

フォーラム「登山を楽しくする科学(Ⅱ)」



2010年3月22日(月) 13時~16時45分

東京仕事センター講堂

(千代田区飯田橋3-10-3)

主催：日本山岳会科学委員会

フォーラム開催にあたって

日本山岳会科学委員会委員長 米倉久邦

フォーラムのテーマとして「登山を楽しくする科学」を取り上げるのは、今年で2回目である。昨年に、このテーマで公募したら、我々の予想を超えて応募があり、一部お断りするという申し訳ない事態になった。うれしい悲鳴という経験をした。同時に、山を好きだという人たちが、安心、安全で楽しく登山をすることに、大いに関心があることをわからせてくれた。貴重な財産である。

この体験から、今年も同じテーマに挑戦することにした。だが、内容は当然だが、今年ならではの新しい要素をたっぷり盛り込んでいる。

昨年夏に、北海道のトムラウシ山でおきた遭難事故の悲劇を忘れることができない。皆さんの記憶もまだ鮮明だろうと思う。トップバッターの塩田氏は、山岳会医療委員会委員長である。もちろん、現役の医師でもある。悲劇を引き起こした「低体温症」とはどんなものか、防ぐにはどうすればいいのか、この話は役に立つこと請け合いである。

芳野氏のカミナリの話は、去年も取り上げた。夏の山でいちばん怖いのは、突然のカミナリである。恐怖を味わった人も多いだろう。これまでの常識を覆す雷の真実が明らかになっている。こちらも、実際の登山には不可欠な知識だ。

登山に温泉はつきものである。最初は、アフター登山の温泉の楽しみ方ということでどうかと福岡氏にお伺いを立てたが、それでは、科学委員会の科学的テーマにならない、としかられた。安易な発想を恥じるばかりであった。温泉の成り立ちは科学委員会ならではのうってつけのテーマである。

しんがりは平野氏の森林セラピーの話。いまはやりの話題である。山に行けば、森と出会う。ただ、漫然と森を歩くのではなく、森の役割、効用を理解しておくことは大切である。演者は、昨年から資格試験が始まった森林セラピスト第1号である。どんな話か、楽しみである。

せっかくの機会である。楽しく聞いて、楽しい登山にぜひ、役立てて欲しいと願う。

低体温症の生理学

塩田純一

1. 低体温症とは

低体温症あるいはそれが死に至った凍死は寒い時期だけのものではありません。夏に低体温症になることは、決して珍しいことではなく、夏山での発症が北海道など北国でなくとも今までにもたくさん報告されています。

凍死という言葉から「凍って死ぬ」というイメージをもたれる方が多く、氷点下を想像してしまわれるのではないのでしょうか。凍死は凍って死ぬのではなく、からだの中心温度（深部温度）が30度以下になると生命活動が出来なくなり死に至るのです。

2. 深部温度と体表温度

一般的に体温と呼ばれるものは体表温度で腋窩（えきか：脇の下）で体温を測ります。この体温はバラつきがあり、正常でも35.5度から37.5度まで様々で、さらに環境温度の影響を受けて変化します。しかし、体の中心部分の温度は深部温度と呼ばれ37～8度で一定し脳や内臓の代謝を支えています。この深部温度を測定するには、肛門から体温計を入れ測定する直腸温度が最も関連し、口腔温度や耳腔温度などが比較的外界の影響により変化が少なく近似します。

3. 低体温症の症状とは

体温維持が困難になり深部体温が低下し始めると「ふるえ」が起こります。「ふるえ」は運動を伴わない筋収縮で熱を産生し体温を維持する方向に働きます。

「ふるえ」で体温の低下が補い切れない程の寒さであったり、「ふるえ」のエネルギー源が枯渇してしまったりすると筋肉と脳神経系の障害がみられてきます。ヒトのからだでは低体温であれ、熱中症であれ、低酸素であれ、エネルギーが足りなくなった低血糖であれ脳神経系と筋肉の障害が最初に見られ、それが原因で事故を起こしたり、生命維持困難な状況に至ります。

脳の障害の一つは意識障害で、軽いものから、集中力の低下、判断力の低下、記憶力の低下、呼びかけないと寝てしまう傾眠、さらに重度になると幻覚・妄想が出たり、大声を上げて錯乱状態になったりして最後は呼びかけや痛み刺激に反応しないこん睡に至ります。

もう一つは運動失調で、ろれつが回らない、靴紐を結べなかったり細かい動作ができなくなる巧緻動作障害、ひいては歩行時のふらつきが強くなり、最終的には歩行困難になります。

4. なぜ体温が低下するのか？

気温が体温より低い状態で、濡れて風に吹かれれば簡単に体温は低下します。「人間は、気温4度C、雨まじりの強風に吹きさらされているときよりも、気温零下12度C、無風で湿度の低いときのほうが、長時間生存できる可能性がある」（低体温症と凍傷 JA ウィルカーソン編）とされています。

5. 体温低下を予防するには？

熱を失う3つの要素のうち輻射を防ぐのは困難ですが、伝導・対流と蒸発は衣類などを工夫することにより大幅に減らすことができます。防風衣や濡れても体温低下を招かないウールやポリプロピレンなどの素材の下着など防寒対策が必要です。

特に夏は熱中症にならるように風通しの良い服装をし、完全な防風は非常用としては準備するにしてもメインの服装ではありません。一旦防寒が必要になった時にどれだけ防風や保温のための衣服が用意されているかが生命の分かれ道になります。今までに集団で低体温遭難した例をみると、体温を維持する素材を用いた下着の着用や完全な防風が可能な着衣が生死の分かれ目になっているようです。

ヒトの熱産生は肝臓・脳などの臓器と筋肉で行われていますが、筋肉は使っていないと熱産生はなく、「ふるえ」でなんとか運動せずに熱産生が維持されます。これらの熱を動脈が各臓器に運搬します。ですから守るべき所は、最も血流が多く、そして熱産生の盛んな頭です。

6. 守るだけでなく攻める必要もある

からだのエネルギー源が枯渇しない様に補給することも重要で、天候が悪い中、ゆっくり食事している余裕のない時は、少量ずつでも炭水化物を補給しながら行動をすることが必要です。ヒトのからだに貯蔵されているエネルギーはゆっくり使えば2～3ヶ月は生きていけるだけのものはありますが、直に使える炭水化物は2000キロカロリー程度しかなく一気に使えばすぐになくなってしまいます。登山などでは1日に5～6000キロカロリーの消費があり戦略的に補給をする必要があります。つまり風雨が強くゆっくり食事が摂れないことが予想される時は、水分と長時間エネルギー補給ができるようなでんぷん質の食事を朝にしっかり摂っておくのも行動計画のうちです。低体温症に水分の喪失も関与するので水分摂取も計画のうちに入れる必要があります。

