

南硫黄島における垂直分布にそった雲霧の形成と植生パターン

朱宮丈晴¹, 高山浩二², 藤田卓³, 加藤英寿⁴

Development of cloud zone and forest pattern along altitudinal gradients in Minami-Iwo-To Island, the Bonin Islands, southern Japan

Takeharu SHUMIYA¹, Koji TAKAYAMA², Taku FUJITA³ & Hidetoshi KATO⁴

1. 財団法人自然保護協会 (東京都中央区新川 1-16-10 ミトヨビル 2F)

The Nature Conservation Society of Japan, 2F Mitoyo Bldg., 1-16-10 Shinkawa, Chuou-ku, Tokyo, 104-0033

2. 千葉大学大学院理学研究科 (千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Graduate School of Science, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522 JAPAN

3. 九州大学大学院理学研究科 (福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1)

Graduate School of Science, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581, JAPAN

4. 首都大学東京理工学研究科 (東京都八王子市南大沢 1-1)

Graduate Schools of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University, Minami-ohsawa 1-1, Hachioji, Tokyo 192-0397, JAPAN

要旨

南硫黄島における垂直分布に沿った温度・湿度と土壤環境といった環境要因、群落組成と構造の変化および相互の対応関係を解析した。調査期間中(2007年6月19日~25日)の気温の平均値から遞減率を求めたところ標高500m以上の3つの地点で湿潤断熱減率(0.47°C/100m)を示した。また、5%ごとの湿度の測定値頻度を求め、標高別にみていると、標高500m以上の3つの地点で95%~100%の頻度が最も高かった。ただし、山頂部は強風の影響で雲霧の発生が不安定であると考えられ747mと比較して湿度の変動係数が大きかった。12cm(45.8%)、20cm(40.8%)における表層土壤の土壤水分は山頂部で最も高かった。

こうした環境に対応して木本層(胸高1.3m以上)、草本層(胸高1.3m未満)、着生層の群落組成と構造を解析した。クラスター分析によって木本層の群落はP1(911m)~P3(521m)、P4(375m)、P5(59m)という3つのグループに区分され、雲霧林が一つのグループとして区分できた。ただし、P1、P2ではコブガシ、エダウチヘゴが共優占していたが、P3はコブガシだけが優占していた。これは雲霧林内では常緑広葉樹の成長が抑制されたためシダ植物が林冠構成種として共存しているのかもしれない。また、着生層の種数は標高が減少するとともに急激に減少した。群落構造は山頂部で最大直径が大きく、最大樹高は減少しており、強風などの影響が考えられた。着生層種数/総種数(0.56~0.40)、着生層種数/草本層種数(0.88~0.55)から500m以上の雲霧林では、各着生層種数比が高かった。したがって、林床が暗く、空中湿度高い雲霧林では草本層より着生層の発達が著しいと考えられた。

1. はじめに

南硫黄島の植生および群落に関する生態学的な調査は梶・滝口（1983）が初めてであり、各種の標高にともなう分布パターン、群落組成と構造の変化、着生植物の分布についての基本的な知見が得られた。今回の調査では、前回と同じ場所にプロットを設置して、25年間の群落組成や構造の変化をモニタリングする予定だったが、正確なプロットの設置箇所がわからなかったため基本的には新たにプロットを設置することにした。ただし、GPSなどの測位を行い、次回以降の再現性をはかれるようにした。また、前回の調査では実際の温度、湿度の変化を測定しておらず雲霧の影響に関するデータを得ることができなかったため標高別にデータロガーを設置し、期間中の測定を行うこととした。

一般的に東アジアの熱帯や亜熱帯の山岳では、雲霧林は上部山地林（小形葉林）と対応していると考えられており、*Symplocos*、*Rapanea*、*Vaccinium*、*Eurya* などハイノキ科、ヤブコウジ科、ツツジ科、ツバキ科などの特定の植物の仲間が優占し、約2500m～3600mの範囲で出現する（Ohasawa, 1991）。最近の研究では上部山地林の構成要素はハイノキ・ヤブコウジ群（*Symploco-myrsinaceous*）と呼んで下部山地林の構成要素であるクスノキ・カシ群（*lauro-fagaceous*）と区別している（Ohasawa, 1991）。こうした、雲霧林に類似した構造をもつ林分は孤立したピークや小さな島、貧栄養な尾根地形などでも見ることができ（Bruijnzeel *et al.*, 1993; Whitmore, 1984）、約1000m前後の熱帯低地林と下部山地林の移行帯付近にも見られる。雲霧林の形成はこうした異なる植生帯の移行帯付近に出現するのが特徴的である（Ohasawa, 1993）。しかし、南硫黄島のような大陸から離れた海洋島では構成種の一部が欠落しているとされ、同様の組成的変化は見られずガラパゴスやハワイのように場合によっては単一の種が優占してしまうこともある（清水, 2002）。こうした生態的解放などの島症候群（*island syndrome*）をふまえた上で、特に日本では唯一ともいえる南硫黄島の熱帯・亜熱帯の雲霧林の形成に注目して標高別の群落組成や構造を明らかにし、環境要因との対応関係を明らかにすることを試みる。

本研究の目的は、1. 垂直分布に伴う温・湿度など環境要因の変化を明らかにすること、2. 群落の組成、構造を明らかにすること、3. 環境要因と群落組成的、構造的変化との対応関係を明らかにすることである。

2. 方法

2-1. 気象観測

ベースキャンプが設定された地点（標高0m）、登頂ルートに沿った標高368m、521m、747m、916m地点に温湿度データロガー（HOBO prov2, Onset Inc. USA）をベースキャンプは金属ポールに設置し、他は樹木に固定した（図1）。測定は10分ごとに気温と湿度を計測し、6月18日～6月26日まで計測しているが、設置のタイミングが標高ごとに異なることから山頂部に設定された時間から山頂部が回収されるまでの期間（6月19日16:00～6月25日8:00）を解析の対象とした。

2-2. 群落調査

調査地は南硫黄島の南東側に設定された登頂ルート沿いに5カ所設定した（図1）。P1は山頂部の西向き斜面（N80W）で標高911m、P2はコルと山頂部の中間付近の南西斜面（S40W）で標高769m、P3はルートの方向が北向きから東向きに変化するコルの北西斜面（N20W）で標高521m、P4はコル

に至るまでの南斜面 (S20E) で標高 375m、P5 は南東部斜面放崩壊地に成立していた南東斜面 (S10E) で標高は 59m だった。ここに標高ごとに異なるサイズのプロットを設定し、5m×5m のサブコードラートを最小単位として植物群落調査を行った。P1 (10m×30m)、P2 (5m×20m)、P3 (10m×10m)、P4 (5m×30m)、P5 (10m×30m) で基本的には尾根あるいは斜面上部から斜面下部に向かってトランセクト状に設定した (図 2)。ただし、草本層調査と着生層調査は、P1 (5m×30m)、P2 (5m×20m)、P3 (10m×10m)、P4 (5m×15m)、P5 (5m×15m) の範囲で調査を行った (図 2 参照)。

調査は、胸高 1.3m 以上の木本個体を対象とした木本層の毎木調査、胸高 1.3m 未満の草本層調査、木本の幹や枝に着生した種を対象とした着生層調査を行った。木本層調査は、種名、胸高直径 (DBH、cm)、樹高 (H、m)、葉群下高 (Hl、m)、生枝下高 (Hb、m)、樹木位置図、樹冠投影図を作成した。草本層調査は、植被率 (%)、種名、種ごとの被度 (%)、最大自然高 (cm) を測定した。着生層調査は、樹木に着生した植物を対象として樹木の幹や枝の面積に対する着生植物の植被率、種名、被度、高さ (傾斜長) を測定した。

プロット内では、基線に関して傾斜と斜面方位をクリノメーターを使って測定した。また、草本層調査を行ったサブコードラートごとに土壌水分 (体積水分率、%) を携帯土壌水分センサー Hydrosense (Campbell Scientific Inc. USA) を用いて計測した (5 回以上反復)。同様に各サブコードラートから 10cm³ の表層土壌をサンプリングし、冷蔵保存した。一部は父島の首都大学東京の研究施設に持ち帰り、湿重を測定した後、80℃で 2 日間絶乾し、再度測定して土壌水分率を測定した。また、サブコードラートごとに 3 回ずつ 120cm の金属製ポールを使って土壌深度を測定した。

データロガー設置場所および各調査地で GPS を用いて測位を行った (図 1、図 2、表 1)。

2-3. 解析方法

木本層の群落調査で測定された直径 (DBH) から胸高断面積 (BA) を算出し、プロットごとに相対値化 (RBA) して各種の相対優占度を求めた。また、草本層、着生層で調査された被度 (C) ×最大高 (H) から CH を算出し、相対値化した相対優占度 (RD) を求めた。また、優占度の判定にあたっては相対優占度を用いた優占種判定法 (Ohsawa, 1984) を用いた。この判定法は実際の優占度の並びと理想的な並び (1 種優占 100%、2 種優占 50%、3 種優占 33.3%...) を比較して最も理想的な並びに近いモデルを選ぶ方法である。

5つのプロット間の群落組成の違いについては相対優占度を用いて各プロット間の距離を Sørensen coefficient を用いて計算し、群平均法を用いてクラスター分析を行った (MacCune and Mefford, 1999)。ここでは距離の相対値 (%) を類似度とした。

各プロット間の有意差は一元分散分析を行い、プロット内とプロット間の有意性を確認し、差があった場合はさらに Fisher の PLSD を用いてポストホックテストを行いプロット間の有意性を確認した。

3. 結果

3-1. 標高別の環境変化

3-1-1. 気温、相対湿度の変化

図 3 に 19 日 16:00~25 日 8:00 までの標高ごとの気温と相対湿度の変化パターンを示す。1 次隊が調査に向かった前半 19 日~21 日は天気が悪く 300m 以上では雲霧が見られたが、2 次隊が調査を行

った22日以降は天気がよく、500m以上でも雲霧が見られなかったことから測定期間中この2期間で異なる温湿度パターンが見られた。21日までは各標高域での気温はほぼ一定だったが、22日以降は変動が大きくなっていった。すなわち、916m (avg. 22.7°C±1.05, CV=0.0459→22.1°C±2.35, CV=0.1065)、747m (23.1°C±0.70, CV=0.0305→22.4°C±1.35, CV=0.0595)、521m (24.2°C±0.68, CV=0.0283→24.3°C±1.32, CV=0.0536)、368m (25.0°C±0.77, CV=0.0307→25.7°C±1.37, CV=0.0534)、0m (28.3°C±0.97, CV=0.0343→29.1°C±1.43, CV=0.0490) だった(図4)。相対湿度も同様のパターンを示した。すなわち、916m (96.8%±0.46, CV=0.0047→90.8%±5.79, CV=0.0646)、747m (97.4%±0.44, CV=0.0035→97.3±2.25, CV=0.0322)、521m (97.2±0.19, CV=0.0034→93.4±4.88, CV=0.0579)、368m (94.3±1.34, CV=0.0143→90.6±4.39, CV=0.0489)、0m (83.0±2.66, CV=0.0322→75.0±5.18, CV=0.0692) だった。興味深いことに、この2期間で標高の高い2地点では平均気温が減少しているが、521mではほぼ変化がなく、標高の低い2地点では逆に気温が上昇していた。また、相対湿度は368m以上では期間を通して90%以上で、916mと521mでは変動係数(CV)がそれぞれ0.0598と0.0543で他の標高域に比べてこの2期間での変動係数の差が大きく、747mでは最も小さかった(0.0287)。

平均気温は(29.0°C~22.6°C)標高に沿って減少し、最高は0mの33.4°C、最低は916mの18.0°Cだった(表2)。平均相対湿度は747mで最も高く(97.4%)、最大値と最小値の差は747mで最も小さく(17.8%)、916mで最も大きかった(31.4%)。この標高ごとの平均気温を使って気温の逓減率を求めた(図5)。5地点における平均気温の逓減率を直線回帰($R^2=0.98$)によって求めたところ0.71°C/100mだった。また、標高521m以上の地点だけを対象として同様に直線回帰を行うと0.47°C/100mを示し、明らかに異なる逓減率を示した。

相対湿度の標高別パターンは5%ごとの頻度分布で示すと違いがはっきりとする(図6)。0m、368mでは頻度のピークがそれぞれ75%~80%、90%~95%にあるが、521m以上では95~100%にあった。また、ピークの高さは山頂部ではなく747mで最も高く695回だった。期間中の計測回数は817回だったので747mでは85.1%の時間帯で95~100%だったことを示す。測定間隔が10分であることから、約136時間中115時間の間ほぼ100%の相対湿度を示した。

3-1-2. 土壌水分の変化

図7aに土壌深度、土壌水分の標高別の変化を示す。土壌深度はP2でやや浅かった(平均68.0±標準偏差30.2cm)がP1(94.4±34.1)、P3(86.8±39.1)というように厚く土壌が堆積していた。ただし、ポールでの測定可能範囲の120cmに達した箇所がいくつか見られ、場所によってはさらに深い可能性もある。一方、P4、P5では有意に土壌深度が浅くそれぞれ30.3±8.6cm、26.8±12.6cmだった(ANOVA, $p<0.01$)。

土壌水分量はサブコードラーとともに5回反復して調査を行った(図7a, b)。今回使用した土壌水分計は2本のセンサーロッド間のレーダー波の速度を測定するもので、12cmと20cmの深さの土壌中の平均体積水分率(%)を測定することができる。その結果、12cmでは、他のプロット(8.1~17.4%)と比較してP1(46.3±16.7%)で体積水分率が有意に高かった。より深い20cmでも同様の傾向を示し、P1では40.6±9.1%と有意に高く、以下P2(23.3%)、P3(17.5%)、P4(16.4%)、P5(7.8%)の順に低い値を示した。

3-2. 標高別の群落組成と構造

3-2-1. 群落組成

胸高 1.3m 以上の木本種を対象にした木本層、胸高 1.3m 未満の主に草本類を対象とした草本層、木本の幹や枝に着生した種を対象にした着生層に関してそれぞれ群落調査を実施し、その組成を表 3 に示す。木本層、草本層、着生層すべてに出現した総種数は 46 種のうち常緑広葉樹 9 種 (19.1%)、落葉広葉樹 3 種 (6.4%)、一年生草本 6 種 (12.8%)、多年生草本 11 種 (23.4%)、ツル植物 3 種 (6.4%)、シダ植物 14 種 (29.8%) だった。

木本層、草本層、着生層ごとに相対優占度に基づくプロット間のクラスター分析を行った結果を図 8 に示す。70% の類似度で区分すると木本層ではコブガシ、エダウチヘゴを優占種とする P1~P3、チギ、オオバシロテツを優占種とする P4、センダン、アカテツを優占種とする P5 というように標高ごとに 3 グループに区分することができた。一方、草本層は多種優占型でウミノサチスゲ、セイタカイワヒメワラビ、ナンバンカラムシ、シマイズセンリョウ、ススキを優占種とする P1、ナンバンカラムシを共通優占種としてオオシケシダ、エダウチヘゴを優占種とした P2、P5、シマオオタニワタリを優占種とする P3、P4 という 3 グループが区分できた。草本層は P2 と P5 が類似するなど標高に区分が明確でなかった。着生層は P5 では着生層が見られず、多種優占型でナンカイシダ、タマシダ、ウミノサチスゲ、オガサワラモクマオ、シマイズセンリョウが優占する P1、シマオオタニワタリを共通優占種としてホソバクリハラン、ウミノサチスゲが優占する P2~P4 に区分できた。

図 9 に木本層、草本層、着生層ごとに一年生草本、ツル植物、多年生草本、シダ植物、落葉低木、落葉高木、常緑低木、常緑高木の優占度に基づく生活型組成を示す。木本層は、標高が高い P1、P2 では常緑高木種 (39.4~40.7%)、シダ植物 (48.6~55.5%) が優占し、P3、P4 では常緑高木種 (96.8~98.9%) が優占し、P5 では常緑高木種 (46.5%) と落葉高木種 (53.4%) が優占していた。

草本層は、P1 では多年生草本 (59.0%)、シダ植物 (24.9%)、常緑低木種 (14.3%) がそれぞれ優占度を分け合うような形でみられたが、標高が低くなるにつれて P2 ではシダ植物 (46.0%)、多年生草本 (43.4%)、落葉低木種 (8.6%) というようにシダ植物の優占度が大きくなり、P3、P4 ではシダ植物 (各 89.0%、84.9%) が単独優占していた。一方、P5 では多年生草本 (77.2%) を最大優占種として落葉低木種 (15.5%) や一年生草本 (3.8%) を含むことが特徴的だった。

着生層は、標高を通してシダ植物が主要な優占種であり、P1~P3 では多年生草本、P1 では常緑低木が優占するというように標高の減少とともに生活型組成が単純化した。

3-2-2. 群落構造

各プロットの木本層の群落構造を図 10 に示す。最大直径 (Max DBH, cm) は標高の低い方から高い方に向かって段階的に増加しており、P5 では 13.5cm、P2~P4 では 26.0~36.0cm、P1 では 53.0cm だった。最大高 (Max H, m) も同様に標高に伴って増加する傾向にあり (3.9m~9.5m)、P2 で最大の 9.5m になっていたが、P1 では最大高 (6.0m) が減少していた。BA は最大直径を反映していたが、P3 (74.5m²/ha)、P1 (60.7) で大きくなっていった。幹数密度 (/100m²) は P2 (100 本)、P3 (79 本) で高くなっていった。これは P2 では林冠がうっ閉しておらず (図 2)、トキワイヌビワの密度が非常に高かったことによる。平均種数 (/100m²) は P1 (2.33 種)、P5 (1.00 種) と低くなっており、他のプロットでは約 5 種となっていた。一方、種多様性は全体として低い均等度 (J') が 0.217 と最も低い P3

は多様性指数も 0.349 と最も低くなっていた。

草本層は、種数、均等度 (J)、多様性指数 (H') について示す (図 11)。種数 (/100m²) は標高が上がるにしたがって段階的に減少する傾向があり、P1~P3 では 10.7~14.0 種であり P4、P5 では各 18.7 種、17.3 種だった。また、P4、P5 の中で帰化種は各 1.3 種、5.3 種であり標高の低いプロットで帰化種の侵入が見られた。一方、多様性指数は P1 (1.979)、P2 (1.634)、P5 (1.232) で高く、均等度も同様のパターンを示した (0.714、0.619、0.480)。

着生層は、標高が減少するにしたがって P1 が 14 種、P2 が 9 種、P3 が 6 種、P4 が 1 種というように減少し P5 では見られなかった。多様性指数はそれを反映し、1.982、1.571、1.088 というように直線的に減少し、均等度も同様に 0.751、0.715、0.607 というように減少していた。

4. 考察

4-1. 標高にともなう雲霧の形成と環境変化

今回の調査から 6 月 19 日 16:00~6 月 25 日 8:00 にいたる短い期間ではあったが、標高別の気温と湿度に関する詳細なデータを得ることができた。特に 19 日~21 日と 22 日~25 日では天気が急激に変化し、19 日~21 日は天気が悪く、標高が高いエリアでは霧に包まれたが、22 日~25 日では天気もよく頂上からは下部を見ることができた (図 3)。南硫黄島では 500m 以上の標高域で雲霧林が形成されることが知られており (梶・滝口、1983)、特に着生植物の分布が雲霧林全体で 24 種確認されている。年間を通しての結果ではないが平均気温の標高別の変化から逓減率を求めると全体では 0.71°C/100m となっていたが、標高 500m 以下では 0.90°C/100m から 500m 以上では 0.47°C/100m となり明らかに異なっていた (図 5)。一般的に乾燥断熱減率は 1°C/100m で湿潤断熱減率は 0.5°C/100m とされ、500m を境にして乾燥から湿潤に変化しており雲霧の形成が明らかになった。さらに 500m 以上の湿度の頻度分布はいずれも 95% 以上の頻度が最も高かったが、716m 付近で最も頻度が高く、916m と 521m 付近ではやや低かった。これは、521m では雲霧の下限に位置しているからと考えられるが、921m の山頂付近では風の影響で雲霧がとばされてしまうのかもしれない。気温も 22 日以降は 747m

(CV=0.0289) と比較して 916m (CV=0.1065) では変動係数が大きかった。土壌は土壌深度の測定から 500m 以上のプロットで平均 68.0cm 以上の厚さが見られ、特に P1 では土壌水分が有意に高く湿潤だったが、375m 以下のプロットでは 30cm より浅く乾燥していた (図 7)。坂上・奥富 (1983) によれば、標高 500m 以上では小笠原群島には見られない火山灰土壌 (Andisol) が見られ、低い標高域では粗粒質の未熟土が見られたと報告されており、今回の結果を反映しているものと考えられた。

4-2. 標高にともなう群落組成と構造の変化

一般的に、最寒月平均気温 -1°C は熱帯型常緑広葉樹林の北限と一致する (Ohsawa, 1990) ことや硫黄島の年平均気温から推定された温量指数 (WI) の亜熱帯域 (180) が 1000m 付近にあること (梶・滝口、1983) から本来、南硫黄島はすべて熱帯・亜熱帯常緑広葉樹林が形成されることが考えられる。また、熱帯・亜熱帯では貿易風の風上側斜面、ヒマラヤのようなモンスーンの影響を受ける山腹斜面、高山や孤立した島などで熱帯山地雲霧林 (Tropical Montane Cloud Forest) が形成されることが知られている (Walter, 1985; Ohasawa, 1987; Stadtmüller, 1987)。しかし、P1、P2 でエダウチヘゴやマルハチが優占するのは、こうした雲霧の発生によってコブガシなどの常緑広葉樹の成長が妨げられているからか

もしれない。実際に 500m 付近の P3 ではコブガシが単独で優占していた。こうした雲霧による植生の変化は屋久島でも指摘されており、古くからスギ帯のとらえ方については雲霧の発生によるとする考えが知られていたが（今西、1950）、最近、実測された標高別の気温変化を解析すると最寒月平均気温 -1°C は標高 1663.2m の標高にくることがわかり、温度条件だけに着目すればスギを中心とした針葉樹林帯も常緑広葉樹が優占できる領域であるが、この結果はスギ帯をどうとらえるかについて興味深い視点を与えてくれるとしている（大澤、2006）。一方、標高の低い P5 は斜面の地滑りにより堆積した不安定な立地で斜面崩壊や浅い土壌はそれを反映している。比較的安定している尾根的な立地では常緑広葉樹（アカテツ）が優占し、不安定な凹地斜面では先駆性の落葉広葉樹（センダン）が見られた。

山頂部の群落構造は他の標高域の雲霧林と比較して最大直径は大きく（53cm）、最大樹高は小さかった（6.0m）ことから、同じ雲霧林であっても相対湿度が時々減少する（図 6）こともあることや土壌は十分に発達していることから台風や貿易風などにより高さ成長の抑制の影響が考えられる（朱宮・大澤、1997）。

雲霧林を特徴づけるものとして厚く付着するコケ植物、維管束着生植物、シダ植物、ラン科植物、ツツジ科植物などの着生植物の存在がある（Ohasawa, 1993 ; Haber, 2000 ; 梶・滝口、1983 ; 江草・大澤、1994）。そこで、全種数に対する着生層種数、草本層種数に対する着生層種数の割合を図 12 に示す。雲霧が発生するとされる 500m 以上の P1~P3 では 0.56~0.40 となっていた。また、草本層種数との比では同様に P1~P3 では 0.88~0.55 となっており着生植物の比率が高かった。実際に、雲霧林内ではコブガシやエダウチヘゴといった高木樹種の下層は暗く、雲霧の影響もあり空中湿度が高いことから着生することによるメリットが大きいことによる考えられた。また、こうした雲霧林の林床は海鳥類の巣穴としても利用されており、攪乱により実生の定着も難しいのかもしれない。

4-3. 南硫黄島の保全管理に向けて

今回の調査から新たにシンクリノイガが発見され、プロット内にもイヌホオズキなどの帰化種が P4、P5 で見つかった（図 11）。今のところ低地部にのみ見られたただが、今後の拡大状況や新たな帰化種の侵入に対してもモニタリングしていく必要がある。現在解析中だが、過去の空中写真との比較、森林内の状況写真、過去に参加した隊員からの聞き取りにより雲霧林の減少が考えられた。もし、地球温暖化など地球規模の気候変動の影響があるとなれば、脆弱な生態系としての貴重な南硫黄島の雲霧林はすぐに影響を受ける可能性がある。今後、年間を通じた気象観測や定期的なモニタリング調査を実施する必要がある。

5. 謝辞

山本正嘉氏、安井隆弥氏、川窪伸光博士、奥富清博士には現地の登頂ルートや植物に関する貴重な情報や御助言を提供して頂きました。以上の方々に記して厚くお礼申し上げます。

なお、本調査は東京都の委託調査「南硫黄島自然環境調査」の一環として、一部は文部科学省科学研究費補助金（No. 18370038）の助成を受けて行われました。

6. 引用文献

- Brijnzeel, L. A., Waterloo, M. J., Proctor, J., Kuitert, A. T. and Kotterink, B. (1993) Hydrological observations in montane rain forest on Gunang Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "Massenerhebung" effect. *Journal of Ecology*, 81, pp. 145-167.
- 江草清和・大澤雅彦 (1994) 屋久島における維管束着生植物の垂直分布と環境要因に関する予報. 屋久島原生自然環境保全地域調査報告書、環境庁自然保護局 (編) 日本自然保護協会、pp. 115-125.
- Haber, W. A. (2000) Plants and Vegetation. In: *Monteverde* (Ed. By N. M. Nadkarni and N. T. Wheelwright), pp. 39-94.
- 今西錦司 (1950) 屋久島の垂直分布帯. 暖帯林、2月号、pp. 9-14.
- 梶幹男・滝口正三 (1983) 南硫黄島の植物群落の構造について. 南硫黄島の自然、環境庁自然保護局 (編) 日本野生生物研究センター、pp.191-221.
- MacCune, B. and Mefford, M. J. (Ed.) (1999) PC-ORD. MjM software design. 237p.
- Ohasawa, M. (1984) Differentiation of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji. *Vegetatio*, 57, pp. 15-52.
- Ohasawa, M. (1987) Vegetation zones in the Bhutan Himalaya. *Life zone ecology of the Bhutan Himalaya*, pp. 1-7.
- Ohasawa, M. (1990) An interpretation of latitudinal pattern of forest limits in South and East Asian mountains. *Journal of Ecology*, 78, pp.326-339.
- Ohasawa, M. (1991) Structural comparison of tropical montane rain forests along latitudinal and altitudinal gradients in south and east Asia. *Vegetatio*, 97, pp. 1-10.
- Ohasawa, M. (1993) The montane cloud forest and its gradational change in southeast Asia. In: *Tropical montane cloud forests* (Ed. by L. S. Hamilton, J. O. Juvik, and F. N. Scatena), pp. 163-170.
- 大澤雅彦 (2006) 屋久島の森林植生帯、大澤雅彦ら (編) 『世界遺産屋久島-亜熱帯の自然と生態系-』朝倉書店、pp.73-86.
- 坂上寛一・奥富清 (1983) 南硫黄島の土壌. 南硫黄島の自然、環境庁自然保護局 (編) pp.51-58.
- 清水善和 (2002) 小笠原諸島の生物多様性-3つの視点、森林科学 No34、pp.2-8.
- 朱宮丈晴・大澤雅彦 (1997) 地形に対応した常緑広葉樹林の階層構造とその形成過程. 平成7年度～平成8年度科学研究費補助金基盤研究 (B) (2) 研究成果報告書、千葉大学 (編)、pp.65-95.
- Stadtmüller, T. (1987) *Cloud forests in the humid tropics: A bibliographical review*. Tokyo and Turrialba, The United Nations University and Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza.
- Walter, H. (1985) *Vegetation of the earth and ecological systems of the geo-biosphere*. 3rd ed. Springer-Verlag.
- Whitmore, T. C. (1984) *Tropical rain forests of the Far East*. 2nd ed. Oxford Univ. press

Summary

Floristic composition and community structure along an altitudinal gradient were studied with special reference to development of the cloud zone in Minami-Iwo-To Island, the Bonin Islands, southern Japan. The lapse rate of mean temperature based on the regression from upper three meteorological stations (521 m, 747 m,

916 m) was 0.47 °C/100m, while the lapse rate estimated from the data of lower three stations (0m, 368m, 521m) was 0.90 °C/. The duration of time when the relative humidity was over 95~100% was high above 521m (cloud zone), while it was relatively short at lower elevations under 368m. Floristic composition and relative basal area (RBA) for tree layer (trees height \geq 1.3m) at five study plots (P1:911m, P2:769m, P3:521m, P4:375m, and P5:59m) were analyzed to demarcate several similar groups by using the cluster analysis (group averaging method). Five study plots were grouped into three community types, (1) *Machilus kobu*/*Cyathea tuyamae* type (521-911m a.s.l.), (2) *Elaeocarpus syrvestris*/*Boninia grisea* type (375m a.s.l.) and (3) *Planchonella obovata*/*Melia azedarach* type (59 m). At the summit basal area (60.7 m²/ha) was high with a stunted tree shape (6.0 m in tree height), probably due to strong wind and frequent cloud conditions. Species richness and diversity (Shannon's H') of vascular epiphyte at elevations over 521m a.s.l. was high (14 species and 1.982, respectively) compared with lower elevations. The wet conditions of the cloud zone of the island should support the cloud forest co-dominated by evergreen trees of *Machilus kobu* and endemic tree-fern of *Cyathea tuyamae* with numerous vascular epiphytes.

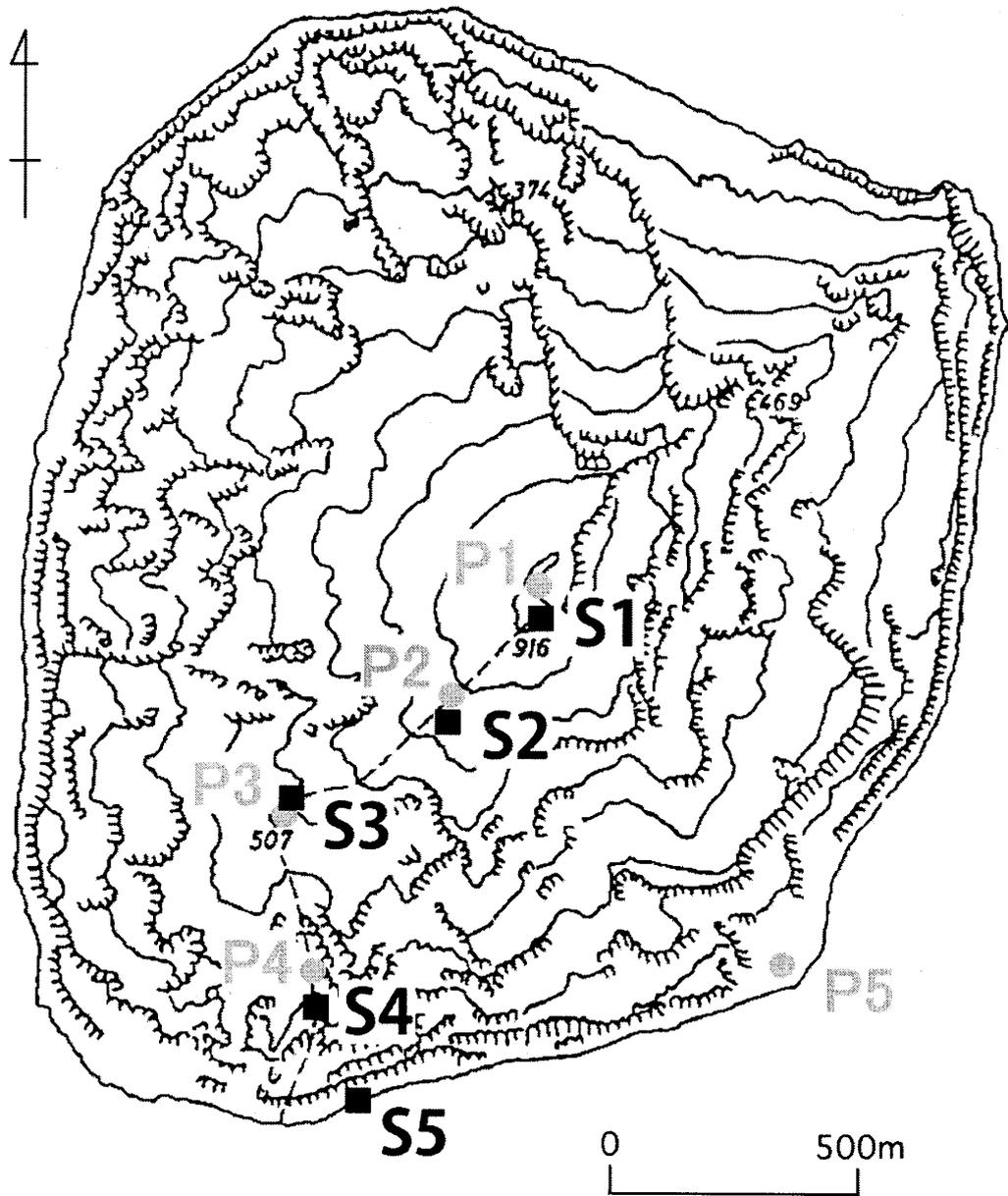


図1. 調査プロット位置図。丸はプロットの位置、□は温湿度データロガー設置箇所
 Figure 1. Location of 5 plots and data loggers (temperature and humidity).

