

C-01-2010

YIES Conference Report

山梨県環境科学研究所国際シンポジウム 2010

報 告 書

火山と植物

～富士山の植物の保護保全に向けて～

平成 22 年度

山梨県環境科学研究所
国際シンポジウム 2010 実行委員会

C-01-2010

YIES Conference Report

山梨県環境科学研究所国際シンポジウム 2010 報告書

火山と植物

－ 富士山の植物の保護保全に向けて －

平成 22 年度

山梨県環境科学研究所
国際シンポジウム 2010 実行委員会

C-01-2010

YIES Conference Report

**Proceedings of the International Symposium
“Plants and Volcanoes”**

– For the preservation and conservation of plants in Mt. Fuji –

**YIES, Fuji–Yoshida
September 9th –11th ,2010**

Takashi Nakano and Taisuke Yasuda (eds.)

Yamanashi Institute of Environmental Sciences.

目 次

はじめに

富士山南斜面エクスカーショント報告

「富士山南東斜面の森林限界ー1998年から2008年までの30年の変化ー」

大石このみ（静岡大学理学部）、崎尾均（新潟大学農学部）、富田美紀*, 増沢武弘（静岡大学理学部） ----- 1

富士山北斜面エクスカーショント報告

中野隆志（山梨県環境科学研究所） ----- 8

Pattern and process of vegetation change (succession) in recent volcanic landscapes of New Zealand and Hawaii.

Bruce D. Clarkson (University of Waikato, New Zealand)) and Beverley R. Clarkson (Landcare Research, New Zealand) ----- 9

Influence of the eruptions of Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) on the plant cover.

Sergei Yu. Grishin (Institute of Biology and Pedology, Russia Academy of Science, Russia) ----- 19

「三宅島 2000 年噴火後の植生変化と島の生態系保全について」

上條 隆志（筑波大学大学院生命環境科学研究科） ----- 30

「富士山の森林限界植生の変化」

山村 靖夫（茨城大学理学部） ----- 37

「火山起源の海洋島： 小笠原の植物の環境適応と環境変化に対する植生変化」

石田 厚（京都大学生態学研究センター） ----- 46

総合討論

Contents

Timberline on southeastern slope of Mt. Fuji — change from 1978 to 2008 — Konomi Oishi, Hitoshi Sakio, Miki Tomita and Takehiro Masuzawa	1
Report of Excursion in northern slope of Mt. Fuji. Takashi Nakano	8
Pattern and process of vegetation change (succession) in recent volcanic landscapes of New Zealand and Hawaii. Bruce D. Clarkson and Beverley R. Clarkson	9
Influence of the eruptions of Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) on the plant cover. Sergei Yu. Grishin	19
Vegetation change after the 2000 year eruption on Miyake-jima Island with implications for conservation of the island ecosystem. Takashi Kamijo	30
Vegetation dynamics in the forest limit on Mt. Fuji Yasuo Yamamura	37
Plant adaptation and vegetation response to changing environments at the Ogasawara, volcanic ocean islands Atsushi Ishida	46
Discussion	

はじめに

富士山は世界に誇る山岳であり、その貴重で豊かな自然は県民の大きな財産です。富士山は、火山であること、独立峰であること、標高が著しく高いこと、歴史が新しいことなど他の山岳に比べて特異で、そこに成立する生態系も他の山岳と比較し特性に富んでいます。さらに、富士山にはレッドデータブックに記載された動植物の絶滅危惧種、絶滅危惧植物群落が多く見られます。一方で、富士山は国内外によく知られた観光地であり、観光客の多くが訪れます。富士山五合目の富士山を特徴づけるこれらの植生は、観光客に強烈な印象を与えることで、非常に重要な観光資源であると言えます。

この貴重な富士山の自然を次世代に引き継いでいくことの重要性に鑑み、山梨県では、静岡県と共同で「富士山憲章」を制定し、「富士山を守る指標」を作成するなど富士山保全対策の推進を図っています。

このような背景から、「火山と植物 - 富士山の植物の保護保全に向けて - 」と題し、平成 22 年 9 月に山梨県環境科学研究所国際シンポジウム 2010 を開催しました。このシンポジウムでは、国内外の研究者を迎え、富士山フィールド討論会を行い、富士山の今後の研究について討論しました。また、講演会では、富士山はもちろん、国内外の火山で研究を行っている研究者から、ハワイ、ニュージーランド、カムチャッカ、三宅島、小笠原諸島父島、富士山火山での植生や植物の生態についての講演があり、富士山の自然について、より理解を深めることができました。さらに、パネルディスカッションでは、富士山はもちろん日本国内外の火山の生態系で問題となっている事例や、植物の保護保全の現状や問題点を聞くことにより、富士山の植物の保護、保全について議論することができました。

この度、シンポジウムの講演内容（フィールド討論会を含む）を報告書として出版することになりました。本報告書が、富士山の自然の特異性について認識を深めるとともに、富士山における植物の保護保全について考えるきっかけになることを期待しています。本研究所の富士山における今後の研究成果にも注目いただければ幸いです。

平成 23 年 1 月 9 日

山梨県環境科学研究所国際シンポジウム 2010 実行委員会
委員長 宮下 正範

富士山南東斜面の森林限界—1998 年から 2008 年までの 30 年の変化—

Timberline on southeastern slope of Mt. Fuji — change from 1978 to 2008—

大石このみ*, 崎尾均**, 富田美紀*, 増沢武弘*

*静岡大学理学部(〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷 836)

**新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター (〒952-2206 新潟県佐渡市小田 94-2)

E-mail: 大石このみ (polkadots_ghost@yahoo.co.jp)、増沢武弘 (sbtmasu@ipc.shizuoka.ac.jp)

Konomi Oishi* Hitoshi Sakio** Miki Tomita* and Takehiro Masuzawa*

*Department of Biology, Faculty of Science, Shizuoka University, 836, Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, Shizuoka, 422-8529)

**Sado Station, Field Center for Sustainable Agriculture and Forestry, Faculty of Agriculture, Niigata University, 94-2 Oda, Sado, Niigata, 452-2206, Japan.

E-mail Konomi Oisi (polkadots_ghost@yahoo.co.jp) 、 Takehiro Masuzawa (sbtmasu@ipc.shizuoka.ac.jp)

Timberline on southeastern slope of Mt. Fuji

Alpine timberline on southeastern slope of Mt. Fuji located on 2400 m above sea level. The slope is in the process of recovery from damage by the latest volcanic eruption from Hoei-Zan, in 1707 AD. This study site (35° 21'N, 138° 45'E) is situated on the timberline of southeastern slope of Mt. Fuji at about 2,400 m asl near the Hoei Crater. We showed the dynamics of the movement of alpine timberline on Mt. Fuji by monitoring from 1978 to 2008.

The timberline is composed of the following deciduous dwarf trees; *Alnus maximowiczii* Call., *Salix reinii* Franch. et Savat. and *Larix kaempferi* Carriere. The plant community above the timberline is composed of perennial herbs and below the timberline the community changes from the *Larix* forest to coniferous evergreen forests dominated by *Abies veitchii* Lindley and *Picea jezoensis* var. *hondoensis* Rehder. The ground surface substrate consists of scoria that is volcanic eruptions of Hoei in 1707. This scoria is easily moved by thaw and strong wind, and ground surface is very unstable.

As a result, the timberline has rapidly advanced upward for 30 years. Dominant tree species of the timberline, *Alnus maximowiczii*, *Salix reinii*, and *Larix kaempferi* were invaded into upper area of timberline. Particularly, there were a lot of seedlings of *Larix kaempferi* invaded into upper area (see Fig 1, 2, 3).

Geographical distribution of *Polygonum cuspidatum* from Mt. Fuji to Izu island.

Polygonum cuspidatum Siebold et Zucc. is a perennial herb widely distributed in the temperate zone of Asia. It grows at a wide range of altitudes, from lowlands to the alpine zone, as a pioneer plant. *Polygonum cuspidatum* is so variable in external morphology that several intraspecific classifications for the species have been proposed. *Polygonum cuspidatum* is distributed in the Izu islands.

Chloroplast DNA (cpDNA) sequence divergence has been used extensively at the interspecific level and higher. It is less commonly used for intraspecific studies, however, because of the slow evolutionary rate of sequence in the chloroplast genome.

In this study, we estimated the genetic differentiation and phylogenetic relationship among the populations of *Polygonum cuspidatum* from Mt. Fuji to Izu islands based on the nucleotide sequence variation of a region from the *rbcL* to the *accD* gene of cpDNA. Our aim was to elucidate the natural distribution of the plants.

In summary, *Polygonum cuspidatum* are differentiated according to their distribution and two varieties are differentiated genetically. More detailed study including an examination of nuclear genome phylogeny will be needed to understand these relationships (see Fig 4, 5, 6)..

Distribution of moss community and permafrost on summit of Mt. Fuji

Mt. Fuji is an independent mountain in central Honshu. The diameter of summit is about 600m. There are several peaks around the crater such as Kengamine (3776m) and Hakusandake (3756m) . Maximum air temperature in the summer season on the summit of Mt. Fuji approximately 10°C and at the freezing period it is reduced to -30°C. The ground of summit is covered by snow at the two-third period of the year. Therefore, the growing season of plants is short and permafrost is available. On the Mt. Fuji west-wind is flow throughout the year due to their westerlies and independent structure.

The soil of summit is stable for that reason *Pogonatum sphaerothecium*, *Racomitrium*, *Grimmia* etc. is widely distributed on this area. The distribution patterns of moss communities were investigated from 1998 to 2010. The distributions of mosses were not uniform on this area. There were higher vegetation covers of mosses on Kengamine, Kaminari-iwa, north and northeast slope of Hakusandake than other places of summit. The large communities of mosses form at the places, which is wetted by the dropping water of rock in summer.

About 20 species of mosses were distributed on the summit, out of them *Ceratodon purpureus* and *Bryum argenteum* were found on the Kengamine. The availability of permafrost was investigated from 1999 to 2010. The permafrost were found mostly on the Kengamine, Kaminari-iwa, Hakusandake and

Izudake in last of summer. The availability of permafrost was estimated by the measurement of soil temperature at 30cm, 50cm and 70cm. Almost permafrost were found at around the large communities of mosses. Therefore, it is assumed that the distribution of moss and permafrost is closely related to each other.

In recent years, seasonal frozen ground was partially distributed in summit area.

森林限界の 30 年間の変化

富士山南東斜面の森林限界は標高約 2400m に位置している。南東斜面は 1707 年の宝永の噴火による被害から回復している過程にある。調査地は、富士山南東斜面の森林限界、宝永火口近くに設置した。私たちは森林限界の動態を明らかにするために 1978 年から 2008 年に調査を行った。

森林限界はミヤマハンノキ、ミヤマヤナギ、カラマツによって構成されている。森林限界より上には多年生草本植物が生育しており、森林限界より下はカラマツ林からシラビソやトウヒが優占する針葉樹林へ移行していく。地表面は宝永の噴火の噴出物であるスコリアで覆われている。スコリアは雪どけや強風で移動しやすく、地表面は非常に不安定である。

調査の結果、森林限界は 30 年間で急速に上昇していることがわかった。森林限界の優占種であるミヤマハンノキ、ミヤマヤナギ、カラマツが森林限界より上へ上がっていた。特に森林限界より上でカラマツの実生が多く見られた（図 1、2、3 参照）。

イタドリの富士山から伊豆諸島までの地理的分布

イタドリはアジアの温暖な地域に広く分布している多年生草本である。低地から高山帯まで幅広い高度に先駆植物として分布する。イタドリの外部形態は非常に可変的なため、この種に対する種内の分類の再検討が提案されている。イタドリの仲間は富士山の標高 2,600m から伊豆半島・伊豆諸島にも分布している。

葉緑体 DNA (cpDNA) 配列の多様性は広く種間レベルまたはそれ以上で使われてきた。しかしながら、葉緑体ゲノム配列は進化の速度が遅いため、種内の研究に用いられることは一般的ではない。

この研究で、我々は日本のイタドリの個体群間の遺伝的分化と系統発生の関係性が、cpDNA の *rbcL* から *accD* までの遺伝子領域のヌクレオチド配列の変化に基づくと推測した。

本研究の目的は、富士山から伊豆半島・伊豆諸島にかけてのイタドリの分布と種分化を解明することであった。

結果として、イタドリは分布域による個体の形態に違いがあり、遺伝的に異なる 2 種類に分けられた。この関係を理解するためには、今後核ゲノム系統発生の実験を含む詳細な研究

が必要である（図 4、5、6 参照）。

富士山頂でのコケ群落と永久凍土の分布

富士山は本州中央に位置し、独立した山である。山頂の直径は約 600m。火口の周辺には剣ヶ峰（3776m）、白山岳（3756m）などのいくつかのピークが存在する。富士山頂における最高気温は夏で約 10℃、冰雪期間には−30℃まで下がる。地表面は、1 年の約 3 分の 2 の期間雪で覆われる。そのため、植物の生育期間は短く、永久凍土が存在可能である。富士山は偏西風と、その独立構造から年間を通して西風が吹いている。

山頂の土壌は安定しており、そのため *Pogonatum sphaerothecium*, *Racomitrium*, *Grimmia* などがこの地域に幅広く分布している。コケ群落の分布パターンを 1998 年から 2010 年にかけて調査した。コケの分布は地域内で一定ではなかった。剣ヶ峰、雷岩、白山岳の北斜面と北東斜面では他の場所よりもコケの植被率が高かった。大きなコケ群落は、夏に岩から水が滴り、湿っている場所で形成されていた。山頂には約 20 種のコケが分布しており、その内 *Ceratodon purpureus* と *Bryum argenteum* が剣ヶ峰で確認された。

1999 年から 2010 年にかけて永久凍土の分布を調査した。永久凍土は夏の終わりに、剣ヶ峰、雷岩、白山岳周辺で確認された。永久凍土の存在は 30cm, 50cm, 70cm の地温を測定することによって推測した。ほとんどの永久凍土は、大きなコケ群落の周辺で確認された。そのため、コケと永久凍土の分布にはお互いに近接な関係があると推測される。

近年の変化として、連続永久凍土等ではなく季節凍土および不連続永久凍土が山頂付近で見られるようになった。

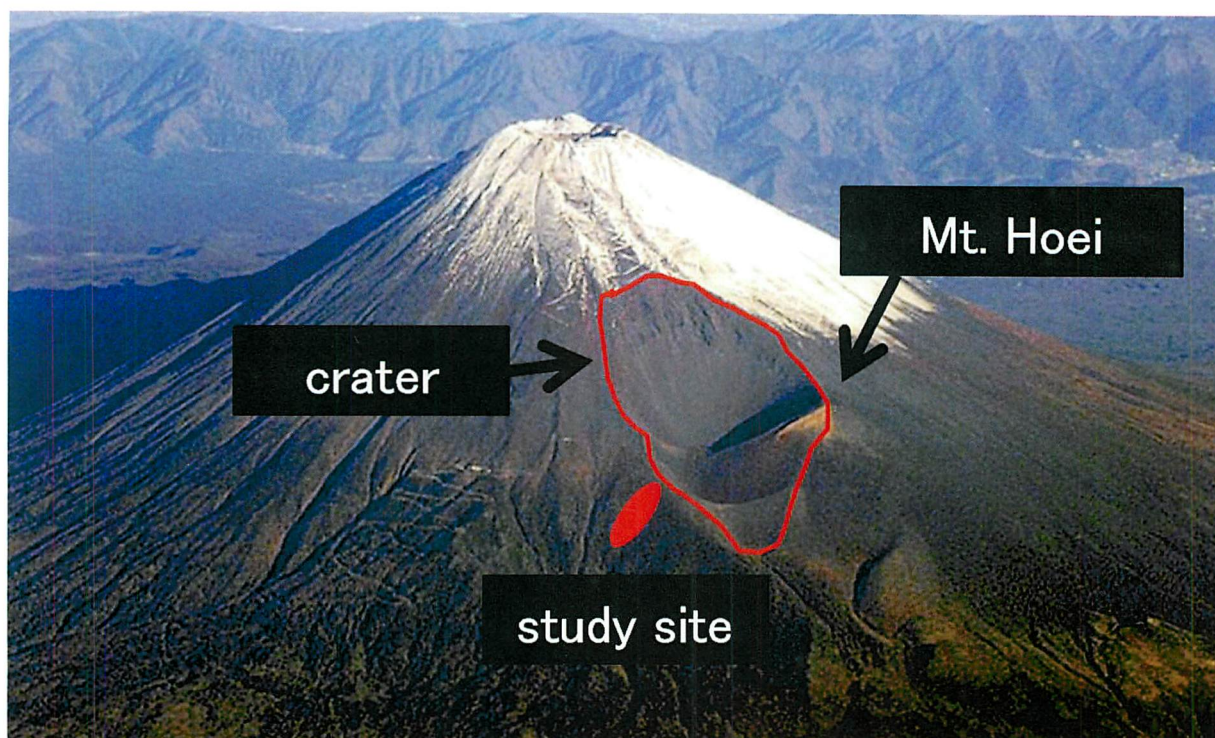


図 1. 調査地の位置図. 調査地は富士山南東斜面宝永山付近にあり、標高約 2400m に位置する.

Fig.1 Location of the study site. The site is situated on the timberline of southeastern slope of Mt.Fuji at about 2400 m asl near Mt.Hoei.



図 2. 調査地付近の 1978 年の写真

Fig.2 Picture of 1978 at study site.



図 3. 調査地付近の 2010 年の写真.

Fig.3 Picture of 2010 at study site.



図 4. 富士山におけるイタドリの分布

Fig.4 Distribution of *Polygonum cuspidatum* at Mt.Fuji.



図 5. 熱海植物研究園のイタドリ

Fig.5 *Polygonum cuspidatum* at Atami Shokubutsu Kenkyuen.



