでピッケル、ピトン、カラビナ、ハンマー等の身に付けている金属類は直ちに外して、離れたところに放り出せという指導項目があり、そのように指導されていた。しかし、これは全くの誤りで、改正された理論では、金属が周囲より高い位置に無い場合は直接落雷点となる確率は必ずしも高くない事がわかつてき。また誘導雷電流に対しては、一点接地の姿勢の場合には直接金属内を電流が流れる分岐回路が形成されないので、人体に対する影響は無視できるほど少ない事が分かってきた。また、直撃落雷の場合でも、また万が一誘導電流が体内を流れる場合でも、図1に示すと同様に金属の内部抵抗が人体に比べて低いので、誘導電流の大部分が分流し、金属の発熱によりやけどする事はあるが、金属が無い場合に比べて一般的に生存率が高くなる事が証明されている。

1・2 一点接地をしなかった場合の大量遭難例—(松本深志高校の西穂落雷遭難)

1967年(昭和42年)8月1日、当時学校行事として行われた長野県立松本深志高校恒例の2年生集団登山の生徒60名が、数名の教師に引率されて西穂高岳の独標(2701m)付近を、雷鳴を聞きながら稜線上を1列になって下山中、生徒の列に落雷し、鎖場を下山中の2名が弾かれるように転落死、尾根上にいた9名が感電死、負傷者13名が出た。この詳細は、深志高校西穂遭難追悼文集である「独標に祈る」で述べられており、当時稜線上に居た生徒は一斉に低い姿勢で岩稜上に伏せる姿勢をとっていた。これらの生徒は一斉に電流が肩から足に抜けた事を示す痕跡が残っており、キャラバンシューズの金属片が焼けて破損していた。

昨年の講演で述べたように、当時、筆者は深志高校からの依頼で、勤務先の大学の高圧電気実験室で、独標から採取してきた岩石を用いて二つの電極間を通過するとき岩稜に沿う放電が、

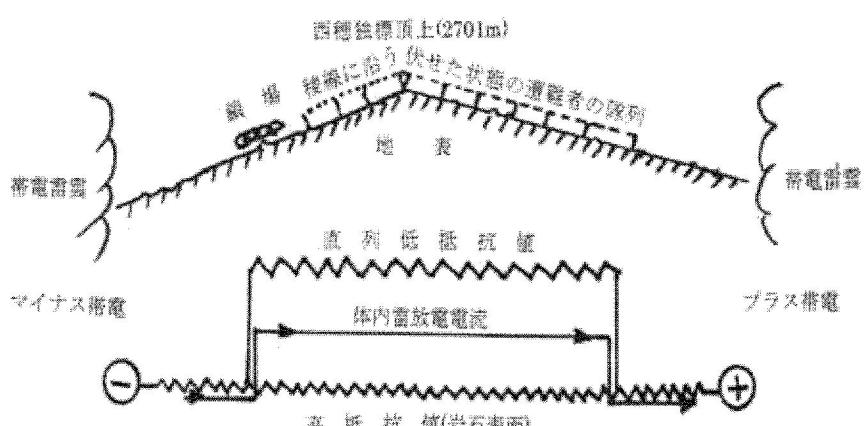


図3 深志高校雷撃遭難時の雷放電電流の流路

岩石が濡れている時に約20%以上の確率で発生することを発見し報告した。その後、その岩石を使って、その稜線に沿って長く低抵抗体を貼り付けて同様の実験を行った場合には、

その確率が殆ど 100 パーセントに近くなる事が証明されている。

筆者は、当時、直感的にこの放電は雲間放電に關係しているとして実験を行った。そこで実験では互いに陽・陰に帶電していた雲塊が移動して来たとき、たまたま帶電電極の間に独標の稜線が入り、この間の抵抗が下がったために放電が起つたと解釈している。この際は雲間放電を起す雷放電電流自身が稜線に沿って流れ、図3に示すように縦列に伏せた被害者を串刺しにするように電流が流れ、わが国における最大の落雷遭難事故となつたと考えられる。

2. 樹木近傍の安全範囲

山林などで雷鳴を聞いた時、樹木の近くは樹木に落雷するとその誘導電流が近傍の導電体中に誘起電流を発生させ、特に樹木に比較して抵抗値の低い人体には、樹木内を流れる全電流に近い放電による分流が生じ、また誘導電流として分流し、重大な傷害や死亡事故に至る。

避雷針を設置した場合も同様な事象が発生することがあり、以前から避雷針接地電線から 2 メートルは離れる事を支持していた。このことは、最近の高層鉄骨構造のビルディングでの実測で、落雷電流は建物の鉄骨部分に誘導電流を発生し、避雷針接地電線の基部では、電流が到達しない例もある。その一例として、最近の有線電話局内に接地した高速電子交換機が電話局の局舎内の誘導電流で故障する事が多発し、NTT では電子交換機を建物に浮動設置して誘導電流を遮断する対策を講じている。