付図 放熱の阻止ポイント

付表 低体温症の症状、対策、予防

参考文献

「低体温症を凍傷 ふせぎ方・なおし方」 J.A. ウィルカーソン 山洋社

「凍る体 低体温症の恐怖」 舟木上総 山と溪谷社

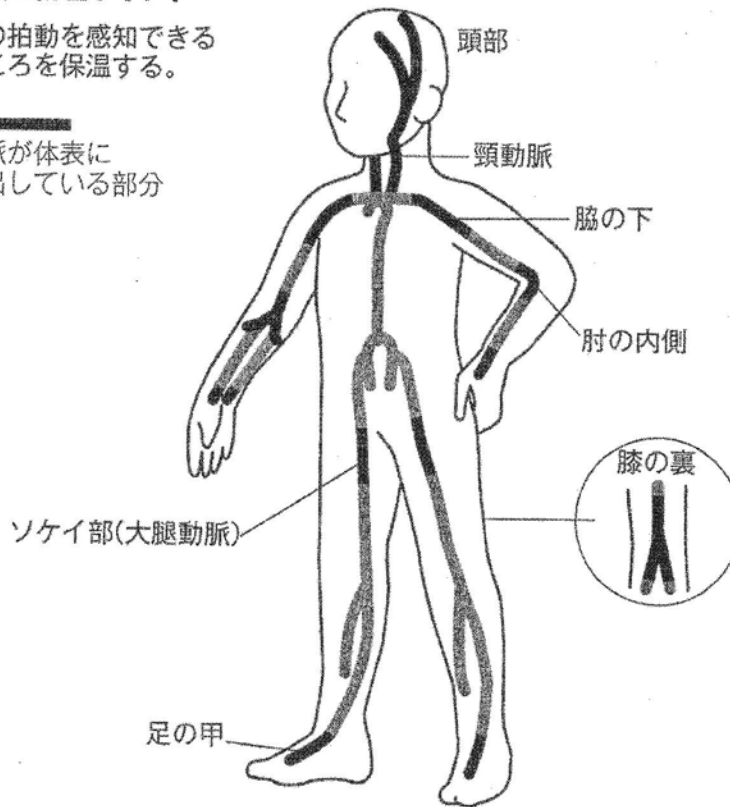
「登山の医学」 J.A. ウィルカーソン編 東京新聞出版局

付図

放熱の阻止ポイント

脈の拍動を感知できる
ところを保温する。

動脈が体表に
露出している部分



付表

■ 症状	ふるえ→筋肉障害 脱力・巧緻動作障害 →脳神経障害 集中力・判断力の低下、幻覚・錯乱・昏睡 運動失調 歩行困難
■ 対策	<ul style="list-style-type: none"> ・風と寒さ、濡れをさける ・保温 温かい飲み物（アルコールはだめ）、脇の下、ソケイ部、膝の裏、足の甲を温める ・重症の場合 防寒はしても加温は禁止、医療機関へ
■ 予防	<ul style="list-style-type: none"> ・防寒・防風 ウールやポリプロピレンの下着 ・栄養 炭水化物を中心にこまめにカロリー補給を行う ・保温 頭頸部、脇の下、ソケイ部、膝の裏、足の甲

カミナリの新理論

芳野 起夫

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「登山を楽しむ科学」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「山で雷にあったら」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、登山倶楽部などにおいて、この新しい避雷法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

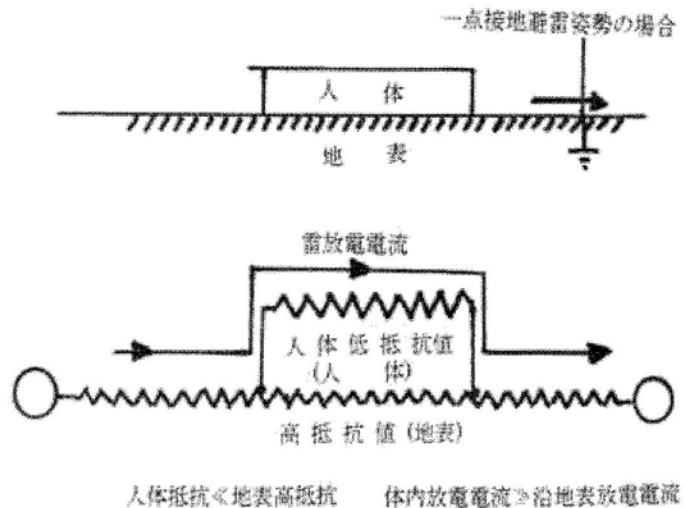


図1 地面に伏せた場合の側雷誘導電流の流路(殆どの落雷電流が体内を流れる)

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電流に対しても、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



図2 一点接地避雷姿勢

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ってきた。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稲妻の進行は、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。そのため稲妻の写真をみ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、大きくズグザグに進行するのである。稲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いの放電が発生する。通常、(最終)雷撃距離は上から来た稲妻の最終ステップの長さとし、上昇リーダの長さの合計であると定義されており、雷撃距離は稲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、稲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、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ってきた。

