

## 論文内容の要旨

### 論文題目 Mountain forest pattern and management of natural resources in the Bhutan Himalaya

(ブータンヒマラヤにおける山地森林生態系のパターンと自然資源管理)

氏名 ワンダ・ペマ

本研究はブータンヒマラヤに見られる典型的な乾燥谷 (Dry valley) において、山地の自然森林生態系のパターンと構造、動態を気候条件と関連付けて解明し、さらに森林の持続的な保全・管理と人間の利用との関係を考察することを目的としたものである。湿潤なブータンヒマラヤに分布する乾燥谷については、これまで存在は知られていたが、その特異な生態系についてほとんど研究がなされていない。研究対象としたのは Dochula 峠(標高 3185m)を分水嶺として両側、Wangchu 河が流れる浅い谷 (谷底海拔 2200m) と Punatsangchu 河が流れる深い谷 (谷底海拔 1250m) である。この2つの南北方向の谷は、温暖で乾燥した谷底部と冷涼で湿潤な尾根頂部で特徴付けられる。したがって、ヒマラヤでよく見られるベンガル湾からの湿った空気が前面の山にさえぎられてできる東西方向の乾燥谷 (rain shadow valley) とは本質的に異なったものである。この二つの谷の気候条件を標高差 200m の間隔で設置した 16 箇所の観測点を用いて観測したところ、全体に乾燥している Wangchu 谷では標高傾度に沿った気温変化が急激であったのに対し (逓減率=0.71°C・100m<sup>-1</sup>)、Punatsangchu 谷では、尾根近くの湿潤な霧雲帯斜面を含むことを反映して、比較的緩慢であった (逓減率=0.62°C・100m<sup>-1</sup>)。この気候の違いは両斜面の植生パターンにも反映されており、標高傾度が大きく乾燥から湿潤な尾根までを含む Punatsangchu 谷のほうが谷底の乾燥マツ林から湿潤カシノクス林を経て湿潤針葉樹林までの森林帯が認められ、多様な植生の変化が観察された。

そこで多様な植生の変化が見られた Punatsangchu 側の斜面を主な調査地とし、谷底部の Bajo (海拔 1250m) から Dochula 峠の先にある山頂の Lunchozeykha (海拔 3550m) に至

るまでの範囲 (Lobesa-Lunchozeyka series) において植生と気候の変化を詳細に調べた。この斜面では標高が高くなるにつれて温度が低下し、谷底部で年平均気温が 18.2、山頂部では 4.3°C になる。土壌水分は逆に上昇し、谷底部で 14.7%、山頂部では 75% になる。この気候環境傾度によって 15 個の植生調査プロットを設置して植生調査を行った。各プロットのデータをクラスター分析にかけたところ 5 つの植生帯、すなわち 1. 乾性マツ帯 (1520-1750m) , 2. 湿潤混交広葉樹林帯 (2950-3210m) , 3. 湿潤/多湿常緑広葉樹林帯 (2650-2820m) , 4. 湿潤常緑針葉樹林帯 (2950-3210m)、5. 多湿常緑針葉樹林帯 (3370m-山頂)、に区分された。これら 5 つの森林帯は高木層の優占生活型の特徴 (相観) によって大きく 3 つの相観タイプ (下部マツ型針葉樹林, 中部常緑 - 落葉混交広葉樹林, 上部モミ型針葉樹林) にまとめられる。

植生と気候要因の因果関係を標高傾度に沿って解析したところ、①常緑広葉樹林の分布上限は冬季最寒月の月平均気温 = -1°C の等温線と一致し、それが標高 3000m 以上の湿潤常緑針葉樹林帯との境界をなしていること、②常緑 - 落葉混交広葉樹林の分布下限は土壌含水率 20% の等値線と一致し、それが標高 1650m 以下の乾性マツ帯との境界となっていることが明らかになった。このような気候の制限要因に対する森林優占樹種の反応を種の生物地理分布型によってみると、谷底部の西ヒマラヤ型のマツ林帯、中標高域の西ヒマラヤ型常緑樹と東ヒマラヤ型落葉樹の混交林帯、東ヒマラヤ型の湿性常緑カシクス帯、汎ヒマラヤ型の湿性山地針葉樹林帯と性格づけることが出来て、結果的にヒマラヤ全体の植生を凝縮させたような特有な森林分布パターンがみられることが明らかになった。

植生の構造的側面に着目してみると、種多様性は中腹の常緑広葉樹林で一番高くなり、低標高のマツ型針葉樹林や高標高のモミ型針葉樹林では低くなるという標高傾度に沿った釣鐘型の変化パターンを示した。最大樹高と胸高断面積合計から予測した生物量は湿度が上昇するにつれて大きくなる傾向にある。海拔 1520m のマツ型針葉樹林で最低となり (最大樹高 *Pinus roxburghii* の 14.6m、胸高断面積合計 =  $15.2\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ )、海拔 3370m のモミ型針葉樹林で最高となる (最大樹高 *Abies densa* の 33.0m、胸高断面積合計 =  $101.7\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ )。土壌環境も植生構造の変化に対応した明瞭な変化を示し、有機炭素と窒素量は低標高域で低く (C=2.7%、N=0.2%)、高標高域で高くなっていた (C=11.3%、N=1.6%)。