一方、避雷針の効果として、従来、避雷針先端から 45° の角度にカバーされる範囲は、比較的安全(約 5%以内の危険性がある)な遮蔽範囲と言われていた。この効果を応用して、避雷針に代わって樹木でも同様の効果があり、木の幹から少なくとも 2 メートル離れ、樹木の先端から 45° の遮蔽範囲に居れば比較的安全とされてきた。

しかし、2003年に改正された避雷に関する JIS A 4021 規格によると、永年の落雷のデータ

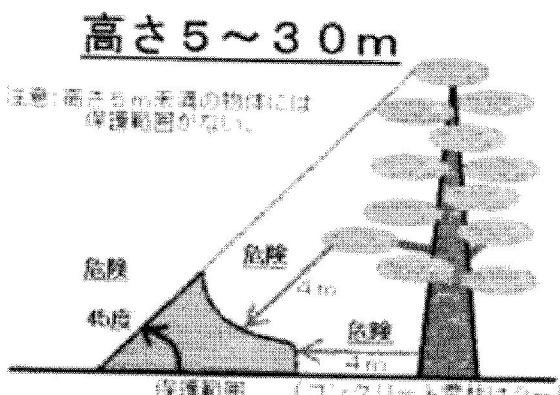


図4 樹木周辺の落雷保護範囲

タから、避雷針設備に関する規定が改定され、JIS で推奨される樹木周囲の保護範囲は、比較的安全な場所・(5%以下の危険性は残る)として、図 4 に示す範囲と成っている。

a. 樹木の幹、張り出している葉や小枝の先から必ず 4m 以上離れる。(旧規定では樹木から離れる距離は 2 m とされていたが、過去の事故例を見ると 2 m では事故が多発しており、4 m に改定された)

b. 確立された電撃理論により、JIS 規格では避雷針の保護範囲が改定され、樹木から半径

以内の場所という表現は特に強調されなくなった。

c. 保護範囲内では一点接地避雷基本姿勢をとること。このとき、決して地面や岩角に手を突いたり、伏せてはいけない。

3. 登山中の避雷退避

登山中に雷鳴を聞いた時は、雷鳴の聞こえる距離は 10~14 km であり、既に落雷の危険地域に入っていると覚悟して、常に安全な退避を念頭において行動せねばならない。雷雲の移動速度は時速 5~40 km で、雷雲の構造によって単一セルは速く、多重セル型雷雲はこれよりやや遅いといわれている。雷雲の移動方向がこちらに向かっている時は、初めて雷鳴を聞いてから 20 分以内には落雷域の只中に居る事になることを知っておかねば成らない。雷鳴を聞いた時点ですでに周囲が曇るか霧が立ち込め視界が狭まっている時は、既に落雷地域の只中にある。この場合は、雷鳴が聞えなくても、直ちに行動を中止し、周囲の避難場所を探して退避し、前節に述べた姿勢をとり、そのまま、雲の去るのを待つ。その時、

- a. 周囲の樹木の状態を見て、可能な限り 2 項で述べた条件の保護範囲に 1 項で述べた一点接地避雷姿勢をとる。「樹のそばへの避難は自殺行為である」。
- b. 穂線上に居る時は、直ちに左右の斜面に下り、岩陰などで出来るだけ低い姿勢で一点接地姿勢をとる。前述した松本深志高校の前穂高岳独標の多量遭難の場合でも、その時幸運にも稜線を一寸外して岩陰に退避していた登山者が居たが、この人達は無事であった事が追悼誌「独標に祈る」に報告されている。
- c. 前回以降、若し稜線の両サイドが急峻で稜線から逃げられない時はどうするかという質問があった。しかし、これに対する答えは、既に遠雷を聞いた時、直ちに退避行動をとるべきであり、またガスがまいてくる時や厚い雲で暗くなったりした事に気付いた時は、とにかく速めにナイフリッヂ部分から離れ、稜線より低い退避場所を見つけて退避し雷雲の通過を待つ事である。止むを得ず、稜線上に取り残された場合は、出来るだけ低い姿勢で、一点接地姿勢をとり雷雲の通過を待つより他はない。この場合直撃落雷に対しての安全確率は低くなる事は止むを得ないが、決して伏せてはいけない。しかし、この場合は完全に逃げ遅れで、このような事態に立ち至った事は、本人の周囲の観察不足のためで、本人の責任である。何時でも絶対に傘をささない。ピッケルなどを頭より高く持ち上げない。
- d. 激しい降雨が降り出してからの退避は、完全な逃げ遅れである。人間の感覚では、雷の危険域の認識は出来ないので、普段の観天望気の訓練と、何があっても「早めの避難」が、落雷事故を防ぐ鉄則である。
- e. ストック、ポールなどの長い物は、素材の如何に関わらず、体から離して地面に寝かせる。金属類はそのまま身に付けておく。身に付けた金属類、(ヘアピン、アクセサリー、金具つきの衣服、カメラ、水筒、カラビナ、ハンマー等)を気にする前に安全度の高いところに 1 秒でも速く逃げる。

- f. 比較的安全な避難場所（確率 5%程度の危険性が残るが）前記の樹木周りの保護範囲内、橋の下、乾燥した窪地や溝の中、等。高い岩庇の下側(側壁に寄りかかったり、手を突いたりせず、出来るだけ離れる) 洞窟の中(酸欠に注意)。
- g. 安全性の低い避難場所、林や木が疎らに生えた場所、湿った窪地や溝、避雷針設備の無い山小屋、トタン屋根の仮小屋内、あずまや、何れも壁から出来るだけ離れて、一点接地姿勢をする。
- h. 最も危険な場所、這松帯や高さ 5m 以下の樹木の生えた疎林では、側撃雷による死亡事故が多い場所であり、密生した樹林帯では、枝や葉の先端から 4m 以上離れることの出来ない場所では少なくとも 2m 以上は離れるようにする。テントの中では一点接地姿勢が採りにくいが、就寝中の場合は起きあがり一点接地姿勢をとる。止むを得ず山頂や山稜上に取り残された場合も伏せずに一点設置姿勢でなるべく低い姿勢をとる。

4. 雷害を回避する更なる基本知識

雷害の発生を予知するためには、気象条件を知る事が必要であり、特に上空に寒気の流入が予報されている時は特に注意が必要である。また、雷雲の構造、進行速度等に関してある程度の予備知識を持つことが必要で、これらの知識を駆使して、登山計画を立て、また登山中には常に周囲の気象変化を観察して、遠雷の放電や雷鳴を聞いたなどの異常を感じたら、直ちに早めの避難体制をとることが落雷事故を防止する第一歩である。絶対に無理な行動を避けねばならない。

以上の点に関する詳細は、昨年度のフォーラムで詳細に解説した。今回は、このフォーラムにおいて、2003 年に JIS 規格の避雷設備規格が改正され、これに基づいて登山中に雷にあった時の一点接地避雷姿勢についての質問に答える意味で講演を行ったが、その他の事柄については、昨年のこのフォーラムを参考するか、日本山岳会発行の論文誌「山岳」第 104 年、2009 年 9 月 28 日発行、A103~111 ページを参照されたい。

温泉の自然学

福岡孝昭

1. はじめに

登山で汗を流した後の麓での温泉入浴は登山後の大好きな楽しみの一つであり疲れを癒してくれる。

日本国内には実に沢山の温泉が存在する。「温泉法」という法律（1948年制定）では、温泉を「地中から湧出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス（炭化水素を主成分とする天然ガスを除く）で別表に掲げる温度または物質を有するものをいう。」と定義している。

温泉には単純泉、硫黄泉、塩化物泉などとその成分の違いで呼ばれている。これらの温泉のでき方は同じではない。中にはニセ物（？）も存在する。ここではこれらの温泉の成因について解説し、温泉の効能についてはふれない。

別表（温泉法）

1. 温度（温泉源から採取された時の温度とする）……………摂氏 25 度以上
2. 物質（下表に掲げるもののうち、いずれか一つ）

物質名	含有量（1kg 中）
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量 1,000 mg 以上
遊離炭酸（CO ₂ ）	250 mg 以上
リチウムイオン（Li ⁺ ）	1 mg 以上
ストロンチウムイオン（Sr ²⁺ ）	10 mg 以上
バリウムイオン（Ba ²⁺ ）	5 mg 以上
フェロ又はフェリイオン（Fe ²⁺ , Fe ³⁺ ）	10 mg 以上
第一マンガンイオン（Mn ²⁺ ）	10 mg 以上
水素イオン（H ⁺ ）	1 mg 以上
臭素イオン（Br ⁻ ）	5 mg 以上
ヨウ素イオン（I ⁻ ）	1 mg 以上
フッ素イオン（F ⁻ ）	2 mg 以上
ヒドロヒ酸イオン（HAsO ₄ ²⁻ ）	1.3 mg 以上
メタ亜ヒ酸（HAsO ₂ ）	1 mg 以上
総硫黄 (HS ⁻ , +S ₂ O ₃ ²⁻ +H ₂ S に対応するもの)	1 mg 以上
メタほう酸（HBO ₂ ）	5 mg 以上
メタけい酸（H ₂ SiO ₃ ）	50 mg 以上
重炭酸ソーダ（NaHCO ₃ ）	340 mg 以上
ラドン（Rn）	20×10 ⁻¹⁰ キュリー (=74 ベクレル) 以上
ラジウム（Ra として）	1×10 ⁻⁸ mg 以上

2. 地球の最初の温泉は何か？

答えは海である。地球は 45.6 億年前に誕生し、微惑星（小さな惑星）の衝突熱、地球中心に物質が集中する重力熱、さらに放射性元素の壊変熱（現在より多量の放射性元素が存在した）により全地球が融解して火の玉地球となったとされている。すなわち地球の表面はマグマで覆われていた（マグマオーシャンといわれる）。このマグマオーシャンからは水蒸気 (H_2O)、塩化水素 (HCl)、二酸化炭素 (CO_2)、二酸化硫黄 (SO_2)、窒素ガス (N_2) 等のガスが放出されたと考えられている。これらのガスの放出は現在の火山の噴気地帯から放出されているガスと同じである。すなわち「温泉法」にいうガスである。

マグマオーシャンから放出された水蒸気は、地球大気中に十分に存在すると地球大気が 374°Cまで低温化すると液体の水を生じることができる。この热水に塩化水素が溶解し、薄い塩酸溶液になる。40 億年以上前に生じたと考えられる海は熱い塩酸溶液であったことになる。この酸性溶液は海底の岩石を溶解し、岩石中のナトリウム (Na)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) 等を溶かし出し、中和される。海水には塩化ナトリウム ($NaCl$) が生じる。

地球がさらに冷え、海水温がより低温になると、 CO_2 や SO_2 ガスが溶解できるようになり、海水中の Ca 等と結合し、 $CaCO_3$ 、 $CaSO_4$ の沈殿を生じる。大気中には N_2 が残る。生命の誕生後酸素 (O_2) が生じて、大気組成は現在と同じになる。海水の化学組成は 40 億年以上前からほぼ現在と同じで、40 億年前は温かかった。すなわち温泉であった。

3. 温泉の熱源

3-1. 火山マグマの熱

マグマは 800～1300°C程度の温度であり、火山の地下は高温であると考えられる。地下水がこの熱で温められれば高温の温泉水が生じることになる。高温のマグマに直接熱せられなくても、マグマからの高温の脱ガス（地球最初の温泉で説明した）で熱せられることもある。このような温泉は一般に温泉の温度定義（25°C以上）よりはるかに高温である場合が多い。

このような火山性の温泉の特徴の 1 つは、火山活動をはじめて歴史（地学上の）が浅い火山（すなわち若い火山）には温泉が少なく、古い火山に温泉が多い。例えば富士山麓には火山性の温泉がなく、箱根には多数の温泉がある。この違いの説明は十分に議論されているように見られないが、若い火山の地層は透水性が良く、マグマの熱で地下水を温める時間が短かすぎ、さらに热水を貯留することができないという説明が可能かもしれない。

伊豆大島の 1986 年噴火後に生じた元町温泉は、この噴火で噴出した溶岩の熱がまだ残っているため、海水を暖めているものと考えられる。かつて三宅島の昭和 37 年噴火後にしばらく楽しめた三七山の麓に生じた三七山温泉同様、そのうちに冷えてしまう可能性がある。

3-2. 地下深部の熱

泉法でいう温泉に相当することになる。入浴はできないけれど)。大涌谷では仙石原の河川水をポンプアップし、その水にこの高温の噴気ガスを通じると高温の硫黄泉を造ることができる。大涌谷では温泉造成会社が温泉水を造成、宿泊施設はこの造成温泉を会社から購入して、宿泊客に温泉を提供していることになる。

5-2. ニセ温泉

温泉の中には、ラジウム温泉、ラドン温泉といった放射性元素を含んだ温泉もある(天然に生じたものは温泉法にもとづく温泉である)。さらにラドンの一種であるトロン温泉という名の温泉がある。このトロン温泉の多くはモナズ石という放射性元素であるトリウムを多く含む鉱物にお湯をかけると鉱物中に含まれる放射性元素のトロンが溶けてくるのでトロン温泉ができるという仕組みであるが、これは温泉法にいう温泉ではありえず、ニセ温泉である。

火山の溶岩を熱して、それに水をかけて熱水を作った溶岩温泉と称するものもある。これもニセ温泉である。

6. おわりに

個々では温泉の成因に關係したことを多面的に説明したつもりである。説明が不十分で理解頂けないことも多いかもしれない。また、もれてしまつたこと多々あるかと思うが、完全である必要はないと思う。山から下りてきて入浴する時、疲れを癒すばかりではなく、「この温泉、どうしてできたのだろうか?」と時々は思っていただければ幸いである。

温泉の効能については、医学的な知識が必要であり、筆者にはその解説は無理であるので一切触れなかった。専門家の解説を待つことにしたい。

温泉を沢山かかえた我が国、温泉をご神体とした神社まであるのは、流石である。