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ってきた。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ため、人体に対する影響は無視できるほど少ない事がわかってきた。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、

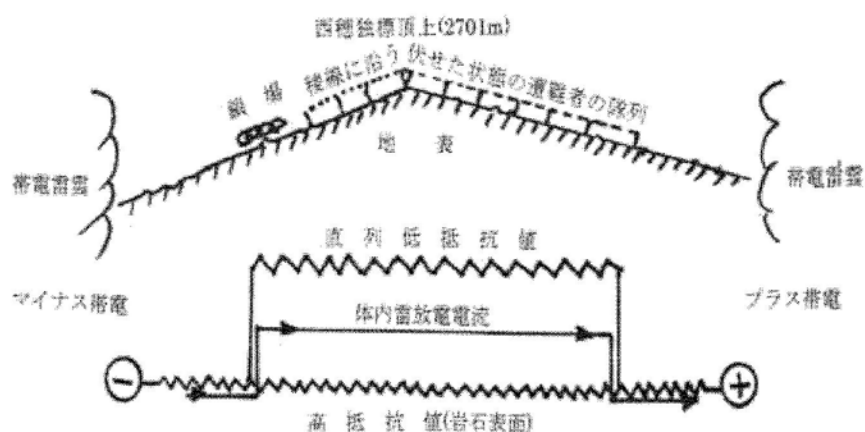


図3 深志高校雷撃遭難時の雷放電電流の流路

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関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・陰に帯電していた雲塊が移動して来たとき、たまたま帯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こったと解釈している。この際は雲間放電を起こ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て、わが国における最大の落雷遭難事故となったと考えられる。

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から、避雷針設備に関する規定が改定され、

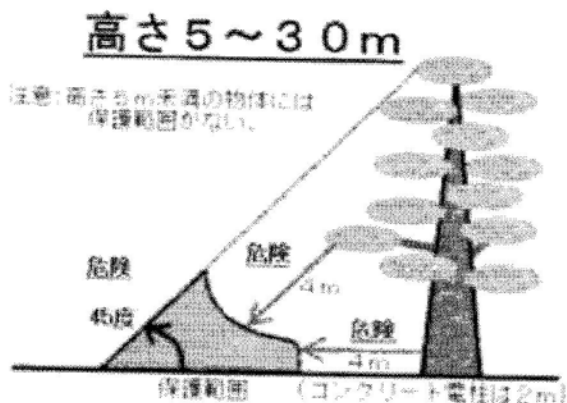


図 4 樹木周辺の落雷保護範囲

JIS で推奨される樹木周囲の保護範囲は、比較的 안전한場所(5%以内の危険性は残る)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 2m とされていたが、過去の事故例を見ると 2m では事故が多発しており、4m 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 30m の範囲内の位置と定められ、以前のように 5-30m の樹木の頂上を見上げる角度が 45°

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覚えておかねばならない。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. 稜線上に居る時は、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ジ部分から離れ、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、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、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、進行速度等に関する程度の子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知したら、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、昨年このフォーラムを参照するか、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。これらの温泉の成り方は同じではない。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 $374^{\circ}C$ まで低温化すると液体の水を生じることができる。この熱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 $800\sim 1300^{\circ}C$ 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（ $25^{\circ}C$ 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は見られないが、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、さらに熱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

泉法と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関係したことを多面的に説明したつもりである。説明が不十分でご理解頂けないことも多いかもしれない。また、もれてしまったことも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。

