

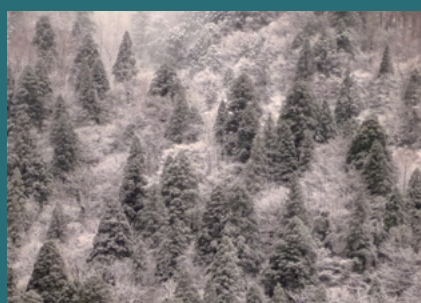
ISSN 0916-4405

# 森林総合研究所研究報告

Vol.14-No.4 (No.437)

## BULLETIN

of the  
Forestry and  
Forest Products  
Research Institute



December 2015



国立研究開発法人 森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute

## The Chief Editor

河原 孝行 KAWAHARA Takayuki (Principal Research Coordinator, FFPRI)

## The Vice-Chief Editor

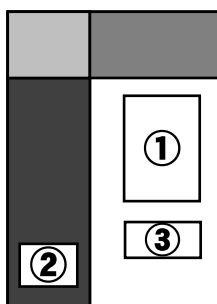
宮本 基杖 MIYAMOTO Motoe (Public Relations Division, FFPRI)

## Editor

丸山 温 MARUYAMA Yutaka (College of Bioresource Sciences, Nihon University)  
斎藤 幸恵 SAITO Yukie (Graduate School of Agriculture and Life Sciences, The University of Tokyo)  
荒木 眞岳 ARAKI Masatake G (Department of Plant Ecology, FFPRI)  
酒井 武 SAKAI Takeshi (Department of Forest Vegetation, FFPRI)  
野口 享太郎 NOGUCHI Kyotaro (Department of Forest Site Environment, FFPRI)  
玉井 幸治 TAMAI Koji (Department of Soil and Water Conservation, FFPRI)  
萩野 裕章 HAGINO Hiroaki (Department of Meteorological Environment, FFPRI)  
秋庭 満輝 AKIBA Mitsuteru (Department of Forest Microbiology, FFPRI)  
岡 輝樹 OKA Teruki (Department of Wildlife Biology, FFPRI)  
橋田 光 HASHIDA Koh (Department of Biomass Chemistry, FFPRI)  
上村 巧 UEMURA Takumi (Department of Forest Engineering, FFPRI)  
石川 敦子 ISHIKAWA Atsuko (Department of Wood Improvement, FFPRI)  
石崎 涼子 ISHIZAKI Ryoko (Department of Forest Policy and Economics, FFPRI)  
上田 明良 UEDA Akira (Kyushu Research Center, FFPRI)  
磯田 圭哉 ISODA Keiya (Forest Tree Breeding Center, FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

## 表紙写真 Photograph in Cover



### ①熊本人吉・スギ人工林

Artificial Forest of Cedar (*Cryptomeria japonica*) in Hitoyoshi, Kumamoto Prefecture.

### ②秋田天然生スギ林

Natural Forest of Cedar (*Cryptomeria japonica*) in Akita Prefecture.

### ③(本文209～218ページ)

羊ヶ丘実験林気象観測露場40年の記録

Forty-year meteorological statistics of the Hitsujigaoka Experimental Forest

森林総合研究所研究報告 第14巻4号（通巻437号）2015.12

目 次

総 説

荒廃熱帯林の修復には、景観レベルの順応的管理とガバナンスの  
改善が必要

藤間 剛 ..... 193

論 文

関東地方の窒素負荷量の異なる2地域における4樹種の窒素炭素  
安定同位体比と葉の性質（英文）

稲垣 善之、稲垣 昌宏、橋本 徹、金子 真司 ..... 201

研究資料

羊ヶ丘実験林気象観測露場40年の記録

溝口 康子、山野井 克己 ..... 209

**Bulletin of FFPRI, Vol.14. No.4 (No.437) December 2015**  
**CONTENTS**

*Review*

- Rehabilitating degraded tropical forests requires adaptive management  
at the landscape level and improved governance  
TOMA Takeshi ..... 193

*Original article*

- Stable nitrogen and carbon isotope ratios and related leaf properties of four tree  
species at high and low nitrogen-deposition sites in the Kanto district of Japan  
INAGAKI Yoshiyuki, INAGAKI Masahiro,  
HASHIMOTO Toru and KANEKO Shinji ..... 201

*Research record*

- Forty-year meteorological statistics of the Hitsujigaoka Experimental Forest  
MIZOGUCHI Yasuko and YAMANOI Katsumi ..... 209

## 総説 (Review)

# 荒廃熱帯林の修復には、景観レベルの順応的管理とガバナンスの改善が必要

藤間 剛<sup>1)\*</sup>

### 要旨

気候変動の緩和、生物多様性保全、地域の人々の生計向上など、森林の役割に対する認識の高まりを受け、大面積の荒廃地を短期間で森林に復元するという国際目標が設定されている。熱帯での森林修復活動は、長きにわたり行われてきたが、従来の森林修復活動は、森林が失われた場所に樹木を植栽すること自体が重視され、失敗に終わったものが多かった。このような失敗を踏まえ、別々の目的をもつ複数の植栽地と他の土地利用をも含めたランドスケープレベルでの取り組み「森林景観復元」が行われるようになった。そして、長期にわたる順応的な管理とガバナンスの改善の必要性が指摘されている。しかしながら熱帯発展途上国の多くでは、人口増、経済開発、国際的な原料需要の増大など、森林破壊要因への対処は、いまだ十分ではない。このようなことから、荒廃地の森林景観復元はガバナンスの改善を含む森林破壊要因への対処がなされているところから始めるべきこと、また大面積森林復元目標に対応するために拙速な植栽活動を行うのは厳に慎むべきことを、提言する。

キーワード：順応的管理、森林修復、森林景観復元、ガバナンス

### 1. はじめに

気候変動の緩和、生物多様性、地域の人々の生計向上など、森林が果たす役割に対する期待の高まりを受け、大面積の荒廃した土地や森林を復元させることがさまざまな国際目標として設定されている (Menz et al. 2013, Lamb 2014, Murcia et al. 2015)。このため、荒廃もしくは劣化したとされる場所に樹木を植栽する森林修復事業が増加するものと予想される。今後実施される森林修復事業を成功させるには、過去の経験から学ぶ (Chokkalingam et al. 2005) とともに、森林を含む景観の順応的な管理の適用 (Sayer et al. 2013)、さらには広い範囲のガバナンスの改善 (Guaringuata and Brancalion 2014) が必要である。

森林、とくに熱帯林が果たしている役割についての国際認識はこの10年で大きく変化した。そのきっかけの一つは、気候変動緩和策として REDD+ (発展途上国の森林減少・劣化に由来する二酸化炭素の排出の削減、森林保全・持続可能な森林経営・森林炭素蓄積の増強) が国際交渉の対象となったことである。REDD+により、森林管理は森林・林業セクターを越えた政府全体での取り組みの対象となった。そして REDD+ の実施に向けた議論を通じて、森林は大量の炭素を保持しているだけでなく、多様な生物種の生息地として、また途上国の僻地に暮らす人々の生計手段として、重要な役割を果たしていることについての認識が進むとともに、様々な事業が提案、実施されつつある (アンジェレン・マクニール 2012)。そして REDD+ の実施

に向けた議論において、持続的森林管理を目的とする過去の取り組みの多くが失敗したことが指摘されている (Seymour and Angelsen 2009)。

このような背景を踏まえ本稿では、まず森林修復をとりまく最近の国際的な動きとして2014年9月の国連気候サミットで採択された「森林に関するニューヨーク宣言、同宣言のための行動指針」(UN Climate Summit 2014) とそこで掲げられた森林景観復元目標を紹介する。つぎに、過去におこなわれた森林修復事業の問題点と、解決策の一つとしての森林景観復元と順応的管理について説明する。また森林修復事業を成功に導くために必要な、森林を含む広範なガバナンスの改善について述べる。最後に、熱帯発展途上国の現状から、大面積の植栽活動を拙速に実施しないよう注意を促す。

### 2. 森林に関するニューヨーク宣言

2014年9月にニューヨークで開催された国連気候サミットにおいて、「森林に関するニューヨーク宣言 (New York Declaration on Forest)」が採択された (井上 2014)。この宣言は冒頭で、森林は人類の将来に必要な不可欠の存在であると定義する。つぎに、世界中で毎年13百万ヘクタールの森林が失われていることに言及する。そして、世界の森林減少のおよそ半分は、大豆、ヤシ油、牛肉、紙など、商品生産目的の森林転換 (農園、植林地化) に起因すると述べる。その一方、森林を保全したり、持続的に管理したり、復元したりする

原稿受付：平成27年11月4日 原稿受理：平成27年12月17日

1) 森林総合研究所森林植生研究領域

\* 森林総合研究所森林植生研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

ことは、経済成長、貧困削減、法の支配、食料安全保障、気候変動に対する強靱性、生物多様性保全などに、貢献できるとする。この宣言は、32の国家政府および20の準国家（地方）政府が採択している、林業セクターを越えた高いレベルの政治的約束である。また40の国際的大企業、16の先住民グループ、49の非政府組織(NGO) および市民社会団体(CSO) など、国際政策に影響力を有する組織が参画する協調的取組でもある。

森林減少の主な要因は商品生産目的の森林転換であることは、これまでも多くの研究が言及している（例えば、カンニネンら 2007, 宮本 2010）。そして、この要因に対応するために、生産国および消費国での政策改革と商品作物の国際取引に関わる大企業が協力した対策が求められている（パチェコら 2015）。このようなことから、政府首脳や国際的大企業が名を連ねる宣言で、商品生産目的の森林転換が森林減少の主な要因であると認め、協調的取り組みの意思表示がなされたことは、問題解決の第一歩ととらえることができる。

### 3. 劣化した景観および森林の復元に関する

#### 国際目標

森林に関するニューヨーク宣言では、「2020年までに1億5千万ヘクタールの劣化した景観および森林を復元させる。その後、復元速度を大幅に上げ2030年までに2億ヘクタールを復元させる。」という目標が掲げられている（UN Climate Summit 2014）。つまり2030年までの合計で、3億5千万ヘクタールの劣化した耕地や森林を復元させることを目指している。3億5千万ヘクタールの復元対象地の全てに樹木が植栽されることはないだろうが、大規模な植栽活動が計画・実施されると予想される。

この広大な森林復元目標面積の設定は、2010年に名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議(CBD-COP10)で合意された愛知目標の、個別目標15「2020年までに、劣化した生態系の少なくとも15%以上の復元を含む生態系の保全と復元を通じ、生態系の復元能力及び二酸化炭素の貯蔵に対する生物多様性の貢献が強化され、それが気候変動の緩和と適応及び砂漠化対処に貢献する。」に、呼応するものである。2011年9月にはドイツのボンで世界の森林復元を目指す会合「ボン・チャレンジ」が開催され、2020年までに世界中で1億5000万ヘクタールの森林を復元するとの目標を設定した。ボン・チャレンジはIUCNを事務局とする世界森林景観復元パートナーシップ(Global Partnership on Forest Landscape Restoration)の活動を発展させるものである(IUCN 2011)。

森林に関するニューヨーク宣言での森林復元目標は、ボン・チャレンジの目標期間を2030年まで延ばし、また目標面積を2億ヘクタール追加するものである。ニューヨーク気候サミットにおいて、エチオピ

ア(2200万ヘクタール)、コンゴ民主共和国(800万ヘクタール)、ウガンダ(250万ヘクタール)、グアテマラ(120万ヘクタール)など、4ヶ国による3400万ヘクタールの森林復元目標があらたに表明された。そして2015年4月に開催されたボン・チャレンジ第2回会合では、森林に関するニューヨーク宣言で設定された追加的な目標が確認された。また20数カ国の取り組みの合計が6000万ヘクタールに達したことが報告された(WRI 2015)。

このように大きな国際目標が設定されることには、森林復元に対する国家計画の速やかな策定や世論の理解を助けるという効果がある(Lamb 2014)。ただし、大面積植林が短期間で計画・実施されることには、慣習的所有権が無視された植林が行われる、天然林や自然回復力をもつ二次林が植林のために伐開される、不均質な農地景観が構造種組成とともに単純な同齢林に置き換えられ生物多様性が低下する、大規模植林による蒸発散の増加が地域の水収支を悪化させる、導入外来種が侵入種として拡散する、などのリスクがある(Lamb 2014)。大面積の森林復元を目的とする事業が、上記のような不利益をもたらさないための配慮が求められている。

### 4. 森林修復と森林景観復元

森林が失われた場所を再び森林とするための活動は、古来より数多く行われてきた。森林が無くなった場所に森林を造成しようとする事業は、ほとんどの場合、樹木の植栽を主な活動として含んでいた。そしてreforestation(再植林)、forest rehabilitation(森林修復)、forest restoration(森林回復、森林復旧)などの呼ばれ方をしてきた。このような事業には、異なる単語を使った名がついていても、目的や活動内容がほとんど同じものもあれば、同じ単語で呼ばれていても異なる目的と活動内容をもつものもある。

復元生態学会(SER 2004)は、rehabilitation(修復)とは生態系から失われたり劣化したりした機能や生産力をもとに戻そうとする活動、restoration(復元)とは生態系の機能や生産力に加えて種組成や群集構造までもとどおりにすることを目標とする活動と、両者の違いを定義している。ただし森林関連事業の名称として用いられるrehabilitationとrestorationが、このような定義に従って厳密に区別されてきた訳では無い。森林修復活動の中には、失われた森林の種組成や群集構造を元に戻すことを目的としていることから、森林復元活動と位置づけられるものがある。また逆に、森林復元という名で実施されていても、外来種の一斉造林のように本来の意味での復元活動とは見なせない事業も存在する。また、森林科学用語集(林学会 2001)では、rehabilitationは「修復【森林の】」、restorationは「回復、復旧」と訳されている。しかし、海外で実施された森

林関連事業名において、rehabilitation と restoration およびそれらの日本語訳について、活動内容に応じた用語の使い分けはなされていない。

本稿では、かつて森林であったが灌木林、草原、裸地などに転換された土地に森林を回復させる全ての行為を森林修復と呼ぶ。つまり木材生産、水源涵養、生計向上、環境機能向上など様々な目的と、種子および苗木の植栽、(植栽後の保育を含む)植林、天然更新の促進、アグロフォレストリーなどの異なる手法を含め、修復対象地を森林に戻そうとする活動の全てを森林修復とみなす (Chokkalingam et al. 2005)。本稿ではまた、森林修復活動を直接行う土地に加え、周囲の異なる土地利用の組み合わせからなる地域景観全体を復元しようとする活動を、Dudley et al. (2005) にしたがって森林景観復元 (Forest Landscape Restoration) と呼ぶ。

森林景観復元は、「森林が失われたり劣化したりした景観の生態学的まとまりを取り戻し人々の幸福を促進することを目的とする一連の活動」と定義される (Dudley et al. 2005)。この定義にいう「生態学的まとまり」とは、ある生態系がその地域に存在する自然生物種の全てを含み生存に十分な個体数を維持している状況を指す。また「人々の幸福」は、金銭的豊かさ、平和、健康、安定、公平な意思決定など、人間生活の快適性を示す (Dudley et al. 2005)。森林景観復元では、森林修復活動として樹木を植栽する狭い範囲だけではなく、農地や宅地のように森林ではない土地利用を含めた地域を対象としている。なお、森林景観復元は生態学的な安定と人々の幸福の両立を目指すもので、景観の全てから人間活動の影響を排除し原生植生を復元しようとするものではない。むしろ利用と保全の調和がとれた新しい景観の創出を目指しているととらえる方がよいだろう。

## 5. 従来の森林修復事業の問題点

森林そのものもしくは利用対象の樹木が失われたところを対象とする、森林修復事業は熱帯地域でも古くから行われてきた。しかしながら、従来の森林修復事業の多くは、森林もしくは樹木が失われたからそこに木を植えるという植栽活動にすぎず、部分的もしくは完全な失敗に終わってきた (例えば、Chokkalingam et al. 2005, Mansourian et al. 2005)。従来の森林修復事業のほとんどが失敗に終わった主な理由として、次のようなことが繰り返し指摘されている。切り開かれた森林が農地として使用されているため、樹木を植栽可能な土地が見つからない。植栽に必要な資金が提供されない。植栽や保育に必要な技術指導・支援がなされていない。現地の環境に適した樹種がわからない、またそのような樹種の苗木がない。植栽のための労賃は提供されるが、植栽地の維持管理のための資金は提供されないため植栽地が荒れてしまう。農地開発や火災など、

その場所の森林が荒廃した原因に対する対処がなされていないため、同じ原因により植栽地が荒廃する。

Le et al. (2012) は、先行研究の精査から森林修復事業の成否の評価に用いられている項目を、植栽、林分成長、環境 (植生構造、種多様性、生態系機能)、社会経済という4つの成功指標としてグループ化し、成功指標に影響を与える要因を、技術的・自然科学的要因、社会経済的要因、制度・政策・管理要因、事業の特徴という4つの成功要因として整理し、相互関係を示す概念図を提示した (Fig. 1)。Le et al. (2012) はまた、森林修復事業の評価に関する既存研究の多くは、事業初期のみを対象としていること、成否を決めた要因に関する検討が不十分である、という問題を指摘した。そして、植栽された樹木が定着、成長し、成熟した森林となる時間段階を追った包括的な評価と、成否に関わる一連の要因を検討することが、将来の事業計画の改善に必要であると指摘した (Le et al. 2012)。同様に、コロンビアにおいて119件の生態系復元プロジェクトの分析をおこなった Murcia et al. (2015) は、ほとんどのプロジェクトが、目標達成状況の進捗を測るには不適切なモニタリング計画しか持たないことから、プロジェクト目的に対応した長期間のモニタリング設計が必要であることを指摘した。Murcia et al. (2015) はまた、コロンビアを含む中南米諸国において生態系復元プロジェクトの実施するにあたっては、ブラジル東部の成功に学び、特に州と市町村レベルでの政府機関の縦方向の協調、民間企業、非営利団体、研究機組織、草の根組織等との協力が推進されるべきと提言した。

Le et al. (2014) は、フィリピン、レイテ島で実施された48の再植林プロジェクトを調査し、成功要因と事業の成否の関係について定量的な解析を試みた。この解析により、再植林手法 (特に生産性が高い商用樹種の混植)、社会経済的動機付け (植栽への支払い、利益配分機構)、森林保護メカニズム (火災、雑草、食害対策および関連する法令の施行)、持続的生計 (アグロフォレストリー、非木材林産物、木材生産を統合した生産システム)、資金源の多様化とパートナーシップ (地域コミュニティ、政府、協同組合、NGOなどの協力関係)、技術支援 (販売支援、樹種選択、森林管理の訓練とアドバイス)、インフラストラクチャーの開発 (道路の改善) などの政策が、熱帯発展途上国の再植林の成功に幅広く体系的な影響をもつ要因であると示唆された (Le et al. 2014)。このように修復植林を成功させるには、樹木を植栽するだけでは不十分で、森林の破壊的な利用を避けるよう地域の社会経済システムを整えることが必要である。

## 6. 森林景観復元と順応的管理

森林に関するニューヨーク宣言が示すように、森林が大量の炭素を蓄積していること、多くの生物種のす



みかとなっていること、木材および非木材林産物が地域の人々の重要な生計手段であることから、修復された森林による炭素固定、生物多様性保全、地域の生計向上に対する期待が高まっている。しかしながらこれらの役割を同時に果たす森林の造成は簡単ではない。一般に樹木は植栽から成木に至るまで、長い年数を必要とする。植林木が成長し、大量の炭素を蓄積したり生物多様性保全などの生態系サービスを提供したりできるようになるには、数十年もしくはそれ以上の時間が必要である。その一方、途上国の森林地域で暮らす人々は、日々の暮らしをたてるための収入を必要とするため、果樹のように植栽後数年で収穫可能となる特定の樹種の植栽を希望する。また植林地内での耕作を希望することもある。炭素固定、生物多様性保全、地域の生計向上という異なる期待を満たすには、長期的かつ広域的な土地利用・森林配置計画に基づいて、それぞれの目的に対応する森林を個別に造成する景観レベルの取り組みが重要となる。

1990年代までは、生物多様性保全を重視する人達の多くは、残存する天然林の保全と管理を重視し、劣化した森林を復元することを重視してはいなかった。しかしながら、天然林の減少が続く劣化した森林生態系が増大するにつれ、多くの地域で、森林の機能を維持するには残存する天然林の保全と管理だけでは不十分で、劣化した森林の復元が必要であると認識されるようになった (Dudley et al. 2005)。そして狭い範囲の特定の土地利用や植生を保全や復元の対象とするのではなく、複数の土地利用を含む景観を対象とする森林景観復元が提唱、導入された (Dudley et al. 2005)。森林景観復元では、樹木を植栽する狭い範囲ではなく、農地や宅地のように森林ではない土地利用を含めた地域を対象とする。このことにより、森林や土地に対する異なる期待と要求をもつ様々な利害関係者の合意を形成するのが可能となる。そのため森林景観復元では、元々森林であった土地の全てに、樹木を植栽しようとはしない。植栽活動に先立って、どこに森林が必要で、どこに必要で無いのか、森林がもっとも役に立つ場所はどこか、どのような森林が最も役に立つのかを特定する (Dudley et al. 2005)。なお森林景観復元には長期間を要することから、事業実施地の状況や外部条件の変化に応じて実施計画の修正を可能とする順応的管理を前提としている (Mansourian et al. 2005)。

景観レベルの土地管理が現場で適用され始めたのは1990年代で、その手法の成否に関する検討の大半は自然科学的なものに偏っており、人間活動や制度に関する論説や科学研究は限られたものである (Sayer et al. 2013)。Sayer et al. (2013) は、景観レベルでの土地管理において、生産と保全のトレードオフを調整するために必要な原則と、それらの実施に利用可能なガイドラインや手法を関連づけて示した。これらの原則は、複

数の利害関係者がいるなかで、開発と保全を両立させることを目指している。そしてあらかじめ設定した目標に固執するのではなく、実施過程を通じて目標と活動の修正を繰り返す順応的管理の重要性を強調している (Sayer et al. 2013)。なお景観レベルの森林復元が森林の生態的価値を維持増進する条件として、生態系サービスや生物多様性の向上に対する費用対効果の高い場所の特定、復元のために必要な技術研究と試験地レベルの知見を景観レベルにスケールアップする手法の構築、先行している活動との連携、研究者と現場の協力および国際ネットワークとの連携、復元生態系の社会経済的価値についての啓発を通じた政策への反映により実行可能性の確実化を図ることなどがあげられている (Menz et al. 2013)。

景観レベルの土地利用管理でよりよい成果を上げるためには、これまで障害となってきたセクター別の制度間の調整を図り、セクター間の相互作用を促進し、対立・競合する目標について交渉を通じた解決をはかることが必要である (Sayer and Cassman 2013)。Kissinger (2015) は、農地開発が発展途上国の森林減少の主要因であることと、それらの国で支出される農業補助金は REDD+ 準備活動に対する国際援助よりもはるかに大きいことを指摘した。このため、農業補助金の見直しにより森林減少の緩和と持続的な資源管理に貢献できる (Kissinger 2015)。農業技術の革新と農地の集約化により、重大な森林減少を引き起こすこと無く農産物需要増に対応し、多様な機能をもつ土地利用モザイクからなる景観管理が可能となる (Sayer and Cassman 2013)。このように森林修復を含む森林景観管理を成功させるには、森林政策と農業政策の連携のような政府全体での政策改革が必要である。

## 7. ガバナンスの改善

Guaringuata and Brancalion (2014) は、中南米、アフリカ、アジアでの事例から、森林景観復元の成否に関わる要因のなかで、スケールをまたいだガバナンスの課題が見落とされがちであると指摘した。そして景観復元事業の空間スケールは拡大を続けており、生態的社会的側面からの交渉と調整、権力の不均衡の最小化が解決すべき重大な課題であるとした。国家政府ではない組織、柔軟な調整、市場をもちいた手法を含む、指揮と統制もしくは環境ガバナンスの適正な組み合わせを見いだすことが、これらの課題の中心である。このため、広い範囲の利害関係者、法的手法、セクターをまたぐ政策、複数レベルの政府部局を含む、広範なガバナンスの改善が必要である (Guaringuata and Brancalion 2014)。

森林を含む広範なガバナンスの改善については、REDD+ に関する国際比較研究の成果から学ぶことができる。セイモア・アンジェルセン (2012) は、森林ガバ



ナンスの改善を、公共の利益に貢献できるよう有権者を強化することと定義し、透明性、説明責任を果たす機構と、排他的でない意思決定過程を含み、外部からくる森林転換業者が森林で暮らす人々の権利と生計に悪影響をもたらさないよう支援する政策手法を提供するものと説明した。セイモア・アンジェルセン (2012) はまた、よりよい公共政策となりうる森林関連およびその他の政策改革項目として、土地所有の明確化、不適切な補助金の廃止、法律の適正な施行、森林関連データの利用可能性向上、制度的能力の向上をあげ、「後悔なき政策改革」として提言している。

## 8. おわりに

気候変動緩和、生物多様性保全、地域の生計向上などへの貢献に対する期待から、樹木を植栽する活動が増加すると予想される。植栽木の炭素固定による気候変動緩和を重視するなら、広い土地に成長が早く最大個体サイズが大きくなる樹種を植栽し、長期間維持するのが効率的である。生物多様性保全のためには、対象地域原産のさまざまな樹種を種内の遺伝的多様性にも配慮して植栽する必要がある。気候変動緩和、生物多様性保全が主たる目的の場合、植栽地をより長い期間、維持することが大切になる。その一方、地域の人々の生計向上を重視するなら、長くとも植栽から数年で植栽地から収穫ができるよう配慮しなければならない。このように必要な空間と時間の両方でスケールが異なる目的をあわせて満たすためには、それぞれの目的に応じた活動を実施する場所を組み合わせた広い範囲を対象とする景観管理計画を策定することが必要である。たとえば生物多様性の回復や保全のためには、残存する自然林を効果的に管理したり、さらなる劣化を防いだりするほうが、劣化したところを修復するよりも効率的なことがある (Menz et al. 2013)。この場合は、あえて樹木を植栽しようとはせず、そのための資金や労力を残存する森林の適正な管理に向けるべきである。

FAO の世界森林資源調査 2015 を基礎とする解析 (Sloan and Sayer 2015) によると、世界全体では森林減少速度は低下し植林面積は増加しているものの、熱帯発展途上国では森林減少が続いている。REDD+ 準備活動や FAO などの支援により、発展途上国の森林資源評価能力は向上しつつあるものの、森林減少および森林劣化要因への政策的対処はいまだ十分にではない (Sloan and Sayer 2015)。このことは、熱帯諸国では大面積で森林景観を復元するための条件が整っていないことを意味する。短期間かつ大面積の国際目標のため、大規模な植栽活動を拙速に実施するのではなく、国際目標の本来の目的である気候変動緩和、生物多様性保全、地域の人々の生計向上を達成するための政策改革を急がねばならない。

## 謝辞

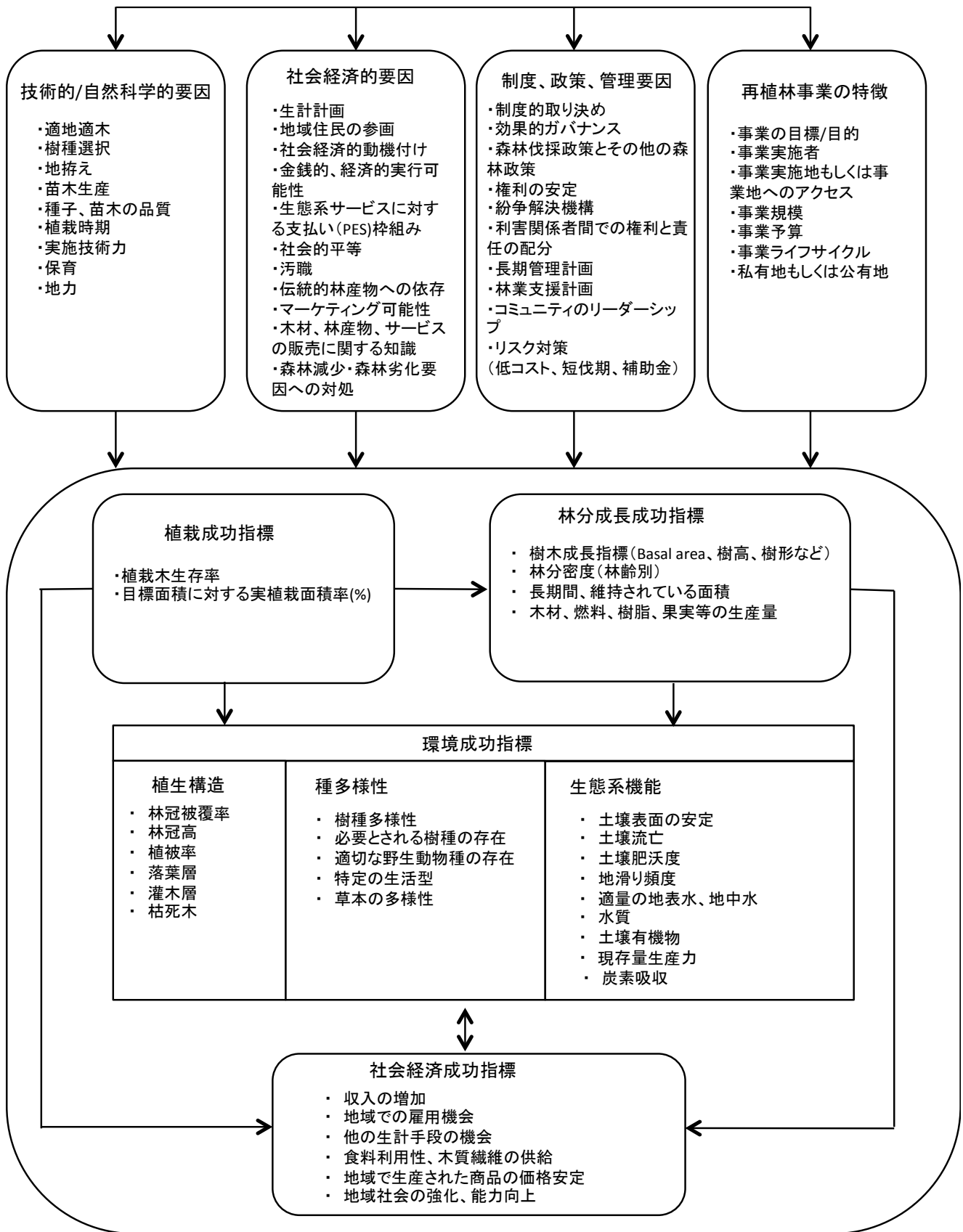
本稿の執筆にあたり、地球環境戦略研究機関 (IGES) の鮫島弘光氏、森林総合研究所林業経営政策研究領域の岩永青史氏から、貴重な助言を戴いた。記して感謝します。

## 引用文献

- アンジェルセン アリルド・マクニール デスモンド (2012) (相川 真一訳, 2015) REDD+ の進化. 藤間剛 (監訳) REDD+ を解析する: 課題と選択肢, 国際林業研究センター (CIFOR), 31-49.
- Chokkalingam, U., Sabogal, C., Almeida, E., Carandang, A., Gumartini, T., Jong, W., Brienza, S., Lopez, A., Murniati, Nawir, A., Wibowo, L., Toma, T., Wollenberg, E. and Zaizhi, Z. (2005) Local participation, livelihood needs, and institutional arrangements: three keys to sustainable rehabilitation of degraded tropical forest lands. In: Mansourian, S., Vallauri, D. and Dudley, N. (eds.), "Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees". Springer, New York, 405-414.
- Dudley, N., Mansourian, S. and Vallauri, D. (2005) Forest landscape restoration in context. In: Mansourian, S., Vallauri, D. and Dudley, N. (eds.), "Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees". Springer, New York, 3-7.
- Guaringuata, M. R. and Brancalion P. H. S. (2014) Current challenges and perspectives for governing forest restoration. *Forests*, 2014, 5, 3022-3030.
- 井上 泰子 (2014) 国連気候サミット報告 - Forest Pavilion にて針原農林水産審議官が REDD センターを紹介. 森林総合研究所 REDD 研究開発センターウェブサイト <https://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rc/ja/seminars/reports/2014/09/23/01.html>, (参照 2015-07-30).
- IUCN (2011) Leaders define pathway to restoring 150 million hectares of lost forests. <http://www.iucn.org/?uNewsID=8147>, (accessed 2015-07-30).
- カンニネン マルク・ムルディアルソ ダニエル・セイモア フランシス・アンジェルセン アリルド・ワンダー スウェン・ジャーマン ローラ (2007) (藤間 剛・鷹尾 元・御田 成顕・岩永 青史訳, 2008) 木はお金で育つか? 「森林減少と森林劣化に由来する排出削減 (REDD)」に対する森林減少研究からの示唆, 国際林業研究センター (CIFOR), 79pp.
- Kissinger, G. (2015) Fiscal incentives for agricultural commodity production: Options to forge compatibility with REDD+. UN-REDD Programme Policy Brief Issue #07.
- Lamb, D. (2014) "Large-scale forest restoration".

- Earthscan, 320pp.
- Le, H. D., Smith, C., Herbohn, J. and Harrison, S. (2012) More than just trees: Assessing reforestation success in tropical developing countries. *Journal of Rural Studies*, 28, 5-19.
- Le, H. D., Smith, C. and Herbohn, J. (2014) What drives the success of reforestation projects in tropical developing countries? The case of the Philippines. *Global Environmental Change*, 24, 334-348.
- Mansourian, S., Aldrich, M. and Dudley, N. (2005) A way forward: working together toward a Vision for restored forest landscapes. In: Mansourian, S., Vallauri, D. and Dudley, N. (eds.), “*Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees*”. Springer, New York, 415-423.
- Menz, M. H. M., Dixon, K. W. and Hobbs, R. J. (2013) Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. *Science*, 339, 526-527.
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Andrade, Á., Andrade, G. I., Aronson, J., Escobar, E. M., Etter, A., Moreno, F. H., Ramírez, W. and Montes, E. (2015) Challenges and Prospects for Scaling-up Ecological Restoration to Meet International Commitments: Colombia as a Case Study. *Conservation Letters*. doi: 10.1111/conl.12199
- 宮本 基杖 (2010) 熱帯における森林減少の原因—焼畑・人口増加・貧困・道路建設の再考—. *日本森林学会誌*, 92, 226-234.
- パチエコ パブロ・プッツェル ルイス・オブジンスキークリフト・シェーンフィールド ゲオルク (2012) (岩永 青史訳, 2015) REDD+ とグローバル経済—せめぎあう力と政策的選択肢. 藤間 剛 (監訳) REDD+ を解析する: 課題と選択肢, 国際林業研究センター (CIFOR), 51-66.
- 林学会 (2001) 森林科学用語集. 財団法人林学会, 637pp.
- Sayer, J. and Cassman, K. (2013) Agricultural innovation to protect the environment. *PNAS*, 110, 8345-8348.
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J., L, Sheil, D., Meijaard, E., Venter, M., Boedhihartono, A., K., Day, M., Garcia, C., van Oosten, C. and Buck, L., E. (2013) Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture conservation, and other competing land uses. *PNAS*, 110, 8349-8356.
- Seymour F and Angelsen A (2009) Summary and conclusions: REDD wine in old wineskins? In Angelsen A (ed.) “*Realising REDD+ National strategies and policy options*”, CIFOR, 293-303.
- セイモア フランシス・アンジェルセン アリルド (2012) (相川 真一・藤間 剛訳, 2015) 要約と結論—後悔なき REDD+. 藤間 剛 (監訳) REDD+ を解析する: 課題と選択肢, 国際林業研究センター (CIFOR), 51-66.
- [SER] Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (2004) The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) & Tucson: Society for Ecological Restoration International, <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration#3>, (accessed 2015-07-30).
- Sloan, S. and Sayer, J. (2015) Forest resource assessment of 2015 shows positive global trends but forest loss and degradation persist in poor tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 352, 134-145.
- UN Climate Summit (2014) FORESTS Action Statements and Action Plans, [http://www.un.org/climatechange/summit/wp-content/uploads/sites/2/2014/07/New-York-Declaration-on-Forests\\_Action-Statement-and-Action-Plan.pdf](http://www.un.org/climatechange/summit/wp-content/uploads/sites/2/2014/07/New-York-Declaration-on-Forests_Action-Statement-and-Action-Plan.pdf), (accessed 2015-07-30).
- WRI (2015) World on Track to Meet Ambitious Forest Restoration Goal by 2020, <http://www.wri.org/news/2015/03/release-world-track-meet-ambitious-forest-restoration-goal-2020>, (accessed 2015-07-30).

Fig. 1. 再植林の成功を評価するための概念モデル (Le et al. 2012, Fig. 1. を Elsevier の許可を得て日本語訳)  
Conceptual model for assessing reforestation success (Translated from Fig. 1 of Le et al. 2012. with  
permission from Elsevier.



# Rehabilitating degraded tropical forests requires adaptive management at the landscape level and improved governance

Takeshi TOMA<sup>1)\*</sup>

## Abstract

The international community has set ambitious targets for restoring degraded landscapes and forests at the global level following the increased recognition of the various roles of forests. However, the factors driving deforestation and forest degradation, such as population growth, economic development, and the increased global demand for raw materials, such as food, fiber and energy, have not been well addressed. Long-term planning and adaptive management at the landscape level are needed to receive various ecosystem services from restored forests. Activities to restore forest landscapes will succeed only when the factors driving deforestation and forest degradation are controlled. Thus, restoring forest landscapes should not be rushed.

**Key words :** adaptive management, forest rehabilitation, forest landscape restoration, governance

---

Received 4 November 2015, Accepted 17 December 2015

1) Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

\* Department of Forest Vegetation, FFPRI, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: toma@affrc.go.jp

## 論文 (Original article)

# Stable nitrogen and carbon isotope ratios and related leaf properties of four tree species at high and low nitrogen-deposition sites in the Kanto district of Japan

Yoshiyuki INAGAKI<sup>1)\*</sup>, Masahiro INAGAKI<sup>2)</sup>, Toru HASHIMOTO<sup>3)</sup> and Shinji KANEKO<sup>4)</sup>

### Abstract

We compared the leaf properties of four tree species (Japanese cedar, hinoki cypress, and two deciduous hardwood species) at sites in Tsukuba (a high nitrogen-deposition area) and Katsura (a low nitrogen-deposition area) in the Kanto district of Japan. Nitrogen concentration in fresh leaves of Japanese cedar did not differ between the two sites, whereas those for the other three species were higher at Tsukuba than at Katsura. Leaf mass per area of hinoki cypress and the two deciduous hardwood species was lower at Tsukuba than at Katsura, but the effects on leaf nitrogen content per area varied among tree species. The nitrogen resorption efficiency of Japanese cedar was lower at Tsukuba than at Katsura, but there was no clear difference in the other three species. The nitrogen isotope ratio in all species was higher at Tsukuba than at Katsura, but the carbon isotope ratio did not differ between the two sites. These results suggested that the effects of nitrogen deposition on leaf properties varied among tree species and that Japanese cedar at Tsukuba was in a more nitrogen-saturated condition than were the other three species.

**Key words :** Japanese cedar, hinoki cypress, nitrogen saturation, stable isotopes, leaf traits

### 1. Introduction

Recently, nitrogen deposition by precipitation or dry deposition in forest ecosystems has been increasing because of human activity. When the supply of ammonium and nitrate exceeds plant and microbial demand, the presence of excess nitrogen may result in higher soil nitrification rates, soil acidification, greater nitrogen loss in stream waters, and a decline in forest productivity. These conditions are considered to constitute nitrogen saturation, which has been examined in many studies in Europe and North America (Aber et al. 1989, Gundersen et al. 2006). In Japan, several studies have reported high rates of nitrogen loss in the stream waters in forests along the periphery of the Kanto Plain; this is symptomatic of nitrogen saturation (Mitchell et al. 1997, Ohrui et al. 1997, Itoh et al. 2004, Yoshinaga et al. 2012).

The effects of nitrogen deposition on trees differ among tree species (Gundersen et al. 2006), and the effects need to be clarified for each of the major tree species in a region. Nitrogen use by trees can be evaluated by examining leaf properties. Fresh-leaf nitrogen concentration is used as an index of photosynthetic ability (Evans 1989). Leaf-litter nitrogen concentration is used as an index of nitrogen use efficiency (Vitousek 1982) or nitrogen resorption proficiency (Killingbeck 1996). The natural abundance of nitrogen isotope in leaves ( $\delta^{15}\text{N}$ ) reflects soil nitrogen availability (Craine et al. 2009), nitrogen deposition (Pardo et al. 2006, Fang et al. 2013), and

the form of nitrogen utilized by plants (Takebayashi et al. 2010). Therefore, leaf nitrogen isotope ratio would be a possible indicator of nitrogen saturation of trees.

Decline of Japanese cedar trees is sometimes observed on the Kanto plain (Sakata et al. 1996, Sase et al. 1998). This decline is likely related to changes in water use associated with dry deposition or decreasing humidity (Sase et al. 1998). Nitrogen deposition can also be a factor affecting water use by trees. In one experiment, nitrogen addition increased transpiration by Japanese cedar seedlings (Nagakura et al. 2008). Information on tree water use is required to evaluate the effects of nitrogen deposition in the Kanto district. The carbon isotope ratio ( $\delta^{13}\text{C}$ ) is used as an index of water use efficiency, because the leaf carbon isotope ratio is a function of both the supply of  $\text{CO}_2$  to sites of carbon fixation and photosynthetic capacity (i.e. chloroplast demand for  $\text{CO}_2$ ) (Farquhar et al. 1982). A high  $\delta^{13}\text{C}$  in leaves indicates a high water-use efficiency (i.e. a high ratio of assimilation to conductance).

Here, we compared the leaf properties of tree species in two areas of Ibaraki Prefecture in central Japan. The Tsukuba study site receives high levels of nitrogen deposition, whereas the Katsura study site receives moderate levels of nitrogen deposition. We compared the leaf properties of four tree species to determine species-specific response of water and nitrogen utilization to atmospheric nitrogen deposition.

Received 14 April 2015, Accepted 11 September 2015

1) Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Kyushu Research Center, FFPRI

3) Hokkaido Research Center, FFPRI

4) Department of Forest Site Environment, FFPRI

\* Shikoku Research Center, FFPRI, 2-915 Asakuranishi, Kochi, Kochi, 780-8077 JAPAN; e-mail: yinagaki@affrc.go.jp

## 2. Materials and methods

### 2.1 Study sites

The study was conducted in the Tsukuba and Katsura areas of Ibaraki Prefecture. The Tsukuba site was located in the Tsukuba Forest Experimental Watershed of the Forestry and Forest Products Research Institute on the periphery of the Kanto Plain, about 60 km northeast of Metropolitan Tokyo (N36°10', E140°10', 320 to 390 m in altitude). The mean annual temperature from 1980 to 2010 is 13.8 °C at the nearest weather station of Japan Meteorological Agency (Tsukuba station: N36°3', E140°8', 25 m in altitude) and the annual precipitation from 1979 to 1990 at the study site was 1430 mm (Kabeya et al. 2014). The Katsura site was located in the Katsura Headwater Catchment of the Forestry and Forest Products Research Institute, about 120 km northeast of Tokyo (N 36°32', E 140°18', 210 to 270 m in altitude). The mean annual temperature from 1980 to 2010 is 12.7 °C and the annual precipitation is 1340 mm at the nearest weather station of Japan Meteorological Agency (Hitachiomiya station: N36°36', E140°20', 95 m in altitude). The soil parent material is a volcanic ash over biotite gneiss at Tsukuba and over Mesozoic shale and sandstone at Katsura. The soils in the two areas are classified as brown forest soils (Forest Soil Division 1976) and are classified as Fulvudand or Dystrudept, depending on the influence of the volcanic ash material at the site in US Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2010).

The two sites receive different nitrogen depositions. Annual nitrogen input by throughfall in Japanese cedar plantations is 20.0 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> at Tsukuba and 8.8 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> at Katsura (Yoshinaga et al. 2012). Nitrogen loss in stream nitrates from watersheds including Japanese cedar plantation was 11.0 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the Tsukuba area and 1.9 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the Katsura area (Kobayashi et al. 2011). Rates of nitrogen deposition and nitrogen loss in the Tsukuba area are relatively high among Japanese forest ecosystems in Japan (Mitchell et al. 1997); the high rate of nitrogen loss indicates that forests in the area are in a nitrogen-saturated condition.

### 2.2 Sample collection and analysis

At each site, we selected a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation, a hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation, and a deciduous broad-leaved forest. In the deciduous broad-leaved forest, *Quercus serrata* and *Clethra barbinervis* were selected from the canopy and sub-canopy layers of the forest, respectively. Mean diameters at breast height (DBH) are given in Table 1. The ages of the trees in the Japanese cedar and hinoki cypress plantations ranged from 34 to 55 years, but those of the hardwood species were not known (Table 1). Fresh leaves of each species were collected from five trees in August 2009. A slingshot was used to collect leaves

Table 1. Mean DBH of trees, and forest age.

|                            | Katsura     |             | Tsukuba     |             |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | DBH<br>(cm) | Age<br>(yr) | DBH<br>(cm) | Age<br>(yr) |
| Hinoki cypress             | 21.8        | 34          | 18.9        | 40          |
| Japanese cedar             | 26.3        | 43          | 23.8        | 55          |
| <i>Quercus serrata</i>     | 21.1        | -           | 17.6        | -           |
| <i>Clethra barbinervis</i> | 6.4         | -           | 4.9         | -           |

from the Japanese cedar and hinoki cypress trees, whereas high-branch scissors were used for *Q. serrata* and *C. barbinervis*. Leaf litter of Japanese cedar and hinoki cypress was collected by using litter traps (3-8 traps). Litterfall was collected at 1- to 2- month intervals from July 2009 to June 2010. Collected samples in each plot were combined into one sample and divided into leaves and other parts. Leaf samples were analyzed for nitrogen content. Freshly fallen leaf litter of *Q. serrata* and *C. barbinervis* was collected from the forest floor in November 2009 (n=5).

Leaf area of the collected hinoki cypress, *Q. serrata*, and *C. barbinervis* samples was determined by using LIA32 software (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32>). Leaf area of Japanese cedar was not determined, as it was difficult to measure because of the needle shape of the leaf. The leaf samples were dried at 70 °C for 72 h and weighed. Leaf mass per area (LMA) was calculated as leaf mass divided by leaf area. The nitrogen concentration of fresh leaves and leaf litter was measured with an NC analyzer (NC 22F; Sumika Analytical Center). The carbon and nitrogen isotope ratios were measured with an on-line C and N analyzer (NC 2500; CE Instruments) coupled with an isotope ratio mass spectrometer (MAT252; Thermo Electron). Results are expressed as  $\delta$  values with ‰ deviations from standard reference materials, where

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$$

where  $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  or  ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$  and appropriate standards were Pee Dee Belemnite (PDB) and atmospheric nitrogen for carbon and nitrogen, respectively.

We analyzed the differences in these parameters between the Tsukuba site (high nitrogen deposition) and the Katsura site (low nitrogen deposition) by using a *t*-test. Because the litterfall in Japanese cedar and hinoki cypress was combined into one sample in each collection, we calculated the weighted mean for the leaf-litter nitrogen concentration. Nitrogen resorption efficiency was calculated as

$$\text{Nitrogen resorption efficiency (\%)} = (N_{\text{fresh}} - N_{\text{litter}}) / N_{\text{fresh}} \times 100$$

where  $N_{\text{fresh}}$  and  $N_{\text{litter}}$  are the nitrogen concentrations in fresh leaves and leaf litter, respectively.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Leaf nitrogen concentration and nitrogen resorption

The nitrogen concentration in the fresh leaves of Japanese cedar did not differ between the two sites ( $P = 0.17$ , Table 2), whereas those in the other three species were higher at Tsukuba (high nitrogen deposition) than at Katsura (low nitrogen deposition) ( $P < 0.05$ ). LMA was not determined for Japanese cedar but LMA for other three species was lower at Tsukuba than at Katsura ( $P < 0.01$ ). The pattern of leaf nitrogen content per area differed among the three species, namely the leaf nitrogen content per area at Tsukuba was higher in hinoki cypress ( $P < 0.01$ ) and lower in *Q. serrata* ( $P < 0.02$ ), whereas there was no clear difference in the case of *C. barbinervis* ( $P = 0.09$ ). The leaf-litter nitrogen concentration of the three species was higher at Tsukuba than at Katsura (Table 3). The nitrogen resorption efficiency of Japanese cedar was lower than those of the other three species. Moreover, the nitrogen resorption efficiency of Japanese cedar was lower at Tsukuba (5.5%) than at Katsura (14.7%).

A previous study reported that the mean (range) nitrogen concentration in fresh leaves of hinoki cypress in Kinki and Shikoku districts was 10.3 (7.4 to 13.7) mg g<sup>-1</sup> (Inagaki et al. 2011a). We found that the nitrogen concentration in fresh leaves of hinoki cypress was relatively high at Tsukuba (12.7 mg g<sup>-1</sup>) and moderate at Katsura (9.4 mg g<sup>-1</sup>). A previous study reported that the mean nitrogen concentration in leaf litter of hinoki cypress forests in Kanto, Kinki and Shikoku districts was 8.1 (5.7 to 10.9) mg g<sup>-1</sup> (Inagaki et al. 2010). The nitrogen concentration in the leaf litter of hinoki cypress was moderate at Tsukuba (9.0 mg g<sup>-1</sup>) and relatively low at Katsura (5.7 mg g<sup>-1</sup>). A previous study reported that the mean nitrogen resorption

efficiency of hinoki cypress in Kinki and Shikoku districts was 32% (5% to 46%) (Inagaki et al. 2010). Nitrogen resorption efficiency of hinoki cypress in this study was moderate at Tsukuba (29%) and relatively high at Katsura (39%). Thus the rate of nitrogen cycling in hinoki cypress forests was low at Katsura and moderate at Tsukuba. If the hinoki cypress trees were nitrogen saturated, then one would expect high nitrogen concentrations in the leaf litter and low nitrogen resorption efficiency. However, the leaf-litter nitrogen concentrations and nitrogen resorption efficiency in the hinoki cypress at Tsukuba were moderate and not indicative of nitrogen saturation. The fact that leaf-litter production in the Tsukuba hinoki cypress forest was very high compared with that in other hinoki cypress forests in Japan (Inagaki et al. 2012) likely indicated that there was a high rate of leaf production in response to high levels of nitrogen deposition. Stem production of hinoki cypress plantation at Tsukuba was larger than that of Japanese cedar plantations at Tsukuba and Katsura (Inagaki et al. 2011b, 2012). These findings suggest that nitrogen deposition promotes forest growth in hinoki cypress and that the degree of nitrogen saturation of the hinoki forest was not extreme.

In the case of Japanese cedar, a previous study reported that the mean nitrogen concentration in fresh leaves was 14.0 mg g<sup>-1</sup> (Shigenaga et al. 2008). The nitrogen concentrations in fresh leaves in our study were relatively low (7.5 mg g<sup>-1</sup> at Katsura and 8.7 mg g<sup>-1</sup> at Tsukuba). A previous study reported that the mean of nitrogen concentration in leaf litter was 8.1 (5.3 to 12.7) mg g<sup>-1</sup> (Inagaki et al. 2012). The leaf-litter nitrogen concentration in Japanese cedar in our study was low at Katsura (6.4 mg g<sup>-1</sup>) and moderate at Tsukuba (8.2 mg g<sup>-1</sup>) compared with reported values. The nitrogen resorption efficiency of

Table 2. Nitrogen concentrations, nitrogen content per area, and leaf mass per area (LMA) in four tree species at Katsura and Tsukuba.

|                                              | Katsura(a) |        | Tsukuba(b) |        | (b)/(a) | <i>P</i> ( <i>t</i> -test) |
|----------------------------------------------|------------|--------|------------|--------|---------|----------------------------|
|                                              | Mean       | (SD)   | Mean       | (SD)   |         |                            |
| Leaf N concentration (mg g <sup>-1</sup> )   |            |        |            |        |         |                            |
| Hinoki cypress                               | 9.4        | (0.7)  | 12.7       | (1.5)  | 1.36    | 0.01                       |
| Japanese cedar                               | 7.5        | (1.4)  | 8.7        | (1.1)  | 1.16    | 0.17                       |
| <i>Quercus serrata</i>                       | 19.8       | (0.9)  | 22.6       | (1.9)  | 1.14    | 0.03                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>                   | 16.2       | (1.8)  | 21.7       | (1.2)  | 1.34    | 0.01                       |
| Leaf mass per area (g m <sup>-2</sup> )      |            |        |            |        |         |                            |
| Hinoki cypress                               | 250.9      | (11.3) | 210.1      | (17.7) | 0.84    | 0.01                       |
| Japanese cedar                               | -          |        | -          |        |         |                            |
| <i>Quercus serrata</i>                       | 70.7       | (5.6)  | 53.1       | (4.1)  | 0.75    | 0.01                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>                   | 72.0       | (9.4)  | 43.9       | (5.2)  | 0.61    | 0.01                       |
| Leaf N content per area (g m <sup>-2</sup> ) |            |        |            |        |         |                            |
| Hinoki cypress                               | 2.35       | (0.14) | 2.65       | (0.12) | 1.13    | 0.01                       |
| Japanese cedar                               | -          |        | -          |        |         |                            |
| <i>Quercus serrata</i>                       | 1.40       | (0.08) | 1.20       | (0.11) | 0.86    | 0.02                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>                   | 1.17       | (0.22) | 0.95       | (0.10) | 0.81    | 0.09                       |



Table 3. Leaf-litter nitrogen concentration and nitrogen resorption efficiency in four tree species at Katsura and Tsukuba.

|                                              | Katsura(a) |       | Tsukuba(b) |       | (b)/(a) | <i>P</i> ( <i>t</i> -test) |
|----------------------------------------------|------------|-------|------------|-------|---------|----------------------------|
|                                              | Mean       | (SD)  | Mean       | (SD)  |         |                            |
| Litter N concentration (mg g <sup>-1</sup> ) |            |       |            |       |         |                            |
| Hinoki cypress                               | 5.7        |       | 9.0        |       | 1.58    |                            |
| Japanese cedar                               | 6.4        |       | 8.2        |       | 1.28    |                            |
| <i>Quercus serrata</i>                       | 7.3        | (0.2) | 8.5        | (0.4) | 1.17    | 0.01                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>                   | 9.2        | (1.3) | 13.5       | (1.6) | 1.47    | 0.01                       |
| N resorption efficiency (NRE) (%)            |            |       |            |       |         |                            |
| Hinoki cypress                               | 39.2       |       | 29.3       |       | 0.75    |                            |
| Japanese cedar                               | 14.7       |       | 5.5        |       | 0.37    |                            |
| <i>Quercus serrata</i>                       | 63.5       | (1.4) | 62.2       | (3.3) | 0.99    | 0.44                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>                   | 42.9       | (9.7) | 37.2       | (9.9) | 0.87    | 0.39                       |

Table 4. Stable nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) and carbon isotope ratios ( $\delta^{13}\text{C}$ ) in four tree species at Katsura and Tsukuba.

|                                 | Katsura(a) |       | Tsukuba(b) |       | (b) - (a) | <i>P</i> ( <i>t</i> -test) |
|---------------------------------|------------|-------|------------|-------|-----------|----------------------------|
|                                 | Mean       | (SD)  | Mean       | (SD)  |           |                            |
| $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ |            |       |            |       |           |                            |
| Hinoki cypress                  | -6.4       | (0.6) | -3.3       | (0.4) | 3.1       | 0.01                       |
| Japanese cedar                  | -4.9       | (0.8) | -2.4       | (0.2) | 2.5       | 0.01                       |
| <i>Quercus serrata</i>          | -5.5       | (0.5) | -3.7       | (1.0) | 1.8       | 0.01                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>      | -6.6       | (1.2) | -4.9       | (0.6) | 1.8       | 0.03                       |
| $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ |            |       |            |       |           |                            |
| Hinoki cypress                  | -27.0      | (0.8) | -27.1      | (1.0) | -0.1      | 0.90                       |
| Japanese cedar                  | -30.1      | (0.8) | -29.6      | (0.9) | 0.5       | 0.37                       |
| <i>Quercus serrata</i>          | -29.2      | (1.0) | -30.2      | (0.6) | -0.9      | 0.16                       |
| <i>Clethra barbinervis</i>      | -30.3      | (2.1) | -31.2      | (0.6) | -0.9      | 0.41                       |

Japanese cedar at the two sites (5.5 to 14.7%) was lower than that in the other three species. The mean nitrogen concentrations in previous studies were 14.0 mg g<sup>-1</sup> in fresh leaves (Shigenaga et al. 2008) and 8.1 mg g<sup>-1</sup> (Inagaki et al. 2012) in leaf litter. The nitrogen resorption efficiency calculated from these values was 42%. The nitrogen use efficiency of Japanese cedar in our study was likely lower among Japanese cedar forests. The nitrogen resorption efficiency of Japanese cedar was lower at Tsukuba than at Katsura. In contrast to our expectation, the nitrogen concentration in fresh leaves of Japanese cedar at Tsukuba was not high. The low nitrogen resorption efficiency at Tsukuba was caused mainly by the low fresh-leaf nitrogen concentration. These findings suggest that the increase in nitrogen uptake by Japanese cedar in response to nitrogen deposition is very small. A previous study has suggested that stem growth of tall trees in Japanese cedar forests in the Tsukuba site is inhibited (Inagaki et al. 2012). These results suggested that trees at Tsukuba did not show increased growth and nitrogen uptake in response to nitrogen deposition, indicating that conditions in the cedar forest were nitrogen saturated.

The nitrogen concentrations in the deciduous hardwood species in our study were similar to those in previous studies of

*Q. serrata* (Migita et al. 2007) and *C. barbinervis* (Nagakura et al. 2009). Nitrogen concentrations in the fresh leaves were higher at Tsukuba than at Katsura, but nitrogen content per leaf area was not higher owing to a decrease in LMA at Tsukuba (Table 3). The nitrogen use efficiency of the two species did not differ between the two sites (*P* > 0.05) (Table 3). These results suggest that, in these hardwood species, nitrogen deposition strongly decreases leaf thickness and may not increase nitrogen uptake as much as in hinoki cypress. The decrease in leaf thickness may reduce leaf production (on a mass basis) if the leaf area of a forest remains constant. To evaluate nitrogen uptake in response to nitrogen deposition, leaf production should be clarified in a future study.

### 3.2 Nitrogen isotope

Fresh leaf  $\delta^{15}\text{N}$  of four tree species ranged from -6.6‰ to -2.4‰ (Table 4). This is within the range in previous studies of Japanese cedar and hinoki cypress (-7.1‰ to -2.1‰; Koba et al. 2003, Tateno et al. 2009, Takebayashi et al. 2010). Leaf  $\delta^{15}\text{N}$  was higher at Tsukuba than at Katsura for all tree species (*P* < 0.05). This result is consistent with the report of Pardo et al. (2006), which showed a positive correlation between nitrogen

Table 5.  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) in soil at depths of 0 to 10 cm in a hinoki cypress plantation. Values are means with SE (n=3). Data are from the work of Hayashi (2014).

|         | Total N  | $\text{NH}_4^+$ | $\text{NO}_3^-$ |
|---------|----------|-----------------|-----------------|
| Katsura | 2.4(0.9) | 4.4(0.5)        | -2.0(0.3)       |
| Tsukuba | 1.4(0.2) | 1.9(0.6)        | -4.1(1.2)       |

deposition and leaf  $\delta^{15}\text{N}$  in a large data set from the United States and Europe. On the other hand, Fang et al. (2013) reported very low leaf  $\delta^{15}\text{N}$  values in heavily nitrogen-saturated forests in China. In the Kanto and Chubu districts of Japan, Takebayashi et al. (2010) found a decreasing trend in leaf  $\delta^{15}\text{N}$  content in hinoki cypress with increasing nitrogen deposition. Takebayashi et al. (2010) also found that leaf  $\delta^{15}\text{N}$  in a nitrogen-saturated forest was close to soil nitrate  $\delta^{15}\text{N}$ ; they suggested preferential uptake of soil nitrate as a reason for the low leaf  $\delta^{15}\text{N}$ .

Soil  $\delta^{15}\text{N}$  has been investigated in the hinoki cypress forests at Tsukuba and Katsura in another study by Hayashi (2014) (Table 5). The leaf  $\delta^{15}\text{N}$  of hinoki cypress at Tsukuba (-3.3‰) in our study was between the soil ammonium  $\delta^{15}\text{N}$  (1.9‰) and nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  (-4.1‰) in the study by Hayashi (2014). Isotope discrimination during plant uptake is generally very small when the soil inorganic nitrogen pool in forest ecosystems is small (Nadelhoffer and Fry 1994). If we assume that there is no isotope discrimination during plant uptake and that plants absorb nitrogen from the two above-mentioned sources, the contribution of each nitrogen source can be calculated as mixing ratio of the two  $\delta^{15}\text{N}$  sources (Takebayashi et al. 2010). The contribution of nitrate to plant nitrogen uptake in hinoki cypress at Tsukuba is 87% and that of ammonium is 13%. This result and the findings of Takebayashi et al. (2010) suggest that hinoki cypress has a strong ability to utilize soil nitrate when nitrogen deposition rates are high.

Leaf  $\delta^{15}\text{N}$  of hinoki cypress at Katsura (-6.4‰) in this study was lower than the soil ammonium  $\delta^{15}\text{N}$  (4.4‰) or nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  (-2.0‰) in Hayashi (2014). Therefore, leaf  $\delta^{15}\text{N}$  cannot be explained by these two nitrogen sources only. Nitrogen deposition is a possible factor in low leaf  $\delta^{15}\text{N}$ , as suggested by Fang et al. (2013), but its contribution would not be substantial at Katsura because nitrogen deposition in the area is low. Another possible nitrogen source at Katsura is the soil organic horizon. Accumulation of the soil organic horizon in the hinoki cypress forest at Katsura is very small (Inagaki Y, personal observation). This suggests that there is very rapid decomposition and nitrogen release from this horizon. The organic horizon should have a  $\delta^{15}\text{N}$  close to that of fresh leaves; efficient uptake of nitrogen from this horizon may maintain the low  $\delta^{15}\text{N}$  values in the leaves.

Therefore, from these findings, leaf  $\delta^{15}\text{N}$  in the two sites cannot be explained only by the  $\delta^{15}\text{N}$  of ammonium and nitrate,

but the analysis of soil nitrogen sources revealed the presence of an unknown nitrogen source. Our results suggest that leaf  $\delta^{15}\text{N}$  is not a simple index of nitrogen saturation but may provide valuable information about nitrogen sources. The role of nitrogen from the organic horizon should be clarified in future research.

### 3.3 Carbon isotope

Leaf  $\delta^{13}\text{C}$  was higher in hinoki cypress than in the other three species. There was no clear difference in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  between the two areas ( $P > 0.05$ ) (Table 4). The lack of increase in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  at Tsukuba suggests that reduced transpiration through stomatal closure did not occur. In contrast, Sakata et al. (1996) found an increase in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  in Japanese cedar trees on the Kanto plain that were in decline. They suggested that stomatal closure caused by water stress was the primary reason for the decrease in  $\delta^{13}\text{C}$  in Japanese cedar trees. However, their results differed from those of our study. There are two interpretations of this: first, low leaf  $\delta^{13}\text{C}$  at Tsukuba is indicative of lower water stress at a site, and second, low leaf  $\delta^{13}\text{C}$  indicates a lack of response to water stress. It is difficult to distinguish which is the case from our data. However, because a previous study showed that stem growth of tall trees was inhibited at the Tsukuba study area (Inagaki et al. 2012), lack of stomatal control could be one of the factors negatively affecting tree growth at the site. Sase et al. (1998) showed that decline in Japanese cedar is associated with a decrease in leaf wax content and an increase in transpiration due to dry deposition. Loss of stomatal control is harmful, because humidity levels in Kanto district have recently been decreasing (Sase et al. 1998). These results suggest that factors other than nitrogen deposition can negatively affect stomatal control. Future research is required to reveal the combined effects of climate change, nitrogen deposition, and other substances derived from human activities.

## 4. Conclusion

Analysis of leaf properties revealed species-specific responses to nitrogen deposition. For hinoki cypress, nitrogen deposition increases nitrogen uptake indicated by large nitrogen content in litterfall, and no symptoms of decline were observed. Soil  $\delta^{15}\text{N}$  analysis suggested that hinoki cypress in the nitrogen-saturated area had a strong ability to absorb soil nitrate. In the case of Japanese cedar, nitrogen deposition did not increase nitrogen uptake and stem growth was reduced among the taller trees. The lack of change in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  at the nitrogen-saturated site indicated a lack of stomatal control in response to nitrogen addition or other factors. In the case of deciduous trees, nitrogen deposition did not increase leaf nitrogen content per area. These results suggest that the effects of nitrogen deposition on leaf properties vary among tree species and that the Japanese cedars at Tsukuba were in more nitrogen-saturated condition than were the other three species.

### Acknowledgements

We are grateful to the Ibaraki District Forest Office for permission to conduct this study in the national forests. This work was supported in part by a research grant "Nitrate nitrogen loss caused by nitrogen saturation at forests surrounding the Tokyo Metropolitan area" from Ministry of the Environment, Japan and by a Grant-in-Aid for Scientific Research (No. 22580167, 25450224) from Japan Society for the Promotion of Science.

### References

- Aber, J. D., Nadelhoffer, K. J., Steudler, P. and Melillo, J. M. (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience* 39, 378-386.
- Craine, J. M., Elmore, A. J., Aidar, M. P. M., Bustamante, M., Dawson, T. E., Hobbie, E. A., Kahmen, A., Mack, M. C., McLauchlan, K. K., Michelsen, A., Nardoto, G. B., Pardo, L. H., Penuelas, J., Reich, P. B., Schuur, E. A. G., Stock, W. D., Templer, P. H., Virginia, R. A., Welker, J. M. and Wright, I. J. (2009) Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. *New Phytol.* 183, 980-992.
- Evans, J. (1989) Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of  $C_3$  plants. *Oecologia* 78, 9-19.
- Fang, Y. T., Koba, K., Yoh, M., Makabe, A. and Liu, X. Y. (2013) Patterns of foliar  $\delta^{15}N$  and their control in Eastern Asian forests. *Ecol. Res.* 28, 735-748.
- Farquhar, G. D., O'Leary, M. H. and Berry, J. A. (1982) On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 281-292.
- Forest Soil Division (1976) Classification of forest soils in Japan (1975). *Bull. Gov. For. Exp. Sta.* 280, 1-28 (in Japanese with English summary).
- Gundersen, P., Schmidt, I. K. and Raulund-Rasmussen, K. (2006) Leaching of nitrate from temperate forests - effects of air pollution and forest management. *Environ. Rev.* 14, 1-57.
- Hayashi, T. (2014) Dynamics of high and low molecular weight extractive organic nitrogen (EON) in forest soils elucidated by  $\delta^{15}N$ . Master Thesis. Tokyo University of Agriculture and Technology, pp. 71p (in Japanese).
- Inagaki, Y., Inagaki, M., Hashimoto, T., Kobayashi, M., Itoh, Y., Shinomiya, Y., Fujii, K., Kaneko, S. and Yoshinaga, S. (2012) Aboveground production and nitrogen utilization in nitrogen-saturated coniferous plantation forests on the periphery of the Kanto Plain. *Bull. For. For. Prod. Res. Inst.* 11, 161-173.
- Inagaki, Y., Nakanishi, A. and Fukata, H. (2011a) Soil properties and nitrogen utilization of hinoki cypress as affected by strong thinning under different climatic conditions in the Shikoku and Kinki districts in Japan. *J. For. Res.* 16, 405-413.
- Inagaki, Y., Noguchi, K., Kaneko, S., Hashimoto, T. and Miura, S. (2011b) Biomass allocation to leaves, stems and reproductive organs in Japanese cedar plantations with different stand densities. *Jpn. J. For. Environ.* 53, 23-29 (in Japanese with English summary).
- Inagaki, Y., Okuda, S., Sakai, A., Nakanishi, A., Shibata, S. and Fukata, H. (2010) Leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress forests in relation to the time of leaf fall under different climatic conditions in Japan. *Ecol. Res.* 25, 429-438.
- Itoh, Y., Miura, S., Kato, M. and Yoshinaga, S. (2004) Regional distribution of nitrate concentrations in the stream water of forested watersheds in the Kanto and Chubu districts. *J. Jpn. For. Soc.* 86, 275-278 (in Japanese with English summary).
- Kabeya, N., Shimizum, A., Zhang, J. and Nobuhiro, T. (2014) Effect of Hydrograph Separation on Suspended Sediment Concentration Predictions in a Forested Headwater with Thick Soil and Weathered Gneiss Layers. *Water* 6, 1671-1684.
- Killingbeck, K. T. (1996) Nutrients in senesced leaves: Keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology* 77, 1716-1727.
- Koba, K., Hirobe, M., Koyama, L., Kohzu, A., Tokuchi, N., Nadelhoffer, K., Wada, E. and Takeda, H. (2003) Natural  $^{15}N$  abundance of plants and soil N in a temperate coniferous forest. *Ecosystems* 6, 457-469.
- Kobayashi, M., Yoshinaga, S., Itoh, Y., Tsuboyama, Y., Tamai, K., Kabeya, N. and Shimizu, T. (2011) Nitrogen leaching from two forested watershed in Ibaraki, Japan. Abstract of Japan Geoscience Union, AHW026-12: (in Japanese).
- Migita, C., Chiba, Y. and Tange, T. (2007) Seasonal and spatial variations in leaf nitrogen content and resorption in a *Quercus serrata* canopy. *Tree Physiol.* 27, 63-70.
- Mitchell, M. J., Iwatsubo, G., Ohnui, K. and Nakagawa, Y. (1997) Nitrogen saturation in Japanese forests: an evaluation. *For. Ecol. Manag.* 97, 39-51.
- Nadelhoffer, K. J. and Fry, B. (1994) Nitrogen isotope studies in forest ecosystems. In: Lajtha, K. and Michener, R.H. (eds) *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell Scientific Oxford, 22-44.
- Nagakura, J., Kaneko, S., Akama, A. and Shigenaga, H. (2009) Nutrient concentrations in leaves of 39 hardwood species at the summer and the fall. *Kanto For. Res.* 60, 195-198 (in Japanese with English summary).
- Nagakura, J., Kaneko, S., Takahashi, M. and Tange, T. (2008)

- Nitrogen promotes water consumption in seedlings of *Cryptomeria japonica* but not in *Chamaecyparis obtusa*. For. Ecol. Manag. 255, 2533-2541.
- Ohrui, K. and Mitchell, M. J. (1997) Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds. Ecol. Appl. 7, 391-401.
- Pardo, L. H., Templer, P. H., Goodale, C. L., Duke, S., Groffman, P. M., Adams, M. B., Boeckx, P., Boggs, J., Campbell, J., Colman, B., Compton, J., Emmett, B., Gundersen, P., Kjonaas, J., Lovett, G., Mack, M., Magill, A., Mbila, M., Mitchell, M. J., McGee, G., McNulty, S., Nadelhoffer, K., Ollinger, S., Ross, D., Rueth, H., Rustad, L., Schaberg, P., Schiff, S., Schleppi, P., Spoelstra, J. and Wessel, W. (2006) Regional assessment of N saturation using foliar and root  $\delta^{15}\text{N}$ . Biogeochemistry 80, 143-171.
- Sakata, M. (1996) Evaluation of possible causes for the decline of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) based on elemental composition and  $\delta^{13}\text{C}$  of needles. Environ. Sci. Technol. 30, 2376-2381.
- Sase, H., Takamatsu, T., Yoshida, T. and Inubushi, K. (1998) Changes in properties of epicuticular wax and the related water loss in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) affected by anthropogenic environmental factors. Can. J. For. Res. 28, 546-556.
- Shigenaga, H., Takahashi, M., Nagakura, J. and Akama, A. (2008) Spatial variations in needle nitrogen content in sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation across Japan. J. Jpn. For. Soc. 90, 182-189.
- Soil Survey Staff (2010) Keys to Soil Taxonomy, 11th ed., Natural Resources Conservation Service USDA, Washington DC.
- Takebayashi, Y., Koba, K., Sasaki, Y., Fang, Y. and Yoh, M. (2010) The natural abundance of  $^{15}\text{N}$  in plant and soil-available N indicates a shift of main plant N resources to  $\text{NO}_3^-$  from  $\text{NH}_4^+$  along the N leaching gradient. Rapid Commun. Mass Spectrom. 24, 1001-1008.
- Tateno, R., Fukushima, K., Fujimaki, R., Shimamura, T., Ohgi, M., Arai, H., Ohte, N., Tokuchi, N. and Yoshioka, T. (2009) Biomass allocation and nitrogen limitation in a *Cryptomeria japonica* plantation chronosequence. J. For. Res. 14, 276-285.
- Vitousek, P. (1982) Nutrient cycling and nutrient use efficiency. Am. Nat. 119, 553-572.
- Yoshinaga, S., Itoh, Y., Aizawa, S. and Tsurita, T. (2012) Variation in nitrate concentrations in streamwater of forested watersheds in the northeastern Kanto Plain as a function of distance from the Tokyo metropolitan area. J. Jpn. For. Soc. 94, 84-91 (in Japanese with English summary).

## 関東地方の窒素負荷量の異なる 2 地域における 4 樹種の 窒素炭素安定同位体比と葉の性質

稲垣 善之<sup>1)\*</sup>、稲垣 昌宏<sup>2)</sup>、橋本 徹<sup>3)</sup>、金子 真司<sup>4)</sup>

### 要旨

4 樹種（スギ、ヒノキ、落葉広葉樹 2 種）の葉の特性を関東地域の筑波試験地（窒素負荷の多い地域）と桂試験地（窒素負荷の少ない地域）で比較した。スギでは生葉窒素濃度に差が認められなかったが、他の 3 樹種では生葉窒素濃度は筑波試験地で桂試験地よりも高かった。ヒノキと落葉広葉樹では葉面積当たりの重量は、筑波試験地で桂試験地よりも小さかった。葉面積当たりの窒素量の試験地間の傾向は樹種によって異なっていた。落葉前の窒素引き戻し率は、スギではつくば試験地で桂試験地よりも低い、他の 3 樹種では試験地間で差は認められなかった。4 樹種の葉の窒素同位体比は筑波試験地で桂試験地よりも高かったが、葉の炭素安定同位体比は試験地間で差は認められなかった。これらの結果より、窒素負荷が葉の性質に及ぼす影響は樹種によって異なっており、筑波試験地のスギは他の 3 樹種よりも窒素飽和の進んだ状態にあることが示唆された。

キーワード：スギ、ヒノキ、窒素飽和、安定同位体比、葉の特性

原稿受付：平成 27 年 4 月 14 日 原稿受理：平成 27 年 9 月 11 日

1) 森林総合研究所四国支所

2) 森林総合研究所九州支所

3) 森林総合研究所北海道支所

4) 森林総合研究所立地環境研究領域

\* 森林総合研究所四国支所 〒780-8077 高知県高知市朝倉西町 2-915

## 研究資料 (Research record)

### 羊ヶ丘実験林気象観測露場 40 年の記録

溝口 康子<sup>1)\*</sup>、山野井 克己<sup>1)</sup>

#### 要旨

羊ヶ丘実験林は林業試験場北海道支場(現 国立研究開発法人 森林総合研究所北海道支所)が札幌市豊平区羊ヶ丘の現在の場所に移転するにともない整備され、1973 年 7 月から露場による気象観測も開始された。苗畑の管理などに使用するための観測であることから、一般的な気象観測に比べて精度維持にあまり労力はかけられてこなかった。しかし、多くの気象庁の観測地点の周辺では都市化が進行しているため、観測開始から周辺環境が緑地で 40 年以上その状態が保たれている観測点は少なく、都市化の影響が少ないと思われる地点での気象観測データは貴重であることから、40 年間のデータをとりまとめた。対象期間の気温、水蒸気圧および年最大積雪深の平均はそれぞれ 7.5℃、9.6 hPa および 98 cm だった。通年観測できた年の平均年降水量は 952 mm だったが冬季を中心に過小評価している可能性が高い。風速は露場周辺に植林された樹木の樹高成長の影響を受け、徐々に低下した。

キーワード：気温、水蒸気圧、降水量、長期気象観測データ、羊ヶ丘実験林

#### 1. はじめに

札幌市街地の南に位置する羊ヶ丘実験林は、林業試験場北海道支場(現 国立研究開発法人 森林総合研究所北海道支所)が札幌市豊平区豊平(現在の豊平公園)から移転する際に設けられた。気象観測露場は移転にともない整備され、1973 年 7 月頃から観測が開始されている。この気象観測は主に苗畑の管理および実験林内で行われる研究の基礎情報として記載するために行われており、毎年発行されている支所年報で月単位のデータが公開されているものの、系統だったデータ整理や測定精度の十分な維持管理のための作業は行われてはいない。そのため一般の気象観測データと比較して測定誤差が大きい可能性があり、特に降水量は溝口・山野井(2015)が指摘したように、データ利用の際には十分な検討が必要な要素もある。しかしながら、観測開始から現在に至る約 40 年、周辺は一部が草地から森林へと変化しているものの、緑地で維持されており、周辺環境の変化が比較的少ない気象観測データと考えられる。Sameshima et al. (2007) は、緑地が多いエリアの気象観測データは、気象

庁のアメダスデータと長期変動の傾向が異なる可能性を指摘しており、そのような意味でも、羊ヶ丘実験林の気象観測は貴重なデータと考えられる。また、森林は、それを構成する樹木の寿命が長いだけでなく、気象災害や病虫害など数年～百年の時間スケールで生じる攪乱の影響を受けつつ、動的に維持される。そのため、現在だけではなく、これまでに観測された長期間の気象観測結果を記述することは重要であり、今後実験林で行われる研究の参考にもなると考えられるため、ここにとりまとめる。

#### 2. 方法

##### 2.1 観測

気象観測露場は、1973 年に札幌市豊平区羊ヶ丘(北緯 42°59'42"、東経 141°23'26"、標高 146.5 m)に 40m×40m の平坦な芝地を造成して造られた。観測開始以前の露場周辺は牧草地だった。周辺の試験林造成とともに露場周辺も植林され(Photo 1)、現在、露場周辺は南側



Photo 1. 羊ヶ丘実験林露場の初期の様子  
Previous state of the observation field in the Hitsujigaoka Experimental Forest



Photo 2. 羊ヶ丘実験林露場の現在の様子  
Present state of the observation field in the Hitsujigaoka Experimental Forest

原稿受付：平成 27 年 7 月 29 日 原稿受理：平成 27 年 10 月 9 日

1) 森林総合研究所北海道支所

\* 森林総合研究所北海道支所 〒062-8516 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘 7

Table 1. 現在の気象観測システムの諸元  
Specifications of the current meteorology observation system

| Element           | Instrument model | Measurement height (m) |
|-------------------|------------------|------------------------|
| Air temperature   | FT-S             | 1.7                    |
| Relative humidity | HT-032           | 1.7                    |
| Wind direction    | KVS-500          | 5.8                    |
| Wind velocity     |                  |                        |
| Precipitation     | RH-5A            | 1.6                    |
| Snow Depth        | SU-201B          | 5.0                    |
| Data logger       | MC-2100          | -                      |

製造：光進電気工業（株）

Manufacturer: Koshin Denki Kogyo Co., Ltd.

を除いて樹高 15 m 前後の樹木で囲まれている (Photo 2)。また、観測地点から約 60 m 南側には 2 階建ての実験林管理棟が建っている。

現在の気象観測システムは 2008 年 9 月 25 日に導入された。その観測項目と仕様を Table 1 に示す。それ以前の詳細な仕様は記録が残っていないため、観測項目と測定間隔のみを Table 2 に示す。1973 年の観測開始から 1998 年 2 月までは、ペンレコーダの記録紙から数値を読み取っている。1998 年 4 月以降はデジタルレコーダを用いた観測が行われている。観測開始からデジタルレコーダに切り替わるまで、降水量を除く要素は毎日 2 時、4 時～24 時の 2 時間間隔の瞬間値、降水量は毎時積算値として整理されている。さらに日最高気温、日最低気温、日最低相対湿度、日最大風速とその時の風向が、それぞれの起時とともに整理されている。デジタルレコーダに切り替わって以降は同様のデータが自動的に整理され電子ファイル化されている。積雪深は現在の観測システムが導入される以前は、1 日 1 回の目視による観測を行っていた。そのため、週末を中心として欠測日も多くみられる。現在のシステムが導入された 2008 年冬以降は積雪深測定も自動化されたため、連続データが得られている。

## 2.2 データ処理

本資料では、気温、水蒸気圧、降水量、積雪深および風速の各要素を整理した。これらのうち、月平均気温、月平均水蒸気圧および月降水量を Appendix 1～3 として、資料末尾に示す。

月統計値は、1 ヶ月間の欠測が 10% 以上の場合、欠測扱いとした。また、気温および水蒸気圧の年統計値は月の欠測が 10% 以上ある月が含まれる場合および 1 年間で欠測が 10% 以上ある場合は、欠測扱いとした。夏日（日最高気温が 25℃以上 30℃未満）は 4 月 11 日から 10 月 10 日、真夏日（日最高気温が 30℃以上）は 6 月 1 日から 9 月 30 日、真冬日（日最高気温が 0℃以下）は 1 月 1 日から 4 月 30 日および 11 月 1 日から 12 月 31 日までの期間の日最高気温に欠測がない場合を処理対象とした。ただし、それぞれの対象期間の欠測が 2 日以下の場合には参考値として () 書きで表に記述した。風速は 1 年間の欠測が 10% 以上ある場合は、欠測扱いとした。降水量は期間内に欠測がある場合はすべて欠測扱いとした。本資料の表では欠測扱いは NA と表示した。

## 3. 結果

気温、水蒸気圧、降水量、積雪深および風速の 1973 年から 2013 年の観測データの年統計値を Table 3 に示す。また、Table 3 で記述されている年のみから求めた気温、水蒸気圧および降水量の月統計値を Table 4 に示す。

### 3.1 気温

年間を通して月の欠測が 10% 以下だった 29 年分の年平均気温は 7.5℃、年平均気温の最高は 9.1℃ (1999 年)、最低は 6.4℃ (1981 年) だった。最高・最低日平均気温はそれぞれ 28.8℃ (1994 年 8 月 7 日)、-16.1℃ (1985 年 1 月 25 日) だった。夏日は最多が 56 日 (2013 年)、最少は 13 日 (2003 年) だった。真夏日は最多が 14 日 (1994 年) で、真夏日がない年は 32 年中 7 年あった。真冬日の最多は 97 日で (1984 年)、最少は 32 日 (1989 年) だった (Table 3)。

Table 2. 測定要素と測定間隔 (単位: 分)  
Measurement elements and sampling intervals (unit: minutes)

| Commencement of measurements | Recorder            | Data storage media   | Air temperature |         |         |
|------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|---------|---------|
|                              |                     |                      | momentary value | maximum | minimum |
| July 9, 1973                 | Analog pen recorder | Paper                | 120             | 1440    | 1440    |
| December 1, 1974             | ↓                   | ↓                    | ↓               | ↓       | ↓       |
| May 2, 1975                  | ↓                   | ↓                    | ↓               | ↓       | ↓       |
| January 1, 1987              | ↓                   | Electrical file (FD) | ↓               | ↓       | ↓       |
| April 1, 1998                | Digital recorder    | Electrical file (HD) | 60              | ↓       | ↓       |
| September 27, 2006           | ↓ (KADEC-U21)       | ↓                    | 10              | ↓       | ↓       |
| September 25, 2008           | ↓ (MC-2100)         | ↓                    | 1               | ↓       | ↓       |

\*1: おおよそ 1 日 1 回目視による測定  
観測していない要素は NA と表示。

\*1: visual observation almost once a day  
NA indicates "not applicable".

月平均気温は8月が最高で1月が最低だった (Fig. 1, Table 4)。月平均気温の変動幅は1月が大きかった。月平均気温の最低値は、Table 3に記載されている年では $-9.0^{\circ}\text{C}$  (1985年1月) (Table 4)、欠測が10%以下の全ての月を対象とした場合、 $-9.6^{\circ}\text{C}$  (1978年2月) (Fig.1) だった。月平均気温の最高値は $24.0^{\circ}\text{C}$  (1994年8月) だった。また、観測期間中の極値は最高が $35.7^{\circ}\text{C}$  (1994年8月7日)、最低気温が $-22.8^{\circ}\text{C}$  (1978年2月28日) (Fig.1)、Table3に記載されている年のみでは $-22.1^{\circ}\text{C}$  (1985年1月25日) (Table 4) だった。

### 3.2 水蒸気圧および降水量

年間通して月の欠測が10%以下だった28年間の年平均水蒸気圧は9.6hPa、最高値は10.8hPa (1990年)、最低値は8.2hPa (1976年) だった (Table 3)。月平均水蒸気圧は8月が最大で20.5hPaとなり、変動幅も8月が大きかった (Fig. 2, Table 4)。気温の低い冬季は水蒸気圧も低く8月の1/5以下だった。

年降水量は25年間の平均は952mmで、最大値は1490mm (1981年)、最小値は581mm (1984年) だった。日最大降水量は221mm (1981年8月23日) だった (Table 3)。降水量は8~10月に多く平均月降水量は100mm以上だったが、同期間の月降水量の変動幅も大きかった (Fig. 2, Table 4)。それ以外の月降水量は100mm以下が多く、6月が最も少なかった。

同じ露場で溝口ら (2014) が気象庁アメダスとほぼ同等の測器で行っている観測では、月降水量は札幌管区気象台および北海道農業研究センターの気象データとほぼ差が無いことから、降水量の観測値は冬季を中心にかなり過小評価している可能性が高い。溝口・山野井 (2015) が指摘したように、実験林の降水量は降水量計のヒータによる蒸発損失が大きいことが考えられる。また、一般に降水量は降水量計の受水口の形状・大きさや風よけの有無によって捕捉率が大きく変わる (中井・横山 2009) ことが知られており、実験林露場の値を使用する場合もこの点に注意する必要がある。

### 3.3 積雪深

年最大積雪深は、2008年4月までは目視による1日1回の観測のため誤差が含まれるが、おおむね59cm~150cmの範囲で、38年間の平均は98cmだった。積雪期間は10月から翌年の4月で、10、11、4月は積雪深が0cmの場合もあった (Fig. 3)。年の最大積雪深を記録するのは2月が最も多く、次いで3月だった。観測期間の最大積雪深の極値は150cm (2013年3月11日) だった。

### 3.4 風速

年平均風速は、1987年頃は $2.5\text{ms}^{-1}$ 前後だったが、2010年代は $1.5\text{ms}^{-1}$ で、この間徐々に低下している。露場の広さはアメダス観測所の設置場所の最低基準 $70\text{m}^2$  (気象庁 1998) を十分確保しているが、周囲の環境は大きく変化している (Photo 1, Photo 2) ことから、周辺の樹木の成長が風速の観測値へ大きな影響を与えていると考えられる。周囲の環境の変化が風速に影響している場合、風速と降水の捕捉率の関係 (中井・横山 2009) や、「日だまり効果」 (近藤 2014) などを考慮すると、降水量や気温などの測定値にも少なからず影響していると考えられる。したがって、風速をはじめとして、データ利用時には周辺環境の変化とその影響についても留意する必要がある。

### 謝辞

羊ヶ丘実験林および露場の気象観測の維持・管理は、森林総合研究所北海道支所業務係をはじめとした歴代の多くの職員によって行われている。また、元森林総合研究所の菅田久子氏と油田さと子氏にはデータ整理を精力的に手伝って頂いた。北海道農業研究センター気象グループには、降水量の精度検証のため露場のデータを提供して頂いた。これらの方々に深く感謝の意を表します。

降水量の精度検証に用いた札幌管区気象台のデータは、農林水産基礎数値データベース (NDB) を使用した。本観測およびとりまとめの一部は、環境省地球環境保全試験研究費「アジア陸域炭素循環観測のための長期生態系モニタリングとデータのネットワーク化促進に関する研究」、「センサーネットワーク化と自動解析化による陸域生態系の炭素循環変動把握の精緻化に関する研究」によって行った。

Table 2. 前ページ続き  
continued.

| Relative humidity |         | Precipitation    | Snow depth      | Wind velocity & direction |         |
|-------------------|---------|------------------|-----------------|---------------------------|---------|
| momentary value   | minimum | integrated value | momentary value | momentary value           | maximum |
| 120               | 1440    | 60               | 1440*           | NA                        | NA      |
| ↓                 | ↓       | ↓                | 1440*           | NA                        | NA      |
| ↓                 | ↓       | ↓                | 1440*           | 120                       | 1440    |
| ↓                 | ↓       | ↓                | 1440*           | ↓                         | ↓       |
| 60                | ↓       | ↓                | 1440*           | 60                        | ↓       |
| 10                | ↓       | 10               | 1440*           | 10                        | ↓       |
| 1                 | ↓       | 1                | 1               | 1                         | ↓       |



Table 3. 1973 年から 2013 年までの年統計値  
Annual meteorological data from 1973 to 2013

| Year                 | Air temperature |                          |                          |                |                       |                        |                   |         | Precipitation |         |      | Maximum<br>snow<br>Depth | Wind<br>velocity |                     |
|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|-------------------|---------|---------------|---------|------|--------------------------|------------------|---------------------|
|                      | Mean            | Maximum of<br>daily mean | Minimum of<br>daily mean | Summer<br>days | Hot<br>summer<br>days | Cold<br>winter<br>days | Vapor<br>pressure | Annual  | Daily maximum |         |      |                          |                  |                     |
|                      | (°C )           | (°C )                    | Date                     | (°C )          | Date                  |                        | (hPa)             | (mm)    | (mm)          | Date    | (cm) |                          |                  | (ms <sup>-1</sup> ) |
| 1973                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | NA      | NA            |         | NA   | NA                       | NA               |                     |
| 1974                 | 7.1             | 24.6                     | 4-Aug                    | -8.5           | 6-Dec                 | 26                     | 2                 | 76      | 8.7           |         | NA   | NA                       | NA               |                     |
| 1975                 | 7.6             | 26.6                     | 1-Aug                    | -10.4          | 30-Jan                | 33                     | 1                 | 65      | 9.1           |         | NA   | 80                       | NA               |                     |
| 1976                 | 6.8             | 28.2                     | 26-Jul                   | -13.4          | 21-Jan                | 16                     | 4                 | 70      | 8.2           |         | NA   | 59                       | NA               |                     |
| 1977                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | 72      | NA            |         | NA   | 90                       | NA               |                     |
| 1978                 |                 |                          | NA                       |                |                       | 38                     | 11                | NA      | NA            |         | NA   | 125                      | NA               |                     |
| 1979                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | NA      | NA            | 1020    | 132  | 19-Oct                   | 90               | NA                  |
| 1980                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | NA      | NA            | 899     | 43   | 9-Jun                    | 98               | NA                  |
| 1981                 | 6.4             | 27.3                     | 2-Aug                    | -11.1          | 26-Jan                | 18                     | 3                 | 74      | NA            | 1490    | 221  | 23-Aug                   | 100              | NA                  |
| 1982                 | 7.2             | 24.4                     | 10-Jul                   | -13.5          | 6-Feb                 | 22                     | 1                 | 65      | 8.7           | 904     | 107  | 13-Sep                   | 94               | NA                  |
| 1983                 | 6.8             | 26.5                     | 6-Aug                    | -10.6          | 13-Feb                | 20                     | 3                 | 75      | NA            | 782     | 46   | 19-Aug                   | 100              | NA                  |
| 1984                 | 6.8             | 26.2                     | 5-Aug                    | -12.7          | 25-Dec                | 36                     | 6                 | 97      | 8.8           | 581     | 39   | 9-Sep                    | 110              | NA                  |
| 1985                 | 7.0             | 27.3                     | 9-Aug                    | -16.1          | 25-Jan                | 31                     | 10                | 91      | NA            | 945     | 110  | 1-Sep                    | 96               | NA                  |
| 1986                 | 6.5             | 26.3                     | 30-Jul                   | -12.9          | 21-Jan                | 26                     | 4                 | 73      | 8.9           | 908     | 104  | 4-Sep                    | 87               | NA                  |
| 1987                 | 6.9             | 23.7                     | 29-Jul                   | -11.7          | 31-Dec                | 24                     | 0                 | 69      | 8.9           | 878     | 102  | 26-Aug                   | 93               | 2.5                 |
| 1988                 | 6.8             | 24.8                     | 3-Aug                    | -10.2          | 15-Feb                | 21                     | 2                 | 71      | 9.6           | 1005    | 122  | 24-Nov                   | 81               | 2.2                 |
| 1989                 | 8.0             | 25.4                     | 22-Jul                   | -10.1          | 25-Jan                | 22                     | 4                 | 32      | 9.9           | 891     | 85   | 3-Sep                    | 61               | 2.5                 |
| 1990                 | 9.1             | 24.9                     | 23-Jul                   | -11.1          | 27-Jan                | 43                     | 2                 | 34      | 10.8          | 911     | 95   | 23-Apr                   | 79               | 2.3                 |
| 1991                 | 8.2             | 24.5                     | 24-Jul                   | -14.4          | 19-Feb                | 34                     | 0                 | 56      | 10.0          | 794     | 115  | 21-Aug                   | 128              | 2.2                 |
| 1992                 | 7.5             | 23.5                     | 19-Jul                   | -10.1          | 5-Feb                 | 28                     | 0                 | 47      | 9.6           | 947     | 60   | 25-Sep                   | 72               | 2.2                 |
| 1993                 | 7.4             | 24.4                     | 26-Aug                   | -8.7           | 15-Dec                | 17                     | 0                 | 49      | 9.6           | 920     | 83   | 22-Oct                   | 88               | 2.2                 |
| 1994                 | 8.4             | 28.8                     | 7-Aug                    | -12.7          | 29-Jan                | 50                     | 14                | 46      | 10.4          | 1111    | 85   | 16-Sep                   | 109              | 2.2                 |
| 1995                 | 8.2             | 26.7                     | 27-Jul                   | -9.8           | 3-Feb                 | 26                     | 2                 | 43      | 9.3           | 1018    | 54   | 8-Aug                    | 79               | 2.0                 |
| 1996                 | 7.4             | 25.1                     | 30-Jul                   | -13.2          | 1-Feb                 | 23                     | 1                 | 53      | 9.7           | 859     | 75   | 4-Oct                    | 123              | 2.0                 |
| 1997                 | 8.0             | 25.6                     | 4-Aug                    | -9.1           | 21-Jan                | 34                     | 5                 | 48      | 9.9           | 842     | 99   | 27-Sep                   | 84               | 1.8                 |
| 1998                 | 7.5             | 24.3                     | 27-Jul                   | -11.8          | 7-Jan                 | 22                     | 0                 | 62      | 9.6           |         | NA   |                          | 90               | 1.9                 |
| 1999                 | 8.1             | 27.4                     | 8-Aug                    | -11.4          | 13-Feb                | 52                     | 12                | 63      | 10.0          |         | NA   |                          | 104              | 1.9                 |
| 2000                 |                 |                          | NA                       |                |                       | 47                     | 6                 | NA      | NA            |         | NA   |                          | 136              | 1.8                 |
| 2001                 | 6.5             | 23.3                     | 23-Jul                   | -13.8          | 14-Jan                | 34                     | 0                 | 85      | 9.4           | 909     | 121  | 11-Sep                   | 92               | 1.8                 |
| 2002                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | 60      | 9.5           |         | NA   |                          | 79               | 1.9                 |
| 2003                 |                 |                          | NA                       |                |                       | 13                     | 0                 | NA      | 10.2          |         | NA   |                          | 91               | 1.9                 |
| 2004                 |                 |                          | NA                       |                |                       | (27)                   | 6                 | NA      | NA            |         | NA   |                          | 130              | NA                  |
| 2005                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | 57      | 10.1          |         | NA   |                          | NA               | 1.6                 |
| 2006                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | 49      | NA            |         | NA   |                          | 109              | NA                  |
| 2007                 |                 |                          | NA                       |                |                       | NA                     | NA                | (34)    | NA            |         | NA   |                          | 97               | 1.6                 |
| 2008                 | 7.8             | 24.3                     | 6-Jul                    | -10.2          | 19-Jan                | (37)                   | (0)               | 50      | NA            |         | NA   |                          | 125              | 1.6                 |
| 2009                 | 7.7             | 23.2                     | 11-Aug                   | -8.3           | 18-Feb                | 27                     | 2                 | 44      | 9.2           | 1077    | 62   | 19-Jul                   | 107              | 1.7                 |
| 2010                 | 8.1             | 26.3                     | 6-Aug                    | -13.1          | 3-Feb                 | 54                     | 11                | 56      | 10.3          | 1090    | 46   | 10-Nov                   | 97               | 1.6                 |
| 2011                 | 7.7             | 26.6                     | 11-Aug                   | -10.1          | 7-Jan                 | 50                     | 5                 | 55      | 9.8           | 898     | 50   | 2-Sep                    | 87               | 1.5                 |
| 2012                 | 7.7             | 25.7                     | 30-Aug                   | -10.2          | 27-Jan                | 51                     | 9                 | 71      | 10.2          | 936     | 133  | 9-Sep                    | 88               | 1.5                 |
| 2013                 | 7.7             | 24.7                     | 19-Aug                   | -10.6          | 17-Jan                | 56                     | 4                 | 63      | 10.2          | 1180    | 69   | 7-Apr                    | 150              | 1.5                 |
| Average              | 7.5             |                          |                          |                |                       | 32.1                   | 4.1               | 61.2    | 9.6           | 952     |      |                          | 98               | 1.9                 |
| <Countable<br>years> | <29yrs>         |                          |                          |                |                       | <31yrs>                | <32yrs>           | <33yrs> | (28yrs)       | <25yrs> |      |                          | <38yrs>          | <25yrs>             |
| Maximum              | 9.1             | 28.8                     | 7-Aug,<br>1994           |                |                       | 56                     | 14                | 97      | 10.8          | 1490    | 221  | 23-Aug,<br>1981          | 150              | 2.5                 |
| Minimum              | 6.4             |                          |                          | -16.1          | 25-Jan,<br>1985       | 13                     | 0                 | 32      | 8.2           | 581     |      |                          | 59               | 1.5                 |

欠測期間が 10%以上、あるいは月の欠測期間が 10%以上は NA と表示。

夏日 (Summer day) は日最高気温が 25℃以上 30℃未満、真夏日 (Hot summer day) は日最高気温が 30℃以上、真冬日 (Cold winter day) は日最高気温が 0℃以下の日。() の値は、夏日は 4 月中旬～ 10 月上旬、真夏日は 6 月～ 9 月、真冬日は 11 月～ 4 月の期間に 2 日以下の欠測日が含まれる場合。

NA suggests more than 10% data gap of each month through 1 year and 10% data gap of each year.

Summer, hot summer, and cold winter days indicate daily maximum temperature of between 25 °C and 30 °C, higher than 30 °C, and lower than 0 °C, respectively. Parenthetical values indicate that there are data gaps of one or two days during the periods from middle April to early October representing a summer day, from June to September representing a hot summer day, and from November to April representing a cold winter day.

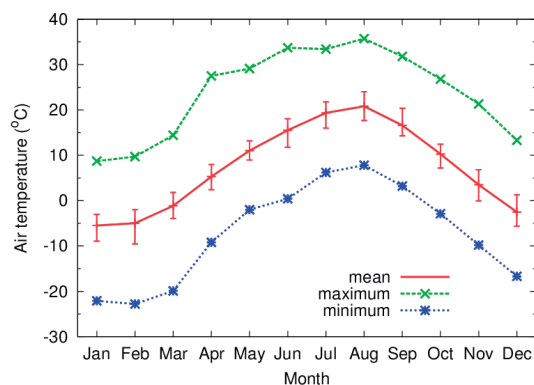


Fig. 1. 気温の季節変化

実線は観測期間中の各月の欠測が 10% 未満の月の平均値およびエラーバーは月平均値の最高・最低値。破線は観測期間中の各月の最高気温、点線は最低気温。

Seasonal variation in air temperature

Solid line and error bars show the average and maximum/minimum monthly means of each month. Monthly data sets with less than 10% data gap were used for statistics. Dashed and dotted lines show the maximum and the minimum values for all observation periods of each month.

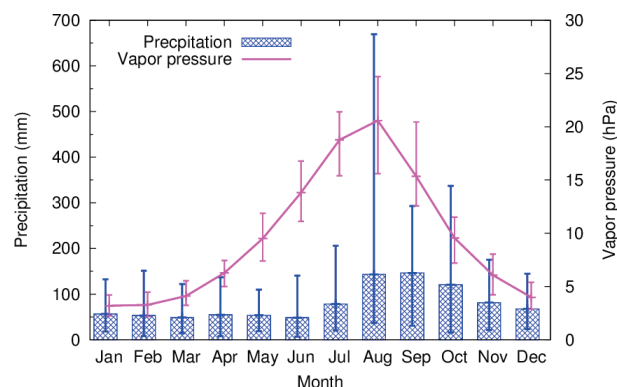


Fig. 2. 降水量および水蒸気圧の季節変化。

エラーバーは、対象期間内の最大・最小値。

Seasonal variations in precipitation and vapor pressure  
The error bars show the ranges for the observation period.

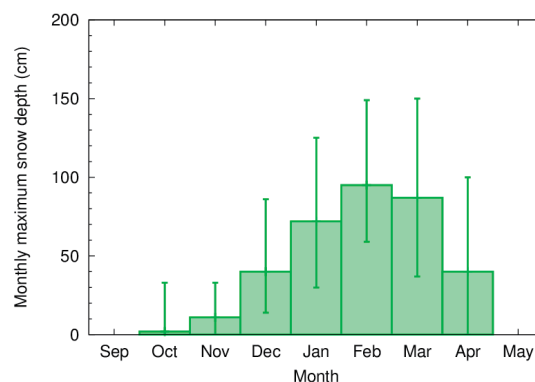


Fig. 3. 月最大積雪深の季節変化。

エラーバーは、対象期間内の最大・最小値。

Seasonal variation in monthly maximum snow depth  
The error bars show the ranges for the observation period.

Table 4. 1973 年から 2013 年までの月統計値  
Monthly meteorological data from 1973 to 2013

|           | Air temperature (°C) |         |         |         |         | Vapor pressure (hPa) |         |         | Precipitation (mm) |         |
|-----------|----------------------|---------|---------|---------|---------|----------------------|---------|---------|--------------------|---------|
|           | Monthly mean         |         |         | Monthly |         | Monthly mean         |         |         | Monthly            |         |
|           | Mean                 | Maximum | Minimum | Maximum | Minimum | Mean                 | Maximum | Minimum | Mean               | Maximum |
| January   | -5.4                 | -3.0    | -9.0    | 8.4     | -22.1   | 3.1                  | 3.9     | 2.6     | 55                 | 118     |
| February  | -4.9                 | -2.0    | -7.7    | 9.7     | -21.0   | 3.2                  | 4.5     | 2.6     | 53                 | 152     |
| March     | -1.1                 | 1.8     | -3.9    | 14.4    | -19.9   | 4.0                  | 4.9     | 3.2     | 48                 | 122     |
| April     | 5.6                  | 7.9     | 3.7     | 27.5    | -9.2    | 6.2                  | 6.9     | 5.0     | 59                 | 117     |
| May       | 11.0                 | 12.9    | 9.0     | 29.1    | -1.8    | 9.4                  | 10.5    | 7.9     | 54                 | 99      |
| June      | 15.3                 | 18.0    | 11.7    | 31.2    | 0.4     | 14.0                 | 16.8    | 12.2    | 46                 | 105     |
| July      | 19.4                 | 21.5    | 16.4    | 33.0    | 6.2     | 18.9                 | 21.4    | 15.7    | 78                 | 206     |
| August    | 20.8                 | 24.0    | 18.6    | 35.7    | 9.1     | 20.5                 | 24.7    | 15.6    | 140                | 669     |
| September | 16.7                 | 20.3    | 14.3    | 31.8    | 3.2     | 15.6                 | 20.4    | 12.9    | 145                | 293     |
| October   | 10.4                 | 12.4    | 7.2     | 25.8    | -2.9    | 9.7                  | 11.5    | 7.2     | 123                | 337     |
| November  | 3.4                  | 6.8     | -0.1    | 19.1    | -9.8    | 6.0                  | 7.8     | 4.6     | 84                 | 176     |
| December  | -2.5                 | 1.3     | -5.6    | 13.3    | -15.9   | 3.9                  | 5.4     | 2.9     | 70                 | 145     |
| Yearly    | 7.5                  | 24.0    | -9.0    | 35.7    | -22.1   | 9.6                  | 24.7    | 2.6     | 80                 | 669     |
|           |                      | (24.0)  | (-9.6)  | (35.7)  | (-22.8) |                      | (24.7)  | (2.2)   |                    | (669)   |

1 年間の各月の欠測が 10% 未満および 1 年間の欠測が 10% 未満の年のデータから算出

() の値は欠測が 10% 未満すべての月を対象とした場合の最低・最高値

Monthly data sets with less than 10% data gap for one year and annual data sets with less than 10% data gap were used for statistics  
Parenthetical values indicate then maximum and minimum when monthly data sets with less than 10% data gap were used for statistics.

## 引用文献

- 気象庁 (1998) 気象観測の手引き . 気象庁 , 127pp.
- 近藤 純正 (2014) “研究の指針 ―気温観測に及ぼす樹木の加熱効果―実測 -” , <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke83.html> ( 参照 2015-09-14)
- 溝口 康子・山野井 克己 (2015) 羊ヶ丘実験林における降水量の測定誤差 ―測器の違いによる影響― . 森林総合研究所研究報告 , 14(3), 145-146.
- 溝口 康子・山野井 克己・北村 兼三・中井 裕一郎・鈴木 覚 (2014) 札幌森林気象試験地の気象 (1999 ～ 2008 年) . 森林総合研究所研究報告 , 13(4), 193-206.
- 中井 専人・横山 宏太郎 (2009) 降水量計の捕捉損失補正の重要性―測器メタデータ整備の必要性― . 天気 , 56(2), 11-16.
- Sameshima, R., Hirota, T., Hamasaki, T., and Suzuki, S. (2007) Temperate trends at the national agricultural research center for Hokkaido region in the 40 years from 1966 to 2005. 農業気象 , 63(2), 95-102.

Appendix 1. 月平均気温 (°C)  
Monthly mean air temperature (°C)

| Year      | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   |      | -4.5 | -5.0 | -5.7 | -8.7 | -7.3 | NA   | NA   |
| February  |      | -4.4 | -5.8 | -4.9 | -6.9 | -9.6 | NA   | NA   |
| March     |      | -2.3 | -1.3 | -1.9 | -1.2 | -2.4 | NA   | NA   |
| April     |      | 5.5  | 6.4  | 4.7  | 4.3  | 3.3  | NA   | NA   |
| May       |      | 11.7 | 11.1 | 11.6 | 10.8 | 10.2 | NA   | NA   |
| June      |      | 14.7 | 15.4 | 14.1 | 15.2 | 16.3 | NA   | NA   |
| July      | NA   | 18.8 | 19.1 | 19.4 | 20.8 | 21.8 | NA   | NA   |
| August    | 22.5 | 20.4 | 21.4 | 18.6 | 19.8 | 22.2 | NA   | NA   |
| September | 16.3 | 16.8 | 18.0 | 15.6 | NA   | 17.5 | NA   | NA   |
| October   | 9.7  | 9.9  | 10.1 | 10.1 | NA   | NA   | NA   | NA   |
| November  | 2.9  | 2.1  | 4.3  | 1.8  | 3.4  | NA   | NA   | NA   |
| December  | -2.8 | -5.4 | -3.8 | -2.9 | -2.7 | NA   | NA   | NA   |

| Year      | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | -7.0 | -6.0 | -4.6 | -6.1 | -9.0 | -7.4 | -5.8 | -5.0 | -3.5 | -6.2 |
| February  | -5.0 | -6.4 | -6.1 | -6.9 | -4.2 | -6.8 | -5.0 | -6.8 | -3.1 | -2.0 |
| March     | -1.7 | -1.2 | -1.2 | -3.9 | -1.9 | -1.9 | -1.7 | -1.5 | 0.9  | 1.4  |
| April     | 5.4  | 4.2  | 7.9  | 3.7  | 5.7  | 5.5  | 4.2  | 5.5  | 6.1  | 6.3  |
| May       | 9.0  | 11.1 | 10.3 | 10.7 | 11.3 | 10.5 | 10.8 | 9.9  | 10.0 | 12.1 |
| June      | 13.6 | 14.1 | 11.7 | 16.8 | 14.3 | 15.1 | 15.9 | 15.4 | 13.9 | 16.6 |
| July      | 19.6 | 18.7 | 16.4 | 20.8 | 19.2 | 17.1 | 19.0 | 17.1 | 19.5 | 19.7 |
| August    | 19.2 | 20.8 | 21.3 | 21.9 | 23.3 | 20.9 | 19.1 | 21.7 | 21.6 | 21.9 |
| September | 14.9 | 15.9 | 16.2 | 16.3 | 15.8 | 16.5 | 15.9 | 16.1 | 17.0 | 17.6 |
| October   | 9.8  | 10.8 | 8.3  | 8.7  | 10.0 | 7.2  | 10.5 | 9.3  | 10.4 | 12.4 |
| November  | -0.1 | 4.1  | 3.7  | 2.1  | 2.7  | 2.2  | 2.1  | 1.2  | 5.2  | 6.8  |
| December  | -1.8 | -1.6 | -3.8 | -4.0 | -4.7 | -2.6 | -3.4 | -1.8 | -2.1 | 1.3  |

| Year      | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | -3.0 | -3.8 | -3.4 | -6.3 | -4.5 | -5.1 | -4.3 | -7.4 | -4.4 | -4.4 |
| February  | -5.5 | -3.8 | -3.9 | -2.4 | -3.7 | -4.6 | -3.3 | -5.1 | -5.4 | -5.5 |
| March     | -1.9 | -0.2 | -0.5 | -1.6 | -0.4 | -0.9 | -1.2 | 0.2  | -1.9 | -1.1 |
| April     | 6.5  | 5.5  | 4.7  | 5.6  | 6.0  | 4.6  | 5.6  | 7.9  | 5.8  | 5.1  |
| May       | 12.9 | 10.3 | 10.5 | 12.2 | 12.2 | 10.4 | 10.8 | 12.3 | 11.0 | 13.2 |
| June      | 18.0 | 15.2 | 14.2 | 16.0 | 14.9 | 15.7 | 15.2 | 14.2 | 16.5 | 15.8 |
| July      | 19.3 | 19.6 | 17.6 | 21.5 | 21.0 | 20.1 | 21.3 | 18.8 | 21.0 | 21.2 |
| August    | 20.6 | 19.6 | 19.6 | 24.0 | 20.6 | 19.9 | 19.6 | 19.4 | 23.4 | 22.7 |
| September | 17.2 | 14.3 | 16.4 | 18.5 | 16.2 | 17.0 | 15.6 | 17.7 | 18.0 | 17.4 |
| October   | 11.5 | 10.4 | 10.6 | 11.1 | 12.2 | 10.5 | 9.7  | 11.6 | 10.4 | NA   |
| November  | 3.9  | 3.6  | 4.2  | 4.3  | 4.3  | 2.9  | 6.1  | 1.5  | 4.1  | NA   |
| December  | -2.1 | -1.6 | -1.8 | -2.7 | -1.5 | -2.0 | -0.5 | -2.7 | -2.4 | NA   |

| Year      | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | -8.1 | -4.7 | -5.9 | -4.3 | -5.3 | -6.0 | -3.1 | -6.2 | -3.1 | -3.8 |
| February  | -7.7 | -2.5 | NA   | -2.9 | -5.8 | -4.5 | -3.2 | -5.0 | -4.1 | -5.1 |
| March     | -1.8 | 0.5  | -0.9 | NA   | -1.5 | -0.3 | -0.7 | 1.8  | -0.2 | -1.8 |
| April     | 6.4  | 7.6  | 6.4  | NA   | 4.4  | 3.5  | 4.5  | 7.8  | 5.7  | 3.7  |
| May       | 11.7 | 11.8 | 11.3 | 12.2 | 9.2  | 11.2 | NA   | 10.8 | 12.3 | 10.7 |
| June      | 15.1 | 14.1 | 15.5 | 16.6 | 17.7 | NA   | 17.1 | 15.4 | 15.8 | 17.7 |
| July      | 19.2 | 19.0 | 16.0 | 19.5 | 18.3 | NA   | 17.7 | 19.7 | 18.2 | 20.7 |
| August    | 19.3 | NA   | 18.8 | 19.9 | 21.6 | NA   | NA   | 19.3 | 19.6 | 22.9 |
| September | 15.2 | 15.6 | 15.6 | 16.2 | NA   | NA   | 17.1 | 17.4 | 15.6 | 17.7 |
| October   | 10.3 | 10.0 | 9.8  | NA   | NA   | 10.3 | 9.7  | 11.0 | 10.5 | 10.4 |
| November  | 3.3  | NA   | 4.5  | NA   | 3.7  | 5.5  | 2.3  | 2.8  | 3.4  | 4.2  |
| December  | -5.6 | -5.4 | -1.7 | -2.5 | -4.5 | -0.9 | -2.5 | -0.8 | -2.5 | -1.1 |

| Year      | 2011 | 2012 | 2013 |
|-----------|------|------|------|
| January   | -5.8 | -6.4 | -6.6 |
| February  | -2.7 | -6.2 | -5.5 |
| March     | -1.2 | -1.4 | -1.3 |
| April     | 5.2  | 5.4  | 4.7  |
| May       | 9.6  | 11.6 | 10.0 |
| June      | 15.9 | 15.5 | 16.5 |
| July      | 20.4 | 20.2 | 20.8 |
| August    | 21.6 | 21.7 | 21.4 |
| September | 17.4 | 20.3 | 17.0 |
| October   | 10.4 | 11.1 | 11.2 |
| November  | 4.5  | 3.8  | 4.6  |
| December  | -3.8 | -3.9 | -0.9 |

欠測期間が10%以上はNAと表示。

NA indicates more than 10% data gap of each month.

## Appendix 2. 月平均水蒸気圧 (hPa)

Monthly mean vapor pressure (hPa)

| Year      | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | NA   | 3.4  | 3.1  | 2.8  | 2.2  | 2.7  | NA   | NA   |
| February  | NA   | 3.4  | 2.8  | 3.0  | 2.7  | 2.2  | NA   | NA   |
| March     | NA   | 3.8  | 4.1  | 3.5  | 4.1  | 3.9  | NA   | NA   |
| April     | NA   | 6.1  | 6.6  | 5.5  | 5.7  | 5.7  | NA   | NA   |
| May       | NA   | 8.8  | 9.1  | 8.2  | 9.4  | 8.5  | NA   | NA   |
| June      | NA   | 12.9 | 13.0 | 12.3 | 12.8 | 14.2 | NA   | NA   |
| July      | NA   | 16.1 | 17.7 | 16.3 | 18.9 | 20.0 | NA   | NA   |
| August    | 21.9 | 18.5 | 19.0 | 15.6 | NA   | 19.6 | NA   | NA   |
| September | 14.1 | 14.1 | 14.8 | 13.2 | NA   | 14.7 | NA   | NA   |
| October   | 9.0  | 8.6  | 8.7  | 8.8  | NA   | NA   | NA   | NA   |
| November  | 5.6  | 4.9  | 5.9  | 5.0  | 5.6  | NA   | NA   | NA   |
| December  | 3.7  | 2.9  | 3.3  | 3.5  | 3.6  | NA   | NA   | NA   |

| Year      | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | NA   | 3.0  | 3.0  | 2.7  | 2.4  | 2.6  | 2.9  | 3.5  | 3.6  | 3.0  |
| February  | NA   | 3.0  | NA   | 2.8  | NA   | 2.9  | 3.0  | 3.0  | 3.4  | 4.5  |
| March     | NA   | 4.2  | NA   | 3.2  | 3.5  | 4.3  | 3.4  | 3.9  | 4.9  | 4.6  |
| April     | NA   | 5.4  | NA   | 5.0  | NA   | 6.1  | 5.3  | 6.9  | 6.7  | 6.7  |
| May       | NA   | NA   | NA   | 9.2  | 7.4  | 9.3  | 7.9  | 9.5  | 8.9  | 10.5 |
| June      | NA   | 11.1 | 11.2 | 14.6 | 11.3 | 12.2 | 12.5 | 15.1 | 12.7 | 15.8 |
| July      | 19.0 | 16.4 | 16.1 | 20.0 | 18.2 | 15.7 | 17.3 | 16.3 | 19.7 | 19.6 |
| August    | 17.9 | 19.9 | NA   | 19.1 | 22.0 | 21.3 | 19.3 | 23.2 | 21.5 | 22.9 |
| September | 12.6 | 13.3 | 15.1 | 13.0 | NA   | 14.6 | 15.5 | 15.6 | 16.5 | 17.2 |
| October   | 8.5  | 9.1  | 7.3  | 7.2  | 8.9  | 7.9  | 10.0 | 8.9  | 10.0 | 11.5 |
| November  | 4.2  | 5.9  | 6.0  | 4.6  | NA   | 5.4  | 5.4  | 5.2  | 6.6  | 7.8  |
| December  | 4.0  | 3.9  | NA   | 3.4  | NA   | 3.7  | 3.7  | 4.3  | 4.2  | 5.4  |

| Year      | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | 3.9  | 3.5  | 3.9  | 2.8  | 3.5  | 3.0  | 3.5  | 2.8  | 3.4  | 3.7  |
| February  | 3.1  | 3.2  | 3.6  | 3.9  | 3.5  | 2.9  | 3.7  | 3.3  | 3.1  | 3.1  |
| March     | 3.8  | 4.2  | 4.2  | 4.1  | 4.3  | 3.6  | 4.0  | 4.5  | 3.7  | 4.1  |
| April     | 6.9  | 6.6  | NA   | 6.0  | 6.5  | 6.0  | 6.4  | 6.9  | 6.3  | 6.7  |
| May       | 10.0 | 9.2  | 9.7  | 9.8  | 10.2 | 10.1 | 9.6  | 9.2  | 9.0  | 11.9 |
| June      | 16.8 | 13.5 | 13.7 | 14.3 | 13.2 | 14.4 | 14.7 | 13.0 | 13.1 | 14.9 |
| July      | 18.0 | 19.2 | 16.1 | 21.3 | 18.5 | 20.2 | 20.6 | 18.8 | 21.0 | 21.1 |
| August    | 20.2 | 19.7 | 19.4 | 24.7 | 18.7 | 19.2 | 19.7 | 19.5 | 23.8 | 22.8 |
| September | 16.1 | 14.1 | 15.4 | 18.1 | 12.9 | 16.0 | 14.4 | 16.8 | 16.5 | 17.3 |
| October   | 10.3 | 10.2 | 9.9  | 9.7  | 10.4 | 10.3 | 9.5  | 10.6 | 9.9  | NA   |
| November  | 6.5  | 6.3  | 6.8  | 6.1  | 5.8  | 5.8  | 7.5  | 5.5  | 6.1  | NA   |
| December  | 4.0  | 4.5  | 4.4  | 3.7  | 4.0  | 4.2  | 4.5  | 4.1  | 4.0  | NA   |

| Year      | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | 2.6  | 3.5  | 3.2  | 3.8  | 3.7  | 3.4  | 4.2  | 3.1  | 3.7  | 3.4  |
| February  | 2.6  | 3.9  | NA   | 4.2  | 3.4  | 3.7  | 4.2  | 3.5  | 3.3  | 3.1  |
| March     | 4.0  | 4.5  | NA   | NA   | 4.4  | 4.8  | 4.7  | 5.5  | 4.2  | 3.7  |
| April     | 6.3  | 7.2  | 7.1  | NA   | 6.7  | 6.4  | 6.4  | 7.5  | 5.5  | 5.5  |
| May       | 10.1 | 9.6  | 9.9  | 10.9 | 9.2  | 9.6  | NA   | 11.0 | 9.1  | 9.1  |
| June      | 14.0 | 13.0 | 14.7 | 15.2 | 16.2 | NA   | NA   | NA   | 14.1 | 16.1 |
| July      | 19.9 | 19.8 | 15.4 | 20.9 | 19.4 | NA   | NA   | NA   | 18.1 | 21.4 |
| August    | 19.0 | NA   | 19.7 | 20.4 | 23.2 | NA   | NA   | NA   | 18.8 | 23.2 |
| September | 14.6 | 14.5 | 15.6 | 15.7 | NA   | NA   | NA   | NA   | 13.8 | 16.3 |
| October   | 10.1 | 10.0 | 10.2 | NA   | NA   | NA   | NA   | 9.7  | 9.6  | 10.1 |
| November  | 6.0  | NA   | 7.1  | NA   | 6.9  | 8.0  | NA   | 5.6  | 6.3  | 6.6  |
| December  | 3.1  | 3.1  | 4.4  | 4.3  | 3.6  | 4.9  | 4.3  | 4.6  | 3.8  | 4.5  |

| Year      | 2011 | 2012 | 2013 |
|-----------|------|------|------|
| January   | 2.8  | 2.8  | 2.8  |
| February  | 3.6  | 2.7  | 3.0  |
| March     | 3.6  | 3.9  | 4.1  |
| April     | 6.1  | 6.5  | 6.0  |
| May       | 9.3  | 10.4 | 9.6  |
| June      | 14.3 | 13.7 | 15.1 |
| July      | 19.9 | 19.2 | 20.2 |
| August    | 20.8 | 22.1 | 22.1 |
| September | 17.1 | 20.4 | 16.2 |
| October   | 9.9  | 10.5 | 11.1 |
| November  | 6.5  | 6.8  | 6.6  |
| December  | 3.5  | 3.6  | 4.5  |

欠測期間が10%以上は NA と表示。

NA indicates more than 10% data gap of each month.

## Appendix 3. 月降水量 (mm)

## Monthly precipitation (mm)

| Year      | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | NA   | NA   | NA   | NA   | NA   | NA   | 52   | 46   |
| February  | NA   | NA   | NA   | NA   | NA   | 53   | 60   | 75   |
| March     | NA   | NA   | NA   | NA   | NA   | 65   | 70   | 33   |
| April     | NA   | NA   | NA   | NA   | 137  | 35   | 31   | 71   |
| May       | NA   | NA   | 40   | 38   | 80   | 110  | 38   | 35   |
| June      | NA   | 141  | 71   | 80   | 10   | 111  | 49   | 92   |
| July      | NA   | NA   | NA   | 20   | 47   | 46   | 81   | 80   |
| August    | 281  | 159  | 342  | 82   | 209  | 70   | 57   | 145  |
| September | 226  | 131  | 120  | 119  | 117  | 75   | 110  | 37   |
| October   | 196  | 120  | 187  | 227  | 16   | 137  | 337  | 121  |
| November  | NA   | NA   | NA   | NA   | NA   | 65   | 94   | 22   |
| December  | NA   | NA   | NA   | NA   | NA   | 51   | 44   | 145  |

| Year      | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | 72   | 90   | 23   | 45   | 90   | 70   | 60   | 47   | 22   | 61   |
| February  | 21   | 34   | 64   | 88   | 61   | 40   | 49   | 49   | 8    | 20   |
| March     | 82   | 40   | 30   | 58   | 25   | 54   | 56   | 36   | 20   | 17   |
| April     | 90   | 117  | 35   | 26   | 84   | 72   | 32   | 82   | 58   | 115  |
| May       | 76   | 36   | 45   | 29   | 20   | 51   | 71   | 99   | 45   | 27   |
| June      | 61   | 66   | 76   | 37   | 7    | 22   | 16   | 78   | 105  | 34   |
| July      | 42   | 41   | 53   | 66   | 123  | 68   | 91   | 27   | 61   | 68   |
| August    | 669  | 86   | 124  | 37   | 51   | 52   | 154  | 180  | 164  | 168  |
| September | 158  | 140  | 129  | 68   | 184  | 213  | 68   | 75   | 172  | 133  |
| October   | 128  | 142  | 81   | 65   | 170  | 164  | 168  | 94   | 58   | 91   |
| November  | 43   | 71   | 86   | 33   | 70   | 47   | 73   | 176  | 99   | 76   |
| December  | 51   | 44   | 40   | 33   | 65   | 60   | 43   | 64   | 83   | 104  |

| Year      | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | 118  | 43   | 60   | 34   | 57   | 80   | 32   | 60   | NA   | 18   |
| February  | 68   | 31   | 63   | 152  | 26   | 49   | 78   | 19   | NA   | 28   |
| March     | 30   | 27   | 22   | 122  | 44   | 52   | 23   | 31   | NA   | 81   |
| April     | 78   | 18   | 62   | 34   | 95   | 22   | 11   | 14   | NA   | 106  |
| May       | 28   | 77   | 44   | 66   | 79   | 98   | 66   | NA   | 40   | 91   |
| June      | 12   | 28   | 71   | 8    | 47   | 32   | 26   | NA   | 11   | 40   |
| July      | 82   | 68   | 39   | 40   | 90   | 84   | 85   | 82   | 145  | 178  |
| August    | 124  | 165  | 83   | 122  | 181  | 97   | 179  | 119  | 125  | NA   |
| September | 65   | 229  | 101  | 293  | 104  | 96   | 154  | 222  | 147  | 264  |
| October   | 83   | 120  | 179  | 108  | 91   | 117  | 67   | 26   | 71   | 26   |
| November  | 27   | 74   | 94   | 81   | 90   | 87   | 95   | NA   | 21   | 76   |
| December  | 82   | 70   | 106  | 52   | 117  | 49   | 30   | 84   | NA   | 45   |

| Year      | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| January   | 44   | 133  | 63   | 59   | 50   | 57   | NA   | 49   | 84   | 76   |
| February  | 29   | 50   | NA   | 128  | 47   | 41   | 61   | 57   | 109  | 38   |
| March     | 62   | 31   | 15   | NA   | 69   | 83   | 70   | 18   | 59   | 61   |
| April     | 16   | 26   | 10   | NA   | 30   | 37   | 51   | 8    | 57   | 111  |
| May       | 21   | 26   | 24   | 66   | 46   | 75   | NA   | 19   | 38   | 53   |
| June      | 34   | 12   | 42   | 46   | 51   | NA   | 64   | 14   | 65   | 50   |
| July      | 87   | NA   | 56   | 53   | 144  | NA   | 56   | 33   | 206  | 138  |
| August    | 117  | NA   | 138  | NA   | 75   | NA   | NA   | 56   | 67   | 137  |
| September | 238  | 112  | 134  | 60   | NA   | NA   | 203  | NA   | 31   | 101  |
| October   | 92   | 190  | 148  | NA   | NA   | 98   | 74   | 113  | 120  | 105  |
| November  | 59   | NA   | 50   | NA   | 151  | NA   | 62   | 72   | 130  | 168  |
| December  | 112  | 23   | 50   | NA   | 50   | 53   | 80   | 110  | 112  | 54   |

| Year      | 2011 | 2012 | 2013 |
|-----------|------|------|------|
| January   | 22   | 21   | 34   |
| February  | 27   | 17   | 79   |
| March     | 23   | 95   | 64   |
| April     | 29   | 17   | 108  |
| May       | 54   | 95   | 57   |
| June      | 28   | 24   | 91   |
| July      | 122  | 58   | 68   |
| August    | 89   | 80   | 184  |
| September | 266  | 267  | 202  |
| October   | 143  | 112  | 123  |
| November  | 47   | 170  | 100  |
| December  | 50   | 81   | 72   |

欠測期間が 10%以上は NA と表示。

NA indicates more than 10% data gap of each month.

## Forty-year meteorological statistics of the Hitsujigaoka Experimental Forest

Yasuko MIZOGUCHI<sup>1)\*</sup> and Katsumi YAMANOI<sup>1)</sup>

### Abstract

After the Sapporo branch of the Forest Experiment Station (the present Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute) was moved to Hitsujigaoka, Sapporo, the Hitsujigaoka Experimental Forest was developed. At almost the same time, meteorological observations were initiated mainly for nursery management. These observations may not be sufficiently accurate; however, long-term observations at the wide green area are valuable, considering there are not many observation sites with no influence of the urbanization. In this article, we report observation results for 1973–2013. Mean air temperature, vapor pressure, and annual maximum snow depth were 7.5 °C, 9.6 hPa, and 98 cm, respectively. The mean annual precipitation was 952 mm; however, it was likely that the observations were underestimated, mainly in winter. Wind velocity had declined with the growth of the planted trees around the field.

**Key words :** air temperature, vapor pressure, precipitation, long-term meteorological data, Hitsujigaoka experimental forest

---

Received 29 July 2015, Accepted 9 October 2015

1) Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

\* Hokkaido Research Center, FFPRI, 7 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8516 JAPAN; e-mail: pop128@ffpri.affrc.go.jp

# 森林総合研究所研究報告の基本方針

## 1. 審 査

投稿された論文（論文、短報、ノート、総説、研究資料）は、すべて審査を受けてその採否が決定されます。論文の審査方針を次のように定めます。

### 1. 審査の目的

投稿された論文（論文、短報、ノート、総説、研究資料）が、審査の基準に照らして掲載可能か否かを判断するのが審査の目的です。

### 2. 審査の基準

- (1) 新規性：論文の内容が、公知、既発表、または既知のことから容易に導き得るものでないこと。
  - (2) 有用性：論文の内容が、学術的に、または実用上なんらかの意味で価値があること。
  - (3) 信頼性：論旨が通っており、結論等を信頼するに十分な根拠が示されていること。
- さらに、論文はその内容が読者に十分理解できるように簡潔かつ明瞭に記述され、その内容に誤りないことが必要で投稿規程及び執筆要領に規定されたとおりに論文が構成され、記述されていなければなりません。

### 3. 査読者

投稿された論文の査読者2名（ノート及び研究資料の場合1人）は、担当編集委員が決定し、森林総合研究所研究報告編集委員会（以下、「委員会」という）において決定されます。査読者の氏名は公表しません。著者との連絡はすべて委員会が行い、査読者は著者と直接連絡しないこととします。

### 4. 査読の結果

論文は、上記の各項の基準に照らして総合的に審査され、次のいずれかに判定されます。

- (1) このまま掲載可。
- (2) 指摘の点を検討・修正の上、編集委員の了承をもって掲載可。
- (3) 指摘の点を検討・修正の上、再審査の必要あり。
- (4) 却下した方がよい（掲載するほどの内容を含まない場合及び掲載すべきでない場合）。
- (5) その他。

(1) から (4) のいずれかに判定し難い時は、(5) と判定されますが、その場合は担当編集者によって、その理由が具体的に示されます。

(2)、(3) と判定された論文の場合は、掲載条件が具体的に示されるので、指摘にそって原稿を修正することになります。(2) の判定の場合は、重要な内容の訂正を掲載条件としないことが原則です。2人の査読者がともに (1) または (2) と判定すれば、査読は終了し、掲載可となります。2人の査読者がともに (4) と判定した場合は、却下となります。

1人が (4) と判定し、担当編集者が必要と認めた場合は別の査読者によってさらに査読を行い、その査読者も (4) と判定すれば却下となります。その査読者が掲載可と判定すれば査読は終了し、掲載可となります。(5) については、その理由により委員会の討議を経て、編集委員長が著者及び査読者と協議して対応します。

(2015年3月31日)



## 2. 投 稿

### 投稿資格

1. 投稿者は原則として当所の在職職員とする。その他、元職員、依頼研究員及び共同研究者等が、当所あるいは当所と関係のある場所において研究した成果を含む内容も投稿できる。

### 原稿の種類

2. 原稿の種類は論文、短報、ノート、総説及び研究資料とする。論文は、原著論文として他の出版物に投稿または掲載されていないものに限る。短報は、速報性の高いものを4頁以内にまとめる。ノートは、価値のある新事実または結論を含むものを2頁以内にまとめる。総説は特定の課題に関する研究を広くかつ普遍的に総括・説明したものとする。研究資料は観測データ、調査資料等とする。

### 原稿の提出

3. 投稿者は、別に定める執筆要領に基づき作成した原稿を「研究報告原稿提出書」とともに広報普及科編集刊行係に提出する。なお、共著原稿の提出にあたっては、共著者全員の同意を得ることとする。提出する原稿は電子ファイルとする。

原稿の提出先 〒 305-8687 つくば市松の里 1  
国立研究開発法人 森林総合研究所  
広報普及科 編集刊行係  
Tel : 029-829-8373  
Fax : 029-873-0844  
E-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

### 原稿の修正

4. 修正原稿が2ヶ月以内に、短報及びノートでは3週間以内に再提出されない場合には受付を取り消す。なお、特別な理由により期限内に提出できない場合は、期間延長を編集委員長に文書で申し入れする。

### 原稿の却下

5. 再審査を終えても受理されない論文等については委員会により却下されることがある。

### 使用言語

6. 使用言語は日本語または英語とする。

### 著作権

7. 研究報告の著作権は森林総合研究所に帰属する。掲載論文の全体または一部を他の著作物に利用する場合、事前に編集刊行係に申し出て、編集委員長の許可を得るものとする。

(2015 年 3 月 31 日)

### 3. 執筆要領

#### 原稿の書式

1. 原稿は Word 形式の電子ファイルとし、次の書式に従う。
  - 1) 和文原稿は、A 4 判白紙に、天地左右各 30mm 程度の余白を残し、原則として 10.5 ポイントの文字を使用し、40 字詰め 20 行で横書きで印字する。語や句を区切る際には、「、」「。」を使用。
  - 2) 英文原稿は、A 4 判白紙に、天地左右各 30mm 程度の余白を残し、原則として 10.5 ポイントの文字を使用し、25 行で印字する。

#### 原稿の構成

2. 原稿の構成は次の順による。
    - 1) 和文原稿
      - (1) 表紙<表題・著者名・所属・英文表題・英文著者名・英名所属>
      - (2) 英文要旨 (Abstract)、英語キーワード
      - (3) 和文要旨、日本語キーワード
      - (4) 本文
      - (5) 引用文献
      - (6) 図・表・写真の表題と説明 (和文、英文または和英併記)
      - (7) 補足電子資料 (Supplemental materials) の表題と説明
      - (8) 図・表・写真 (別添)
    - 2) 英文原稿
      - (1) 表紙<表題・著者名・所属>
      - (2) 英文要旨 (Abstract)、英語キーワード
      - (3) 本文
      - (4) 引用文献
      - (5) 和文要旨<和文表題・和文著者名・和名所属を含む>、日本語キーワード
      - (6) 図・表・写真の表題と説明
      - (7) 補足電子資料 (Supplemental materials) の表題と説明
      - (8) 図・表・写真 (別添)
- ただし、ノートは表題・著者名・所属、キーワード、本文 (目的、方法、結果などの項目は付けない)、引用文献、図表の表題と説明、補足電子資料の表題と説明の順に記述する。原則として、図、表、引用文献は必要最少限とする。

#### 表題

3. 英文表題 (サブタイトルを含む) の記載は、先頭の単語の頭だけを大文字とし、残りの単語は小文字とする。

#### 著者名

4. 著者名の記載は英文の場合、執筆者が通常使用しているローマ字で、名 (頭文字を大文字、以後は小文字)、姓 (大文字) を記載する (例: Taro SHINRIN)。共著者のあるときは“,” で区切り、最後の共著者の前に and を入れる。

#### 所属と連絡先

5. 著者の所属は、論文が受付されたときの所属とする。退職者については退職時の所属 (和文にのみ元をつける) とする。なお、著者の所属をその対応が容易にわかるように著者の右肩に 1)、2) の番号を付し、脚注に森林総合研究所、領域・支所・試験地名等を記載する。また、著者のうち 1 名を連絡先 (corresponding author) とし右肩に所属の番号等について \* (アスタリスク) を付し、脚注に連絡先 (現在の所属、住所、E-mail アドレス (推奨)) を入れる。所属が無い場合は、個人の連絡先 (住所または E-mail アドレス等) とする。

#### 要 旨

6. 要旨は、論文の目的、方法、結果などを和文では 600 字 (短報は 300 字)、英文では 300 語 (短報は 150 語) 以内で簡潔に記述する。その際、原則として改行は避け、できるだけ略語、慣用語を用いない。また、原則として表、図、式などを本文中の番号で引用しない。

長文のものについては、和文の場合英文摘要を巻末に、英文の場合和文要旨のかわりに和文摘要を掲載することが出来る。なお、摘要は目的、方法、結果などの要点を簡潔に記述する。

ノートについては、要旨は不要とする。

#### キーワード

7. 原稿の内容を的確に表すキーワード (論文、短報、総説及び研究資料は 7 語以内、ノートは 5 語以内) を記載する。キーワードの選定は検索に用いられることを考慮し (調査年等是不適)、英語と日本語を対応させ、記載の順序を揃える。英語は、固有名詞の最初の文字を除き、すべて小文字で書く。

#### 本文／見出し

8. 本文の区分けの表題は中央に 1 行取りで書く。

表題をさらに細分化するときは左詰めにしてゴシック指定にする。

見出しで必要な場合はポイントシステムを採用してもよい。

英文の見出しは、英文表題の記載と同様に最初の単語の頭だけを大文字表記とする。

## 英文字記号および英数字

9. 本文中、引用文献中ともに、括弧、カンマ(、)、アポストロフィ(')、ピリオド(.)、セミコロン(;)等の英文記号を使う場合には、すべて半角で記述する。ローマ数字も半角アルファベットの組み合わせとして記述する。括弧の前後や記号の後には原則として半角スペースを入れる。

具体的には下記の例を参照( \_ は半角スペースを表す)。

・・・であると考えられる(堀・河合\_1965a,b, Dropkin et al.\_1979)。

・・・堀ら\_(1965)\_の報告がある。

・・・ウスバシロチョウ\_(別名ウスバアゲハ)\_は、・・・引用文献

Ahmad, Q. A. (1952) Fungi of East Bengal. *Pakist. J. For.*, 2, 91-115.

## 引用文献

10. 1) 本文中の引用文献の記載は下記の例に従う。( \_ は半角スペースを表す)

本文末につける場合

(Ahmad\_1952)(堀\_1965)(Ahmad\_1952,堀\_1965)文中での説明の場合

Ahmad\_(1952)\_は～ 近年、堀\_(1965)\_は～著者が複数の場合等の記載例

・連名の場合：(Ahmad\_and\_Baker\_1952)(堀・川合\_1965a,b) 中点は全角

・著者が3名以上の場合：第1著者名の後に「et\_al.」または「ら」を付す。

(Dropkin\_et\_al.\_1979)(Dropkinら\_1979)

・複数の文献の場合：年代順に記載し、同年の文献については、アルファベット順に記載する。また、同名の著者は年代順にまとめて記載する。

(田中\_1984,1989 石塚\_1988,1990a,b)

第一著者が同じであれば共著者が異なっても区別しない。

(田中,\_木村\_1984)(田中,\_鈴木\_1988)は(田中ら,\_1984,1988)にまとめる。

・訳本の場合：原著者名(訳本の表記に従い、原著者のファミリーネーム)と原著発行年を引用する。(ブレーヌ\_1989)

2) 引用文献リストの記載は下記の例に従う。( \_ は半角スペースを表す)

・雑誌を引用する場合

例 Ahmad, Q. A. (1952) Fungi of East Bengal. *Pakist. J. For.*, 2, 91-115.

Baker, C. F. (1914a) A review of some Philippine plant diseases. *Philipp. Agr. & For.*, 3, 157-164.

Baker, C. F. (1914b) First supplement to the list of the lower fungi of the Philippine Islands. *Leaflet. Philipp. Bot.*, 7 (Art113), 2417-2542.

Dropkin, V. H. and Foudin, A. S. (1979) Report of the occurrence of *Bursaphelenchus lignicolus* induced pine wilt disease in Missouri. *Plant Dis. