

温湿度環境からみた南北硫黄島の雲霧林の位置づけとその構造

Comparative Study for Cloud Forests Formed by Evergreen Broad-Leaved Trees with Reference to Temperature and Humidity Conditions on the Top of the Minami and Kita Iwo-To islands

朱宮丈晴

Takeharu Shumiya

Abstract. The annual temperature and humidity data obtained from the Kita-Iwo-To Island survey from 2008 to 2009 revealed the altitudinal annual temperature variation and humidity distribution on Kita-Iwo-To Island (792 m) and estimated the temperature and humidity environment of the cloud forest on the summit of Minami-Iwo-To Island (916 m). From the Warmth Index (WI), it was found that the lower elevations were in the subtropical zone and the higher elevations were in the warm-temperate zone, and that the cloud forest consisting of evergreen broad-leaved trees was formed with high humidity throughout the year from ca.500 m above sea level to the top of the mountain. The relationship between temperature and vegetation in the boundary zone between the tropical and temperate zones along the Izu-Ogasawara-Mariana Island Arc, including the Ogasawara Archipelago, was examined, and it was estimated that the cloud forest at the top of the Iwo Islands has a temperature environment similar to that around Hachijo-Jima Island, with lower temperatures in winter. It is estimated that the cloud forest at the top of the Iwo Islands is similar to that around Hachijo-Jima Island, with lower temperatures in winter. The community composition and structure of cloud forests in Kita- and Minami-Iwo-To Islands were clarified. We compared the cloud forest of Minami-Iwo-To Island with other evergreen broad-leaved forests, focusing on the stratification and bud types. In the cloud forest of Minami-Iwo-To Island, the upper layer was composed of *Machilus Kobu* with scaled-buds, and the lower layer was occupied by *Eurya japonica* with hypsophyllary-buds and *Maesa tenera* with naked-buds. On the other hand, near the summit of Kita-Iwo-To island, the forest lacked an upper layer and was dominated by the lower-height *Eurya japonica*. It was similar to the stratification of evergreen broad-leaved forests on Yakushima Island, where the same subtropical/warm-temperate evergreen broad-leaved forests were found. In this study, we found that the number of species on Minami-Iwo-To Island was small and speciation was not advanced, but the basic community structure of an evergreen broad-leaved forest was considered to have developed.

Key words: 雲霧林、硫黄列島、遞減率、温量指数、芽タイプ、常緑広葉樹

Cloud forest, Iwo islands, lapse rate, warmth index, bud type, evergreen broad-leaved trees
mountain.

標高による気温の変化

南硫黄島（最高標高 916 m）や北硫黄島（同 792 m）を含む硫黄列島（火山列島）は、硫黄島（同 161 m）を除き小笠原諸島内でもっとも標高の高い海洋島かつ山岳島でもある。小笠原群島の父島の最高峰の中央山が 317.9 m、母島の最高峰の乳房山が 462.6 m であることから、南硫

黄島や北硫黄島は、小笠原諸島での鉛直方向の気象観測を行う上で他に得難い観測島としてみることもできる。

南硫黄島は原生自然環境保全地域として、入域が厳しく制限されており、気象データの実測を行うことは事実上困難である。一方、北硫黄島は国立公園の特別保護地区となっているが、小笠原支庁による定期的な調査が実施されるなど、比較的観測しやすい環境となっている。

2008 年と 2009 年に、北硫黄島調査が小笠原支庁により実施された際に、標高別に 5 つの気象観測器（気温と湿

度)を設置し、初めて1年間の標高別気温と湿度データを得ることができた(小笠原支庁, 2008; 2012)。

本論文では、このデータを使用して南硫黄島における垂直方向の気温の年変動や湿度分布を明らかにするとともに、小笠原群島を含む伊豆-小笠原-マリアナ島弧の緯度傾度に沿った熱帯と温帯の境界域にある気温と植生との関係を検証する。

垂直分布

ここで示す南硫黄島の気温は、北硫黄島の実測値に基づいて高標高域の気温通減率から計算された推定値である。南硫黄島(推定値)における標高別の年間の気温変化について最高気温、最低気温、平均気温、および植生帯を決めるとされる積算温度(温量指数 WI)、年較差(最寒月平均気温と最暖月平均気温の差) 温量指数から判定された植生帯区分を表1に示す。

小笠原群島に広くみられる常緑広葉樹林は一般的に積算温度が 85℃月から 180℃月以上(吉良, 1948)で、かつ最寒月平均気温が-1℃以上の地域に分布することが知られている(Ohsawa, 1990)。それ以下になると常緑広葉樹は実をつけることができなくなり、落葉広葉樹や針葉樹など寒さに適応した種群にとってかわる。

南硫黄島の山頂付近の最低気温は1月の6.5℃で積算温度 152.4℃月だったので、山頂付近まで常緑広葉樹が生育できる温度であり、実際に山頂部でもヒサカキやコブガシ(タブノキに類似)が見られた。熱帯と温帯の間で、熱帯と比較して冬の寒さが厳しくなる気候帯を亜熱帯(温量指数 180~240℃月)としているが、年較差のない熱帯の気温(図3、サイパン参照)と比較して年較差が8℃~10℃になる南硫黄島は、亜熱帯の温度領域に浮かぶ山岳島であることがわかる(図1)。

気温は標高が上がるにつれて低下するが、南硫黄島では

表1. 2008年6月~2009年6月までの北硫黄島における標高別気温(北硫黄島の実測値に南硫黄島山頂部の推定値を補完)。

標高 (m)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	平均気温 (°C)	温量指数 WI (°C月)	年較差 (°C)	気候帯	備考
28	36.0	14.5	23.7	224.4	8.8	亜熱帯	
231	35.4	12.9	22.3	207.6	8.9	亜熱帯	
454	33.9	11.0	20.3	183.6	9.3	亜熱帯	
672	33.4	9.2	19.7	175.6	9.3	暖温帯	
795	35.4	7.4	18.5	161.8	10.2	暖温帯	
916	33.7	6.5	17.5	152.4	10.2	暖温帯	推定値