森林セラピー入門

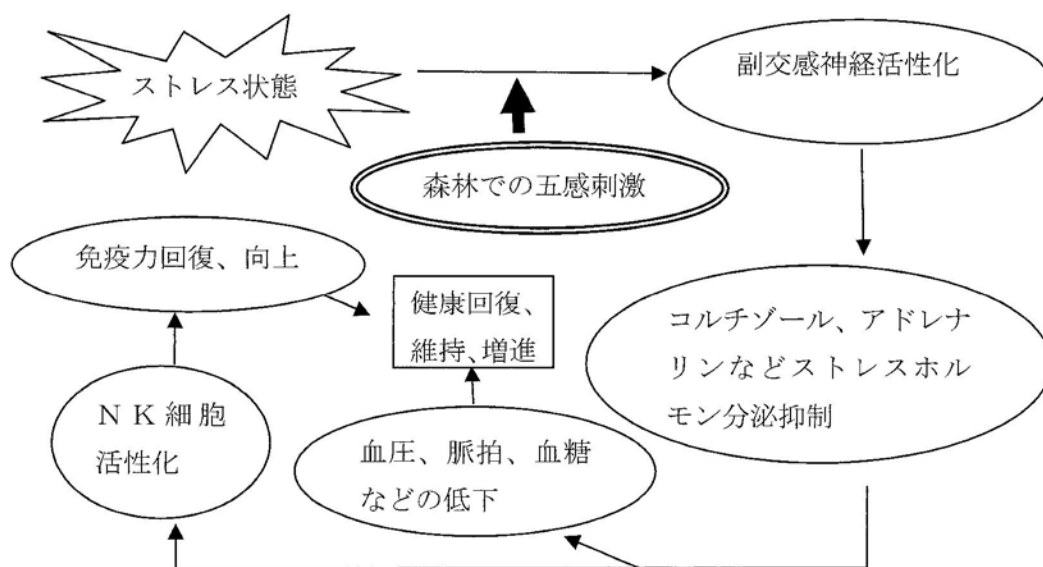
平野裕也

1. 森林セラピーとは

森林には水源涵養機能、温暖化防止機能、防災機能、木材資源産出機能、生態系保存機能、快適機能などさまざまな効用がある。なかでも最近注目されているのが温暖化防止機能と快適機能である。温暖化防止機能はいうまでもなく CO2 の吸収、蓄積や水分の蒸発散による太陽エネルギー吸収効果である。快適機能とは森が大気中の汚染物質を吸着する大気浄化や騒音を遮断する防音などを通して快適な生活空間を作る役割を果たしていることに加え、森林環境が人に与えるさまざまな刺激（こずえを渡る風の音、木漏れ日のシャワー、小川のせせらぎ音、マイナスイオン、森の香り、鳥の声、果実の恵み、遠景の山の風景、小動物・木の花・草花との出会いなど）が人に安らぎ、心地よさなどの快適感をもたらすことである。これが「森林浴効果」である。森林浴は 1982 年に秋山林野庁長官が提唱した「森林浴構想」が発端であるが、なぜ、快適感が得られるのか、その結果が人の健康にどう影響するのかといった医学的、生理学的なエビデンスがなかったため、経験的な健康法の域を出ることはなかった。しかし、ここ数年、森林浴の効果に関する科学的エビデンスが蓄積されたことで、療法としての位置を確立しつつある。森林セラピーは森林浴効果に加え、腹式呼吸や森林リラクゼーション、瞑想、ヨガ、カウンセリングなども活用しながら、人が本来持っている免疫力を高めることで健康の回復、維持、向上を図ろうとする活動である。

2. 森林セラピー効果の仕組み

下図は森林浴がどのように健康に結びつくかを模式的に示したものである。



人がストレスに晒されたときに自然の刺激を受けると、なぜ副交感神経活動が活発になるのかについては専門家の生理学的な説明に委ねるが、500 万年の人類の歴史の中で人が人工的な環境で生きているのはたかだか 0.01%であることを考えれば、人の体や遺伝子が自然環境対応型にできているのに違いないという生理人類学者の佐藤方彦氏の考え方は素直に理解できるし、そうであれば人が自然刺激に触れた場合、本来、人が居るべき場所に居ると言った安心感から心の安らぎを覚え、それが副交感神経を活性化させるということは容易に想像できる。副交感神経の活性化が内分泌系を刺激し、ストレスホルモンと言われるコルチゾールやアドレナリンなどの分泌を抑制する。それによって血圧や血糖などの低下が促され、また免疫細胞である NK 細胞の活性化が促されることで、免疫力が高まって健康を回復、維持、向上させる、と言うのが生理面から見た森林浴の効果である。