図 6. 伊豆大島三原山におけるイタドリの分布

Fig.6 Distribution of *Polygonum cuspidatum* at Izu Ohshima Mihara Mountain

富士山北斜面エクスカーション報告

Report of Excursion in northern slope of Mt. Fuji

中野隆志

山梨県環境科学研究所 (〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田 5597-1)

E-mail: nakano@yies.pref.yamanashi.jp

Takashi Nakano

Yamanashi Institute of Environmental Sciences, 5597-1 Kami-Yoshida,
Fuji-Yoshida, Yamanashi, 403-0005, Japan.

E-mail: nakano@yies.pref.yamanashi.jp

2010年9月10日に富士山北斜面にてシンポジウム参加者とともにフィールド討論会を行った。富士山北斜面の植物相や植生、遷移について、茨城大学の山村靖夫教授、および中野が説明を行った。前日訪れた富士山南斜面同様、富士山の植生や遷移についての意見交換を行った。クラークソン教授、セルゲイ博士ともに富士山の植生が非常に興味深いことについて意見が述べられ、今後も富士山の植生や植物の生態に関する基礎的な研究が重要性であると指摘された。特に富士山の南斜面の森林限界と北斜面で植物相や植生、遷移が異なっていることについて議論がなされ、今後の研究として重要であることが指摘された。この件に関しては、富士山南斜面で長く研究を続けている静岡大学の増沢武弘教授と共同で研究を行っていくこととなった。また、カムチャッカの火山群と植生や遷移の類似性がグリシン博士より指摘された。今後、セルゲイ博士とカムチャッカと富士山の植生や植物の生態の共同研究を行っていく可能性について議論された。なお、北斜面についての報告は本報告書の茨城大学、山村靖夫教授著「富士山の森林限界植生の変化」の項を参照のこと。



Pattern and process of vegetation change (succession) in recent volcanic landscapes of New Zealand and Hawaii

Bruce D. Clarkson and Beverley R. Clarkson

Bruce D. Clarkson

**Centre for Biodiversity and Ecology Research, University of Waikato, Private Bag 3105,
Hamilton, New Zealand**

E-mail: b.clarkson@waikato.ac.nz

Beverley R. Clarkson

Landcare Research, Private Bag 3127, Hamilton, New Zealand

E-mail: clarksonb@landcareresearch.co.nz

Introduction

Volcanic activity (including lava flows, debris flows and tephra eruptions) is a regular feature of many landscapes of the North Island of New Zealand and the Hawaiian archipelago. Over the last 35 years, we have been using a combination of the

chronosequence and direct monitoring methodologies (Clarkson 1998; Walker et al. 2010) to research the pattern and process of vegetation change (succession) in these landscapes. The following account summarizes pattern and process from our main study sites (Fig. 1): Whakaari (White Island), Rangitoto Island, Mt Tarawera, Mt Ngauruhoe, Mt Ruapehu, and Mt Taranaki in New Zealand and Mauna Loa in Hawaii. Most of this information is taken from our previous publications (see References) and the references contained therein. New information on Rangitoto Island *Metrosideros excelsa* patch

dynamics and updated (2005) species statistics for White Island have been included. The main focus of this account is forest development following significant eruptions.

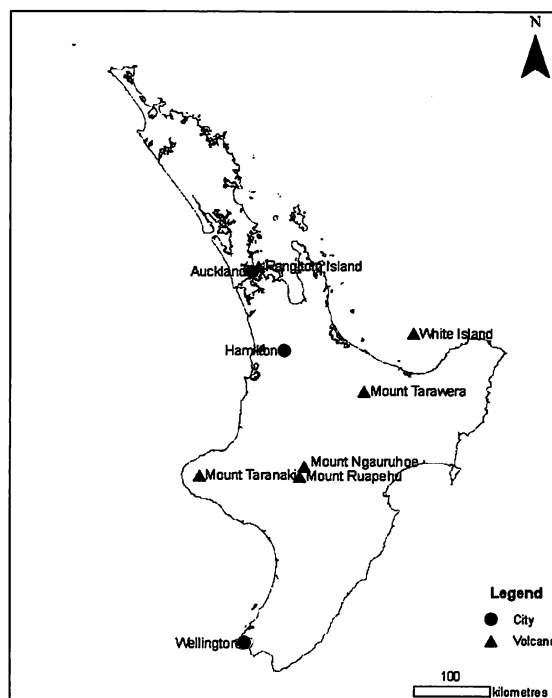


Fig. 1 Location of volcanoes studied on North Island, New Zealand

White Island (Whakaari)

White Island (Whakaari) is a 238 ha island volcano (highest point 321 m a.s.l.) located 50 km north of North Island mainland in the Bay of Plenty. It has been in the state of continuous solfataric activity, with intermittent small steam and tephra eruptions since 1826. In recent times major damage to the vegetation on the island has resulted from a complex sequence of eruptions between 1976 and 1981. Significant eruptions have also occurred periodically between January 1984 and 1994 with a decline in activity since then. Eruptions have included ejections of ash and gas, with acid rain causing death and dieback of *Metrosideros excelsa* forest and *Disphyma-Einadia* herbfields. *Metrosideros excelsa* dominates a floristically depauperate community which, in places, comprised only two or three vascular species, namely *M. excelsa*, *Histiopteris incisa*, and *Phormium tenax*. Changes in the vascular flora on the island documented between 1912 and 2005 show between seven and thirteen species present before 1990, and 33 species in 2005, which reflects the reduction in volcanic activity (Table 1). The post-1990 arrivals, however, are mainly exotic dicotyledonous herbs, and *M. excelsa* remains the only tree species present on the island. *Metrosideros excelsa* (Fig. 2) is a mass seeder with wind dispersed seed and the ability to recover from canopy damage by epicormic resprouting (Fig. 3). Direct succession of *M. excelsa* results from recovery of an existing population or colonization of a newly emplaced surface by *M. excelsa* seed.



Fig. 2 *Metrosideros excelsa* flower on Tuhua (Mayor

Rangitoto Island

Rangitoto Island, a basalt shield volcano covering 2311 ha and rising to 260 m a.s.l. is located in the Hauraki Gulf, 8 km north east of Auckland City. It appears to have been active between 850 AD and 1800 AD, with a maximum lava activity around 1300 AD. The primary surface is mainly crusty aa basaltic lava but the summit consists of scoria cones. The last lava flows were followed by an emission of ash which filled most of the crevices and shallow hollows. *Metrosideros excelsa* is the prime lava



Fig. 3 *Metrosideros excelsa* recovering by epicormic resprouting, White Island May 1990

colonizer and has coalesced to form continuous forest over large areas of the island. We have been monitoring *M. excelsa* patch establishment and development (Fig. 4) between 1980 and the present day in permanent plots established by our colleague, James O Juvik (University of Hawaii at Hilo). These represent the most extreme sites of largely unvegetated aa lava. The number of vascular species is strongly positively correlated with the size of the *M. excelsa* patch ($r^2 = 0.742$; $n = 80$) with 1–4 species recorded in patches of 0.1 m² and 16–19 species in patches of 100 m².

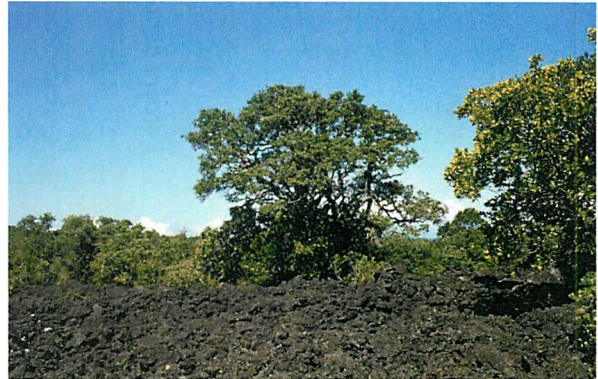


Fig. 4 *Metrosideros excelsa* patch on aa lava showing well-developed understorey association, Rangitoto Island

Using patch size in six size classes (midpoints = 1 m², 3 m², 6 m², 12 m², 24 m², 48 m²) and frequency of occurrence as a surrogate for age, it is possible to determine the orderly sequential establishment of species. Early establishers include *Coprosma robusta*, *Myrsine australis* and *Astelia banksii*. Middle and late establishers include *Pseudopanax arboreus*, *Collospermum hastatum*, and *Asplenium oblongifolium*. The fern, *Asplenium flaccidum*, which is mostly epiphytic on *M. excelsa*, is one of the last to arrive. Some species fluctuate in their frequency in relation to patch size, for example, *Brachyglottis kirkii*, *Ctenopteris heterophylla*, and *Asplenium flabellifolium*. These are usually patch edge dwellers and are sometimes lost as the *M. excelsa* canopy expands and may subsequently recolonise the edge of the patch. *Metrosideros excelsa* facilitates this deterministic establishment pattern by influencing the microclimate of the site. Surface temperature on open lava may exceed 50°C whereas in the interior of a large patch or extensive forest, it is less than 25°C. Relative humidity on open lava is less than 40% while in large patches it exceeds 45% and in the forest interior is over 55%.

Mauna Loa, Hawaii

The Hawaiian Islands and Hawaii Island in particular, provide a unique opportunity to study succession on volcanic surfaces ranging from 1 year to >4000 years old across a wide range of elevations, spatial scales, and climates. Studies of chronosequences can thus be designed to meet various assumptions, variation can be quantified through replication within categories, and multivariate approaches can correct for incomplete designs where chronosequence assumptions are not met. We have studied lava flows ranging from 5–300 years old on Mauna Loa, Hawaii Island, using a combination of chronosequence and direct monitoring. We have also attempted to collect data that are directly comparable to those collected on Rangitoto Island. On Mauna Loa at sites between 1035 and

1280 m a.s.l. on basalt lavas, canopy cover (Fig. 5) is dominated at first by the lichen *Stereocaulon vulcani* and the moss *Racomitrium lanuginosum*. By 50 years, *Lycopodium cernuum* and *Dicranopteris linearis* dominate. *Metrosideros polymorpha* can establish within 10 years and by 150 years completely dominates

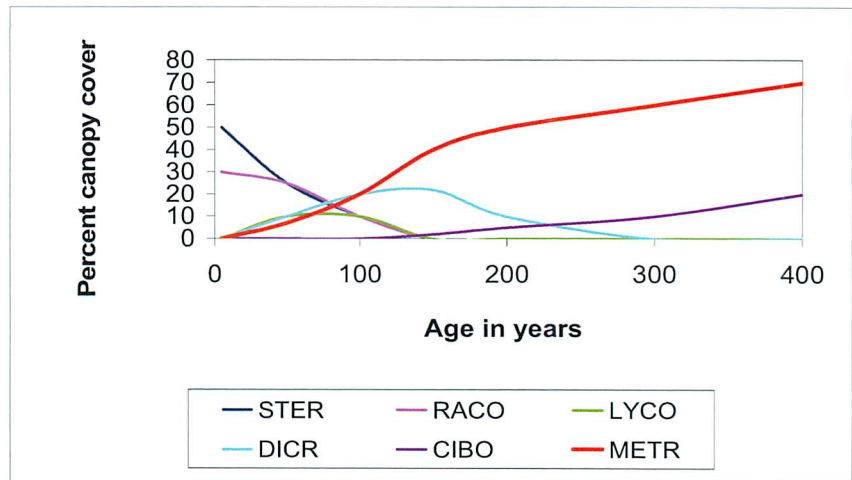


Fig.5 Change in species canopy cover over 400 years on aa lava, Mauna Loa, Hawaii (STER: *Stereocaulon vulcani*; DICR: *Dicranopteris linearis*; RACO: *Racomitrium lanuginosum*; CIBO: *Cibotium glaucum*; LYCO: *Lycopodium cernuum*; METR: *Metrosideros polymorpha*)

what has become continuous forest. The tree fern *Cibotium glaucum*, which can establish before 50 years, is abundant by 200 years. A well-developed *Metrosideros-Cibotium* forest is in place by 300 years (Fig. 6). As with Rangitoto Island, the number of vascular species increases with patch size expansion ($r^2 = 0.721$; $n = 40$). Patches of 1 m² may have 1–4 species, while those of 100 m² exceed 16, with Mauna Loa patches being slightly richer than those on Rangitoto Island. The high rainfall (c. 4000 mm yr⁻¹) here compared to the lower rainfall (c. 1300 mm yr⁻¹) on Rangitoto Island means that species are



Fig.6 *Metrosideros polymorpha*–*Cibotium glaucum* forest on 300-year-old aa lava, Mauna Loa, Hawaii

less constrained to establishing within patches but nevertheless patch formation is still the dominant mode of forest development. Very early establishers on Mauna Loa include *Vaccinium reticulatum*, *Polypodium pellucidum* and *Hedyotis centranthoides*. A little later come *Vaccinium calycinum* and *Saddleria pallida*. Mid establishers include *Coprosma ochracea*, *Myrsine lessertiana*, and *Dubautia scabra*. Late establishers include *Astelia menziesiana*, *Cheirodendron trigynum* and *Ilex anomala*. *Xiphopteris saffordii* is the ecological equivalent of *Asplenium flaccidum*, being mainly epiphytic on *Metrosideros polymorpha* trunks. There are strong taxonomic similarities between Rangitoto and Mauna Loa, with many genera and at least one species (*Uncinia uncinata*) in common. Species richness of patches increases more rapidly on Mauna Loa than Rangitoto and this may suggest the Hawaiian flora has a greater proportion of species adapted to volcanic disturbance.

Mt Tarawera

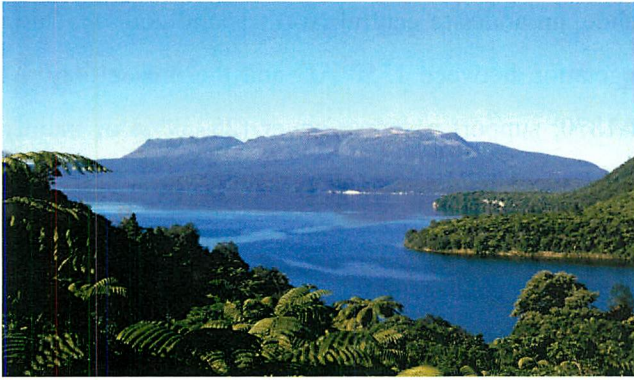


Fig. 7 View of high domes of Mt Tarawera



Fig. 8 *Coriaria arborea* invading early successional

Mt Tarawera (Fig. 7), a series of coalescing rhyolite domes and an associated crater lake (Lake Rotomahana) 25 km south-east of Rotorua, erupted in 1886, initiating primary successions over *c.* 10 km² and secondary successions over a further *c.* 20 km². The highest domes (summit 1111 m a.s.l.), were

formed by the 1314 AD Kaharoa eruption, and are mantled with the 1886 eruptive material,

basaltic ash and lapilli. We have been monitoring vegetation change on the dome tops since 1978 with

recourse to previous studies, in particular research by Burke (1964). The major primary successional pathway on the dome tops involves colonization of bare surfaces by grass-herb-lichen patches, occasionally with heath shrubs such as *Dracophyllum* and *Gaultheria*, lasting approximately 70 years.

Subsequently, shrubs of *Coriaria arborea* (Fig. 8), which fixes nitrogen through symbiosis with an actinomycete endophyte, *Frankia*,

enter these aggregations and coalesce to form continuous scrub. Seedlings and saplings of forest trees, especially *Griselinia littoralis*, established in this type before 1979. The likely forest dominants of this developing forest are, depending on browsing impacts, *G. littoralis*, *Weinmannia racemosa*, and *Podocarpus hallii*. Unusually severe frosts periodically cause dieback of the *Coriaria*, enabling colonization of non-forest species such as *Cortaderia fulvida*, or releasing saplings of forest trees such as *Griselinia*. Forest on the edge of the dome tops within 1.5 km of the nearest crater mostly survived the eruption. Emergent trees such as *Podocarpus hallii* were killed and their dead spars remained for more than a century after the 1886 eruption. The main canopy species represented include *Weinmannia*, *Phyllocladus glaucus* and *Knightia excelsa*. *Coriaria arborea* is the keystone species in facilitating development of forest as it has a disproportionate effect on ecosystem change both floristically and structurally. The nitrogen produced by *Coriaria* has such an imprint on the forest ecosystem long after the plant's demise that *Coriaria* could be more correctly considered a nexus species as defined by Temperton et al. (2004).

Mt Ngauruhoe

Lava (aa) and pyroclastic flows from Mt Ngauruhoe, an andesite central North Island cone reaching 2291 m a.s.l., have impacted up to 10 km² of vegetation between 1550 AD and the present day. At 1675 m a.s.l., Ngauruhoe lava flows erupted in 1870, support a sparse cover (25–39%) of mainly *Rytidosperma setifolium*, *Gaultheria colensoi*, and *Dracophyllum recurvum*. The grasses, herbs and shrubs grow mainly in ash or gravel which has accumulated on the lava with mosses and lichens only present on the lava boulders. There have been no detectable changes in the cover or composition of the vegetation here since Uhe (1971) measured them in 1966, largely result of the harsh subalpine conditions. The flows erupted in 1949 and 1954, extending in a westerly and north-westerly direction from 2070 to 1324 m a.s.l., have even less-developed vegetation. Boulder-sized lava blocks support *Stereocaulon vesuvianum* and *Racomitrium lanuginosum* as they did in 1966 when measured by Uhe (1971). The pyroclastic flows of 1975 comprised a greater mixture of different sized particles and subsequent debris flows have continued to add to this (Fig.9). They support *Raoulia albosericea* and 6–10 other vascular species, depending on the proportion of gravel or boulders. None of these examples shows true succession as there is a continuing gradual accumulation of species but no group of species has been replaced.



Fig. 9 Mt Ngauruhoe showing 1975 pyroclastic flow overlying older lava flows

Mt Ruapehu

Mt Ruapehu (2797 m a.s.l.), an andesitic volcano and the highest peak in the North Island, has erupted c. 50 times since 1861. Most eruptions have been phreatic, involving steam explosions caused by the contact of lava and water, from the Crater Lake. Until 1995, the largest recorded eruptions had occurred in 1945 when ash fell across much of the North Island, and in 1953 when a lahar destroyed the rail bridge across the Wangaehu River. In September 1995 Mt Ruapehu entered a new phase of eruptions, following months of increased seismic activity, rising lake temperatures and increases in the magnesium and chloride concentrations of Crater Lake. Volcanic activity continued at heightened levels through until late October 1995. Throughout the eruptions, ash plumes were produced, with some reaching as high as 19 km into the atmosphere. Most of the erupted volcanic material was deposited to the north and east of the crater, a consequence of prevailing wind and the breached crater

topography. We measured plots in the Tukino sector of Mt Ruapehu to determine the effects of the ash deposition. The plots were positioned along an altitudinal (1500–1760 m a.s.l.) and impact gradient (c. 3–6.5 km from the crater). For background information on the vegetation structure and composition prior to the eruptions we relied on Leslie (1984) and Atkinson (1981). Our February 1996 measurements showed that foliage death range from 50% of total cover at 1760 m a.s.l. to 34% at 1500 m a.s.l. Mean ash depths range from 65 to 25 mm along this gradient. The ash was characterized by high sulfur content and the potential to increase soil acidity. Below 1500 m a.s.l. foliage death was largely insignificant. Species that suffered the greatest damage tended to be those of small stature, for example, *Luzula colensoi*, a diminutive woodrush, was completely wiped out between 1520 and 1760 m a.s.l. Similarly, the cushion forming mosses, *Racomitrium* and *Andreaea*, were severely damaged in the same zone. Ash depth per se was less important than the length of time ash persisted before being washed off by rain. Of the two dominant species in this zone, the small shrub *Gaultheria colensoi*



Fig. 10 *Gaultheria colensoi* damaged by temporary ash burial on Mt Ruapehu (1995)

(Fig. 10), was most affected (40–60% foliage death) as ash tended to accumulate on its horizontally oriented leaves more than on the erect needle leaves of the bristle tussock, *Rytidosperma setifolia* (11–30% foliage death). However, in February 1996, *Gaultheria colensoi* was already recovering well by resprouts. The composite herb, *Anaphalioides alpina*, showed similar levels of defoliation to *G. colensoi* but did not resprout. New growth of *Anisotome aromatica*, a soft-leaved perennial herb, was noted emerging through the ash. A further eruption in June 1996 killed off many of the *G. colensoi* resprouts at altitudes between 1600 m and 1760 m a.s.l. The overall picture that emerged was of a community dominated by a long-lived (possibly >200 years) shrub capable of resprouting after damage caused by eruptions of this scale and impact.

Mt Taranaki

On Mt Taranaki, a west coast North Island, andesite stratovolcano (2518 m a.s.l.), tephra eruptions and associated debris flows and fires over the last 450 years have destroyed c. 6700 ha and damaged an equivalent area. Pollen analysis suggests that areas of upper montane forest completely destroyed or badly damaged by the Burrell eruption of 1655 AD have shown a succession from shrubs, including



Fig. 11 *Weinmannia racemosa* dominated forest ('goblin forest') at 900 m a.s.l., Mt Taranaki



Fig. 12 *Weinmannia racemosa* flowers and seed capsules in cultivation, Hamilton

Coriaria arborea, to *Kunzea ericoides* and *Fuchsia excorticata*, and then to *Weinmannia* forest (Fig. 11). However, *Libocedrus bidwillii* has not, as yet, regained lost ground, being found as scattered survivors over a low canopy of broadleaved shrubs such as *Brachyglottis elaeagnifolia*. The treeline and upper altitudinal limits of tree species are generally lower on Mt Taranaki than on the adjacent less-affected Pouakai Range. Forest composition at the treeline varies in relation to the direction and depth of recent ash showers, especially the Burrell eruption of 1655 AD. A suite of tree species, *Weinmannia racemosa*, *Libocedrus bidwillii*, *Griselinia littoralis* and *Podocarpus hallii*, is found in various different

combinations at different treeline sites depending on past eruption effects. Above Dawson Falls and at Stratford Plateau, where the effects of the Burrell eruption were most devastating, *Libocedrus* is scarce and *P. hallii* and *G. littoralis* more abundant. *Libocedrus* numbers increase gradually to the north and south until at North Egmont and Lake Dive respectively, there are extensive stands. *Weinmannia* has its lowest altitudinal limit on the eastern side of the mountain (1000 m a.s.l.) below Stratford Plateau, again reflecting the main axis of the Burrell eruption. The patterns and processes evident in the upper altitude forests of Mt Tarawera give insights into the earlier development of the similar *Podocarpus*–*Weinmannia* forests of Mt Taranaki. Again, in primary forest successions the facilitation role of *Coriaria arborea* is likely to have been very important. The overwhelming dominance of *Weinmannia* (Fig. 12) on Mt Tarawera and Mt Taranaki probably results from its ability to resprout from epicormic buds after its canopy has been damaged, and from its characteristics as a mass seeder, and ability to establish epiphytically, especially on trees damaged or killed by the impacts of eruptions.

Conclusion

Our results show a range of pattern and process relating to the frequency, intensity and scale of the volcanic disturbance and biogeographic setting. At one extreme are deterministic direct successions characterized by low to medium species richness and strong facilitation and aggregation mechanisms. At the other are probabilistic multiple pathway successions, characterized by medium to high species richness, and tolerance and inhibition as well as facilitation mechanisms. Full understanding of vegetation pattern and change on recent volcanic landscapes requires long-term (several human generations) experimental and observational studies using both direct monitoring of permanent plots as well as careful use of chronosequences.

Acknowledgements

We are grateful to Dr Takashi Nakano and Yamanashi Institute of Environmental Sciences for the invitation and funding to participate in the 2010 Plants & Volcanoes International Symposium. The research was funded in part by The University of Waikato (BDC) and New Zealand Foundation for Research, Science and Technology (Contracts C09521, BDC; C09X0503, BRC).

References

- Atkinson, I.A.E. 1981: Vegetation map of Tongariro National Park, North Island, New Zealand. Scale 1:50,000. Wellington, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research. Government Printer. 27 pp.
- Burke, W.D. 1964: A study of the vegetation of a part of Mt Tarawera, Rotorua. M.Sc. Thesis, Victoria University, Wellington.
- Clarkson, B.D. 1986: Vegetation of Egmont National Park. *National Parks Scientific Series No. 5*. DSIR Science Information Publishing Centre, Wellington. 95 pp. ISBN 0-477-06787-5.
- Clarkson, B.D. 1990: A review of vegetation development following recent (<450 years) volcanic disturbance in North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* 14: 59–71.
- Clarkson, B.D. 1998: Vegetation succession (1967–89) on five recent montane lava flows, Mauna Loa, Hawaii. *New Zealand Journal of Ecology* 22: 1–9.
- Clarkson, B.D. 2002: The Flora of Mt Taranaki/Egmont: understanding natural and garden experiments. *Royal New Zealand Institute of Horticulture journal* 5: 2–5.
- Clarkson, B.D. 2008. Natural history of Rangitoto Island, Hauraki Gulf, Auckland, New Zealand, edited by Mike D Wilcox. *New Zealand Journal of Botany* 46: 101–104.
- Clarkson, B.D.; Clarkson, B.R., 1994: Vegetation decline following recent eruptions on White Island

- (Whakaari), Bay of Plenty, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 32: 21–36.
- Clarkson, B.D., Clarkson, B.R., Smale, M.C. 1989: Appendix 1 Vegetation destruction and recovery following recent eruptions on White Island (Whakaari), Bay of Plenty, New Zealand. *In*: Houghton, B.F., Nairn, I.A. eds. The 1976–82 eruption sequence at White Island volcano (Whakaari), Bay of Plenty, New Zealand. *New Zealand Geological Survey Bulletin* 103: 137–138.
- Clarkson, B.D.; Whaley, P.; Whaley, K. 1997: The effect of recent Mt Ruapehu eruptions on the subalpine and alpine plants. *Newsletter / New Zealand Botanical Society* 47: 13–14.
- Clarkson, B.R.; Clarkson, B.D., 1983: Mount Tarawera 2: Rates of change in the vegetation and flora of the high domes. *New Zealand Journal of Ecology* 6: 107–119.
- Clarkson, B.R.; Clarkson, B.D. 1995: Recent vegetation changes on Mount Tarawera, Rotorua, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 33: 339–354.
- Leslie, G. 1984: A study of five terraced soils in the alpine zone of Tongariro National Park. B.Sc. Hons. Unpublished dissertation, Victoria University of Wellington.
- Temperton, V.M.; Hobbs, R.J.; Nuttle, T.; Halle, S. eds 2004: Assembly rules and restoration ecology. Island Press, Washington. 439 pp.
- Uhe, G. 1971: A contribution to the synecology of vegetation on recent volcanic depositis. Ph. D. thesis, University of Auckland.
- Walker, L.R.; Clarkson, B.D.; Silvester, W.B.; Clarkson, B.R. 2003: Colonization dynamics and facilitative impacts of a nitrogen-fixing shrub in primary succession. *Journal of Vegetation Science* 14: 277–290.
- Walker, L.R.; Wardle, D.A.; Bardgett, R.D.; Clarkson, B.D. 2010: The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development. *Journal of Ecology* 98: 725–736.

Influence of the eruptions of Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) on the plant cover

Sergei Yu. Grishin

Institute of Biology and Pedology, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 590022, Russia.

E-mail: grishin@ibss.dvo.ru

The largest volcano of Russia, the giant Klyuchevskoy (4750 m) is the most active volcano in the region of North-East Asia. Erupting a huge quantity of volcanites (60 mln ton/year), volcano exerts powerful and many-sided influence upon the ecosystems on a large territory. The scales and types of the impact of eruptions on vegetative cover, the most important component of ecosystems, are outlined. The alpine timberline is situated at about 700 m above s.l. The eruptions of central crater impact on the vegetation of the alpine belt through ash-falls. As a result, the regime of volcanic desert is supported in the high mountain zone. The area of this desert is about 70 km². Ash-falls of central crater also influence on the ecosystems of lava covers through the rapid growth of soil-pyroclastic cover on the primarily lifeless substrata. Eccentric eruptions lead to the overlap of slopes by lava flows and by the tefra of local ash-falls. The lava flows of XX century overlapped the area of approximately 30 km² on the slopes of volcano in the alpine, subalpine and forest belts. Succession on the lava lasts approximately no less than 1500-2000 years. Ash-falls of the eccentric eruptions of XX century led to the loss of the plant cover over the area of approximately 5 km². The eruptions of adjacent volcanoes (first of all - Shiveluch and Bezymianniy) influence on the vegetation of Klyuchevskoy volcano periodically. The giant directed blast of Bezymianniy in 1956 yr. destroyed the vegetation at the area about 500 km², including plant cover at the slopes of Klyuchevskoy. As a whole, diversity, structure and dynamics of a vegetative cover of the volcano are defined appreciably by active volcanism.

Introduction. Basaltic stratovolcanoes are the largest and very active volcanic structures of the north-east Asia. These are the magnificent facilities, they often have the correct form of the symmetric cone. They includes such giants as Kluchevskoy (Klyuchevskaya Sopka) on the Kamchatka Peninsula, Alaid - the largest volcanoes of the Kuril Islands, Mount Fuji - the highest point of Japan, and many others. With its huge size, they are characterized by a huge outflow of matter and energy. Ecosystems of the Kluchevskoy - the largest volcano of Eurasia, developing under the strong influence of volcanism. This article describes some of the materials obtained in recent years about the dynamics of vegetation - a major component of ecosystems. In the centre of attention here are two questions connected with each other: structure of the vertical zonation of a vegetative cover and the impact of

volcanism on vegetation.

Study area. Kluchevskoy is situated in Klyuchevskaya volcano group (central Kamchatka) - a giant massif of 12 large and very large volcanoes (see Fig. 1). The area is the largest center of modern glaciation in Kamchatka; treeline and snowline rise here to the highest position on the peninsula. Kluchevskoy is a young volcano; it was born about 6-7 thousand years ago. The steepness of the slopes varies from 4° at foothills (up to 1600-1800 m above sea level) to 35° near the top of the cone (above 3000 m). About 100 cinder cones are located on the slopes; they were formed over the last 4 thousand years. The lava flows were effused out from the cones and had covered by uneven cover of lava slopes in altitudinal range from 1500-2000 m and 500-600 m. Juvenile volcanic materials are mainly represented by basalts [1].



Fig. 1

Volcanic activity. The average annual ejection of material is 60 million tons - almost half of all volcanic rocks of the Kuril-Kamchatka region. During the period 1697-1932 yrs. the volcano had erupted from the central crater 38 times [1]. The central crater eruptions were explosive or effusive-explosive, i.e. occurred mainly in the form of explosion of hot tephra (tephra is common name for a set of ash, sand, cinder and bombs), in a lesser extent - in the form of lava flows. The largest eruptions in the historical period were in 1737 yr., 1944-1945 yrs. and 1994 yr. ones. The height of ash and gas columns can reach with 15 km and more, ash plume usually spread up by hundreds of kilometers, outside of Kamchatka.

In the period since late XVII century before the 1932 yr. lateral eruptions had not been observed. During the period 1932-1987 yrs. 12 lateral eruptions had taken the place. They were effusive or explosive-effusive, i.e. lava dominated among the products of eruptions. The total volume of lava was 0.76 km³, it covered an area of more than 35 km², stretching by flow length from 1 to 12 km. The average thickness of a flow was 15-25 m. The flows were represented by aa and block lava. Tephra felt out during 7 of 12 eruptions, its total volume was 63 million m³ [1]. Despite the relatively small volumes, ash-falls of a few



Fig.2

of breakthroughs, according to our observations, have led to local disasters: a few hundred meters from the vents the vegetation, including woods, was killed and damaged (see Fig. 2).

In addition to the lava and tephra, sometimes hot avalanches travel away from the volcano crater at speeds up to 100 km / h. Mud flows and lahars (volcanic mudflows) are the result of contact of the lava flows and ice. Mud flows and lahars move into the area to the foot of the mountain, often causing considerable damage. Getting in the lower, gently sloping area of the foot of volcano, mud flows and so-called "dry" rivers laying alluvium over a wide area, covering vegetation and creating a peculiar type of dynamic ecosystems.

Methods. We examined the slopes of the volcano, located in the range from 400 to 1700 m, which corresponds to the upper part of the forest belt, subalpine and alpine zone. Most of the descriptions made at an altitude of 700-900 m. Transects were set across the lava flows, topography, substrate, composition of groups of plants were fixed. In the zone of vegetation destruction caused by ash-falls transects were sampled along the gradient of tephra thickness. The aerial and satellite imageries of the volcano were deciphered.

Volcano vegetation

Vegetation zonality. The forest zone (see Fig. 3) is situated from the Kamchatka River valley up to approximately 500 m above s. l. In the interval 500-700 m the ecotone between closed forest and subalpine belt may be found. Up to the height of 700 m the representatives of the forest zone (mainly stone birch *Betula ermanii*) occur by small groups and individual trees among the thickets of elfin wood, alder



Fig.3

Duschekia fruticosa (plant names are mainly from [5]). The forest vegetation of foothills of Kluchevskoy volcano predominantly composed by white birch (*Betula kamtschatica*), and the larch stands may be found in some places near Klyuchi town. The forests of Kamchatka River valley are more diverse due to participation of poplar (*Populus suaveolens*), willows (*Salix* sp.), alder (*Alnus hirsuta*), mountain ash.

The subalpine zone is marked with thickets of alder *Duschekia fruticosa*, this is in the range of 500-900 m. This zone is quite stable means the dynamics of ecotopes, keep in mind that the substantial part of its area (about 50%) is located in the zone of lava flows of lateral eruptions. The islets, groups and individual trees of stone birch penetrate in the lower part of the belt; the upper part of the elfin wood zone is fringed by meadows of subalpine type.

Height of elfin wood varies from 5-6 m (at the lower boundary of the belt) up to 1-2 meters (at the upper boundary). Mostly it refers to the alder and partially to the elfin mountain ash *Sorbus sambucifolia*. *Pinus pumila* is quite rare. The subalpine meadows (see Fig. 4) composed mainly of forbs (*Artemisia arctica*, *Astragalus alpinus*, *Calamagrostis purpurea*, *Equisetum arvense*,



Fig.4

Geranium erianthum, *Saussurea pseudo-tillesii*, *Veratrum oxysepalum*, *Hedysarum hedysaroides*, *Juncus beringensis*, *Sanguisorba officinalis*, *Carex koraginensis* etc.; more than 50 species of vascular plants were marked), with the participation of low bushes and shrubs (*Salix arctica*, *S. chamissonis*, *Rhododendron aureum*). The height of the herbs is at the average is 40-50 cm; meadows have well developed turf layer. The meadows constitute a clearly expressed, rather broad band in the north-eastern slope of the volcano, from the slopes of the Lava Shish Mountain. The width of the band gradually tapers off to the area of Bilyukay lava flow.

The alpine zone may be allocated fairly conventional. Closed alpine vegetation is allocated only to the ancient (according to volcanologists, about 7000 years old) lava flows of Lava Shish Mountain. As you move from the north-east to the eastern slope of Klyuchevskoy volcano, alpine vegetation is thin out, being replaced not closed vegetation of cinder fields. However, at an altitude of 1700 meters a number of small vascular plants (*Carex flavocuspis* ssp. *krascheninnikovii*, *Ermania parryoides*, *Luzula arcuata* ssp. *unalaschensis*, *Minuartia macrocarpa*, *Oxyria digyna*, *Poa malacantha* var. *vivipara*, *Salix sphenophylla*, *Saxifraga merkii*, *Stellaria eschscholtziana*) was discovered. (see Fig. 5)



Fig.5

What is the altitudinal distribution of vegetation zones on the volcano? Let's examine the altitude of the three lines: the upper limit of the forest, the upper limit of the subalpine zone and the upper limit of vegetation. To analyze the distribution of the first two boundaries remote sensing materials in combination with field survey were used. To study the upper limit of vegetation special investigations were conducted. On the two profiles in the north-eastern and south-eastern slopes plots were sampled within 40 m vertically in the range of 800-1600 m. It has been found that above a certain limit, the vegetation becomes very sparse (projective cover of plants falls to 5%) and such landscape stretches vertically for hundreds of meters up, forming volcanic desert. The lower limit of the volcanic desert (or the upper limit of vegetation), can be defined by the criterion of plant cover of 30%. Volcanic desert from the altitude 960-1170 m stretches to an altitude of 2000 meters, where it is gradually replaced by a belt of lifeless scoria fields and snowfields. However, on the slopes of the western half of the Klyuchevskoy volcano group (Ushkovsky volcano), up to an altitude of 1500-1600 m the belt of closed mountain tundra is situated.

The distribution of elevations for the selected lines the following. The upper limit of closed forest, despite some variation, generally located on the same level of altitude - about 500 m. The upper boundary of the subalpine zone (defined by border of elfin wood) gradually decreases from the north-east to south-east, from approximately 1000 to 800 m. The upper limit of vegetation (according to the criterion of projective cover 30%) in the north-eastern slope fixed at a height of 1170 m, south-east - at an altitude of 960 m. Thus, revealed that the direct impact of volcanic activity does not affect the forest belt, whereas the subalpine and alpine zone decreased to the east-south-eastern slope of about 200 m.

Effect of active volcanism on the vegetation of slopes of the volcano

The impact of eruptions of the central crater. Impact of hot avalanches and lava flows do not affect the "zone of life", because masses of these high-temperature volcanic rocks do not descend below 2500 m at the volcano. Tephra is most distributed volcanic product of eruptions of the central crater. Tephra deposition in critical quantities can lead to shock and damage of vegetation that has been studied by the author in a number of volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands. However, there are no data on the direct destructive impact on vegetation of the Kluchevskoy central crater eruptions. Examination of the upper forest limit [4] not found areas of modern (or recent) damage of vegetation on slopes of Klyuchevskoy.

In the XX century two major volcanic eruptions are known - in 1945 and 1994. Volume of tephra both were about 0.06 km^3 . Eruption of 1994 was quite spectacular; a giant ash plume, stretching into the Pacific Ocean, observed by Russian volcanologists from the slopes of the volcano (see Fig. 6) and by NASA astronauts from space. Most tephra deposits recorded in the south-eastern slope of the volcano at a height of about 900 m - only 5 cm tephra, at an altitude of 1700 m observed up to 30 cm.



Fig.6

In sections of the soil-pyroclastic cover in the subalpine zone (absolute height 900 m), formed in the past 3500 years, we together with S. Shliakhov had not found layers of tephra, corresponding the major eruptions (see Fig. 7). On average, approximately every 300 years, volcano had erupted, forming layers of tephra (in a sections) by thickness about 3-5 cm. Only in some sections single layers up to 15-20 cm were revealed. More numerous smallish eruptions are represented by thin layers, often disappear in the soil profile. Thus, activity and productivity of the volcano was realized in a series of frequent, but moderate-sized and smallish eruptions.



Fig.7

Tephra deposits of low thickness (3-6 cm), according to our data, obtained at other volcanoes of Kamchatka, practically have no influence on the vegetation of forest and subalpine zones, and has only a slight effect on the vegetation of alpine belt. Only in certain cases of small ash-falls the damage of forest vegetation were marked (see below), but in such cases other factors (e.g., thermal or chemical damage) were fatal. Thus, even such notable events as the eruption in 1994, did not result significant impact on the ecosystems of subalpine and especially of the forest belt.

Effect of eccentric eruptions on vegetation. A typical lateral vent is a scoria cone (or a series of cones and craters), lava flow, effused out of the cone and the local area around the cone, overlapped by tephra of this eruption. From 1932 more than 15 such eruptions were recorded.

Lava flows and their impact on ecosystems. Flows of lava lead to the complete destruction of existing ecosystems. According to available data [1], the area of the lava flows that appeared in the twentieth century is a value of about 30 km², which is very important for the territory of the middle slopes of the volcano. The impact on vegetation adjacent to flows can be considered insignificant. The sides of the moving lava flows were covered with partly cooled blocks, so that even for large plants (shrubs and trees) damage is minimal. Thus, at the base of the side of Piip lava flow (see Fig. 8), alder bush which grew at a distance of 4 m from the blocks of lava was found. The alder survived the eruption: its age in the year of eruption (1966) was 25 years.



Fig.8

Succession on lava in the first decades after the eruption. We examined most of the flows of the twentieth century of Kliuchevskoi volcano and determined pioneer plants of initial stage. Let's briefly note the state of the initial phase of succession at the largest flow.

Bilyukay is the lowest of a series of craters of volcanic eruption of 1938, occurred during the



Fig.10



Fig.9

whole year. Scoria cone height of 200 meters is situated at an altitude of 900 m (see Fig. 9). The lava flow (length about 12 km and width from several hundred meters to 1-2 km) had poured out from the cone and crossed the subalpine zone and deeply penetrated into the forest belt. The flow consists of

rocks and boulders, strongly covered with silt (average 30-40%). 13 species of vascular plants are growing sparsely (Fig.10) at fine sand (average coverage no more than 5-10%); among them the most frequently were observed grass *Deschampsia borealis* and, rarely, dwarf willow *Salix sphenophylla*. Other species encountered sporadically. Lichens (10 species) cover 30-50% of the lava surface; *Stereocaulon vesuvianum* is completely dominating. Mosses, among which the most frequent *Polytrichum* sp., cover usually 1-5% of the surface, in depressions - up to 10%.

Thus, initial succession on the lava flows are characterized by rapid closing by volcanics inhomogeneities of nano-and micro-relief, and the accumulation of ash (tephra mainly) in the cracks and local depressions on lava. 50-60 years after the effusion of flows the surface of lava conquered by lichens and mosses. The random settlement of vascular plants is marked, especially grasses, mainly on the fine sand. Woody plants were met sporadically; substrate for them clearly is not ready. We marked differences in the rate of accumulation of fine sand, especially between the north-eastern and south-eastern sectors of the volcano. In south-eastern sector the rate is much higher; this is apparently associated with the activity of Bezmyanniy volcano since 1955, and probably the high transfer of volcanic ash during the dust storms above the vegetation limit.

Long-term effects of lava outflows. Recovery of vegetation on juvenile lifeless substrate is an extremely long process. According to our data, succession at the lava flows of Tolbachinsky Dol (south-western sector of the Klyuchevskaya volcano group) lasts 1500-2000 years at least [2]. Duration of succession depends on several factors, among which the most important are the climatic conditions of the area, the rate of accumulation of ash on lava substrate, stimulating or inhibiting succession, and other external influences, such as fires.

The author and his colleagues examined the majority of lava flows of Kluchevskoy and determined pioneers overgrowing of the initial stage and the dominants of vegetation of the subsequent stages of succession. Lava flows of the XX century are characterized by colonization of the substrate by plants of different life forms (mosses, lichens, grasses, shrubs, bushes, trees, etc.) with the gradual formation of moss or lichen cover. By the period about 300 years old lava have a surface, covered by turf by 50-80%; on the flow is growing mosaic meadow-tundra vegetation. At the altitude level, corresponding to the upper boundary of the forest, oppressed groups of pioneer trees, mostly poplars, and clumps of alder occur. At the lavas of next age group (about 1400 years) vegetation completely closed and differentiated, respectively altitude zones (forest, subalpine, alpine); microrelief

is aligned.

At the next stages (2500-3500 years) mesorelief is aligned, the thickness of soil-pyroclastic cover is increasing; the plant communities acquire traits of maturity. The rate of succession appears to be similar to the succession on lava flows of Tolbachinsky Dol, but the dominants of various stages of succession and mature (climax) communities are different: hardwoods dominated exclusively on Klyuchevskoy, whereas in the Tolbachik area - coniferous and deciduous trees.

The damage of vegetation by ash-falls of eccentric eruptions. All the eruptions were characterized by relatively small volume or lack of ejected tephra. Let's consider the damage of vegetation by the tephra fallout on the example of the Tuyla eruption. During 1932, at the upper boundary of the forest, three scoria cones were formed, one after the other, reaching up to 50 m in height and 160 m in diameter. Effused lava flows have lengths up to 4 km, the total area - up to 4.1 km². The volume of ejected tephra was 6 million m³ [6]. Within 500 meters from the vent thickness of tephra falls from 41 cm to 1 cm. Closer to the center of the eruption it is a coarse scoria, and far away from the vent - volcanic sand. The death of large birch trees had occurred where thickness of the tephra deposits was 1 cm only. Accordingly the witnesses of the eruption (see [6]), trees and shrubs had suffered from severe heat shock. Plants do not survive after such powerful thermal effect. We suppose the following factors had influenced on woody vegetation: bomb and ash falls, thermal burning and drying of leaves, branches and trunks, impact of corrosive gases and, very likely, changes in the chemistry of soils. Most unusual factor was the thermal burning of plants. Part of the trees had suffered from red-hot bombs. But the main destructive factor had been a powerful source of heat radiation from the eruptive centers. More remote tree stands and alder thickets had experienced prolonged heat and chemical impact, as well as other adverse effects (ash falls, ash sticking to the crown, chemical exposure via the soil, acid rain). The result is a series of gradual reduction in the number of dead trees with distance from the centers of eruption.

In general, ash-falls of four eccentric eruptions (Tuyla group, Bilyukay, Jubileiniy, Bylinkina) caused damage to vegetation on the total area of 5 km².

Discussion

Ecosystems of the most active volcanoes exist and develop under continuous volcanic impacts and periodic local catastrophes. After the catastrophes the process of development of ecosystems

begins anew. Basalt giants like Kluchevskoy usually do not produce disasters with ejection of huge masses of volcanic rocks, since their activity is realized in a series of frequent eruptions of moderate intensity (up to several tens per century), but often larger, up to paroxysmal. The processes of volcanic impact is ambiguous effect on the ecosystem, not only by destroying or slowing the natural development, but also speeding up, and in certain situations, dramatically changing the direction of succession.

The altitudinal zonality of vegetation of the Kluchevskoy volcano is clearly expressed, but the number of zones is reduced, since there is no belt of coniferous forest, and not clearly (on the east and south-eastern slopes) expressed the alpine zone. Unusual is that the vegetation zones are located within a very gently sloping. As a result, the belts are much "stretched" horizontally. The altitudinal position of upper forest limit – an important boundary in the mountain landscape - sharply reduced in comparison with the western half of the Klyuchevskaya volcano group. The upper forest limit is an extremely broad (up to 3-4 km in the horizontal projection) ecotone, stretched for dozens of miles along the slopes of the volcano.

At first glance, the largest volcano in Eurasia has no clearly expressed zone of impact on woody vegetation, like at other active basaltic volcanoes, although Kluchevskoy erupts during of frequent eruptions cumulatively enormous amount of volcanic pyroclastics. There are two reasons at least. First, a Kluchevskoy had not produced particularly powerful, catastrophic eruptions in the last millennium. The second reason relates to the giant size of the volcano, and as a consequence, a great distance of "zone of life" from the crater. This distance is about 11 km, whereas at the Alaid, largest volcano of Kurile Islands (Alaid have the same type of structure as Klyuchevskoy) it does not exceed 3-6 km. In the case of large lateral eruptions of Alaid (1972), Tyatya (1973) and partly similar to them Tolbachic eruption (1975), the damage zone was situated in the range 3-6 km. Thus, the damage zone of Klyuchevskoy (radius about 11 km from the central crater) is the largest permanent volcanic desert of region. The area of the desert in altitudinal range of 1100-1600 m is about 70 km², while it is situated (because of the specific of location at the Klyuchevskoy group volcano) only in one sector of the volcano (about 120°). Noticeable desertification on the eastern slope of the volcano was noted by many researchers. Apparently, the volcanic desert of mountain slopes of Klyuchevskoy is the result of the integral and the accumulative effects caused by the volcanic ash-falls, directed accordingly winds, dominating in the troposphere and lower stratosphere (moving west-east). Ash-falls from central crater have also an indirect impact on ecosystems of lava flows through a rapid build-up of soil-pyroclastic covers on the primary lifeless substrates. Paradoxically, these mini-catastrophes stimulate successions,

creating a porous substrate, suitable for rooting plants. With the increase of substrate thickness, a list of species and life forms of plants is growing.

Main specific feature of the natural complex of Kluchevskoy is active volcanism. As a result of direct impact (intensive ash-falls from the central crater, and local emissions from the lateral vents) a volcanic desert in the alpine zone was formed and permanently exists. Lateral eruptions, besides ash-falls, form lava flows; the most powerful of them deeply penetrate into the forest belt. Extensive sector of south-eastern slope of the volcano has been exposed to a giant eruption of Bezymiannyi volcano in 1956. Eccentric eruptions led to the slopes overlay by lava flows and tephra of local ash-falls. Lava flows covered during the XX century in the alpine, subalpine and forest belts about 30 km² of territory. Succession on lava runs estimated at least 1500-2000 years. Ash-falls of eccentric eruptions led to the death of vegetation on an area of about 5 km². Thus, the structure and dynamics of the vegetation of the largest volcano in Kamchatka is largely determined by active volcanism.

The author thanks V. Ponomareva (IVS FEB RAS) for consultation on the age of lava flows. In collecting of field data in some years participated S. Shlyakhov, A. Yakovleva (IBSS FEB RAS), T. Kuznetsova (Hingan Reserve), some species of vascular plants identified by V. Yakubov (IBSS FEB RAS). This work was supported by Russian Foundation for Basic Research, grant No. 10-05-01015.

References

1. Active volcanoes of Kamchatka. In 2 vol. Vol. 1. Moscow: Nauka. 1991. 302 pp.
2. Grishin S.Yu. Succession of subalpine vegetation on the lava flows of Tolbachik area. Botan. Journal. 1992. #1. P. 92-100 (in Russian).
3. Grishin S.Yu. The boreal forests of north-eastern Eurasia // Vegetatio. 1995. Vol. 121. P. 11-21.
4. Grishin S.Yu. The vegetation of subalpine belt of Klyuchevskaya group of volcanoes. Vladivostok: Dalnauka. 1996. 156 p. (in Russian).
5. Kharkevich S.S. (ed.). Vascular plants of Soviet Far East. In 8 vol. Moscow: Nauka. 1985-1997.
6. Piip B.I. Klyuchevskaya Sopka and its Eruptions of 1944-1945 and in the Past // Trans. Volc. Lab. AN SSSR. 1956. Issue 11. 308 pp. (in Russian).

三宅島 2000 年噴火後の植生変化と島の生態系保全について

Vegetation change after the 2000 year eruption on Miyake-jima Island with implications for conservation of the island ecosystem

上條 隆志

筑波大学大学院生命環境科学研究科（〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1）

Takashi Kamijo

**Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, , 1-1-1
Ten-noudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan**

E-mail: machilus@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

Abstract: From July to September 2000, Mt. Oyama on Miyake-jima Island in Japan erupted, ejecting large amounts of volcanic ash and forming a collapsed crater over 1 km in diameter and 400 m deep. Total eruptions volume, e.g., volcanic ash, was about 11 million m³ and maximum smoke height was 15 km on August 18. Wind-borne material covered extensive areas of the island. Since then, a large quantity of volcanic gas containing high concentrations of SO₂ has been emitted.

The island ecosystem has been heavily damaged by the volcanic ash and gas. The damage to vegetation was extensive around the summit area, where some indigenous plant species may be extinct. The damage decreased at more distant sites from the crater. In 2001, damaged areas gradually extended toward the eastern leeward side, which was more frequently exposed to volcanic gas, while recovery of vegetation was observed on the northern side where volcanic ash was heavily deposited soon after the eruption of 2000 but was relatively less influenced by poisonous gas thereafter.

We described the destruction and recovery of vegetation after the eruption according to the 6 year study of 11 permanent plots from 2001 to 2006. The damage of vegetation caused by ash was severer near the crater in 2001. The important process of vegetation recovery in damaged forests is stem sprouting shown by completely defoliated trees. But the decline of trees was observed after 2001. It seems that this degradation is caused by direct and/or indirect effects of volcanic gas. In contrast to the decline of them, two grass species, *Miscanthus condensatus* and *Carex oshimensis* obviously increased after the eruption. It

suggests the high tolerance to SO₂ and acidic soils of the species.

On Miyake-jima Island, many engineering works (e.g., check dam construction) have already been underway, on demand for improvement of island's security. Such construction, on the other hand, is likely to influence the island's ecosystem. Re-vegetation work is expected to prevent surface erosion on bare land. But utilization of introduced plant species is likely to have an unfavorable influence on the flora of the island. On Miyake-jima Island, to minimize any ecological disturbance that could be accompanied by re-vegetation works, we are projecting re-vegetation using endemic and/or indigenous species.

1. はじめに

伊豆諸島の三宅島は、相模湾南方海上に位置する火山島であり、比較的最近では、1874 年、1940 年、1962 年、1983 年、2000 年に噴火した。最も新しい噴火である 2000 年噴火は、それまでの三宅島の噴火、すなわち溶岩の流出とスコリアの放出という噴火パターンと大きく異なり、大量の火山灰を放出した。また、噴火終息後も大量の二酸化硫黄を含む火山ガスの放出が続いた。ここでは、2000 年噴火前と 2000 年噴火とに分けて、三宅島の植生遷移についてまとめ、最後に、三宅島における緑化と生態系の保全について述べる。

2. 2000 年噴火前の研究から－三宅島の溶岩上の一次遷移－

2.1. クロノシーケンス研究

植生遷移の研究手法には、時間変化を直接観察する手法と、成立年代のみが異なる立地を相互比較することによって時間変化を明らかにする方法がある。成立年代のみが異なる立地を相互比較する手法は、英語でクロノシーケンス研究 (chronosequence study) と呼ばれる手法であり、一人の人間が直接観察することができない、数十年から数千年といった長期的な遷移を対象とするのに適している。三宅島では、噴火年代の異なる溶岩流が、島の中腹から麓にかけて分布している (図 3-2)。また、火山噴出物の堆積した方向は、それぞれ異なっているが、島内の方位による極端な降雨量や温度の差は少ない。これらの溶岩流上に成立した植生を比較することによって、遷移を研究することができる。

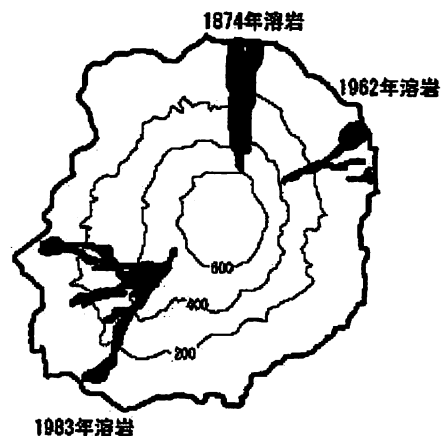


図 1 2000 年噴火前の三宅島における、1874 年溶岩、1962 年溶岩、1983 年溶岩の分布。国土庁土地局 (1987) をもとに作成した。

三宅島での現地調査 (Kamijo et al., 2002) は、1999 年に行っているのので、調査時における生態系が生まれてからの年齢 (溶岩が流れ出てからの年齢) を換算することができる。つまり、1983 年溶岩流が 16 才、1962 年溶岩流が 37 才、1874 年溶岩流が 125 才となる。溶岩流の上に生育している植物の方をみると、16 才の溶岩流上では、落葉広葉樹のオオバヤシャブシや多年生草本のハチジョウイタドリが、点々と生育しているに過ぎず、溶岩むき出しの裸地が大部分を占めている (図 1、2 の 1983 年溶岩)。次に、37 才の溶岩流上では、裸地の割合は少なくなり、オオバヤシャブシからなる低木林が成立するようになる (図 1、2 の 1962 年溶岩)。さらに、125 年才の溶岩上になると、落葉広葉樹のオオシマザクラ、常緑広葉樹のタ

ブノキなどからなる高木林が形成される（図 1、2 の 1874 年溶岩）。まとめると、三宅島の溶岩上の遷移は、裸地→オオバヤシャブシ低木林→オオシマザクラ・タブノキ林と整理することができ、このように、クロノシーケンスを利用することで、125 年にわたる変化（遷移系列と呼ぶ）を理解することができるのである。

2.2. 遷移のメカニズム

遷移では、出現する植物の種が時間経過とともに入れ替わってくる。代表的な遷移初期種であるオオバヤシャブシが、溶岩上に真っ先に侵入できる理由として、（1）小型の風散布種子を持つため、広域的に種子が散布されること、ならびに（2）放線菌と共生することで、根粒から大気中の窒素分子を吸収できる（窒素固定できる）ため、貧栄養な立地でも生育できることの 2 点が挙げられる。土壌生成が進んでいない溶岩上は、植物が利用可能な養分がほとんどない状



図2 三宅島の 1983 年溶岩、1962 年溶岩、1874 年溶岩上の植生。16 年経過した 1983 年溶岩上の中央の樹木はオオバヤシャブシである。37 年経過した 1962 年溶岩上では、裸地の部分は減少し、オオバヤシャブシの低木林になっている。125 年経過した 1874 年溶岩上では、タブノキ・オオシマザクラが優占する高木林となっている。

態にある。しかし、リン、カルシウム、カリウム、マグネシウムなどは、鉱物として潜在的には溶岩中に豊富に存在し、溶岩がこれらの元素の供給源となる。一方、窒素はこれらの元素と異なり、溶岩中にほとんど存在せず、溶岩は窒素の供給源とはならない。このように養分の面からみると、新しい溶岩は窒素の供給源を欠いた状態と捉えることができる。

一方、オオバヤシャブシは他の植物が利用できない大気中の窒素分子を吸収することができるため、窒素を成分として欠いている新しい溶岩上にも侵入できるものと考えられる。溶岩上に生育するオオバヤシャブシの根粒から吸収された窒素は、葉、枝、幹に転流され、これらの器官が枯死脱落すると、溶岩上に窒素が供給されることになる。窒素固定を行わない植物も溶岩上に侵入しやすくなると考えられる。このような遷移の進行を速める効果を「促進効果」と呼ぶ。オオバヤシャブシは溶岩上での生育に適しているが、遷移が進行し、森林が鬱閉すると、

新たな芽生えの定着はなくなる。一方、タブノキやスダジイなどは森林内でも種子が発芽し、芽生えは定着することができる。すなわち、大きくみると、オオバヤシャブシのような陽樹からタブノキ、スダジイのような陰樹へと樹種が移り変わってゆくこととなる。

3. 2000 年噴火後の研究から

3.1. 三宅島 2000 年噴火と植生変化

3.1.1. 噴火が植生に与えた影響

三宅島 2000 年噴火は 2000 年 7 月からはじまり、8 月にかけて山頂が大噴火し、大量の火山灰を放出した。火山灰の放出は 2001 年以降、ほぼ終息したが、有毒ガスである二酸化硫黄を中心とする火山ガスの放出は現在も続いている。これら一連の火山活動により島の植生は多大な影響を受け（図 3）、森林の約 60%にあたる 2500km² が被害を受けたとされている（三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会，2004）。この 2000 年大噴火が、植生に与えた影響について整理すると以下ようになる。まず、噴火の直接的な影響として、

(a) 火山灰堆積による倒伏・埋没，(b) 二酸化硫黄を中心とする火山ガスが挙げられ、間接的な影響として、(c) 泥流の発生，(d) 火山灰や土壌の酸性化が挙げられる。



図 3 三宅島 2000 年噴火後の山腹斜面（2001 年）。噴火後に形成された浸食谷がみえる。

3.1.2. 固定調査区における植生変化（2001 年～2009 年）

三宅島の植生被害とその後の回復を把握するために、島の南西部に 11 個の固定調査区を設置し、2001 年から 2009 年の 9 年間継続調査を行った（Kamijo et al., 2008）。植生被害は火口に近い調査区ほど著しかった。植生回復の中で、顕著であったのは、全面落葉した樹木の幹から直接シュートが出てくる再生様式（胴吹き）であった。しかし、2001 年以降も火山ガスの影響を受けたため、これらの胴吹きした樹木の枯死が観察された。その一方で、ハチジョウススキやオオシマカンスゲなどの草本植物が著しく増加した。これらの種には、二酸化硫黄に対する強い耐性があるものと考えられた。

3.1.3. 噴火後に特異的に増加したユノミネシダ

ハチジョウススキをはじめ、噴火被害地において増加している種の多くは、2000 年より以前の噴火の堆積物上や伐採跡地、林縁などにも普通に生育していた。これに対して、ユノミネシダ（図 4）は、噴火前には、ほとんど確認されていなかった植物であり、噴火後に特異的に増加した種である（上條ほか 2005）。噴火前に行った 170 地点の植物社会学的方法にもとづく植生調査資料には、ユノミネシダは全く出現してなかった。一方、噴火後の 2003 年に行

った調査（130 地点）では 18 地点でユノミネシダが出現した。その群生地は火山ガスの影響の強い島の東部にあり、火山ガスに対する耐性が強いものと考えられる（上條ほか 2005）。



図 5 群生するユノミネシダ

（2005 年、写真：松家大樹）

4. 三宅島の緑化と自然保護

噴火によって三宅島の森林は 60% が大きな被害を受け、雨が降ると火山灰を含む泥流が発生するようになった。そのため、砂防ダムや緑化によって泥流の発生を防ぐ必要性が出てきた。しかし、従来の外来種を用いた緑化を三宅島に適用すれば、大量の外来牧草の播種が必要となる。外来種の大量導入は、長い歴史を通じて培われた三宅島の固有の植物に対して負の影響を与える可能性がある。

以上のような問題を防ぐには、地域性系統すなわち三宅島産の植物による緑化が必要となる。三宅島では平成 16 年に東京都によって「三宅島緑化ガイドライン」が作成された（三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会，2004；石原，2006）。このガイドラインでは、1) 三宅島産植物の優先的な緑化への利用、2) 緑化を行う際の区域設定、3) 三宅島産植物の苗の生産と緑化技術の開発などが内容に盛り込まれ、従来の外来種を中心とした緑化に一定の制限を与えることや、ガイドラインが地域性系統による緑化を推進することの制度的な根拠となった。

緑化の実践に際して、問題となるのは火山ガスであり、火山ガスに強い種を用いなければならない。それらは、樹木としてはヤ



図 6 三宅島産植物による緑化施工から 2 年目の様子
（2007 年）

ブツバキやヒサカキ、草本植物としてはハチジョウススキやオオシマカンスゲだった。図 6 の写真は、東京都と森林総合研究所により行われた三宅島産植物による緑化試験地であり、ハチジョウススキなどが繁茂している様子がわかる。

5. 引用文献

石原 肇 (2006) 三宅島緑化ガイドラインの策定について. 植生情報, (10) : 1-8.

Kamijo T, Kawagoe M, Kato T, Kiyohara Y, Matsuda M, Hashiba K, Shimada K (2008) Destruction and Recovery of Vegetation Caused by the 2000-Year Eruption on Miyake-Jima Island, Japan. *Journal of Disaster Research* 3: 226-235

Kamijo, T., Kitayama, K., Sugawara, A., Urushimichi, S. and Sasai, K. 2002. Primary succession of the warm-temperate broad-leaved forest on a volcanic island, Miyake-jima Island, Japan. *Folia Geobotanica*, 37: 71-91.

上條隆志, 清原諭高, 松田深雪, 加藤拓, 星野義延, 樋口広芳 (2005) 三宅島 2000 年噴火後のユノミネシダの分布拡大. 植物地理・分類研究 58 : 83-89

国土庁土地局 (1987) 「土地保全図三宅島地区」. 国土庁土地局.

三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会 (2004) 三宅島緑化ガイドライン. 三宅島災害対策技術会議緑化関係調整部会, 東京.

富士山の森林限界植生の変化

Vegetation dynamics in the forest limit on Mt. Fuji

山村 靖夫

茨城大学理学部 (〒310-8512 茨城県水戸市文京2-1-1)

Yasuo Yamamura

College of Science, Ibaraki University, 2-1-1, Bunkyo, Mito, Ibaraki, 310-8512, Japan

E-mail: yama@mx.ibaraki.ac.jp

Abstract: Because Mt. Fuji is a young volcano that had never experienced ice age, vegetation is still expanding on lava and scoria bare lands, and the forest limit appears to be ascending. Vegetation dynamics in the forest limit was investigated on north-facing slope of Mt. Fuji, by an analysis of aerial photographs and field studies of vegetation structure, micro-environment and eco-physiology.

(1) Velocity of expansion of the forest limit

The present altitude of the forest limit on north-facing slope of Mt. Fuji is around 2,400 m, but potential one is estimated to be about 2,800 m based on the present temperature condition. The analysis of aerial photographs taken at different times indicated that plant cover had increased on the volcanic bare land and the forest limit had elevated at the rate of 0.4 m yr^{-1} for recent 27 years in spite of frequent disturbances by avalanche. The forest limit elevated more in the downwind side of the forest stands than in the other sites exposed by strong winds from west in winter.

(2) How the forest-limit vegetation develops?

Uppermost forests are early-successional (pioneer) ones dominated by Japanese larch (*Larix kaempferi*) and Erman birch (*Betula ermanii*). The distribution pattern was different between these species; larch was mainly distributed in flat and ridgy sites, while birch was mainly distributed in valley sites. This distribution pattern may be due to the more tolerance of birch to thick snow

accumulation in the valleys. Investigation of ages and spatial arrangement of trees indicated that larch expanded to the upward on the bare slopes and made a forest via a krummholz or shrubby stage, and birch established and made forests at the valley sites and downwind sides of the larch forests.

(3) Importance of nurse plants for establishment of trees

Nurse plants facilitate the establishment and survival of another plant species by ameliorating the local environment. In the bare land above the forest limit, patches of an alpine willow (*Salix reinii*) less than 10 cm in height are scattered. In the willow patches, high irradiance and low temperature were moderated, water and nutrient conditions were improved, and ground surface was much stable. And the occurrence, growth rate and survival rate of larch in the patches were higher than that in bare ground. Thus the willow was a nurse plant for larch at its seedling and sapling stage, and, as the result, the willow patches played an important role in early stage of succession from bare ground to forests.

(4) Effects of avalanches on succession

Avalanches frequently occur and destroy the forest-limit vegetation on Mt. Fuji. We made an eco-physiological study in a successional forest (larch forest with late-successional evergreen conifer, *Abies veitchii*), where canopy trees fell down by an avalanche. The high-irradiance condition impeded the growth of *Abies* saplings through photo-inhibition and drought stress, and facilitated the establishment and growth of pioneer trees such as larch. Avalanches occasionally carry a large quantity of scoria in the forests. Such a condition also inhibits the establishment of *Abies* and facilitates that of pioneer trees. Thus avalanches allow the pioneer forest (larch and birch forests) regenerating and disturb the succession to *Abies* forests.

はじめに

富士山は最終氷期以降の火山活動によって形成された新しい山である。火山活動はその後も続き、有史以来でも1707年の宝永の大噴火まで10回以上の噴火が確認されている。そのため山域全体が比較的新しい溶岩やスコリア（玄武岩質の砂礫）などの火山噴出物に覆われており、土壌のない無機的状态から植物が定着し森林に至るまでの一次遷移の過程を諸所に見ることができる。富士山には、スコリア荒原群落、森林限界のカラマツ林、溶岩流上のアカマツ林、青木ヶ原のヒノキ・ツガ林、忍野ハリモミ林など他ではあまり見られない珍しい植生があるが、植物の種類数は他の山岳に比べて少なく、富士山固有の植物はない。これは、富士山が新しい火山であることに加えて独立峰であるため、植物の移入が起こりにくいことによると考えられる。また、たとえ移入したとしても、強風や地表の不安定性や乾燥、雪崩の頻発など、環境条件が厳しくて生残の機会が少ないことも一因として考えられよう。森林限界付近では他の山岳に見られるハイマツが生育せず、その代わりとしてカラマツが矮性化してスコリア荒原に広く分布している。

森林の垂直分布としては、標高1500～1600mまでの山地帯にはブナやミズナラの優占する落葉広葉樹林やツガやヒノキ、アカマツが優占する針葉樹林、その上の亜高山帯には、シラビソやコメツガが優占する針葉樹林が見られる。亜高山帯林の上部ではカラマツ林やダケカンバ林が優占し森林限界となる。森林限界の標高は南アルプスなど周囲の高山よりかなり低く、その上にはスコリアや溶岩の火山荒原が広がっている。そこには、高山性の草本や低木とともにカラマツやダケカンバの稚樹が侵入し、森林限界が上昇の途上にあることがうかがえる。富士山の森林限界付近のカラマツ林やダケカンバ林などの落葉樹林は、シラビソやコメツガの極相林へ移り変わる遷移途中相であるとともに、高標高への森林の分布拡大の最前線と見なすことができる。

森林限界の植生分布の最近の変化は撮影時期の異なる空中写真を比較することにより知ることが可能であろう。さらに森林限界植生の変化過程とそのメカニズムを明らかにするためには、植生の構造（種の分布様式や個体のサイズや齢の構成）と地形などの環境要因、遷移の促進要因と阻害要因を調査する必要がある。ここでは、このような観点から富士山の森林限界の動態について10年以上にわたって行ってきた山梨県環境科学研究所との共同研究のこれまでの成果をまとめて報告する。

森林限界が上昇する速度とパターン

富士山北斜面の森林限界は平均として標高2400m付近にあるが、温度条件や南アルプスなどの他の高山の森林限界位置を考慮すると、将来的には2800m位まで上昇する可能性がある。ただし、標高ともに厳しくなる富士山特有の強風や不安定な地表、頻発する雪崩などのため森林限界の上昇速度はかなり低いだろう。1975年と2002年に撮影された航空写真は、比較的解像度が高く微細な植生分布の識別が可能であったので、これを解析し比較することによりこの27年間の森林限界植生の変化を調べた。調査区域は北斜面の森林限界付近の46haで、森林と裸地がほぼ半々に含まれ



図1. 北斜面の森林限界付近の航空写真（1975年撮影，国土地理院）。写真上が山頂方向。枠内が2002年までの植生変化を調査した区域（146ha）。

ている（図1）。調査区全域を5mのメッシュで区切り、各セルの植被率を5段階に評価した。

最近27年間に植被が増加したところと減少したところを区分して図2に示した。植被の増加と減少のそれぞれを面積に換算すると、増加した植被面積は7.7ha、減少した面積は2.4haで差し引き5.3haの増加であった。植被拡大のほとんどは森林限界の縁で起こっているため、この植被増加は森林限界が上昇したことを意味する。植被拡大がすべて森林限界の縁で起こったと仮定すると、森林限界の標高としての上昇速度は1年あたり平均0.4mと計算された。火山噴火などの壊滅的な

作用がない条件において、この速度で森林限界が上昇続けると潜在的な標高である2800mに達するのに1000年を要することになる。

図2から明らかなように、森林限界はどこでも同じように拡大したわけではなく、森林の東側への拡大が特に大きく、南側すなわち斜面上方、西側方向の順に拡大速度は小さかった。この不均一な植生拡大は、

地形と西からの強い季節風の影響によると考えられる。裸地に生育しているカラマツのほとんどは、高さの成長を抑えられて矮性化しており、幹を伸ばすことができた場合でも東側だけに枝をもつ旗型の扁形樹形を示す。森林限界は強風の影響の少ない植生の東側へむかってより速く拡大するのであろう。一方、植被の減少した場所の大部分はこの27年間に起こった大規模な雪崩の場所と一致しており、雪崩が森林限界を後退させる主要因となっている。

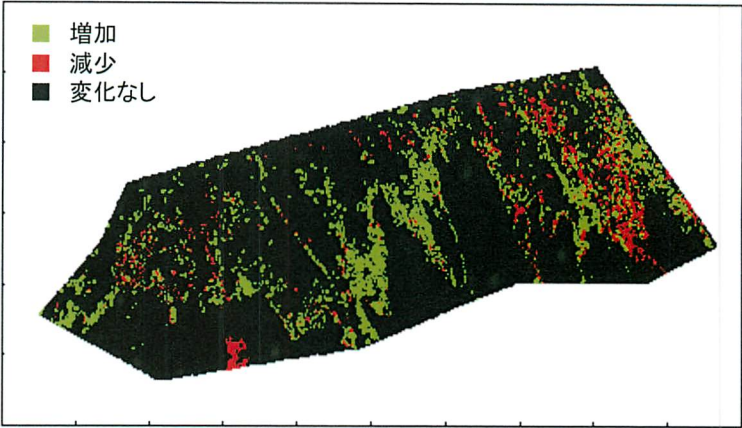


図2. 最近27年間（1975年～2002年）の調査区内の植被の増減。
全域を5m×5mの小区画に分け、植被の増加、減少、変化なしの3つ

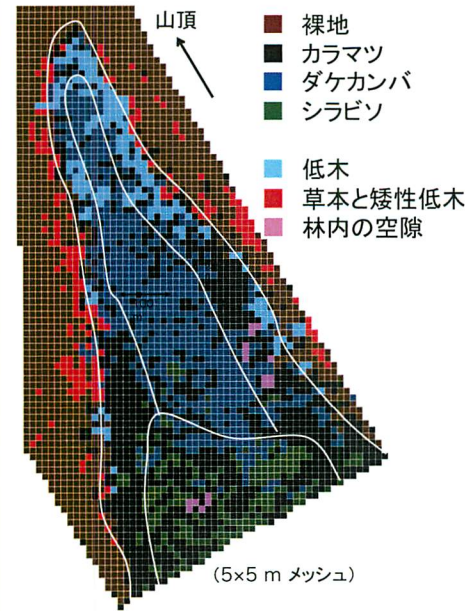


図3. 半島状植生の植生分布。2002年撮影の航空写真を用いて5m×5mの小区画の優占種を判定して色分けした。

森林限界植生はどのようにして発達するか

富士山の森林限界植生は、山頂方向に突き出た半島状の植生を単位として、これが連なって山頂を取り巻いている。そこで、典型的なサイズと形をもつ半島状植生を選び（図1；調査区域の中央部にある楔形の植生）、その構造を詳しく調査することにより森林限界植生の発達の過程とメカニズムを推察した。航空写真から植生の分布を把握し、半島状植生を縦横に貫くトランセクト調査で樹木種のサイズ、樹齢、微地形、積雪深などを調査した。

図3は航空写真と現地調査から作成した半島状植生内の優占種の分布図である。半島状植生は基本的にはカラマツ林とダケカンバ林からなり、下部ではシラビソ林への移

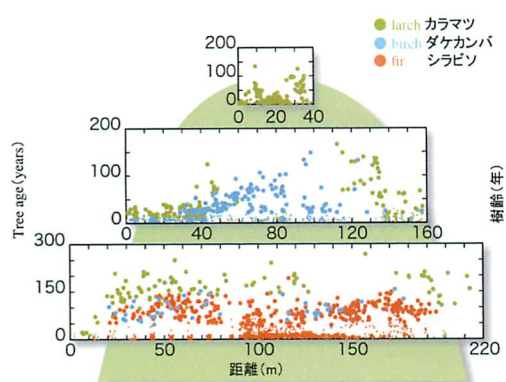


図4. 半島状植生を水平方向に貫く3つのトランセクト（帯状）調査区の、優占樹種（カラマツ、ダケカンバ、シラビソ）の樹齢の空間分布。各グラフの横軸はトランセクトの東端からの距離、縦軸は樹木の年齢、各点は植物の個体を表

よると考えられる。カラマツとダケカンバのサイズと樹齢の空間分布から、カラマツは斜面に沿って断続的に上方の裸地へ侵入・定着し、矮性樹形を経て高木林を形成する。カラマツ林の風下側の谷地形の積雪の多いところにはダケカンバが侵入・定着し森林を形成すると考えられる。

カラマツとダケカンバはそれぞれが微地形に対応して裸地へ侵入することのできる先駆種であり、富士山の森林限界のカラマツ林、ダケカンバ林はともに一次遷移の途中相であることが明確になった。カラマツの樹齢空間分布から半島状植生の拡大速度を推定すると、東側への拡大速度が西側より約2倍高く、航空写真の解析から得られた結果と一致した。またこの半島状植生が上方へ拡大した速度は標高として0.8m/年となり、上記の最近の平均速度の2倍であった。森林限界は地形に対応してより速く上昇する場所があることを示すものである。

樹木定着におけるナース植物の重要性

厳しい環境を和らげて他種の植物の生育を助ける植物のことをナース植物と呼ぶ。森林限界の上のスコリア荒原には、高さが10cmほどしかないミネヤナギの株（パッチ）が所々に生えており、これがカラマツの実生にとってのナース植物となっているかを検証した（図5）。スコリア荒原に永久方形区を設置し、出現する全ての植物の位置とサイズを記録し、あわせて光・温度・土壌表

行帯となっていた。半島状植生を横断する3つのトランセクト内の樹齢分布（図4）は、カラマツ・ダケカンバ・シラビソの順に樹齢が高く、斜面の下ほど樹齢が高いことを示した。また中央部を水平方向に横断するトランセクトでは、明らかな樹齢の勾配があり、西側で高く東側で低かった（図4）。ダケカンバ林となっている中央部は緩い谷状の地形であり、雪が堆積する場所である。測定した最大積雪深はカラマツ林では0.5m程度であったのに対し、ダケカンバ林では1.5m以上になった。カラマツ林は主に尾根や平坦な地形に分布しダケカンバ林は谷状の地形に分布した。これは両種の積雪に対する耐性の違いに

層の水分・栄養・物理的安定性などの微環境を測定した。植物の生死やサイズについて数年後に再調査を行った。以上のデータから各植物種の分布様式、成長や生残と微環境の関係を解析した。

分布様式はミネヤナギがランダム分布であったのに対しカラマツは集中分布であった。両種とも種子は風によって散布されるので、この分布様式の違いはミネヤナギが他種の影

響を受けずに裸地に直接定着できるのに対しカラマツは種間相互作用の影響を受けていることを示唆する。分布の偏りを分析すると、カラマツは明らかに裸地上よりミネヤナギパッチ内に多く出現する傾向があった。さらに、カラマツ実生の成長と生残はともに、裸地よりもミネヤナギパッチの中の方が高かった。パッチ内ではパッチ外よりも低温や強光が緩和され、土壌の水分と栄養が豊富で、地表が安定していた。このようにしてミネヤナギは微環境を改善することによってカラマツ実生の定着と成長を助け、結果として裸地から森林への遷移を促進している。



図5．森林限界の上に広がるスコリア荒原（標高約2500m）。多数のミネヤナギパッチが見える。

植生遷移への雪崩の作用

富士山の森林限界付近では雪崩が頻発している。雪崩による植生破壊は、土砂を巻き込んだスラッシュ雪崩による森林全体の破壊の他に、森林内にスコリアを堆積させる下層植生の破壊や表層雪崩による林冠木の破壊がある。森林限界の植生遷移に対する林床破壊と林冠木破壊の効果を調査した。

雪崩道に隣接するカラマツ林と、雪崩の影響のないカラマツ林に斜面方向に長さ100m以上のトランセクト調査区を設置して、森林構造と土壌構造を比較した。前者の土壌断面は過去に繰り返してスコリアが流入した証拠を示した。いずれの場所もカラマツの最高樹齢は200年を越えていた。雪崩の影響のない森林では、カラマツ林冠木は斜面の上部から下部へ樹齢が増加し、陽樹であるカラマツの若木は存在せず、約100年遅れて遷移後期種（陰樹）であるシラビソが連続的に侵入し成長していた。一方、雪崩道に隣接する森林では、カラマツは若木を含む3つの年齢グループからなり、シラビソは若い稚樹がほとんどを占めた。以上より、スコリアの流入が林床でのカラマ

ツ実生の定着・成長を可能にする一方で、シラビソの侵入を阻害しカラマツ林の自己更新を可能にしていることが明らかになった。

次に表層雪崩が林冠木を倒すことによる大規模ギャップの形成が森林の遷移を遅らせる生理生態的なメカニズムを検証した（図6）。1998年の雪崩で生じた大規模ギャップ下で生き残ったシラビソ稚樹と林内の稚樹を用いて、光合成特性や水分生理特性を比較したところ、ギャップ下の稚樹は強光によって光化学系の働きが阻害され、光合成酵素のRubiscoも少なかった。このため光合成能力が低下し、成長速度が低くなっていた。また、ギャップ下ではシラビソは気孔を閉じて乾燥ストレスに対応しており、これも低い光合成の原因と考えられた。一方、雪崩後に実生更新したカラマツは旺盛な成長を示し、回復した森林はカラマツ林になると思われる。以上より、表層雪崩による林冠木の破壊は強光阻害と乾燥ストレスによって遷移後期種（陰樹）のシラビソの更新を阻害し、遷移を停滞させることが明らかになった。

まとめとして

富士山の森林限界は一次遷移によって確かに上昇している。スコリア荒原への樹木の侵入はナース植物によって促進され、カラマツとダケカンバが地形条件に対応して初期の森林を形成することで森林限界は拡大する。一方雪崩は森林限界を後退させる最大の要因であり、カラマツ林やダケカンバ林などの落葉樹林（陽樹林）からシラビソ林などの常緑針葉樹林（陰樹林）への遷移も妨げる。

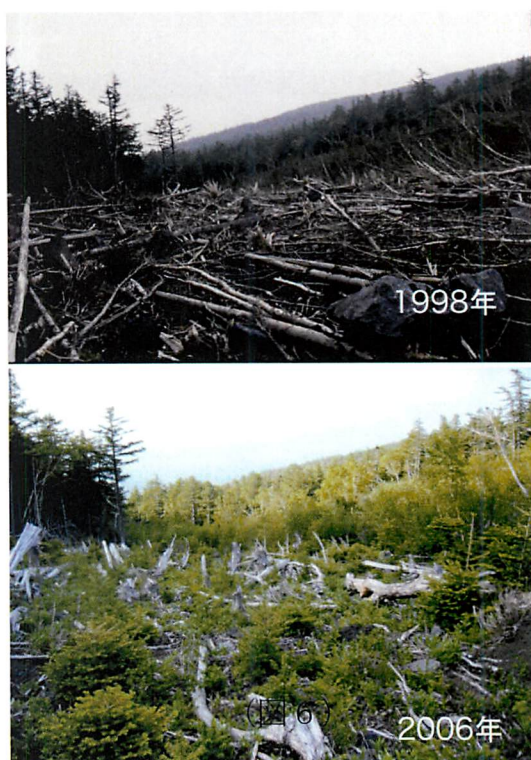


図6．1998年4月に発生した表層雪崩の跡地を1998年と2006年にほぼ同じ位置で撮影した写真（標高約2300m）。林冠木は全て倒れたが、林床は破壊されなかった。2006年にはシラビソの前生稚樹より、あとから実生として侵入したカラマツの

地球温暖化にともなう気候変化は、富士山森林限界の上昇を促進するか、あるいは阻害するのか。温度上昇は植物の成長や繁殖を促進するが、乾燥化が伴えばそうはならないし、積雪量の変化も大きな影響を与える。しかし詳しい気象条件の変化はまだ予測できる段階ではない。また入山者が増加する中で外来植物などの生物学的侵入も大きなインパクトを与える可能性がある。温暖化や外来種侵入の影響は現状では予測できないが、今後の重要な研究課題となるだろう。

本報告の内容は、山梨県環境科学研究所の中野隆志氏、安田泰輔氏、茨城大学の遠藤潤氏、田中厚志氏、三田村理子氏、斉藤良充氏、芹澤守也氏との共同研究によるものであり、下記の既発表論文のほか未発表のデータも一部使用した。

Mitamura Masako, Yamamura Yasuo, Nakano Takashi. Large-scale canopy opening causes decreased photosynthesis in the saplings of shade-tolerant conifer, *Abies veitchii*. *Tree Physiology*, Vol.29, 2009, pp

Endo Megumi, Yamamura Yasuo, Tanaka Atsushi, Yasuda Taisuke, Nakano Takashi. Nurse-plant effect of a dwarf shrub on the establishment of tree seedlings in a volcanic desert on Mt. Fuji, central Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, Vol.40, 2008, pp335-342.

Tanaka Atsushi, Yamamura Yasuo, Nakano Takashi. Effects of forest-floor avalanche disturbance on the structure and dynamics of a subalpine forest near the forest limit on Mt. Fuji. *Ecological Research*, Vol.23, 2008, pp71-81.

三田村理子, 山村靖夫, 中野隆志 雪崩攪乱で生じた強光環境でのシラビソとカラマツ稚樹の光合成と水分特性 富士山研究, 第2巻 (2008) pp15-21.

火山起源の海洋島：小笠原の植物の環境適応と環境変化に対する植生変化

Plant adaptation and vegetation response to changing
environments at the Ogasawara, volcanic ocean islands

石田 厚

京都大学 生態学研究センター (〒520-2113 滋賀県大津市平野2-509-3)

Atsushi Ishida

Center for Ecological Research, Kyoto University, 509-3,
2-Hirano, Otsu, Shiga 520-2113, Japan.

E-mail: atto@ecology.kyoto-u.ac.jp

Abstract: The Ogasawara Islands are small oceanic islands where formed as a result of volcanic activity during the Tertiary. The Islands are located in the subtropical Pacific about 1,000 km south of Tokyo (27°04 N, 142°13 E). The annual precipitation is approximately 1,200 mm. Similar to other oceanic islands, such as the Galapagos or Hawaii, the Ogasawara islands have a rich flora with a high degree of endemism (75% for woody plant species). Almost all woody plants are evergreens. The soil is of volcanic origin. Dwarf forests with less than a few meter heights are human are expanding within the islands, replacing the native tree species.

The plants in the Ogasawara Islands have high tolerance ability against severe environments, such as drought, low nutrients, and strong sunlight, in physiology and morphology. They are divided into functional groups from the combinations of different sets of stem density and leaf nitrogen (N) concentration. Leaf N concentrations were negatively correlated with leaf lifespan and positively correlated with leaf photosynthetic ability among plants. Leaf lifespan varied from three months to three years among the co-occurring plants. Stem density was negatively correlated with leaf osmotic potential at full turgor, an indicator of daytime leaf water potential. These data indicate that stem density and leaf N concentration are key factors to determine plant function related to carbon, water and nutrient use. Xylem anatomy in stems varied among the co-occurring woody plants. The tree species with more combined xylem conduits is likely to favor to thicker and wetter soils. The precipitation change in the future will affect to vegetation structure and forest function.

In the invasive tree species, the values of stem density and leaf N of them were similar to those of the native tree species. According to experiments using the potted plants, the seedlings of invasive tree species could get much resource and quickly grow under light and soil N contents change, compared to those of native tree species. We predict that the distribution area of the invasive tree species within the islands rapidly expand, if the frequency of disturbance due to typhoons increases in the future.

