

# 高山の霧を吸収するハイマツ

## — 雨と霧を同位体比で区別する —

久米 篤

（九州大学大学院農学研究院）

### 1. 日本の高山植生を特徴付けるハイマツ

ハイマツ (*Pinus pumila*) は日本の中部山岳で分布の南限とし、高山の森林限界上部に優占することの多い、マツ科・マツ属の矮生低木です（図1）。ほとんどのマツ属の樹種では幹が単幹・直立に伸張するのに対して、ハイマツは矮性低木としての性質が固定され、常に多幹・匍匐の生育型を示し、面的に広がります。濃緑色の密度の高い樹冠を持ち、高さ数メートルの斜面全体に広がる大きな群落を形成することがあり、その一方で山頂や尾根付近では高さ十数センチの矮性・匍匐型の生育形で頑張っていることもあります。

ハイマツ群落の林冠は、高さ1m範囲内に全ての葉が集中しているため、大量の針葉が地上部数mに圧縮された、例外的に高い葉密度を持ちます。針葉の投影面積を葉面積として計算すると、地表面あたりの針葉面積（葉面積指数：LAI）は $5\text{ m}^2\text{ m}^{-2}$ 以上の値となり、林冠の厚さあたりの針葉面積（葉面積密度）も $4\sim 6\text{ m}^2\text{ m}^{-3}$ となります。これは通常のマツ林というよりかは、亜高山帯域に見られるオオシラビソやトドマツの優占する森林の値に近く、かなり大きな値です。そのため、成育期間が無雪期に限られて短いにもかかわらず年間の光合成物質生産量は低地の常緑針葉樹林に匹敵するほど大きくなると推定されています。光合成には大量の水が必要となります。しかし、ハイマツが生育している高山環境では水分を保持する土壌はほとんど発達しておらず、根系の発達も抑制される上、ハイマツの生育している環境では土壌は冬季に凍結しています。雪が解けても土壌が解けなければ水を吸収することができません。

一方、日本の山岳では霧がよく発生し、地表面への霧水沈着量は降水を上回る事もあります。ハイマツ樹冠の表面積はとても大きいため、植生表面に付着した霧水が水分供給源となっている可能性があります。

そこで、このような環境下で、光合成に伴う大量の蒸散に必要な水をハイマツがどうやって得ているのかを、降水や霧水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) の水素 (H) と酸素 (O) の安定同位体比を利用して確かめることにしました。

### 2. 立山浄土平の気象環境

立山は富山県最高峰の標高3000mを超える山岳地域で、上部にはハイマツ群落がよく発達しています（図1）。山頂付近の浄土平（2839m）には富山大学立山施設があり、気象観測が行われています（図2）。

図3に、立山周辺で観測された2005年と2006年の月別降水量を示します。麓の富山市と比較して、立山山頂部の降水量は年ごとの変化幅が大き

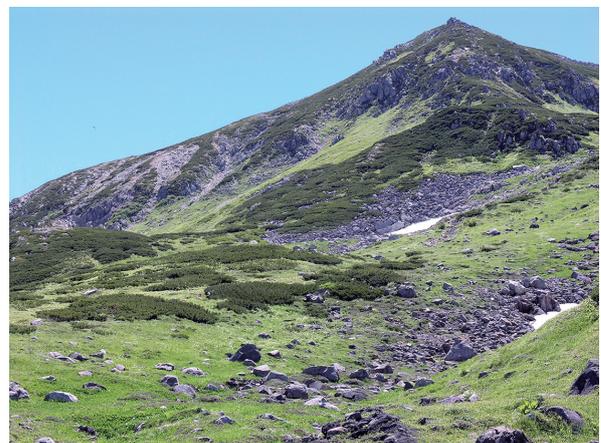


図1. 立山室堂の斜面に広がるハイマツ群落（濃い緑色）



図 2. 富山大学立山施設における気象観測

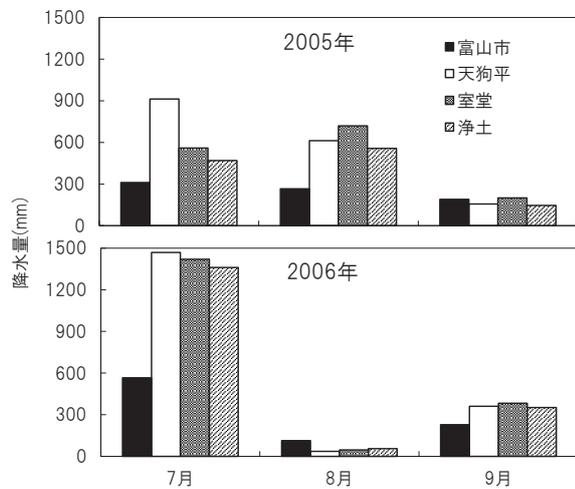


図 3. 2005 年と 2006 年の月別降水量  
富山市 (標高 9 m)、天狗平 (標高 2290 m)、室堂 (標高 2450 m)、浄土 (標高 2840 m)