3. 森林セラピー効果の測定

では上述のような森林浴の効果はどうしたら測定できるのだろうか。森林浴効果が科学的に測定され、立証されることで科学的なエビデンスが揃うことが森林浴を単なる経験的な健康法から医学としての療法に発展させ得る前提である。森林セラピーの研究者がこれまでに行ってきた森林セラピー効果の測定方法にはおよそ以下のようなものがある。

(1) 前頭前野の脳活動 中枢神経系の変化の測定

額から脳内に近赤外光を照射し、血液中のヘモグロビンがその光を吸収する程度を計ることで脳の血流量を測定する。森林浴によってリラックスし、脳が沈静化すれば血流量が減る。(近赤外分光分析法)

(2) 心拍数、血圧 自律神経系の変化の測定

いずれもリラックス時は低下することが分かっている

(3) 心拍変動係数 自律神経系の変化の測定

心電波形のピーク間隔の変動をスペクトル解析し、高周波域でのピークのスペクトル面積 (HF 成分) を副交感神経活動の指標とする。また、低周波域のピークのスペクトル面積 (LF 成分) と HF 成分の比 (LF/HF) を交感神経活動の指標とする。

(4) コルチゾール測定 内分泌系の変化の測定

唾液中に分泌されるコルチゾールを採取測定する。コルチゾールはストレスを受けると分泌されるホルモンとして知られる。

(5) NK 細胞活性の測定 免疫系の変化の測定

血液中のリンパ球の一種である NK 細胞の活性度を調べる。NK 細胞は腫瘍細胞やウイルス感染細胞を殺す働きを持つ。

(6) その他

気分尺度 (POMS) による主観評価など

4. 森林セラピー効果の測定例

図1は複数の被験者の森林内と都市の繁華街での、脈拍、前頭前野活動、ストレスホルモン（コルチゾール）測定結果の比較である。いずれにおいても森林での測定値は明らかに都市での測定よりリラックスした状態を示しており、森林浴の効果が確認できる。

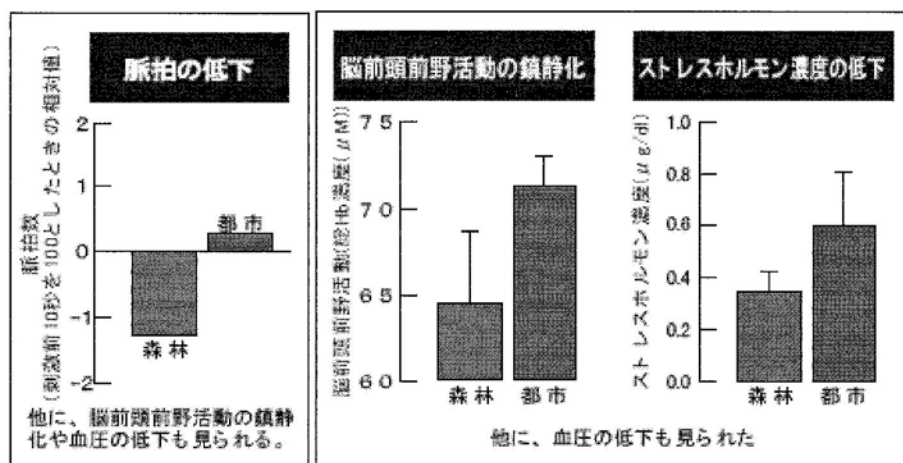


図1 千葉大学 宮崎氏、朴氏他 森林セラピーポータル「科学的効果」より転載

森林セラピーを推進している NPO 法人の森林セラピーソサイエティーでは、自治体等から申請されるセラピー基地、セラピーロードの認定に当たって、当該の森や地域で森林浴実験を行い、上記のような測定を行ったうえ、確かにその効果が認められることを必要条件としている。2006年から始まった森林セラピー基地、ロードは現在、38箇所となっているが、具体的には図2の通りである。

5. 森林セラピー効果を高めるには

まずは不快と感じる森や不安を感じる森は避けることである。たとえばヤブやツタ類、灌木が繁茂し、雑然として手入れされていないような森や放置されて小暗い針葉樹林、廃棄物などが散乱している小道、急登があったり危険な岩場があるような山道は森林浴には適していない。快適感を感じられやすい森を選ぶことが望ましい。では快適感を感じられる森とはどんな森であろうか。十分整備された針葉樹林や、適度な下層植生のある落葉広葉樹林は誰が見ても美しいものである。さらに個人の好みにあった森も重要な要素である。快適感は個人的にかなり異なるものであり、例えば開けた景観が楽しめる森よりは多様な草花や樹木が観察できる森を好む人もいる。それぞれにとって心地よい森を選ぶことが重要である。更に、動的な運動と静的な休息、瞑想や思索を組み合わせるのが良い。トレッキングやカヌー、スノーシューハイク、スキーなどのアクティブな運動に腹式呼吸や自律訓練、アロマセラピー、植物観察、温泉入浴、地域文化に触れるなどのスタティックな活動を組み合わせると、より効果的であろう。



図2 全国の森林セラピー基地、ロードマップ (森林セラピーポータル「森林セラピー基地、ロードマップ」より転載)

参考文献

森林医学 (森本兼襄、宮崎良文、平野秀樹編 2006 朝倉書店)、植物の不思議フィトンチッド (B・P・トーキン、神山恵三共著 1980 講談社)、森の不思議 (神山恵三 1983 岩波書店)、森林浴はなぜ体にいいか (宮崎良文 1993 文芸春秋)、森林セラピー (森林セラピーソサイエティー 2009 朝日新聞出版)、森を歩く (田中淳夫 角川SSC新書 2009)

演者のプロフィール

塩田純一 (9244)

1950 年生まれ

医学博士、うしおだ在宅クリニック所長

昭和大学（神経内科）兼任講師

都岳連海外委員

日本山岳会医療委員会委員長

日本体育協会スポーツドクター

学生時代からアイランドピーク、プモリ、K2、エベレスト、シシャパンマ、マナスル他
ヒマラヤ高峰登山の経験も豊富

芳野赳夫 (4428)

昭和 28 年 電気通信大学電波工学科卒業、同助手

昭和 31 年 日本山岳会入会

昭和 33 年～35 年 第 3 次日本南極地域観測隊越冬隊員

昭和 41 年 電気通信大学助教授

昭和 47 年 マカルー2 峰登山隊総隊長

昭和 48 年 電気通信大学教授

昭和 50 年～52 年 第 17 次日本南極地域観測隊隊長兼越冬隊長

平成 3 年 学習院チョウオユ一登山隊総隊長

現在 電気通信大学名誉教授

福岡孝昭 (12185)

昭和 17 年生まれ

学習院大学理学部卒業・博士課程満退

学習院大学理学部を経て、現在立正大学地球環境科学部に勤務

理学博士

専門：宇宙地球化学

平成 8 年 日本山岳会入会

日本山岳会科学委員会委員

平野裕也 (14025)

森林インストラクター

森林セラピスト

日本山岳会科学委員会委員

日本山岳会アルパインスキークラブ会員

東京スキー山岳会会員

1943年生まれ

1968年 東京大学文学部心理学科卒業 旭硝子株式会社入社 中央研究所勤務

2004年に定年退職後、登山活動を再開。国内をはじめヒマラヤ、ニュージーランド、ヨーロッパ、アメリカ、カナダ等でバックカントリースキーや登山を楽しむ。2008年日本山岳会ヒマラヤ環境調査隊（自然保護委員会、科学委員会共催）意識調査グループリーダー

発行日：2010年3月22日

発行人：(社) 日本山岳会 科学委員会

住所：東京都千代田区四番町5-4

サンビューハイツ四番町

電話：03-3261-4433

編集人：平野裕也