要旨：小笠原諸島は東京から約 1,000 km 南にあり (27° 04' N, 142° 13' E)、第三紀 (6,430～180 万年前) に海底火山が隆起して出来た島々である。年降水量は約 1,200 mm と比較的少ない。小笠原は一度も大陸とつながったことがない海洋島であることから、ガラパゴスやハワイのように、その島にしか生息しない生物種が多く、その木本樹種の内の約 75% が固有種である。またこれらの樹木は、冬に葉を落とさない常緑性である。土壌は火山起源で、特に島の尾根部では土壌が浅く、植物は乾燥や貧栄養にさらされ、樹木の背丈が低いことから、乾性低木林と呼ばれている。しかし現在、人によって持ち込まれた外来樹種が、在来性の樹種に置き換わって森に広がりつつあるのが現状である。

乾性低木林の植物は、乾燥、低い栄養塩、強光に耐えられるよう、生理的・形態的にそれぞれ特異な進化をしてきている。茎密度と葉の乾燥重あたりの光合成速度から、草本・灌木類、先駆性樹種、立木種 (被子植物)、針葉樹、地面をはう樹木種、ヤシ類のグループに分けられた。これらのことから、茎密度と乾燥重あたりの光合成速度は植物を機能グループに分ける重要な特性であり、またそのグループによって、植物は炭素や栄養塩、水といった資源利用の仕方が異なっていることが示唆された。また植物種によって、葉の寿命は3ヶ月から3年と10倍以上の差異が見られた。葉の寿命が短い植物ほど、葉の窒素濃度は高く、大気から二酸化炭素を吸う光合成能力も高くなった。また茎密度の高い植物ほど、葉の浸透ポテンシャルが低く、土壌から水を吸い上げる吸水力が高いことがわかった。また乾性低木林に生育する立木種内では、茎木部の道管が連結している樹種ほど、より湿った土壌を持つ谷部の生育地として好む傾向が見られた。これらの結果より、将来、降雨量や季節パターンが変化した時、森林内での樹木種の組成が変化し、それによってもって森林の機能も変化することを示唆された。また一方、島内で分布を広げている外来樹種は、特殊な茎密度や光合成速度を持つ訳ではなく、光や栄養塩環境が大きく変化した時、変動する資源を多く獲得し素早く成長できる特性を持っていた。将来台風などの攪乱頻度が大きくなった場合、変動環境で素早く成長できる外来樹種の分布が大きくなると予測された。

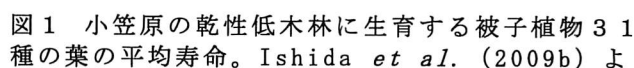
序論：小笠原諸島は、東京から約 1,000km 南にある海洋島である。このことから島内には多くの固有種が生息しており、東洋のガラパゴスと呼ばれている。島は火山性由来のため、特に尾根部では土壌の発達が悪く、多種が共存する乾性低木林を形成しており、日本では他に例を見ない林である (写真1)。木本種では、その約 75% が固有種である (Kobayashi 1978)。一方明治後期の本格的な入植以来、多くの外来樹種が小笠原に持ち込まれ、島内で狭めている (石田ほか 2009a)。現在、世界的にも顕著な価値を持つ小笠原諸島の自然を次世代に確実に引き継ぐため、小笠原諸島の世界自然遺産登録に向けて環境省や林野庁始め、さまざまな努力が払われている。また南島などでは、地元住民の協力により、外来種を島内に入れない水際対策もとられている。これらの努力の結果、2010年1月に日本政府からユネスコに推薦書が提出され、同年7月1日から15日にかけて、世界



写真1 小笠原父島の乾性低木林の景観。多くの樹種が共存し、尾根部や土壌が浅く樹高は低く (1 m 以下)、一方谷部は土壌が発達し樹高は高く (20 m) なる。

小笠原には多くの植物種が共存をしている。同所する植物種間で比較した場合、葉寿命の長さは、LMA（単位葉面積当たりの乾重）と正の相関を示し、光合成速度や葉内窒素含量の間には負の相関があることがわかっている。これらの研究は 1980 年代から精力的に行われ始め、多くのバイオーム間や多くの植物種で比較、検証されている（例えば Chabot and Hicks 1982 ; Reich *et al.* 1994、1997、2003 ; Wright *et al.* 2004）。これらの研究から、葉寿命や LMA は、植物の栄養塩利用や炭素利用の仕方を決めるトレード・オフの軸であることが示されている。また近年、茎（幹）の密度と葉の日中の水ポテンシャルの間には負の相関があることが示されてきており、水経済におけるトレード・オフの軸もあることが示唆されている（Ackerly 2004 ; Bucci *et al.* 2004 ; Santiago *et al.* 2004 ; Jacobsen *et al.* 2007 ; Ishida *et al.* 2008）。植物種の共存は、1）競争力や分散能力、2）成長速度と耐被食や抗菌性、3）平均的な環境と変動環境での資源獲得能、4）資源利用特性に由来した異なった立地での生育など、さまざまなトレードオフが働いていることによると考えられる（Tilman 2000）。このような様々なトレードオフを持つことによって競争力や適応度が均等化することが、多くの植物種が共存できる一つの要因であろう（石田ほか 2009b）。一方、島内で分布を広げている外来樹種は、在来樹種と比べ高い競争力や適応度を持っており、在来樹種との共存をくずしていると考えられる。植物の小笠原は海洋島であるゆえ、植物の適応や進化、共存の仕組みとそれを崩す要因を明らかにし、将来の環境変動に対してどのように植生や森林機能が変化していくのかを見るモデルサイトとしても適した場所である。

関係の存在を示唆する (Niinemets *et al.* 2007)。長寿命で高い LMA の葉に低い光合成速度を持つ植物は、1 枚の葉で長留めておくことによって栄養塩の Aerts 1995; Ishida *et al.* 2007)。な障害に耐える力や被食に耐えるくする必要がある。そのかわり、てしまう。その逆に、短寿命で低葉を作る炭素コストを安くすませ炭素コストを回収することができ



素と栄養塩利用に関するトレードオフの関係ができる。

植物の水利用特性を見ると、葉の浸透ポテンシャルが低下、すなわち葉の吸水力が大きくなる種ほど、LMAは大きく、茎の密度も高くなった(図3)。これは葉の水ポテンシャルが低下するほど道管内に負圧が強くなるため、木部構造を堅くするため組織への炭素投資が必要になるからだと考えられている(Hacke *et al.* 2001)。このことは、葉の水分生理と葉や茎の支持構造と間にトレードオフの関係が存在することを示唆する。植物はこういった、炭素、栄養塩、水利用にかかわる複数のトレードオフの関係を組み合わせて持つことによって、葉や茎などの様々な形質間で相関関係を持つことがわかってきている(Ishida *et al.* 2008)。そのことは植物の制約になっている。

LMAや葉寿命の特性は、それぞれ炭素、栄養塩、水利用特性と関連しているにも関わらず、茎密度と葉重あたりの光合成速度との間には、全植物間では相関は見られなかった。この相関を持たない二つの形質をx軸とy軸にして各植物種の値をプロットしたのが図4である。その結果、草本・灌木類、先駆性樹種、立木種(被子植物)、地面をはう樹木、針葉樹、ヤシ類のグループに分けられた。このことは、それぞれの植物のグループ間で、特有の茎密度と葉重あたりの光合成速度の値を持ち、異なった炭素、栄養塩、水利用特性を持つことが示唆する。そのことよりこの植物種のグループ

(functional group は、異なった機能グ

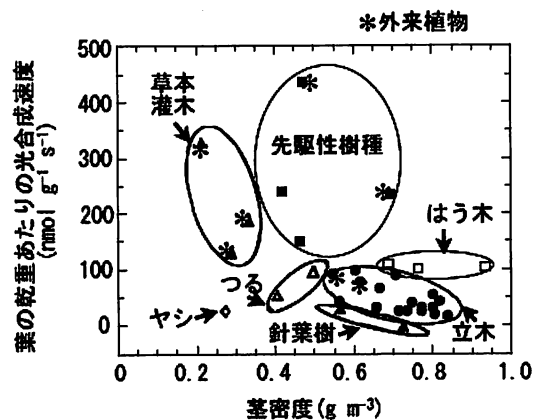


図4 小笠原の乾性低木林に生育する植物種の、茎密度と葉重あたりの光合成との関係。植物の機能グループごとに円で囲っている。Ishida *et al.* (2008) より作図。

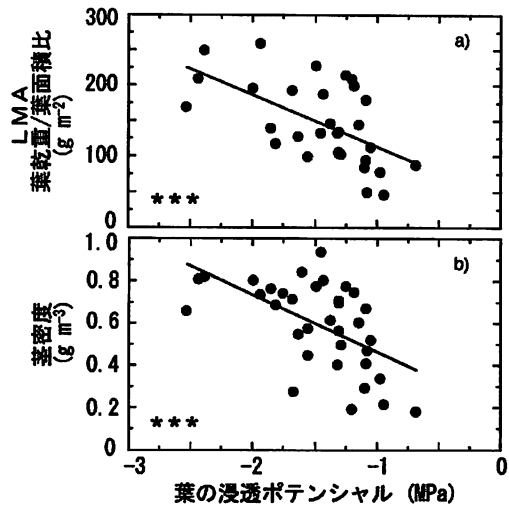


図2 葉の平均寿命と、a) 葉の堅さの指標であるLMA (葉乾重/葉面積比) と、b) 葉の乾重あたりの光合成速度との関係。***は有意な相関があることを示す($P < 0.001$)。

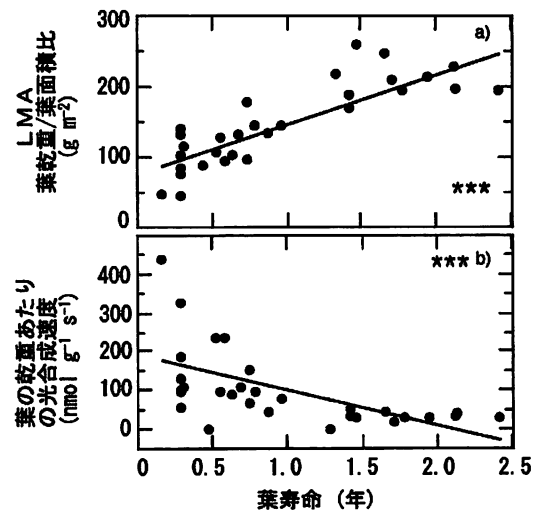


図3 葉の飽和水時の浸透ポテンシャルと、a) LMA (葉乾重/葉面積比) とb) 茎密度との関係。浸透ポテンシャルが低いほど、日中の葉の吸水力が大きくなると考えられる。***は有意な相関がある。p) としてとらえることができる。

また茎密度と葉重あたりの光合成速度は、それぞれの機能グループを分ける重要な要因であると言える。

またこの機能グループの間には、特異な生育場所を持つものも見られる。特に先駆性樹種は道路端など大きな攪乱を受けた場所に、また地面をはう樹木種は溶岩の露出したごく浅い土壌の場所に見られる(写真2)。これらの住み分ける立地いやばかりでなく、繁殖

や成長特性の違いとも関係している。例えば、先駆性樹種は、多くの小さく分散し易い種子を作り、またその種子は長期間土の中で休眠し、毎土種子となる。こういった棲み分けも、共存をもたらす1つの要因になっている。

また立木内の樹木種の木部構造を比較してみると、連結した道管を持つ樹種はより湿った谷部に、孤立した道管を持つ樹種はより乾いた尾根部に見られる傾向があった。連結した道管は、木部キャビテーション（水切れ）が道管内で広がりやすい（Yazaki *et al.* 2010）。従って立木種では、道管間の連結構造が乾燥耐性と強く関連していると予測された。小笠原の降水量は年変動が大きく、またここ数十年、減少しつつある（清水 1999）。大きく年変動する降水量も、乾燥耐性の異なる樹木種の共存をもたらす1つの要因であろう。しかし将来、温暖化等により降水量が減少もしくは増加した場合、乾燥耐性の強さによって樹種構成に変化が起きると予測される。すなわち、複数のトレードオフによる競争力や適応度の均等化、棲み分け、環境変動といった多くの要因が、植物種の共存を支えている要因であり、単純な仕組みではなさそうである。

一方外来樹種は、島内で分布を広げていることから、競争力や適応度が在来樹種よりも抜きん出た種である。しかし図4において外来樹種と在来樹種を比べても、外来樹種が特殊な異なった茎密度や葉重あたりの光合成速度を持つ訳ではない。小笠原では、大きな台風の攪乱のあとに、アカギやキバンジロウといった外来樹種は天然林へと侵攻していく（清水 1988; Shimizu 2006）。このことより攪乱による光変化への応答特性が、外来樹種では優れていると考えられる。そこでそれを実証するため、外来樹種アカギのポット苗と、在来樹種であるウラジロエノキ（遷移前期樹種）、ムニンヒメツバキ（遷移前期樹種）、シマホルトノキ（遷移後期樹種）といった異なった遷移系列樹種のポット苗を使って、暗条件から明条件に移す実験を行った（Yamashita *et al.* 2000; Yamashita *et al.* 2002）。その結果、アカギの実生は、遷移前期樹種であるウラジロエノキの実生と同じくらいの成長速度を示した（図5）。光を暗条件から明条件に移したとき、遷移前期樹種は明るい環境に適した新葉を素早く出す能力が高く、一方遷移後期樹種は旧葉を暗い環境に適していた旧葉を明るい環境に適したように馴化させる能力が高かった。外来樹種のアカギでは、新葉を素早く出す能力と旧葉の馴化能力の、両方が高いことが、変動光環境で高い成長を示す要因であった。またアカギの葉の光馴化能力から、アカギは遷移中期的な特性を示した。またアカギと同様、遷移中期樹種であるムニンヒメツバキも、新葉の出葉能力と旧葉の馴化能力の双方が高い傾向が見られた。すなわち、遷移中期樹種は、中規模の攪乱の増加によって分布をさらに広げていくと予測される。これらの結果をもとに、我々は「外来樹種は、環境が変動した時に、資源をうまく取り込み素早い成長が可能であることが、外来樹種が在来樹種に置き換わる重要な要因になっている」という仮説を得た（Yamashita *et al.* 2000; 石田

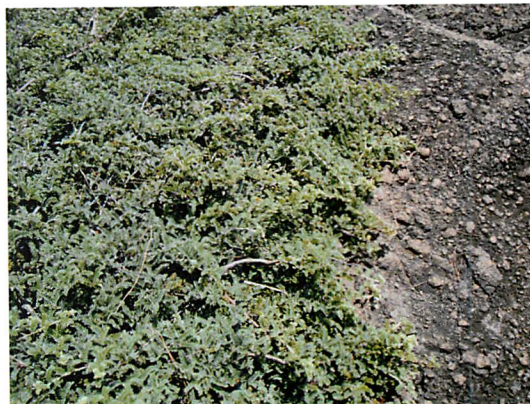


写真2 溶岩の露出し土壌のごく浅い場所によく見られるバラ科のタチテンノウメ。特に土壌の浅い場所では、地面や岩盤上にはって生育する。

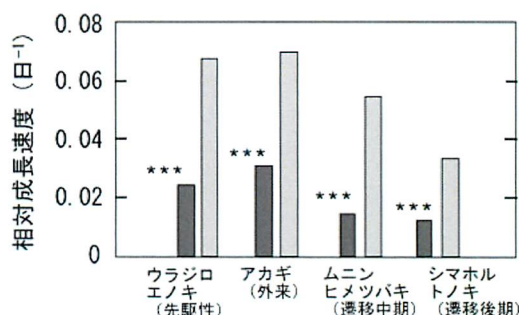


図5 小笠原に生育する異なった遷移系列樹種とアカギのポット苗木の相対成長速度。黒のバーは暗条件一定で育てた個体、黄色のバーは暗条件から明条件に移した

ほか 2009a; Yazaki *et al.* 2010)。さらにアカギの成木はウラジロエノキの成木よりも背丈も高く、木の寿命も長い。またアカギは種子繁殖能や実生の生残率も高い (Yamashita *et al.* 2003)。こういった他の要因も、外来樹種アカギが優勢になる要因になっている。

結論： 小笠原の乾燥尾根部に生育する植物は、光、炭素、栄養塩、水といった様々な資源の利用に関わる複数のトレードオフを持っていた。複数のトレードオフの組み合わせにより、競争力や適応度が均等化されることが、共存を可能にする1つの要因であると考えられた。また異なった茎密度と葉重あたりの光合成速度は、植物の資源利用特性を分け、機能グループを特長づける重要な形質であることがわかった。しかし島内で分布を広げている外来樹種は、特殊な茎密度と葉重あたりの光合成速度を持つわけではなかった。外来樹種は、変動する環境下で、す早く資源を獲得し成長することにより、在来樹種よりも早い成長速度を持っていた。今後の温暖化等により台風などの攪乱頻度が増せば、外来樹種の分布はさらに大きく拡大していくと予測される。また降水量の変化も、在来樹種の組成変化や外来樹種の分布拡大をもたらすであろう。世界自然遺産に向けて小笠原の貴重な森林を適切に維持管理していくために、森林の構造や機能を理解し、また外来樹種や在来樹種の組成などの変化を将来予測していくことが重要である。

引用文献

- Ackerly D. D. (2004) Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. *Ecological Monographs* 74: 25-44.
- Aerts R. (1995) The advantages of being evergreen. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 402-407.
- Bucci S. J., Goldstein G., Meinzer F. C., Scholzm, F. G., Franco A. C. and Bustamante M. (2004) Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. *Tree Physiology* 24: 891-899.
- Chabot B. F. and Hicks D. J. (1982) The ecology of leaf life spans. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 229-259.
- Chapin III F. S. (1980) The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 233-260.
- Hacke U. G., Sperry J. S., Pockman W. T., Davis S. D. and McCulloh K. A. (2001) Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia* 126: 457-461.
- Ishida A., Nakano T., Yazaki K., Matsuki S., Koike N., Lauenstein D.L., Shimizu M. and Yamashita N. (2008) Coordination between leaf and stem traits related to leaf carbon gain and hydraulics across 32 drought-tolerant angiosperms. *Oecologia* 156: 193-202.
- 石田厚、矢崎健一、大曾根陽子、山下直子 (2009a) 小笠原外来樹種の生理生態 地球環境 14(1): 85-88.
- 石田厚、中野隆志、矢崎健一、松木佐和子、山路恵子、清水美智留、山下直子 (2009b) 小笠原乾燥尾根部に成育する植物の葉と茎の生理生態学的特性. 小笠原研究 (Ogasawara Research) 34: 9-31.
- Jacobsen A. L., Agenbag L., Esler K. J., Pratt R. B., Ewers F. W. and Davis S. D. (2007) Xylem density, biomechanics and anatomical traits correlate with water stress in 17 evergreen shrub species of the Mediterranean-type climate region of South Africa. *Journal of Ecology* 95: 171-183.
- Kobayashi S. (1978) A list of the vascular plants occurring in the Ogasawara

- (Bonin) islands. Ogasawara Research 1-2: 1-33.
- Niinemets Ü., Portsmouth A. and Tobias M. (2007) Leaf shape and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a neglected source of leaf physiological differentiation? *Functional Ecology* 21: 28-40.
- Reich P. B., Walters M. B., Ellsworth D. S. and Uhl C. (1994) Photosynthesis-nitrogen relations in Amazonian tree species. I. Patterns among species and communities. *Oecologia* 97: 62-72.
- Reich P. B., Walters M. B. and Ellsworth D. S. (1997) From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *The Proceedings of National Academy of Sciences* 94: 13730-13734.
- Reich P. B., Wright I. J., Cavender-Bares J., Craine J.M., Oleksyn J., Westoby M. and Walters M. B. (2003) The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. *International Journal of Plant Sciences* 164 (Suppl): S143-S164.
- Santiago L.S., Goldstein G., Meinzer F. C., Fisher J. B., Machado K., Woodruff D. and Jones T. (2004) Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. *Oecologia* 140: 543-550.
- 清水善和 (1988) 小笠原諸島母島桑ノ木山の植生とアカギの侵入 地域学研究 1, pp. 31-46.
- 清水善和 (1999) 小笠原諸島父島における乾性低木林の 21 年間の個体群動態. 保全生態学 4: 175-197.
- Shimizu Y. (2006) Population dynamics of an invasive plant (*Psidium cattleianum*) after two continuous disturbances in the *Pinus-Schima* secondary forest on Chichijima in the Ogasawara (Bonin) islands. 地域学研究 19: 1-15.
- Tilman D. (2000) Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature* 405: 208-211.
- Wright I. J., Reich P. B., Westoby M., Ackerly D. D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin T., Cornelissen J. H. C., Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P. K., Gulias J., Hikosaka K., Lamont B. B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J. J., Navas M.-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V. I., Roumet C., Thomas S. C., Tjoelker M. G., Veneklaas E. J. and Villar R. (2004) The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821-827.
- Yamashita N., Koike N. and Ishida A. (2002) Leaf ontogenetic dependence of light acclimation in invasive and native subtropical trees of different successional status. *Plant, Cell and Environment* 25: 1341-1356.
- Yamashita N., Ishida A., Kushima H. and Tanaka N. (2000) Acclimation to sudden increase in light favoring an invasive over native trees in subtropical islands, Japan. *Oecologia*, 125: 412-419.
- Yamashita N., Tanaka N., Hoshi Y., Kushima H. and Kamo K. (2003) Seed and seedling demography of invasive and native trees of subtropical Pacific islands. *Journal of Vegetation Science* 14: 15-24.
- Yazaki K., Sano Y., Fujikawa S., Nakano T. and Ishida A. (2010) Responses to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding. *Tree Physiology* 30: 539-607.

総合討論

パネリスト

Bruce Clarkson, Sergei Grishin, 上條隆志、山村靖夫、増沢武弘(静岡大学理学部 : sbtmasu@ipc.shizuoka.ac.jp)、**可知直毅**(首都大学都市教養学部 : naoki-kach@tmu.ac.jp)

中野：時間もございませんので、パネラーの先生方から一言ずつ、お話を頂戴したいと思います。

ブルース先生：まずこのような機会を与えてくださりましてありがとうございます。富士山についてなんですが、富士山はとてもユニークですばらしい山だと思います。遷移も特別な遷移もあって、分かりやすい、いい遷移も見られますので、それを研究することによってとてもいい研究になるかと思います。また、今回ニュージーランドとか、世界のさまざまな火山の比較も行われてきて、それを比較したことによってとてもいい勉強にもなりました。今後ともこのように研究を続けほかの山の比較をしていくことによって将来につなげていけたらいいなと考えております。

セルゲイ先生：同じくこのような機会を与えてくださりまして本当にありがとうございます。エクスカッションの方に参加させていただいて素晴らしい富士山の自然を見られて、とてもよかったと思います。この富士山の植生の様子を、カムチャッカの様子と比較することが出来て、とてもよかったと思います。また、将来もっとこれを引き続き、将来も続けていきたいと思います。この富士山の風景というのは自分の心の中に一生残るものだと思います、この富士山に来ることが自分の長い間の夢でもありましたので、とてもうれしく思っております。

中野：海外の先生方からも富士山は評価が高いようです。

上條先生：エクスカッションありがとうございます。とても楽しかったです。私は伊豆諸島ということでお話しさせていただきました。みなさんは聞いたことあるかもしれませんが、伊豆諸島の植物相も富士山の植物相もフォッサマグナ地域ということで、大きなくくりで仲間です。県は違いますが、生物多様性の保全には県境もないので、東京都の伊豆諸島についても是非とも伊豆半島・富士山の点で連動してやっていただけると良いと思いました。また中野さんからは固有種がないというふうな説明だったのですが、フォッサマグナ地域固有という見方をすると固有のものかなり多いと思いますので、その観点から、是非とも今後とも一緒にいろいろ研究出来ればと思いました。ありがとうございました。

中野：フォッサマグナというのは別名糸魚川静岡線とも呼ばれますがフォッサマグナ地域に独特の植物相というか、植物分類群があります。富士山にしか分布しない植物は、無いわけですが、

フォッサマグナ地域、伊豆諸島も含めてそういう地域にしかない植物というのがあるということで、一緒に研究が出来ればということです。

山村先生：私は今回のエクスカージョンで今日のシンポジウムとして、なんか閉じかけてた芽がぱっと開いたというようなすごく刺激を受けました。もう 10 年以上この研究室できて以来、富士山に関わって研究を続けてきたのですけれども、やはり視野が狭かったなということを感じました。特に、ニュージーランドやハワイのいろいろな火山の特性、非常に多様で、キーストーン種の考え方とか、そういうのは非常に刺激になりましたし、カムチャッカの規模の大きさというのが、やはり根本的に我々の考えていることともっと違う大きな視野で見る必要性というのがあるというのを思いまして大変参考になりました。今まで私が研究を続けてこられたのも、この研究所を基地にしてお世話になってやってきたので、研究所を中心に富士山のさらに静岡側の研究者、全国の研究者と連絡とりあって富士山の方を再認識・再評価して研究の場として今後続けていきたいと思います。

中野：ありがとうございました。

石田先生：今回の私の発表は、どちらかというと古い火山でたくさんの樹種が存在するような場所での研究紹介でした。今日は、富士山、三宅島、ハワイ、ニュージーランド、カムチャッカという新しい火山の遷移について聞くことが出来ました。新しい火山は植物の種数が少なく、非常にシンプルなメカニズムを調べることができるというのが分かりました。逆に色々なパターンがあってシンプルな構造なのですが、意外と難しいんことが分かって楽しかったです。逆に言えば、これから地球温暖化が加速していった場合など、将来予測ってということが非常に難しいってこと意味してるのではないかと思います。我々はいろんな場面で慎重にきちんと見つめていくことが大事であろうというふうに思いました。

可知先生：首都大学東京の可知と申します。首都大学というとあんまりご存知ないかと思いますけど、元は東京都立大学です。東京都立大学時代から小笠原の研究を 40 年以上行ってきました。今日は、みなさんに 2 つのメッセージと 1 つのお願いを最後にしたいと思います。1 つ目のメッセージは、今日、テーマでサクセッション“遷移”というのが取り上げられたと思うのですが、遷移っていうのは生態学のなかの大きなテーマの 1 つで、高校とか中学の教科書にも書いてあることです。ところが、教科書には非常に単純にしか書いてないですね。で、実際今日のお話聞いた皆さんは、実は遷移って簡単に言うけれど、ものすごく複雑で、実際の世の中ではいろんなことが起こっていて、そう単純ではないということがわかったと思います。これは非常に重要なことで、世の中で起きていることは教科書に書かれていることと同じじゃないのです。教科書よりも世の中が遥かに複雑だということなのです。やはり、そういう複雑な自然が我々の周りにあって、単純に考えていただけでは、なかなかいろいろな環境問題に解決できないというのが 1 つ目です。2 つ目のメッセージは、いろんな生物、生き物は自然の中でお互い関連、関わりあいながら生きているということです。外来種についても同じでして、外来種がすでに生態系のなかに一

員となって入り込んでしまうと、外来種を駆除するといっても駆除することがさらにほかの生物にも影響を与えて、それが生態系全体を大きく変えてしまう可能性があります。実はこれ小笠原で実際に起こっていることなんです。外来種を退治すると別の外来種が増えてしまったりですとか、生態系全体を大きくガラッと変わってしまうということが起こりえる。どうしても我々研究者は特定の生物を研究対象としているものですから、1つ1つしか見ない癖があります。是非皆さんには自然の全体を見て、いろんな生き物お互い関連しあって生きているんだということを意識していただきたい。これが2つ目のメッセージ。最後をお願いなのですが、これは特に外来種のように最初に入ってきたときに叩くということが重要なんです。研究者だけじゃとても出来ません。今日集まってくださっているいろんな一般の皆さん市民の皆さん、それから研究はしてないけれども自然に対して興味をもっている皆さんの目というのはすごく大切なんです。富士山も同じで、富士山の中で、自然のなかで誰か気が付いたことがあったら、是非この山梨県環境科学研究所に報告していただくとそれが、出発点となってこの富士山の自然が守られるという非常に大きな力となりますので、是非みなさん協力していただきたいと思います。これがお願いです。どうもありがとうございます。

増沢先生：静岡大学の増沢と申します。南側というか静岡県側でずいぶん長く富士山の研究をさせていただいてます。今回北と南の両方エクスカッションで周ることができまして、私は北も南も同じくらい来ていますが、ここにこられた先生方も一緒に富士山の自然を見て、ご意見をいただきました。ここで、今回のテーマ、何をこのシンポジウムでやろうとしていたかというについても思い出さなきゃいけないのだけど、あれを見てください。「火山と植物—富士山の植物の保護保全に向けて—」と書いてありますよね。これについてやっぱりベースとして考えていけないといけないと思います。いくつかお話の中でもでましたけれども、山村先生のところでちょっと具体的な内容出てきました。これから富士山の将来どう考えるかという具体的な内容です。例えば外来種の植物ABCと種類出てきましたし、それから温暖化の問題も出てましたし、富士山の観光客の問題も出てました。なにしろ山頂に20万人も登る山そんなにないでしょ？それから、森林限界あたりに年間どれくらいですか？中野さん。

中野：100万とか200万とか言われてます。

増沢先生：こんな山奥に多くの観光客が来る場所は世界中にそんなにないです。先生方はこの人数を聞いて驚いてると思いますが、この状況で、富士山の将来考えるときに、どのくらい人間の影響を少なくするかを常に考えてかなければいけないわけです。今回のシンポジウムでの先生方のサイエンティフィックな発表内容と、実際に多くの人が富士山に来て何かを行っている事実。このシンポジウムは、私たちが富士山をどのように考えていくべきかについて考えるいい機会だと思います。これを山梨県環境科学研究所でやっていただいたので、こういう機会を設けることで、科学的な知見に基づいた自然の内容と、みなさんのご意見と、それから実際に何が起きているのかということをつなげていく機会になると思いました。今後も是非このような機会を持っていたいただけたらと思います。以上です。

中野：残念ながら時間となってしまいました。講師の先生方、遠いところから来ていただいて、貴重な話を聞かせていただいてありがとうございました。みなさんのお話をもとにまた今後我々努力して富士山の自然が、いかに保全していくか利用していくかなんかについても考えていきたいと思いますし、富士山の植物がどういうふうにとどれだけ重要かとか、それから、植物がどうなっているのかについてもこれから研究していきたいと思っていますので、どうぞよろしくお願いします。それから可知先生がおっしゃられたように、何か気が付いたことがあったら是非環境科学研究所の方に教えていただければこちらのほうもいろいろと考えていきたいと思っていますので、どうぞよろしくお願いします。今日はどうもありがとうございました。

「火山と植物

-富士山の植物の保護保全にむけて-

平成22年9月11日(土) 10:00~

於 山梨県環境科学研究所 多目的ホール

主催 山梨県環境科学研究所

参加
無料

演題

「ニュージーランドとハワイにおける最近の火山景観における
植生変化(遷移)のパターンとプロセス」
ブルース・クラークソン:ワイカポ大学教授(ニュージーランド)

「クリウチェホスコヤ(カムチャツカ)の噴火が植被に及ぼす影響」
セルゲイ・グリシン:ロシア科学アカデミー研究員(ロシア)

「三宅島2000年噴火後の植生変化と島の生態系保全について」
上條隆志:筑波大学講師

「富士山森林限界の植生変化」
山村靖夫:茨城大学教授

「火山起源の海洋島:小笠原の植物の環境適応と環境変化に対する植生変化」
石田厚:京都大学教授

「富士山エクスカースョン概要報告」
中野隆志:山梨県環境科学研究所

総合討論

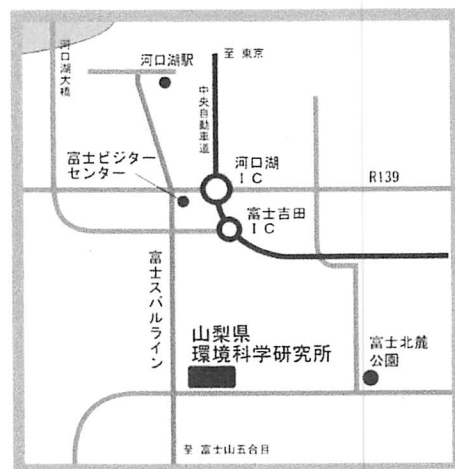
講演は一般向けのわかりやすい内容です。
通訳も付きますのでお気軽にご参加ください。

【お問い合わせ先】

山梨県環境科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1

TEL:0555-72-6211(代表) FAX:0555-72-6204



プログラム

2010年9月9日

フィールドエクスカーション: 富士山南斜面.
(増沢武弘, 大石このみ(静岡大学))

2010年9月10日

フィールドエクスカーション: 富士山北斜面.
(中野隆志、安田泰輔(山梨県環境科学研究所), 田中厚志、山村靖夫(茨城大学))

2010年9月11日

9:50 開会の辞 宮下正範(山梨県環境科学研究所国際シンポジウム2010実行委員長)

10:00 Bruce D. Clarkson(ワイカポ大学、ハミルトン、ニュージーランド) & Beverley R. Clarkson(Landcare Research,ハミルトン、ニュージーランド).
ニュージーランドとハワイにおける火山景観における植生変化(遷移)のパターンとプロセス.

11:15 Sergei Yu. Grishin (生物・土壌科学研究所、ウラジオストック、ロシア)
Klyuchevskoy 火山 (カムチャッカ)の噴火が植被に及ぼす影響.

12:30 昼食

13:15 上條隆志(筑波大学). 三宅島2000年噴火後の植生変化と島の生態系保全について

14:15 山村靖夫(茨城大学). 富士山の森林限界植生の変化.

15:15 休憩

15:25 石田厚(京都大学). 火山起源の海洋島:小笠原の植物の環境適応と環境変化
に対する植生変化

16:25 中野隆志(山梨県環境科学研究所). 富士山エクスカーション概要報告.

16:30 総合討論:

パネラー

Bruce D. Clarkson(ワイカポ大学、ハミルトン、ニュージーランド)
Sergei Yu. Grishin (生物・土壌科学研究所、ウラジオストック、ロシア)
上條隆志(筑波大学)
山村靖夫(茨城大学)
石田厚(京都大学)
可知直毅(首都大学東京)
増沢武弘(静岡大学)

Program

9 September 2010

Field Excursion at southern slope of Mt. Fuji.

(Takehiro Masuzawa, Konomi Oishi)

10 September 2010

Field Excursion at northern slope of Mt. Fuji.

(Takashi Nakano, Taisuke Yasuda, Atsushi Tanaka and Yasuo Yamamura)

11 September 2010

9:50 **Opening** address of Chairman. Massanori Miyashita (YIES)

10:00 **Bruce D. Clarkson & Beverley R. Clarkson.** Pattern and process of vegetation change (succession) in recent volcanic landscapes of New Zealand and Hawaii.

11:15 **Sergei Yu. Grishin.** Influence of the eruptions of Klyuchevskoy volcano (Kamchatka) on the plant cover.

12:30 **Lunch**

13:15 **Takashi Kamijo.** Vegetation change after the 2000 year eruption on Miyake-jima Island with implications for conservation of the island ecosystem.

14:15 **Yasuo Yamamura.** Vegetation dynamics in the forest limit on Mt. Fuji.

15:15 **Coffee Break**

15:25 **Atsushi Ishida.** Plant adaptation and vegetation response to changing environments at the Ogasawara, volcanic ocean islands.

16:25 **Takashi Nakano.** Report of the field excursion of the symposium.

16:30 **General Discussion:**

Panelist: Bruce D. Clarkson, Sergei Yu. Grishin, Takashi Kamijo, Yasuo Yamamura, Atsushi Ishida, Takehiro Masuzawa, Naoki Kachi.

シンポジウム実行委員会

代表: 荒牧重雄(山梨県環境科学研究所)

委員長: 宮下正範(山梨県環境科学研究所)

委員: 中野隆志、永井正則、内山高、安田泰輔(山梨県環境科学研究所)

シンポジウム学術委員会

委員長 : 中野隆志(山梨県環境科学研究所)

委 員: 安田泰輔(山梨県環境科学研究所)

石田厚(京都大学)

可知直毅(首都大学東京)

上條隆志(筑波大学)

増沢武弘(静岡大学)

丸田恵美子(東邦大学)

山村靖夫(茨城大学)

Bruce D. Clarkson (Waikapo University, New Zealand.)

Sergei Yu. Grishin (Insitute of Biology and Soil Science, Russia.)

シンポジウム会場: 山梨県環境科学研究所

Organized committee	Shigeo Aramaki (YIES)
President:	Masanori Miyashita (YIES)
Chair:	Takashi Nakano (YIES)
Member:	Masanori Nagai (YIES)
	Takashi Uchiyama (YIES)
	Taisuke Yasuda (YIES)

Scientific committee:	Takashi Nakano (YIES)
President:	Taisuke Yasuda (YIES)
Member:	Atsushi Ishida (Kyoto University)
	Naoki Kachi (Tokyo Metropolitan University)
	Takashi Kamijo (Tsukuba University)
	Takehiro Masuzawa (Shizuoka University)
	Emiko Maruta (Toho University)
	Yasuo Yamamura (Ibaraki University)
	Bruce D. Clarkson (Waikapo University, New Zealand.)
	Sergei Yu. Grishin (Insitute of Biology and Soil Science, Russia.)

Symposium Venue

Yamanashi Institute of Environmental Sciences

C-01-2011

山梨県環境科学研究所国際シンポジウム2010
報告書
火山と植物

2011年3月発行
編集・発行
山梨県環境科学研究所
国際シンポジウム2010実行委員会
〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1
電話:0555-72-6211
Fax:0555-72-6204
<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>
印刷 株式会社 フジカワ紙販