く、2005 年の 8 月の降水量が 600 mm 程度あったのに対して、2006 年にはほとんど雨が降りませんでした。

山頂付近の植物群落の土壌水分量を測定しても、2006 年 8 月の土壌水分量は 2005 年よりも少なくなっていました(図 4)。このような状況では、2005 年と比較して 2006 年にはハイマツの光合成速度は低下していると予想しました。ところが、実際に現地でハイマツの光合成・蒸散速度を測定したところ、2006 年 8 月でも、ハイマツは活発に光合成・蒸散を行っていました。ハイマツは、雨が降らなくてもどこからか水を吸収しているようです。

山頂付近に濡れセンサーを設置して、葉面が濡

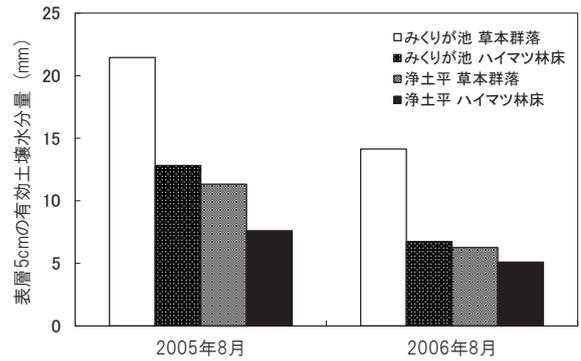


図 4. 立山高山帯の 2005 年と 2006 年の表層土壌の水分量。ADR 土壌水分センサーで測定 (Delta-T 社、ML2x)

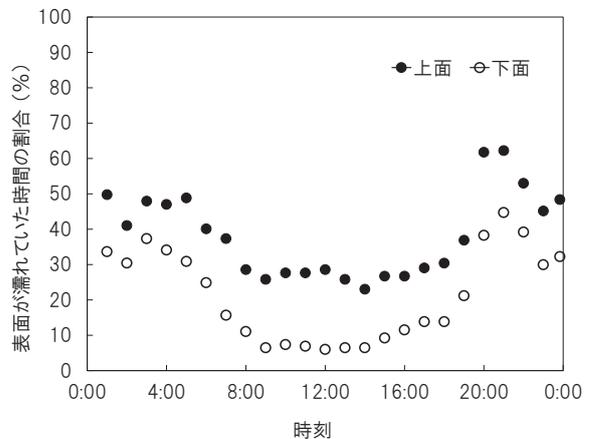


図 5. 浄土平で 8 月に表裏 45 度傾けて設置した濡れセンサーの測定結果

れている時間を推定してみました(図 5)。その結果、雨が降らなくても毎日夕方になると濃い霧が発生し、19:00 頃には樹冠がびしょびしょに濡れていることが多いことがわかりました。実際、現地では葉の先から水がポタポタ落ちていることも観察できました。このような霧水を、ハイマツはどれくらい利用できるのでしょうか？

### 3. 雨と霧の同位体比

重い水分子 ( $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$  あるいは  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) と軽い水分子 ( $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ) を比較すると、重い水分子は軽い水分子よりも飽和水蒸気圧が低いという性質があります。霧水は雨粒よりも小さく、地表近くの大気中を長時間漂っているため、軽い水分子が選択的に蒸発し、重い水分子が濃縮される傾向があります。そのため、雨粒と比較すると霧水の  $\delta^2\text{H}$

や $\delta^{18}\text{O}$ はより多く(重く)なります。そこで、雨水と霧水、ハイマツ林の林床に供給される水(樹冠通過雨)の同位体比を調べることで、ハイマツ林床に供給される水の起源の推定を行いました。

高山環境では、通常の方法では樹冠通過雨を採取することは出来ません。いろいろ試してハイマツ林の林床のあちこちに、雨樋を加工した常時開放型雨量計を設置することにしました(図6)。この装置で採取された水が、ハイマツ樹冠を通過して、地表に供給された水ということになります。

次に、ハイマツ樹冠上に供給される雨水と霧水の量を測定し採取するために、山頂付近の富山大学立山施設に、霧水や雨水の採取装置を設置しました(図2)。霧水採取器には雨除けの屋根がついており、その下にテフロン細糸が上下に多数張られており、霧粒が糸にぶつかると、そこで水滴になって下に流れ落ちます。

採取された水の同位体を分析すると図7のようになりました。立山の高山帯では、平野部で重い水から雨になるため、軽い水の割合の高い雨が降ります。一方、霧水は空中を漂っている間に蒸発して、重い水の割合が増えます。バラツキはありますが、雨水は軽く霧水は重いというはっきりとした傾向がありました。そして樹冠通過雨は降水と霧水のちょうど真ん中付近に分布していました。単純混合モデルのエンドメンバーの両端を霧水と降水として、樹冠通過雨への霧水の寄与を計

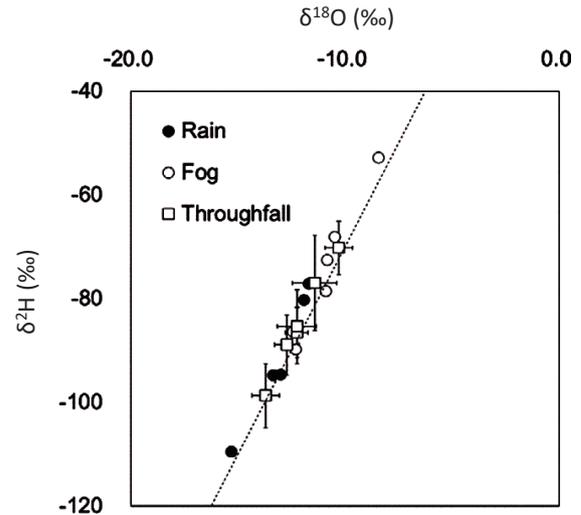


図7. 降雨(Rain)、霧(Fog)、樹冠通過雨(Throughfall)の水素と酸素の同位体比(Uehara et al. 2012)。

算して加重平均すると、霧水は約50%程度寄与しているという結果が出ました。さらに、実際に採取した水の量から得られた計算結果からも、同様の結論が得られました。これは、降雨の有無にかかわらず、ハイマツ樹冠が霧水を効率的に取り込むことで、林床に水を供給していることを示しています。

ハイマツ群落に霧水が供給される量は、霧粒の密度と風速に伴って増加しますが、細い針葉が密集するハイマツ樹冠の形態は霧水採取器とよく似ており、群落表面の風速を弱めず、霧水を効率的に採取できる形態と考えられます。風が強く霧の多い日本の高山では、ハイマツの樹冠形状は霧水の吸収に適しているようです。

日本の山岳地域では霧の発生頻度が高い場所が多く、酸性霧の被害などが問題になることもあります。水素と酸素の同位体を測定することで、他の化学物質とは独立に、森林への水の供給源を推測することができます。

### 謝辞

本研究は上原佳敏博士が中心となり、富山大学理学部関係者のサポートによって実施されました。特に同位体分析については佐竹洋教授の指導の下で行われました。記して感謝いたします。

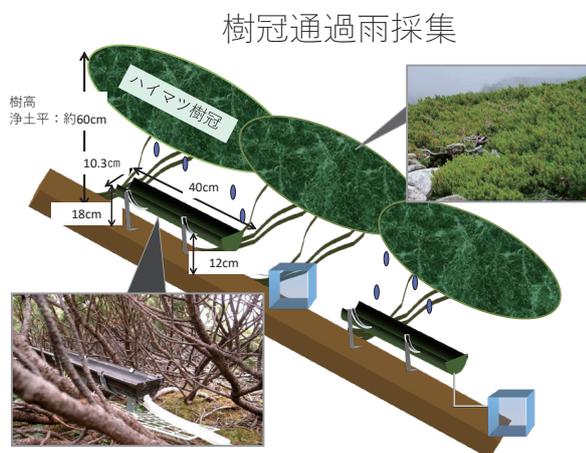


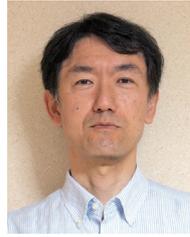
図6. ハイマツ林の樹冠通過雨(林内雨)の採取方法

## 文献

Uehara Y, Kume A (2012) Canopy rainfall interception and fog capture by *Pinus pumila* Regel at Mt. Tateyama in the Northern Japan Alps, Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 44: 143-150.  
<https://doi.org/10.1657/1938-4246-44.1.143>

久米篤 (2009) 「ハイマツ群落」 In: 高山植物学 — 高山環境と植物の総合科学 — (増沢武弘編著)、共立出版、pp. 348-358

## 著者情報



久米 篤 (九州大学大学院農学研究院教授) 1996 年早稲田大学大学院理工学研究科修了、博士 (理学)。1996 年 JST-CREST 研究員 (広島大学森林衰退研究センター)、2004 年富山大学理学部、2008 年九州大学農学部附属北海道演習林などを経て 2015 年より現職。

(2021 年 3 月 31 日掲載)