各森林タイプの優占種の更新様式を直径階分布と実生の出現数、さらに空間的な更新サイトを個体位置図と樹冠投影図によって詳細に調べた。その結果、低標高域のマツ林では、優占種の *Pinus roxburghii* が、陽樹であるにも関わらず逆 J 字型のサイズ分布を示す個体群構造を示した。この森林で、建築資材用に時たま行われる単木的な伐採は、林内にギャップによる開放空間を作り出し、持続的な更新にとってむしろ好都合になっている。同様に、中標高域の常緑広葉樹林帯では、優占種であるカシ類 (*Quercus lanata*, *Q. griffithii*, *Q. glauca*, *Q. semecarpifolia*, *Q. oxydon*) が逆 J 字型/からスポラディック (多山) 型の直径階別頻度 (サイズ) 分布を示しており、安定で釣り合いがとれた個体群構造と更新様式を示した。このことは、同じようにときたま行なわれる建築資材用や日用道具資材用の伐採、家畜飼料のための葉の採取、などは大きな影響を与えていないことを示す。さらに、高標高域の湿潤常緑針葉樹林帯では優占種である *Abies densa*, *Tsuga dumosa*, *Juniperus recurva* はエマージェント (一山) 型のサイズ分布を示す個体群構造を示しており、モミ特有の一斉枯死や、風倒、野火などの自然に発生した大規模攪乱の際に一斉に更新しているものと推察された。以上のことから、伝統的な森林利用は各植生帯を通じて見ることができ、いずれも植生の自然再生に悪影響を与えるほどのものではなかった。規模が小さいこのような人間による森林利用は、自然

度の高い森林景観や生物多様性を保全する上でむしろ良好な結果をもたらしている。

人間による森林利用の別の形態として、この標高系列の中ほどにある海拔 2000m の下部常緑広葉樹林帯の中に位置する Nahi 村(人口 970 人)で行なわれている焼畑耕作を取上げ、伐採後の植生と土壌の回復過程を詳細に調べた。植生に関しては、伐採後 12 年後には森林の現存量を指標する断面積合計が極相林の約 62%にあたる 42.1m<sup>2</sup>/ha まで回復することが明らかになった。土壌に関しては、火入れが行なわれた直後には土壌 pH の値が 6.5 へ上昇する。土壌中の可給態リンの量は上昇し 40mg/kg となる。一方で、全窒素、全炭素量は伐採後の 8 年間で回復し 9 年目にはほぼ伐採前の状態へ落ち着くことが明らかになった。以上から、この地域の人々が伝統的に採用している 12 年間という休耕期間をもつ焼畑耕作システムは合理的なものであって、地力を維持しながら持続的に耕作を行えるものであると考えられた。

一方、この地域で行われた近年の商業的な開発行為の例として、海拔 2650m の常緑広葉樹林帯で行なわれたワサビ田開発のパイロットプロジェクトをについて、その開発行為が森林生態系に与えた影響を調べた。開発地域と隣接する自然林について森林と土壌条件を対比させて調べた。自然林は疎林状態になり、この開発によって自生の木本種が 47.1%失われ、主に低木層を中心とした本数にして 90%の樹木がなくなった。そのことで森林バイオマスは 70.7%減少した。また土壌の全炭素、全窒素量は 50%も減少した。原状回復には、攪乱された場所へ植林をしたり、更新を阻害する家畜の食害防除のための柵を設置したり、土壌侵食防止の手立てを講じたりすることが必要で、莫大な費用と労力をかけねばならないことが予想された。

以上のように、ブータンの典型的な乾燥谷の一つで行った気候条件、土壌条件を含む詳細な森林調査と、その地域で行われているいくつかの人間による利用形態の影響に関する調査から次のような結論を導いた。

乾燥谷では、谷から尾根に至る多様でかつ変化に富んだ環境傾度の存在によって低地部の温暖・乾燥気候に対応した西ヒマラヤの森林タイプ、中標高域の湿潤な東ヒマラヤの常落混交広葉樹林タイプ、上部の西ヒマラヤから東ヒマラヤにかけて広域分布する森林タイプといった多様な植生タイプの存在は、今後も維持されるであろう。地域の人々はこの森林資源を建築資材、薪、農工具資材、家畜の飼料といった目的のために何世代も続いてきた伝統的なやり方で利用している。しかし近年の市場経済本位の開発は将来の展望もなく、植生や地形を破壊するばかりでなく、いったん破壊された環境を元の状態に戻すためには莫大な投資が必要となる。今後とも、独特の乾燥谷の地域生態系と人間の利用に関する生態学的知見の集積は適正な管理や保全のためには必要不可欠であるといえるだろう。