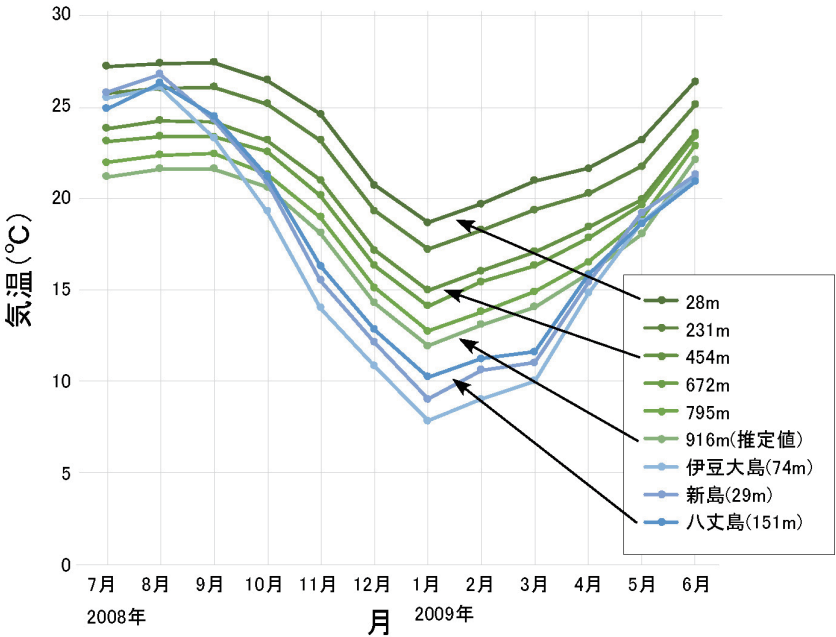


図1. 南硫黄島における1年間の標高別月平均気温(2008年7月~2009年6月)。(北硫黄島の実測値に南硫黄島山頂部の推定値を補完)。

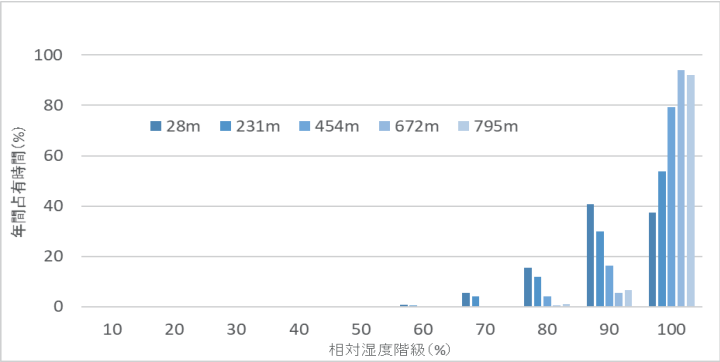


図2. 北硫黄島における1年間の標高別湿度分布。

標高 500 m 付近を境に暖温帯に相当する温度領域となることが、積算温度からも推定された。実際に 500 m を境にタコノキ *Pandanus boninensis* やアカテツ *Planchonella obovata*、ヤロード *Ochrosia hexandra* などの熱帯性植物は見られなくなり、ヒサカキやコブガシといった暖温帯に見られる種群に変化する。標高別の湿度分布をみると北硫黄島の標高 500 m 以上では、湿度 90 % 以上になる日が年間の

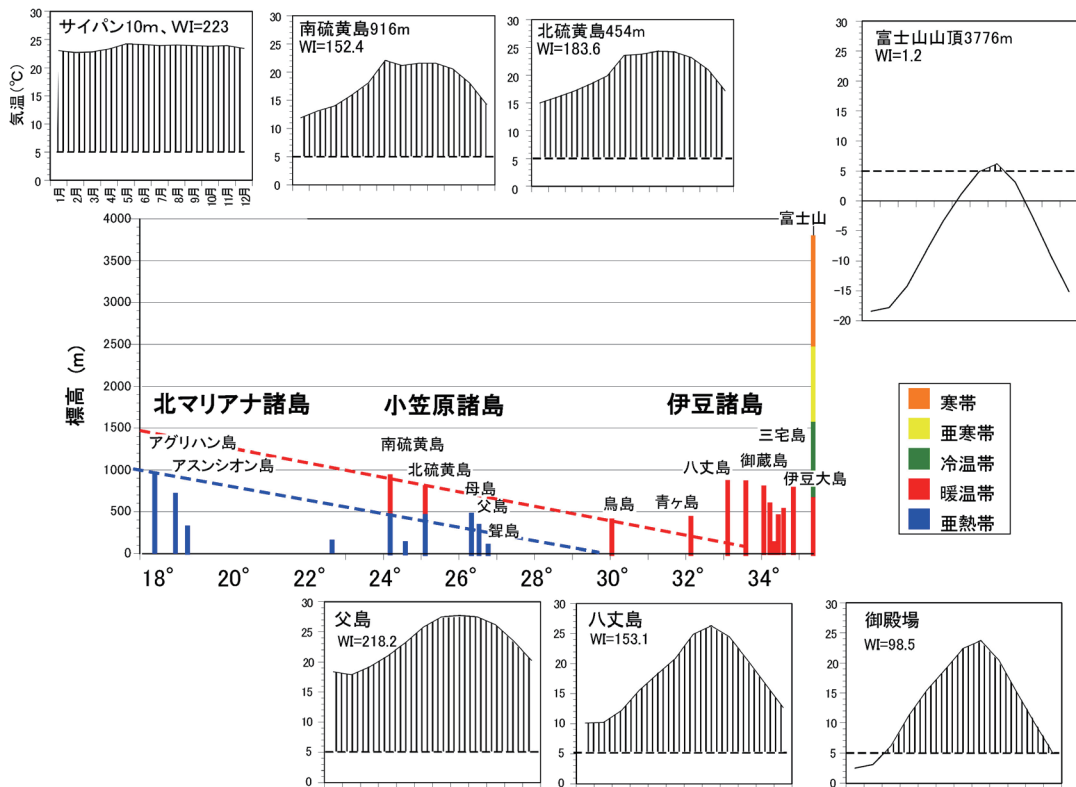


図3. 緯度傾度に沿った積算温度の等値線と各地の年間の気温変化。

92 %に達していた。暖かく湿った空気が急峻な地形により上昇し、気圧の低下とともに膨張し水分を含む空気が冷やされるため、雲霧が形成されやすく降雨に加えて雲霧により年間を通して涵養されることで、多くの着生植物が生育する雲霧林が形成されることがわかっている(図2)。

水平分布

気温の逓減率から、鉛直方向では標高 1,000 m ごとに気温は約 6 °C 低下するが、水平方向では北方に 1,000 km 移動しないと 6 °C の気温低下が起これないので、一般に水平分布では植生の移行が緩やかである。その換算でいえば、南硫黄島の気温に相当する地域は 1,000 km (緯度で 10 度分に相当) 北の八丈島周辺ということになる。実際に八丈島の標高 151m にある気象観測所のデータによると平年値を元にした積算温度は 153.1 °C 月となっている。ただし、最寒月平均気温は 10.1 °C で年較差は 16.2 °C に達する。

一方、南に目を向けると、北緯 18 度付近に北マリアナ諸島があり、諸島内で最も標高が高いアグリハン島(965 m)がある。先の水平方向の換算から 1,000 km 南に 2,000 m 以上の山岳地があれば、相当する温度領域があると推定されるが、実際には、南半球のニューギニア島(最高峰 4,884 m)まで存在しない。

地理的に比較的近いサイパン(北緯 15 度)においては、年較差がなく積算温度 223 °C 月となる熱帯に近い亜熱帯に相当する温度領域になり、アグリハン島は 600 m 以上が雲霧林となっているが、逓減率から推定すると全島が

亜熱帯の温度領域に入ると考えられる。

南硫黄島の山頂部の積算温度 150 °C 月を指標にして、伊豆—小笠原—マリアナ島弧に並ぶ島の配列と植生の垂直分布をみても、暖温帯の領域は南硫黄島と北硫黄島に見られ、標高の低い小笠原群島の父島、母島には該当域は存在せず、南硫黄島と北硫黄島の標高 500 m 以上の温度領域は、伊豆諸島の八丈島、御蔵島の付近と相同であることがわかる(図3)。

このことから、硫黄列島の雲霧林の構成種群は、南硫黄島山頂部(最寒月平均気温 11.9 °C)の冬の寒さに耐性がある種特性をもつ種群であることを考慮すれば、南側のマリアナ諸島から海流や風や鳥により侵入したというよりも、北側の暖温帯から風や鳥の移動とともに移入したと考えると妥当性がある。

南硫黄島の標高に伴う植生パターン 群落組成と群落高

南硫黄島は海洋島(367 ha、標高 916 m)であることから、成立する植生は、海流や鳥や風などにより到達できた限られた種群からなっている。2017 年の調査から維管束植物はシダ植物 44 種、被子植物 91 種で 135 種が報告された(高山ほか, 2017)。これらの種組成の比較から、南硫黄の植生は、主に琉球や台湾のフロラと類似しているとされ、加えて日本本土やミクロネシアから一部の種が付加されて島の植物相が成り立っているとされている。歴史の古い小笠原群島と比較すると、植物の種分化や環境条件に対応した植物群落の分化があまり進んでいないと

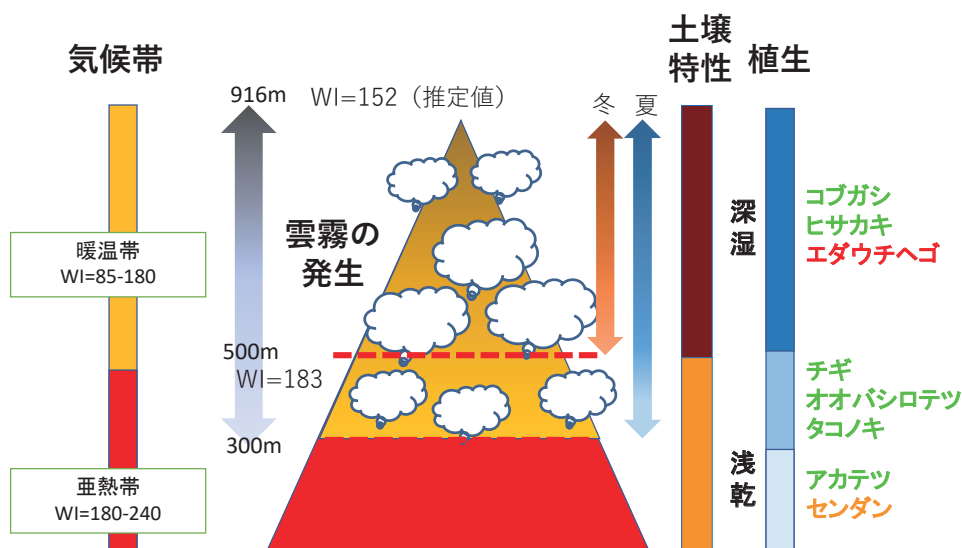


図4. 南硫黄島の植生垂直分布.

されている(梶・滝口, 1983; 清水, 1989)。

南硫黄島は亜熱帯に相当する緯度に位置しており、海洋から突き出した山岳島であり、台風や前線に伴う降雨もあるが、基本的には卓越する北東貿易風による北東からの風が、山岳島特有の斜面により急激に上昇することにより発生する雲霧により標高500m以上が涵養される。雲霧が発生する標高500mについては、標高別の年平均気温から通減率を求めると500m以上では $-0.97^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、500m以下では $-0.80^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ となり、標高500mを境に通減率が変化することに基づく。ただし、海岸部の空気の気温と露点の差を基準に通減率 $-0.80^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ から計算された高度を露点に達する高度(雲底高度)と仮定して年間の変動を見ると、夏は300m～400mと低いが、冬は400m～500m付近に上昇することから、300m～500mは雲霧の移行帯とみることできる(朱宮未発表)。

300m以下の低地部の気候については、北硫黄島海岸部の年平均気温 25.5°C と南鳥島(同程度の緯度に位置し気象データの存在する)の年間降水量平年値1,052.8mmから推定すると、300m以下では熱帯サバナ気候に相当する乾燥した気候と考えられた。実際に標高に伴う植生垂直分布をみてみると、山頂からコブガシ・エダウチヘゴ群落、コブガシ群落、チギ・オオバシロテツ群落、アカテツ・センダン群落が見られた。低木種の分布なども考慮に入れるとコブガシ・エダウチヘゴ群落は600m～900m、コブガシ群落は400m～600m、チギ・オオバシロテツ群落は300m～500m、アカテツ・センダン群落は300m以下に成立していた(図4)。常緑高木種であるコブガシは標高400m以上で林冠を構成する種となっているが、標高や立地により樹高3.6mから8.0mまで大きく変化した。同様にチギ *Elaeocarpus zollingeri* var. *pachycarpus* は3.0mから8.5m、オオバシロテツ *Melicope grisea* は3.0mから7.5mと樹高が変化した。常緑低木種とされるヒサカキは2.2m～5.0m、トキワイヌビワ

Ficus boninsimae は2.0m～5.5m、シマイズセンリョウは1.5m～3.0m、常緑高木種と比べ大きな樹高の変化を示さなかった。低標高に分布するアカテツ *Planchonella obovata* やセンダン *Melia azedarach* は他の地域では高木種となる種群であるが、樹高は5m以下であった。タコノキは低標高ではアカテツやセンダンなどと林冠を共有していたが、高標高域にいくと群落の下層に位置し、600m付近まで見られた。主要な群落構成種群については、低標高域はアカテツやヤロードといった東南アジア熱帯からの種群やオオバシロテツのようなオセアニアからの種群からなっている。高標高域の雲霧林を構成する種群は、コブガシがタブノキ、チギがホルトノキ *Elaeocarpus zollingeri* var. *zollingeri*、トキワイヌビワがイヌビワ *Ficus erecta* に近縁の種群であり、ヒサカキ、シマイズセンリョウからなることから、種数は少ないものの本土の照葉樹林をコンパクトにしたような構造がみられた。

常緑広葉樹林の階層構造

一般的に、常緑広葉樹は気温の低下などの環境ストレスへの生態学的な適応としてリーフサイズ、葉比重(SLW)、芽タイプ、分枝様式などの形態学的特性として現れるだけでなく、階層構造、遷移、植生帯などへの出現様式が同調するなど生態学的特性としても対応関係が知られている(Ohsawa & Nitta, 1997)。

分布北限に到達する常緑広葉樹林を照葉樹林と呼ぶが、冬の寒さや乾燥に適応してリーフサイズは中形葉($4500 \sim 182,255\text{mm}^2$)、亜中形葉($2,025 \sim 4,500\text{mm}^2$)、小形葉($225 \sim 20,255\text{mm}^2$)とより小さく、葉はより厚くなる傾向がある。北限の常緑樹は冬芽を作るが、冬芽の保護器官の数から裸芽、苞芽(ヒブソフィル芽)、鱗芽というように変化し、より厳しい環境になるに従い保護器官の多い芽を持つ種群が多くなる傾向がある(Nitta & Ohsawa, 1998)。

階層構造に注目すると低木層を構成する種群は小形葉

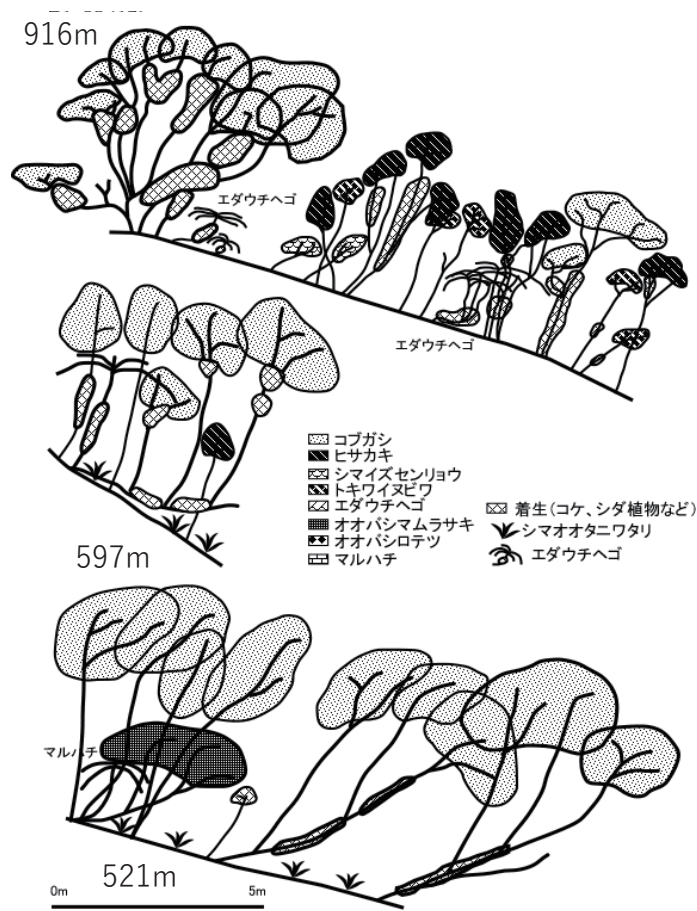


図5. 南硫黄島の群落断面図.

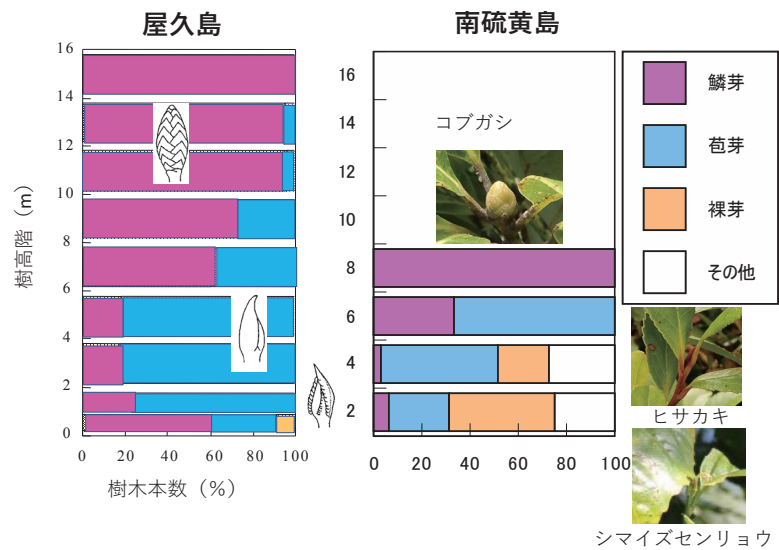


図6. 屋久島の照葉樹林と南硫黄島の山頂付近群落の階層構造と芽タイプ

で苞芽をもつ種群であるハイノキ・ヤブコウジ群からなり、高木層を構成する種群は、亜中形葉で鱗芽をもつ種群であるクスノキ・カシ群が主体となる。遷移系列や地形配列においてもハイノキ・ヤブコウジ群は遷移初期、尾根上といった厳しい環境に出現するのに対して、クスノキ・カシ群は遷移後期、斜面や谷で林冠を構成するといふように様々なストレス傾度に沿った出現傾向が見られる (Ohsawa & Nitta 1997; 朱宮, 2006)。

そこで、南硫黄島の雲霧帯の常緑広葉樹林の特性を明らかにするために構成種群を機能型に区分し、階層構造状の位置や芽タイプの分布様式に注目し、解析を行った。

標高 500 m、600 m 付近のコブガシ林の群落断面図をみると林冠をコブガシ (クスノキ科) が優占し、下層にオオバシマムラサキ *Callicarpa subpubescens* (シソ科)、オオバシロテツ (ミカン科)、ヒサカキ (ツバキ科)、マルハチ *Cyathea mertensiana* (シダ植物) が位置しているのがわかる (図5)。

山頂付近では、コブガシの優占度は低くなり、その下層ではヒサカキ、トキワイヌビワ (クワ科)、エダウチヘゴ *Cyathea aramaganensis* (シダ植物)、シマイズセンリョウ (ヤブコウジ科) が占めることがわ

かった。芽タイプは、コブガシは鱗芽、ヒサカキ、トキワイヌビワ、チギ (ホルトノキ科) は苞芽、オオバシマムラサキ、アカテツ (アカテツ科)、シマイズセンリョウ (ヤブコウジ科) は裸芽となっていた。そこで、樹高階 (2 m) ごとの本数に基づく芽タイプの占有率を求めると図6のようになった。

比較のために同じ亜熱帯・暖温帯常緑広葉樹林が見られる屋久島の低地における照葉樹林の樹高階分布を示した。もちろん、大陸島である屋久島の照葉樹林構成種は 200 種にもなり、南硫黄島における 10 種程度とは全く異なり、群落の高さも異なる上の制約からブナ科の種群を欠くものの、林冠に鱗芽をもつクスノキ・カシ群からなり、下層に苞芽や裸芽をもつハイノキ・ヤブコウジ群が見られるといった特徴から類似の構造がみてとれる。このことから、群落分化が進んでいないとされていた南硫黄島の植物群落であるが、種数



図 7. 南硫黄島の 600 m 付近の雲霧林の林内。



図 8. 南硫黄島の山頂付近の雲霧林。

は少なく種分化は進んでいないものの基本的な照葉樹林の群落構造が発達していると考えられた (図 7)。

衰退する山頂雲霧林？

小笠原諸島において 20 世紀中の気候の長期変動でもっとも顕著なものは気候の乾燥化であるとされ、気温や降水量の変化、盛夏の長期化、梅雨明け直後の乾燥期の出現頻度の増加が知られている (吉田ら, 2006)。

奥富 (1984) によれば、南硫黄島について「山頂のコブガシーククモウクジャク群落では、林冠は暴れ木的な樹形を持ったコブガシが圧倒的に優勢で、エダウチムニンヘゴとかヒサカキなどをわずかに交えるに過ぎない。低木層にはシマイズセンリョウやトキワイヌビワが出現しているが劣勢である。草本層はウミノサチスゲ *Carex augustini* などの種子植物も若干は出現するが、全くといってよいほどシダ植物の世界である。」とされ、30 年以上前の調査で山頂付近の雲霧林に関して記述されていることから推察すると、当時の山頂付近は 500 m 付近のコブガシ林のようなうっ閉した林冠をもつ森林が見られたのではないと思われる。2017 年の調査では、コブガシの分布は調査ルート上では限られた範囲だけであり、低木層のヒサカキやトキワイヌビワが優占する森林に変容しつつあるのではと危惧された (図 8)。

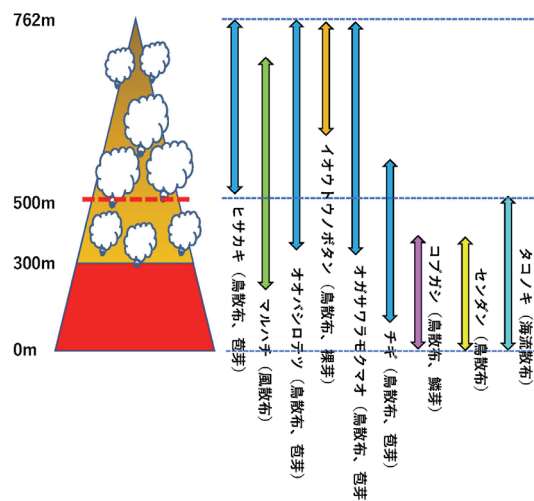


図 9. 北硫黄島の主要な構成種の垂直分布。

北硫黄島の標高に伴う植生パターン

群落組成

2019 年の調査によって、北硫黄島 (557 ha, 標高 792 m) における維管束植物は、シダ植物 52 種、裸子植物 1 種、被子植物 118 種で合計 171 種が記録された (加藤・後藤, 2020)。

植物の生活形ごとに組成の違いをみると、低標高では、チギ (ホルトノキ科)、オガサワラビロウ *Livistona boninensis* (ヤシ科)、ウラジロエノキ *Trema orientalis* (アサ科)、モモタマナ *Terminalia catappa* (シクンシ科) などの常緑高木種 (優占度 RDB、65.0 ~ 100 %) が多く優占している。高標高域は、ヒサカキを中心とした常緑低木 (RDB、54.9 ~ 87.0 %) が一斉林をつくり、マルハチを中心とした木性シダ (RDB、27.6 ~ 45.1 %) が共存している。草本層、着生植物は、標高別の違いがはっきりせず、シダ植物の優占度が高く、タマシダ *Nephrolepis cordifolia* はどの標高にも見られた。

海岸部の標高 0 m ~ 200 m はモモタマナを優占種とし、テリハボク *Calophyllum inophyllum*、タコノキなどの海岸植生が見られた。標高 200 m ~ 500 m はチギ (苞芽) を共通の優占種としてマルハチ、オオバシロテツ (苞芽)、オガサワラビロウ、ヒサカキ (苞芽)、ウラジロエノキ (裸芽) など多種優占型の林分となっている。

標高 500 m ~ 山頂はヒサカキを共通の優占種としている。3 万坪と呼ばれている頂上火口平原の一角にあり凹地状で土壤水分量も高く湿潤な環境となっており、湿潤な立地にはマルハチが混生する林分となっていた。ルート沿いにはエダウチヘゴなども見られたことから、湿潤な立地では、ヒサカキ以外に木性ヘゴが林冠で共存すると考えられる (図 9)。

群落構造

北硫黄島の標高傾度に沿った群落構造の変容をみると

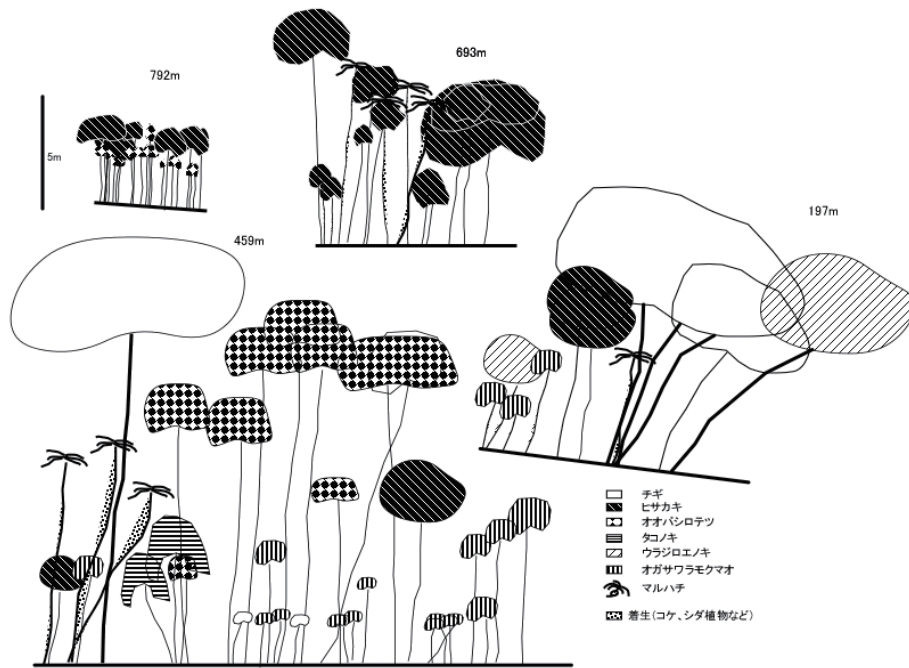


図 10. 北硫黄島の標高ごとの群落断面.

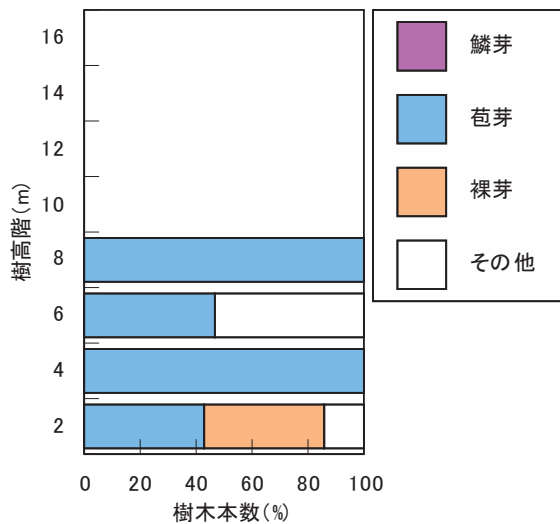


図 11. 北硫黄島の 693m 付近群落の階層構造と芽タイプ.

めに、標高ごとの階層構造の変化や樹高の変化をみた(図10)。山頂部は風衝地で樹高は最大 2.7 m となっており、常緑低木種のヒサカキが林冠を構成し、オオバシロテツが混生していた。標高 693 m でもヒサカキが 7 m と林冠を構成しており、マルハチ (5.6 m) と林冠を分け合っていた。標高 459 m ではチギ (13 m)、オオバシロテツ (11 m)、オガサワラビロウ (15 m) などの常緑高木種が林冠を構成し、ヒサカキ (5.7 m) やマルハチ (3.5 m) はその下層を構成していた。標高 197 m ではチギ (9 m)、ウラジロガシ *Quercus salicina* (7 m) が林冠を構成し、ヒサカキ (5.7 m)、マルハチ (3.1 m) が下層を構成していた。

こうした階層構造上の違いから、高標高域では、低木種が林冠を優占しているのに対して、低標高域では高木種と低木種が階層を分けて共存しているとみることがで



図 12. 北硫黄島の山頂付近のヒサカキ低木林.
(2008 年 6 月 19 日)



図 13. 北硫黄島の 693 m 付近のヒサカキ低木林.

きた。同様に樹高階 (2 m) ごとの本数に基づく芽タイプの占有率を求めると図 11 のようになり、南硫黄島とは異なり林冠を構成していた鱗芽をもつコブガシを欠き、代わりに苞芽をもつヒサカキが林冠を構成するといった構造がみられた (図 12, 図 13)。

外来植物の分布

2003 年の調査によれば、北硫黄島からは 35 種の外来植物が確認されている (山本ほか, 2005)。侵略性の高い種として、リュウキュウマツ *Pinus luchuensis*、ガジュマル、*Ficus microcarpa*、ドクフジ *Derris elliptica*、アオイマメ *Phaseolus lunatus*、タケダグサ *Erechtites valerianifolia*、コシロノセンダングサ *Bidens pillosa* var. *minor*、オオアレチノギク *Conyza sumatrensis* などが観察された。

外来種は、北硫黄島の全種数に対して 21.0 % を占めているとされる。外来植物の分布をみると、多くは戦前の民有地やその周辺に生育しているとされ、高標高域の森林内においては外来植物がほとんど生育していないことから、小笠原群島に比べて比較的良好な生態系が維持されているとされている (山本ほか, 2005)。

しかし、コブガシが分布しているにも関わらず高標高域に群落が見られないことは以前から謎とされ、過去の人為の影響も疑われている。南硫黄島の調査でも、崩壊地や高標高域への外来植物の侵入が観察され、雲霧林の変容も懸念されることから、今後も注視していく必要がある。

火山列島の雲霧林の位置づけ

熱帯山地雲霧林 (下部山地多雨 / 雲霧林、上部山地多雨 / 雲霧林) は、赤道から緯度 30 度までの山岳や島に出現するとされ、降雨だけでなく雲霧により涵養され成立した森林の総称であるとされる。一般的に、雲霧林の定義は様々で、空中湿度が高く、着生蘚苔類が顕著な森林は蘚苔林とも呼ばれる (奥富, 1984)。

雲霧林は雲や霧に頻繁に覆われる湿潤熱帯のすべての森林であり、水文、放射、気候、土壌、生態に影響する降雨以外の水滴 (horizontal precipitation) により涵養されている (Stadtmüller, 1987)。下部山地林や上部山地林における雲に覆われた森林 (Grubb & Whitmore, 1966) で通常 2,000m から 3,000m に帯状に見られる (Grubb, 1977)。島や海岸付近の山地ではより低い標高で見られる (Scatena *et al.*, 2010)。ラン、シダ植物、コケ類が枝や幹に着生している (Whitmore, 1984)。北緯 30° N ~ 南緯 30° S の範囲の熱帯、亜熱帯で見られる (Scatena *et al.*, 2010)。霧が涵養する水分は、水文、放射バランス、気候、土壌、生態現象に影響を与える (Stadtmüller, 1987; Hamilton *et al.*, 1995; Scatena *et al.*, 2010) などの特徴がある。

日本ではあまり研究が進んでいないが、海に面した孤立したピークや小さな島では、雲霧の発生により過飽和、日照不足などの環境条件により、より低い標高で上部山地林に見られるような樹高が低く矮性化した森林が見られる (van Steenis, 1972; Whitmore, 1984; Ohsawa, 1995; Bruijnzeel *et al.*, 1993)。

この現象は山塊効果 (Massenerhebung, mass elevation

effect もしくは telescoping effect) と呼ばれ、小さな島では大きな山に比べて気温の低下が著しいことによるとされており (van Steenis, 1972)、大きな山塊の熱帯山地雲霧林に相当する森林の圧縮や押し下げとして現出する生態現象であるとされる。約 1,000m 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、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とされる (Ohsawa, 1995)。近年では、山頂部に見られる森林の特徴は、気温の低下よりも雲霧の発生による湿度の増加が要因であることも示唆されている (Javis & Mulligan, 2010)。

熱帯や亜熱帯に浮かぶ島に成立する雲霧林は、暖かく湿った空気が島の斜面を上昇し急激に膨張し冷やされることによる。低標高域は気温が高く乾燥しているが、標高 2,000 m を超える山岳地をもつ大きな島では風上側の 1,000 m 以上に雲霧帯ができる (Ohsawa, 1995)。一方、上空からの下降気流は圧縮され気温が上がるため 2,000 m 付近に逆転層が形成されると安定化し、2,000 m 以上では再び乾燥する。カナリー諸島テネリフェ島・ラパルマ島 (del Arco Aguilar & Rodriguez Delgado, 2018)、ハワイ島・マウイ島 (Mueller-Dombois & Fosberg, 1998) などで見られ、雲霧林の樹高は 20 m ~ 30 m に達する。

ちなみに 2,000 m 以上では、カナリー諸島テネリフェ島の高山帯で *Genista benehoavensis* (マメ科)、*Adenocarpus viscosus* subsp. *spartioides* (マメ科) などの灌木林となる。ハワイ島の高山帯では、*Sophora chrysophylla* (マメ科)、*Myoporum sandwicensi* (ゴマノハグサ科)、*Vaccinium reticulatum* (ツツジ科) などの灌木林となる。

同じ島でもテネリフェ島のアナガ山地 (1,020 m) (Ohsawa *et al.* 2010) やオアフ島のカアラ山地 (1,225 m) (Corn, 1992) の尾根上では風衝や土壌の影響で雲霧林内は樹高数 m の低木林となる。

北マリアナ諸島の最高峰であるアグリハン島 (965 m) の 200m から山頂付近は雲霧がかかるが、トキワススキ *Miscanthus floridulus*、ジョガ (チギ)、エダウチヘゴ、時にヒサカキが見られるとのことで南硫黄島との類似性が高いとされる (大場, 1995)。

熱帯山地雲霧林の中のさらに上部には亜高山雲霧林が区別され、樹高 1.5 m-9.0 m となり小さな島や尾根と類似の群落構造が見られる。アナガ山地でも *Erica scoparia* (ツツジ科) 低木林、カアラ山地では、*Meterosideros polymorpha* (フトモモ科) 低木林など海洋島である場合には種数が少ないため一斉低木林になる傾向がある。

日本国内でも大陸島の奄美湯湾岳 (694 m) の山頂付近には雲霧がかかるとされるが、樹高 8m のタイミンタチバナ *Myrsine seguinii*、シキミ *Illicium anisatum*、シバニッケイ *Cinnamomum doederleinii* var. *doederleinii*、ムツチャガラ *Ilex maximowicziana* var. *mutchagara*、アデク *Syzygium buxifolium* などが混生する風衝低木林、徳之島井ノ川岳 (644 m) でアマミヒイラギモチ *Ilex dimorphophylla*、ミヤマシロバイ *Symplocos sonoharae* の風衝低木林、石垣島於茂登岳 (526 m) には 2 m 程度のリュウキュウチク *Pleioblastus lineari*、ナタオレノキ *Osmanthus insularis* の風衝低木林が見られる (宮脇編, 1989)。

雲霧林の中でも発生した雲霧が逆転層に達しない場合は山頂付近を覆う形となり、孤立した島や尾根筋に成立するため構成する樹種群が矮生化した風衝林や樹木の生育が阻害される場合には風衝草地となるようである。ちなみに、テネリフェ島やハワイ島のように2,000 mを超える場合、雲霧帯の上部はすぐに高山帯になるわけではなく、前者は *Pinus canariensis* (マツ科) や *Juniperus cedrus* (ヒノキ科)、後者は *Metrosideros polymorpha* や *Acacia koa* (マメ科) などの乾燥に適応した種群の混交林を経てから移行する(雲霧の移行帯)。

南硫黄島や北硫黄島の標高500 m以上に見られる雲霧林は、標高1,000 m未満の海洋島であり山頂部が雲霧で覆われるため、北硫黄島の山頂付近で見られたヒサカキ林のように風衝低木一斉林となるのが一般的である。南硫黄島ではコブガシ・ヒサカキ優占林のような標高1,000 m未満でも階層構造をもつ発達した林分が成立しており、これは常緑広葉樹林の群落分化の過程を知る上で貴重であり、世界的にみても特異な森林であるといえる。

引用文献

- Brijnizeel, L. A., M. J. Waterloo, J. Proctor, A. T. Kuitert & B. Kotterink, 1993. Hydrological observations in montane rain forest on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "Massenerhebung" effect. *Journal of Ecology*, 81: 145–167.
- del Arco Aguilar, M. & O. Rodriguez Delgado, 2018. Vegetation of the Canary Islands. 429pp. Springer, Switzerland.
- Grubb, P. J. & T. C. Whitmore, 1966. A comparison of montane and lowland rain forest in Ecuador II. The climate and its effects on the distribution and physiognomy of the forests. *Journal of Ecology*, 54: 303–333.
- Grubb, P. J., 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8: 83–107.
- Hamilton, L. S., J. O. Juvik & F.N. Scatena, 1995. The Puerto Rico tropical montane cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis. In Hamilton, L. S., J. O. Juvik & F.N. Scatena (eds.), *Tropical montane cloud forests*, pp. 1–16. Springer-Verlag, New York.
- Javis, A. & M. Mulligan, 2010. The climate of cloud forests. In Bruijizeel L.A., F. N. Scatena & L. S. Hamilton (eds.), *Tropical Montane Cloud Forests*. pp. 39–56. Cambridge University Press, New York.
- 梶幹男・滝口正三, 1983. 南硫黄島の植物群落の構造について. 環境庁自然保護局編, 南硫黄島原生自然環境保全地域調査報告書, pp. 191–221. 財団法人日本野生生物研究センター, 東京.
- 加藤英寿・後藤雅文, 2020. 北硫黄島の維管束植物. 小笠原研究, (47): 73–92.
- 吉良竜夫, 1948. 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて. 寒地農学, 2(2): 143–173.
- 宮脇編, 1989. 日本植生誌 沖縄・小笠原. 676pp. 至文堂, 東京.
- Mueller-Dombois, D. & F. R. Fosberg, 1998. *Vegetation of the tropical pacific islands*. 733pp. Springer, New York.
- Nitta, I. & M. Ohasawa, 1998. Bud structure and shoot architecture of canopy and understory evergreen broad-leaved trees at their northern limit in East Asia. *Annals of Botany*, 81: 115–129.
- 小笠原支庁, 2008. 北硫黄島動物調査報告書. pp. 31–50. 東京都小笠原支庁.
- 小笠原支庁, 2012. 北硫黄島自然環境調査報告書. pp. 56–67. 小笠原支庁土木課自然公園課.
- 大場達之, 1995. 伊豆・小笠原—マリアナ島弧のフロラと植生. 朝倉彰編, 北マリアナ航海探検記, pp. 219–240. 文一総合出版, 東京.
- Ohsawa, M., 1990. An interpretation of latitudinal patterns of forest limits in South and East Asian mountains. *Journal of Ecology*, 78: 326–339.
- Ohsawa, M., 1995. The montane cloud forest and its gradational change in southeast Asia. In Hamilton, L. S., J. O. Juvik & F.N. Scatena (eds.), *Tropical montane cloud forests*, pp. 163–170. Springer-Verlag, New York.
- Ohsawa, M. & I. Nitta, 1997. Patterning of subtropical/warm-temperate evergreen broad-leaved forests in East Asian mountains with special reference to shoot phenology. *Tropics* 6: 317–334.
- Ohsawa, M., T. Shumiya, I. Nitta, W. Wildpret & M. del Arco, 2010. Comparative structure, pattern and tree traits of laurel cloud forests in Anaga, northern Tenerife (Canary Islands) and in lauro-fagaceous forests of central Japan. In Bruijizeel L.A., F. N. Scatena & L. S. Hamilton (eds.), *Tropical Montane Cloud Forests*. pp. 147–155. Cambridge University Press, New York.
- 奥富 清, 1984. 南硫黄島(小笠原諸島)の植生. 環境庁自然保護局編, 南硫黄島原生自然環境保全地域調査報告書, pp. 151–189. 財団法人日本野生生物研究センター, 東京.
- Scatena, F. N., L. A. Bruijizeel, P. Bubba & S. Das, 2010. Setting the stage. In Bruijizeel L.A., F. N. Scatena & L. S. Hamilton (eds.), *Tropical Montane Cloud Forests*. pp. 3–13. Cambridge University Press, New York.
- 清水善和, 1989. 小笠原諸島にみる大洋島森林植生の生態的特徴. 宮脇昭編, 日本植生誌沖縄・小笠原, pp. 159–203.
- 朱宮丈晴, 2006. 地形に伴う植生パターン. 大澤雅彦・田川日出夫・山際寿一編「世界遺産屋久島」pp. 117–125.
- Stadtmüller T., 1987. Cloud forests in the humid tropics: A bibliographical review 81pp. The United Nations University and Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, Tokyo and Turrialba.
- 高山浩司・朱宮丈晴・川口大朗・加藤英寿, 2017. 南硫黄島の維管束植物. 小笠原研究, (44): 125–135.
- 山本保々・藤田卓・加藤英寿, 2005. 北硫黄島の外来維管束植物の分布とそれらが在来生態系に与える影響について. 小笠原研究年報, (28): 45–62.

吉田圭一郎・飯島慈裕・岡秀一, 2006. 小笠原諸島における気象観測研究. 小笠原研究年報, (29): 1-6.
van Steenis, C. G. G. J., 1972. The montane flora of Java. Leiden: the Netherlands: E.J. Brill.

Whitmore, T. C., 1984. Tropical rain forests of the Far East. 2nd ed. 352pp. Oxford Univ press, New York.