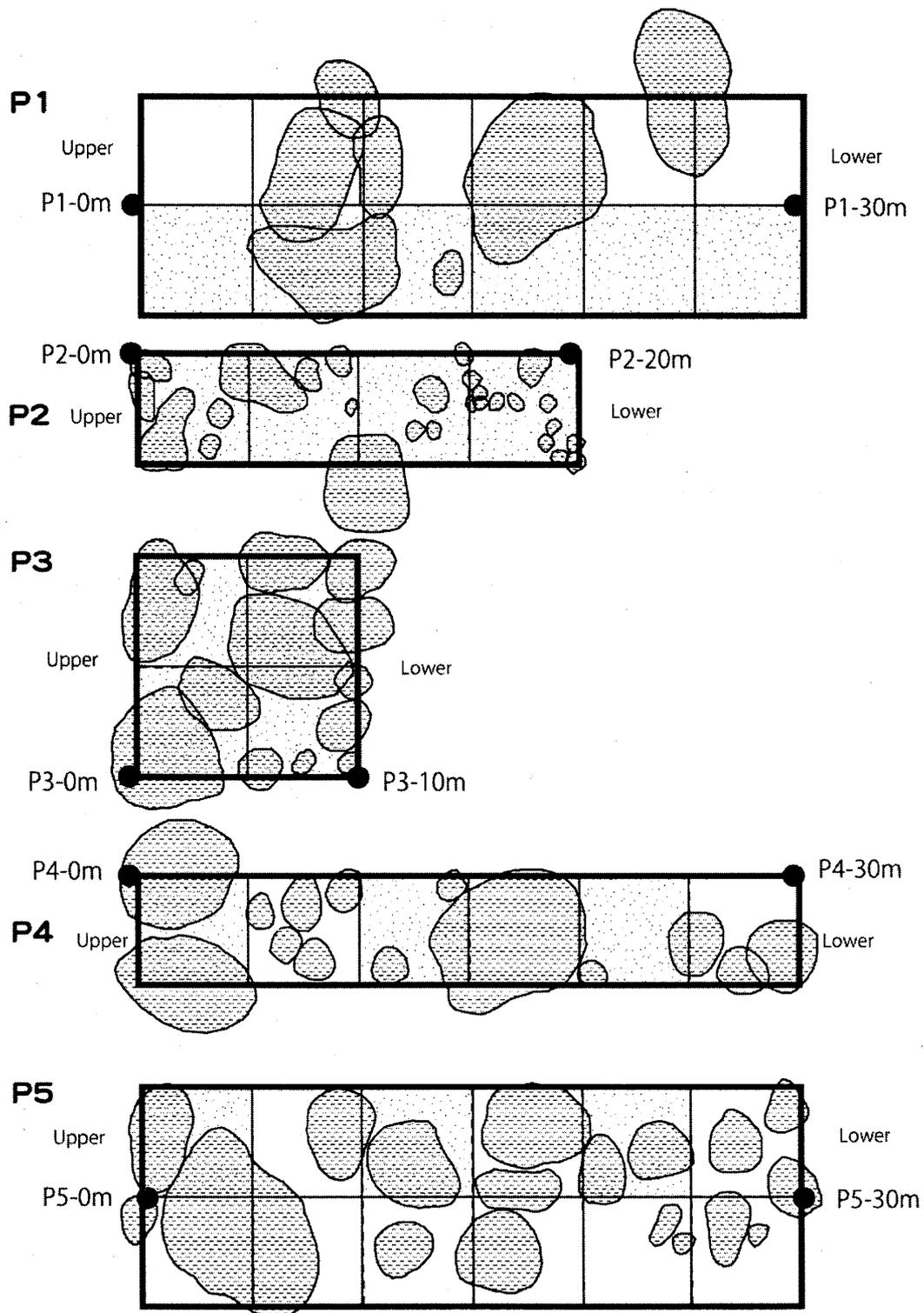


図2. プロットサイズと樹冠投影図。調査された各プロットのサイズを示す。ドットで示したサブコドラートは草本層、着生層の調査をした箇所を示す。向かって左側が斜面上部を示す。●はGPSポイント。

Figure 2. Five plots and crown projection map of each plot. Subquadrats which were surveyed for herb layer ($H < 1.3\text{m}$), and epiphyte layer were shown specially by dotted areas. ● indicate GPS points.

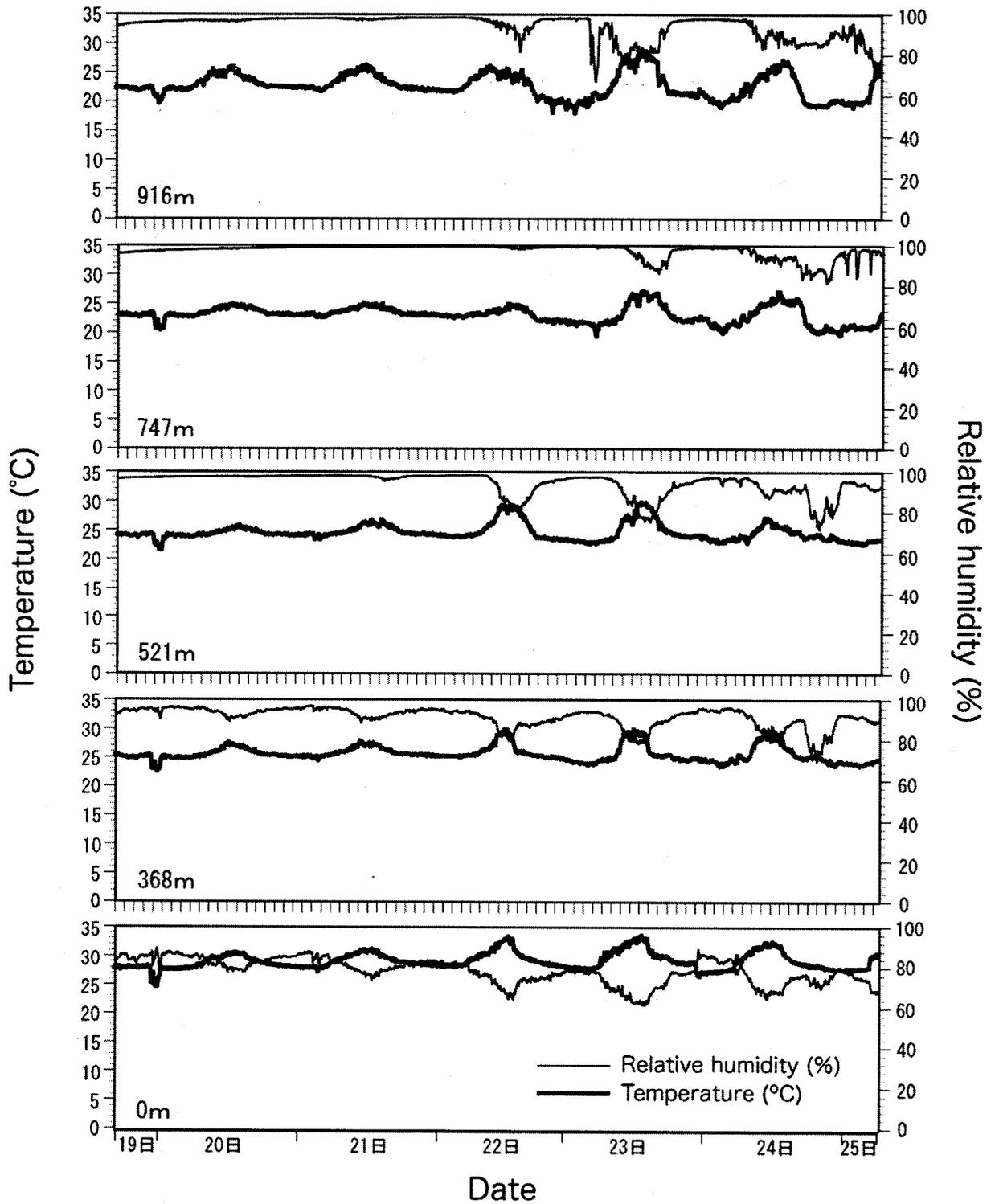


図3. 2007年6月19日(16:00)～6月25日(8:00)までの気温と相対湿度の変化

Figure 3. Temperature and relative humidity pattern from at 16:00 pm on 19th to 8:00 am on 25th of June 2007.

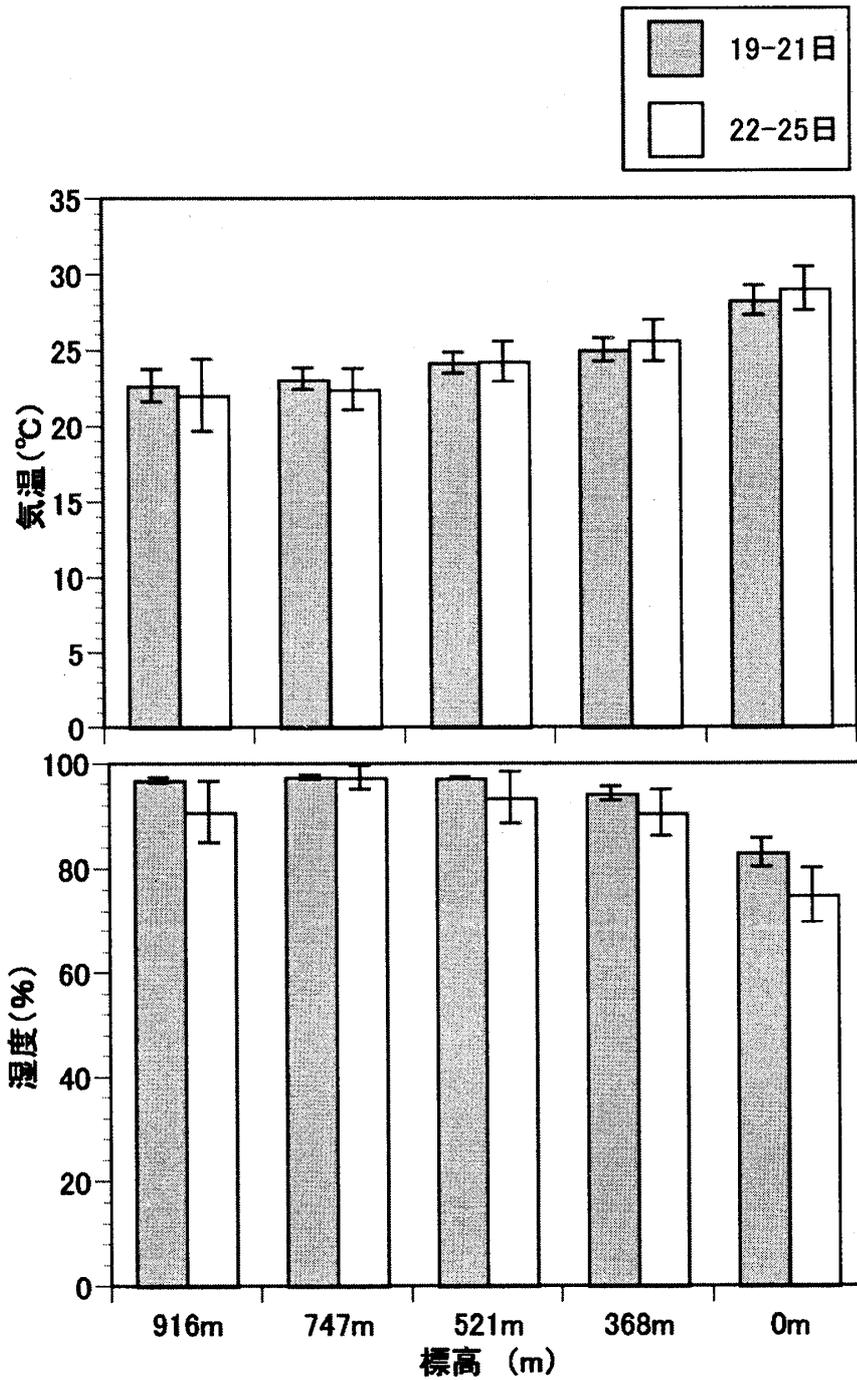


図4. 天気の悪かった19日～21日、よかった22日～25日という2期間に分けた場合の気温と湿度の平均値±標準偏差の標高別の変化

Figure 4. Mean temperature and relative humidity on each altitude during on 19th～21th which is cloudy and on 22nd～25th which is fine.

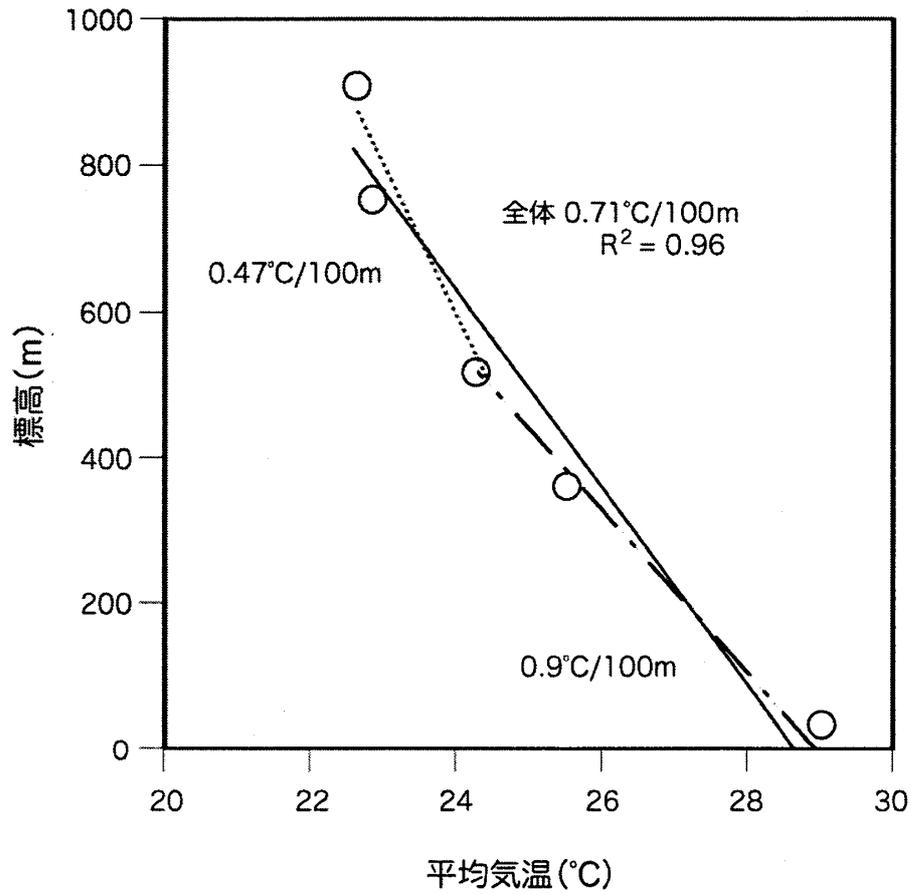


図5. 調査期間中の各標高における平均気温から計算された逓減率。点線は標高の上下で3地点ずつ回帰させた場合の逓減率を示す。

Figure 5. Lapse rate of mean temperatures along altitudinal gradient. Solid line indicates in case of five points and dotted lines were linearly regressed by upper and lower three points.

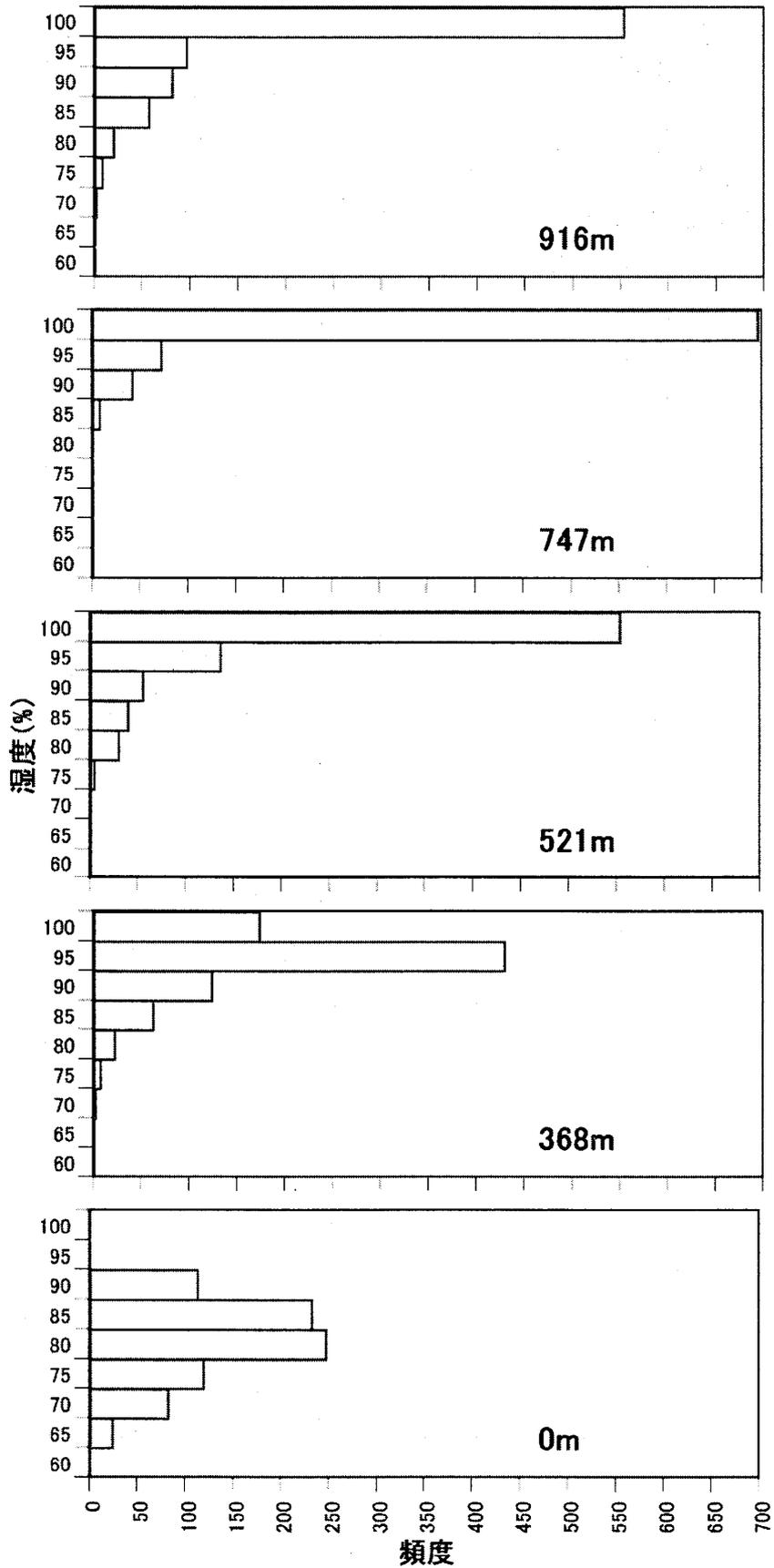


図 6. 標高別の相対湿度の頻度分布

Figure 6. Relative humidity class distributions along altitudinal gradients.

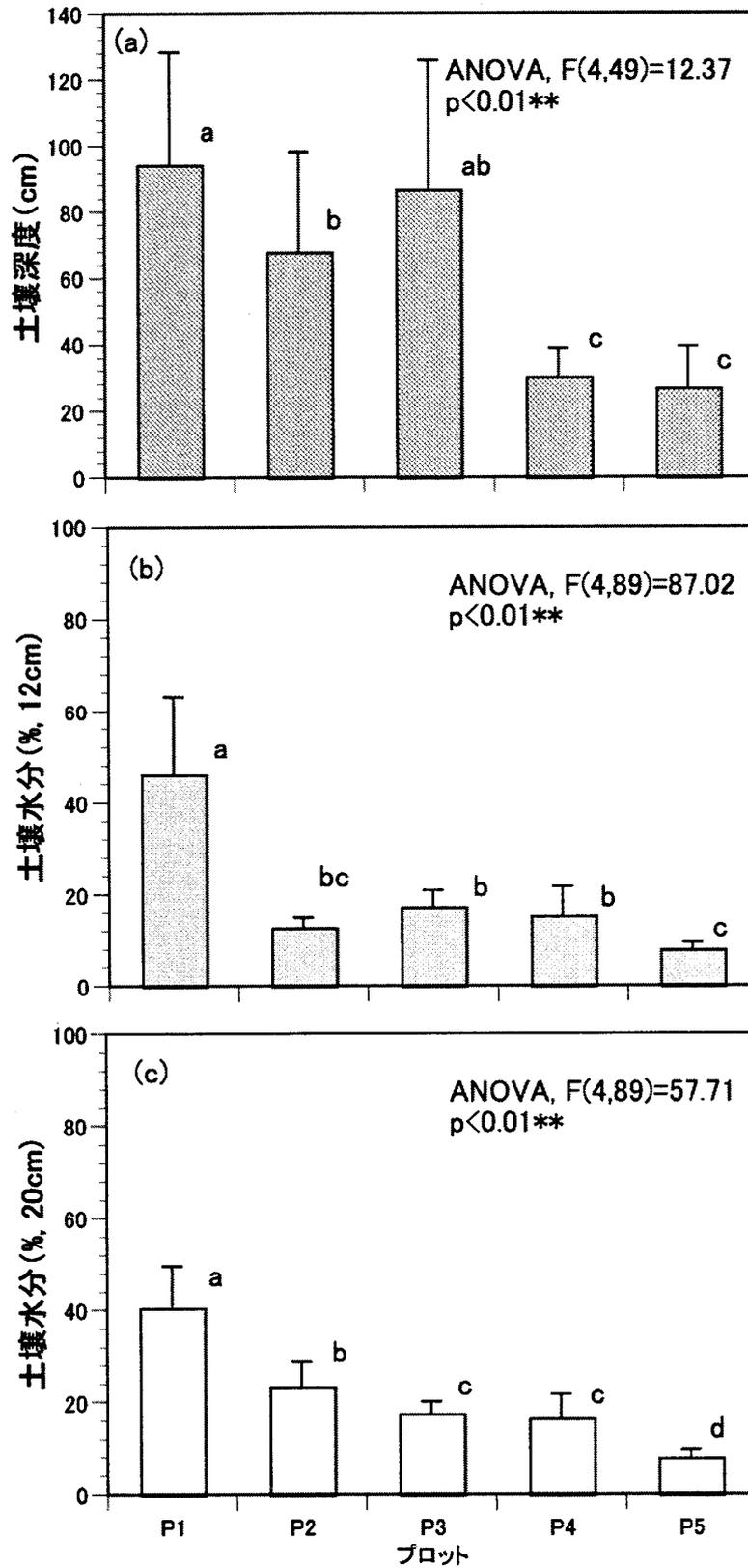


図7. 土壌深度および土壌水分（12cm、20cm）の標高別変化

Figure 7. Soil depth and volumetric water content (12cm, 20cm) along altitudinal gradients.

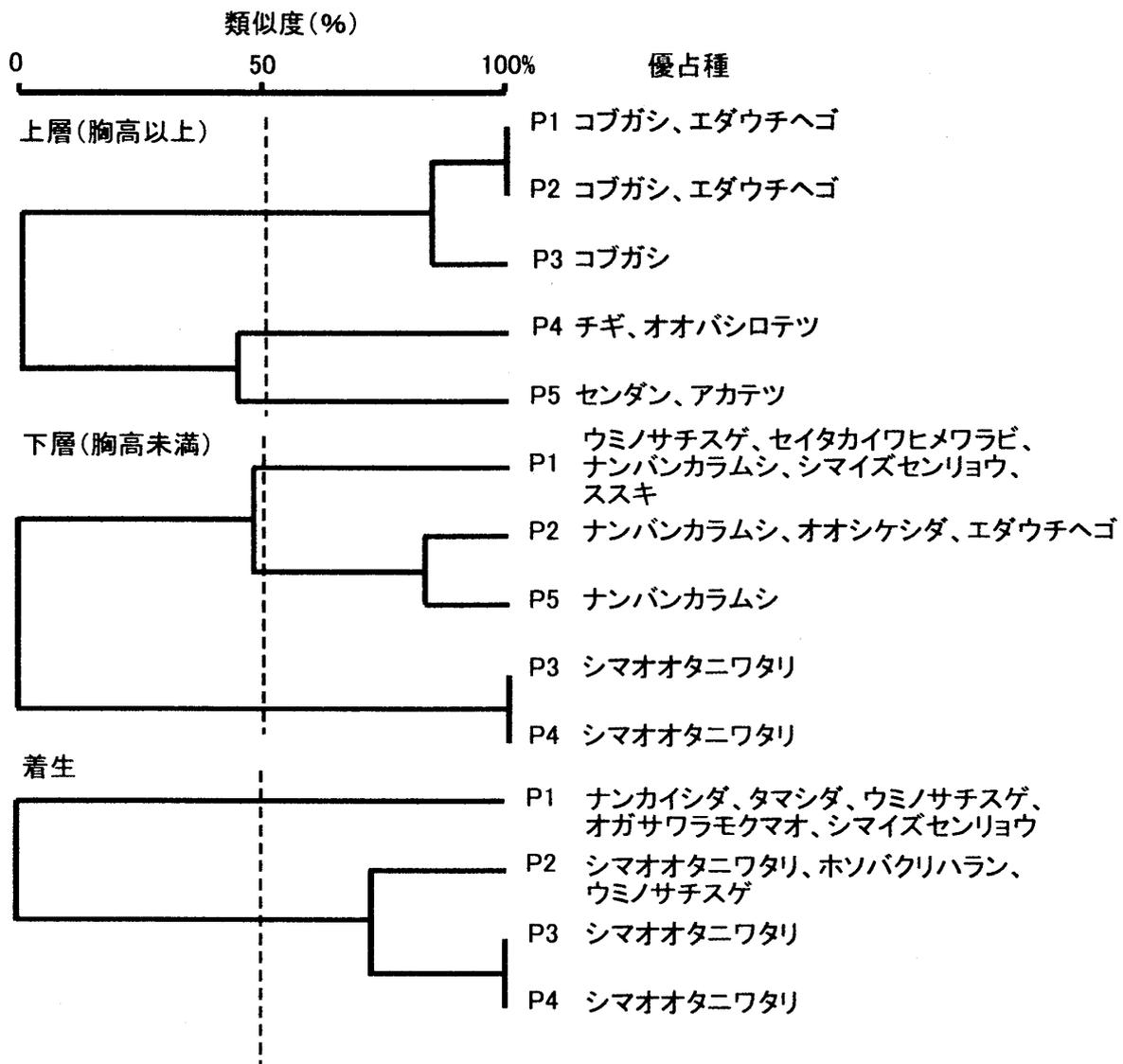


図 8. 木本層、草本層、着生層ごとの各プロット間の類似度と優占種

Figure 8. Similarity index among five plots every tree layer, herb layer and epiphyte layer.

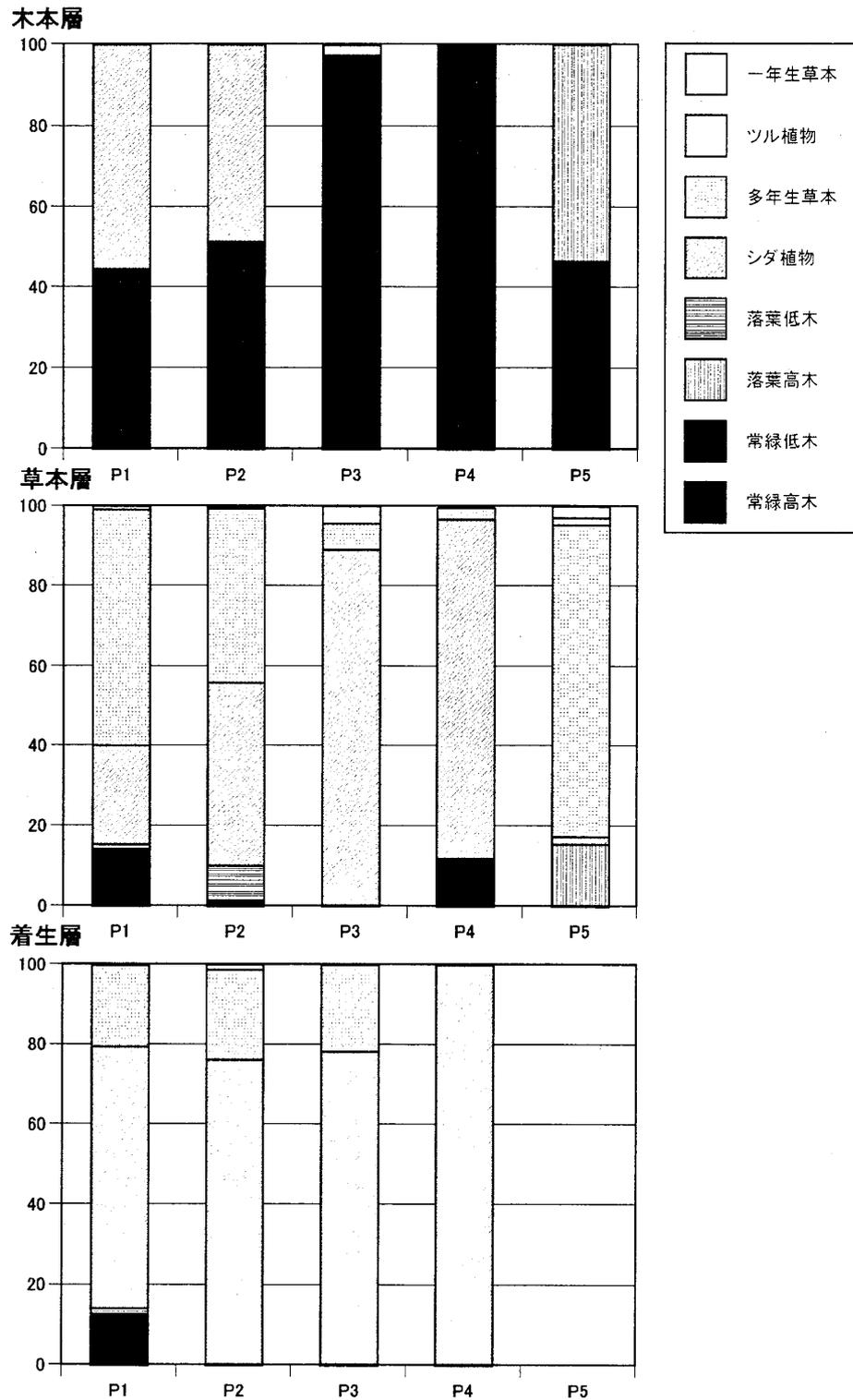


図9. 木本層、草本層、着生層ごとの各プロットの生活型組成（一年生草本、ツル植物、多年生草本、落葉低木、落葉高木、常緑低木、常緑高木種）

Figure 9. Life form spectra (annual herb, vine, perennial herb, fern, deciduous shrub, deciduous tree, evergreen shrub and evergreen tree) of five plots every tree layer, herb layer and epiphyte layer.

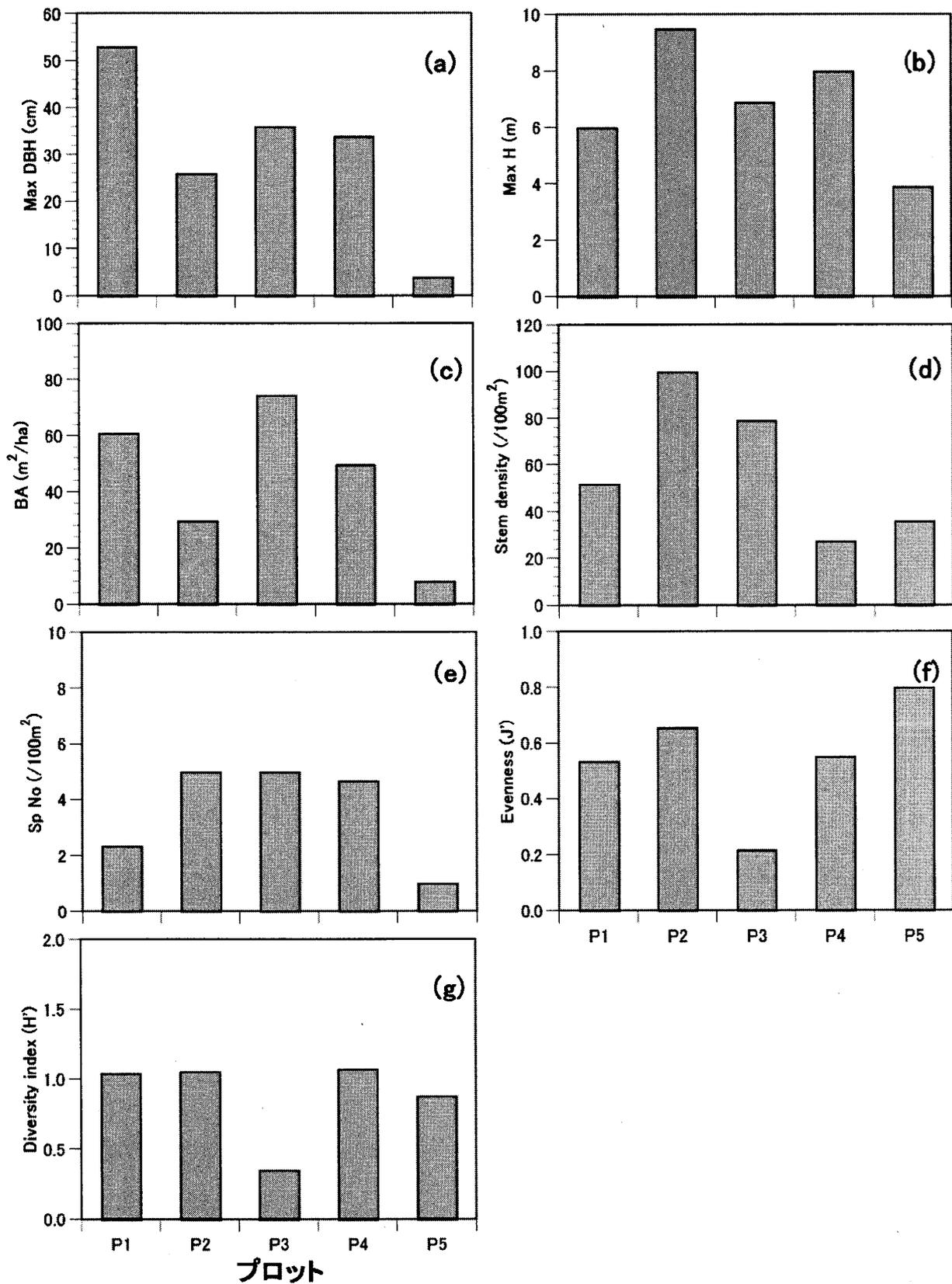


図 10. 各プロットにおける木本層の群落構造

Figure 10. Community structures of tree layer along altitudinal gradients.

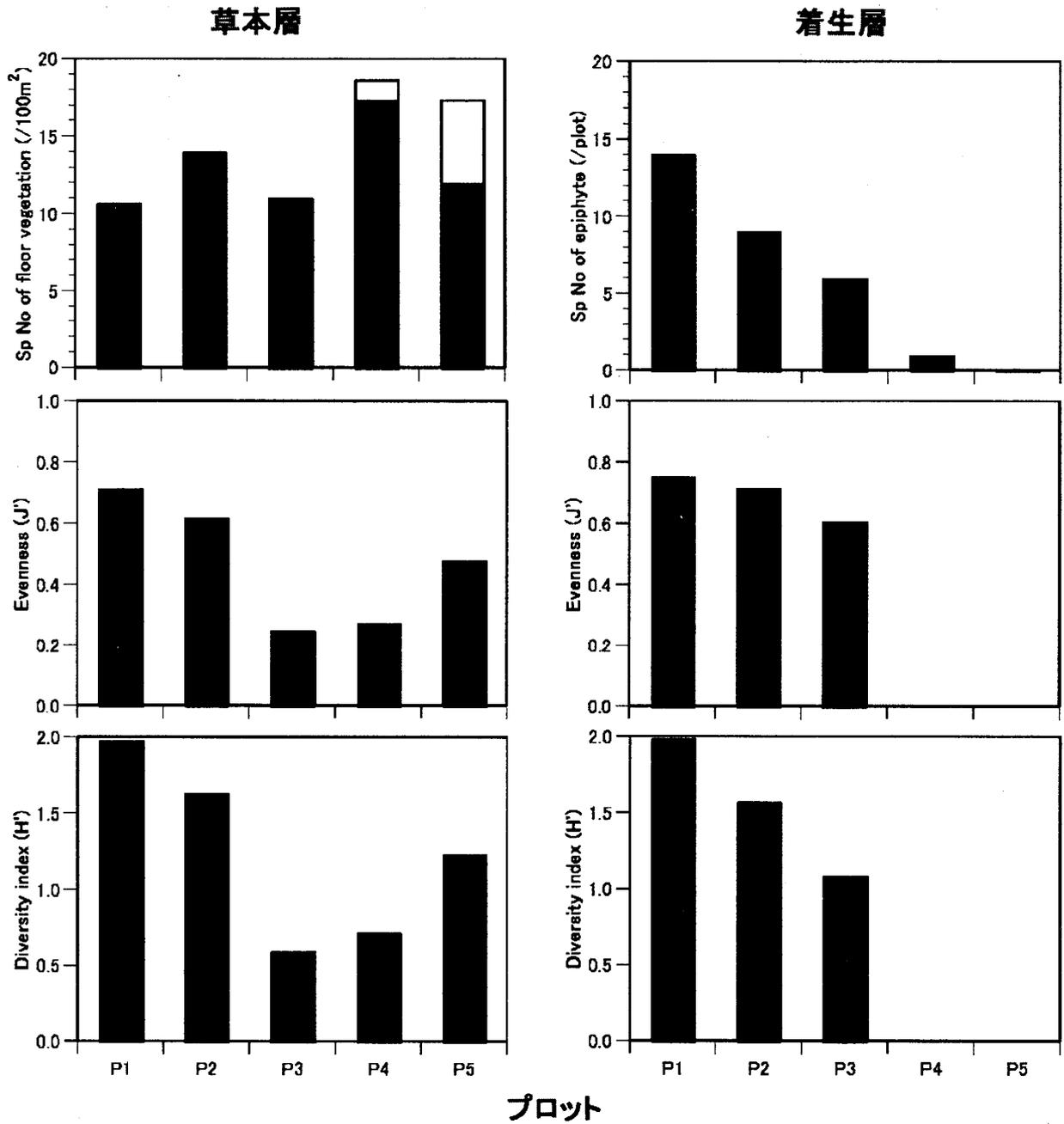


図 11. 各プロットにおける草本層と着生層の種多様性構造。斜線部は帰化植物種数を示す。
 Figure 11. Species diversities of herb and epiphyte layer along altitudinal gradients. Naturalized plant species is indicated by hatched area.

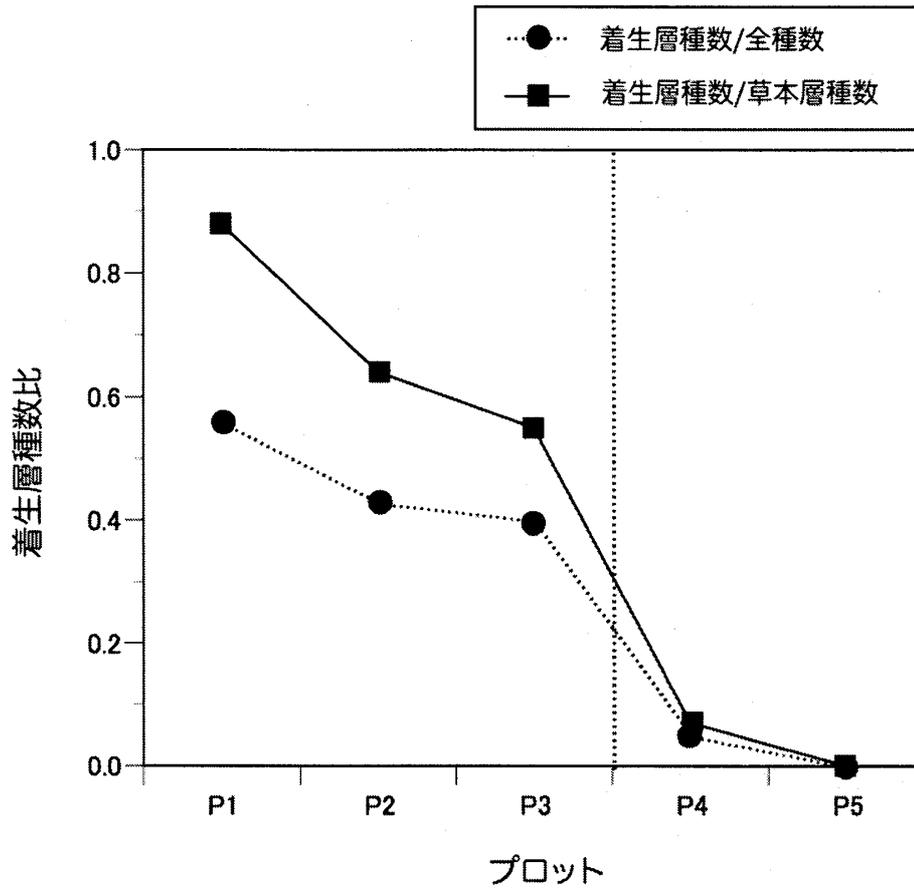


図 12. 標高別の着生層種数比の変化。全種数に対する着生層種数 (●) と草本層種数に対する着生層種数 (■) を示す。

Figure 12. Ratio of species number of epiphyte layer. Ratio of species number of epiphyte layer to total species number are indicated by ●, and to species number of herb layer are shown by ■.

表1a データロガー設置場所のGPSデータ

	Position	Altitude
S1	N24 14.040 E141 27.816	919 m
S2	N24 13.940 E141 27.691	747 m
S3	N24 13.834 E141 27.536	507 m
S4	N24 13.642 E141 27.610	368 m
S5	N24 13.171 E141 27.498	1 m

表1b プロット設置場所のGPSデータ

	Position	Altitude
P1-0m	N24 14.077 E141 27.815	911 m
P1-30m	N24 14.084 E141 27.802	901 m
P2-0m	N24 13.949 E141 27.704	769 m
P2-20m	N24 13.942 E141 27.695	746 m
P3-0m	N24 13.835 E141 27.538	521 m
P3-10m	N24 13.837 E141 27.528	501 m
P4-0m	N24 13.725 E141 27.557	375 m
P4-30m	N24 13.713 E141 27.547	327 m
P5-0m	N24 13.684 E141 28.103	59 m
P5-30m	N24 13.691 E141 28.117	56 m

表2a 6月19日16:00～25日8:00の気温(°C)の変化

標高	平均	最大値	最小値
0m	29.0	33.4	24.4
368m	25.5	29.8	22.4
521m	24.4	29.6	21.4
747m	23.0	27.1	19.3
916m	22.6	28.6	18.0

表2b 6月19日16:00～25日8:00の相対湿度(%)の変化

標高	平均	最大値	最小値
0m	78.1	89.0	61.4
368m	91.5	96.8	69.7
521m	94.4	98.4	72.1
747m	97.4	99.6	81.8
916m	94.0	98.5	67.1

表 3a 標高別に設置されたプロットごとの木本層(胸高 1.3m 以上)の群落組成。優占種:* (Ohsawa 1984)

	P1	sd	P2	sd	P3	sd	P4	sd	P5	sd	ANOVA
木本調査面積 (m ²)	300		100		100		150		300		
草本・着生植物調査面積 (m ²)	150		100		100		75		75		
標高 (m)	911		769		521		375		59		
斜面方位	N80W		S40W		N20W		S20E		S10E		
最大傾斜(°)	37		40		33		23		30		
平均傾斜(°)	28.7	6.6	32.8	5.0	28.7	5.7	15.8	5.3	19.0	10.4	
土壌深度 (cm)	94.4	34.1	68.0	30.2	86.8	39.1	30.3	8.6	26.8	12.6	++
表層土壌水分 (12cm)	45.8	16.8	12.8	2.2	17.4	3.5	15.3	6.4	8.1	1.4	++
下層土壌水分 (20cm)	40.3	9.1	23.3	5.4	17.5	2.6	16.4	5.3	7.8	1.7	++
Sp No	7		5		5		7		3		
種名 / 学名	RBA (%)		RBA (%)		RBA (%)		RBA (%)		RBA (%)		
常緑高木											
コブガシ <i>Machilus kobu</i>	40.7	*	39.4	*	92.0	*	2.9				
オオバシロテツ <i>Boninia grisea</i>					4.8		24.9	*			
チギ <i>Elaeocarpus sylvestris</i> var. <i>pachycarpus</i>							59.0	*			
タコノキ <i>Pandanus boninensis</i>							12.1		6.5		
アカテツ <i>Planchonella obovata</i>							0.7		40.0	*	
常緑低木											
ヒサカキ <i>Eurya japonica</i>	2.2		5.9								
トキワイヌビワ <i>Ficus boninsimae</i>	1.3		6.1		0.6						
シマイズセンリョウ <i>Maesa montana</i> var. <i>formosana</i>	0.3		0.0		0.0						
ノボタン <i>Melastoma candidum</i>	0.0										
オオバシマムラサキ <i>Callicarpa subpubescens</i>							0.1				
落葉高木											
センダン <i>Melia azedarach</i>							0.3		53.4	*	
シダ植物											
エダウチヘゴ <i>Cyathea tuyamae</i>	49.6	*	48.6	*							
マルハチ <i>Cyathea mertensiana</i>	5.9				2.5						
総計	100.0		100.0		100.0		100.0		100.0		

ANOVA: P<0.01++

表 3b 標高別に設置されたプロットにおける草本層(胸高 1.3 未満)の群落組成。優占種:* (Ohsawa 1984)

	P1	P2	P3	P4	P5
植被率 (%)	73.3	92.5	50.0	70.0	71.7
Sp No	16	14	11	14	13
Sp No/(100m ²)	10.7	14.0	11.0	18.7	17.3
Evenness (J')	0.714	0.619	0.248	0.271	0.480
Diversity index (H')	帰化種 1.979	1.634	0.595	0.715	1.232
種名 / 学名	種 RD(%)	RD(%)	RD(%)	RD(%)	RD(%)
一年生草本					
オニタビラコ <i>Youngia japonica</i>		0.0			
イヌホオズキ <i>Solanum nigrum</i>	@			0.1	1.5
シンクリノイガ <i>Cenchrus echinatus</i>	@				1.4
ナンカイウスベニニガナ <i>Emilia fosbergii</i>				0.0	0.1
多年生草本					
ウミノサチスゲ <i>Carex augustini</i>	26.5 *	2.1	0.3	0.1	
ナンバンカラムシ <i>Boehmeria nivea</i> var. <i>nivea</i>	15.9 *	41.1 *	0.9	1.7	66.0 *
ススキ <i>Miscanthus sinensis</i>	10.6 *				
ムニンホオズキ <i>Lycianthes boninensis</i>	3.2				
ヌマダイコン <i>Adenostemma lavenia</i>	2.7				
シマゴシヨウ <i>Peperomia boninsimensis</i>	0.1		0.2		
イオウクマタケラン <i>Alpinia nakaiana</i>		0.1	5.2		
エダウチチヂミザサ <i>Oplismenus compositus</i>			0.0	1.0	6.0
シマイノコヅチ <i>Achyranthes obtusifolia</i>					4.0
イネ科 sp. Gramineae sp.	@				1.2
スベリヒユ <i>Portulaca oleracea</i>	@				0.8
ケカタバミ <i>Oxalis corniculata</i> var. <i>trichocaulon</i>					0.1
ツル植物					
ムニンカラスウリ <i>Trichosanthes ovigera</i> var. <i>boninensis</i>	0.8	0.0	0.3	0.1	
フウトウカズラ <i>Piper kadsura</i>		0.3	3.9	0.1	
ノアサガオ <i>Ipomoea indica</i>		0.2		0.1	1.7
セイタカイワヒメワラビ <i>Hypolepis alpina</i>	20.2 *				
オガサワラハチジョウシダ <i>Pteris boninensis</i>	3.5	0.9	2.5	0.9	0.1
イワガネゼンマイ <i>Coniogramme intermedia</i>	0.7				
ナンカイシダ <i>Asplenium micantifrons</i>	0.6				
コクモウクジャク <i>Diplazium virescens</i> var. <i>virescens</i>	0.0				
オオシケシダ <i>Deparia bonincola</i>		26.0 *			
エダウチヘゴ <i>Cyathea tuyamae</i>		14.2 *			
シマオオタニワタリ <i>Asplenium nidus</i>		4.9	86.6 *	82.7 *	1.7
ホソバクリハラン <i>Lepisorus boninensis</i>			0.1		
タマシダ <i>Nephrolepis cordifolia</i>				0.7	
ヤンバルタマシダ <i>Nephrolepis hirsutula</i>				0.6	
落葉高木					
センダン <i>Melia azedarach</i>					15.5
常緑低木					
シマイズセンリョウ <i>Maesa montana</i> var. <i>formosana</i>	14.2 *	1.4	0.0		
トキワイヌビワ <i>Ficus boninsimae</i>	0.5	5.8			
イオウトウキイチゴ <i>Rubus boninensis</i>	0.5	2.8			
ノボタン <i>Melastoma candidum</i>	0.1				
オオバシマムラサキ <i>Callicarpa subpubescens</i>				1.5	
常緑高木					
タコノキ <i>Pandanus boninensis</i>				10.3	
総計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表 3c 標高別に設置されたプロットにおける着生層の群落組成。優占種：* (Ohsawa 1984)

	P1	P2	P3	P4	P5
Sp No	14	9	6	1	0
Evenness (J')	0.751	0.715	0.607	0	
Diversity index (H')	1.982	1.571	1.088	0	
種名 / 学名	RD(%)	RD(%)	RD(%)	RD(%)	RD(%)
多年生草本					
ウミノサチスゲ <i>Carex augustini</i>	12.6 *	16.9 *	12.6		
シマゴシヨウ <i>Peperomia boninsimensis</i>	0.6	2.9	8.0		
ナンバンカラムシ <i>Boehmeria nivea</i> var. <i>nivea</i>	4.2	2.2	1.1		
ムニンホオズキ <i>Lycianthes boninensis</i>	0.2				
ラセイトソウ <i>Boehmeria biloba</i>	2.8				
ケカタバミ <i>Oxalis corniculata</i> var. <i>Trichocaulon</i>		0.5			
ツル植物					
ムニンカラスウリ <i>Trichosanthes ovigera</i> var. <i>boninensis</i>	0.2				
フウトウカズラ <i>Piper kadsura</i>		1.3			
シダ植物					
ナンカイシダ <i>Asplenium micantifrons</i>	26.8 *				
タマシダ <i>Nephrolepis cordifolia</i>	21.9 *	7.5			
オガサワラモクマオ <i>Boehmeria boninensis</i>	11.1 *				
ホソバクリハラン <i>Lepisorus boninensis</i>	5.2	31.4 *	12.9		
オオシケシダ <i>Deparia bonincola</i>	0.5				
オガサワラハチジョウシダ <i>Pteris boninensis</i>	0.1		0.6		
シマオオタニワタリ <i>Asplenium nidus</i>		35.3 *	64.8 *	100.0 *	
シマキクシノブ <i>Pachypleuria trifoliata</i>		1.9			
落葉低木					
トキワイヌビワ <i>Ficus boninsimae</i>	1.4				
常緑低木					
シマイズセンリョウ <i>Maesa montana</i> var. <i>formosana</i>	12.6 *				
総計	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0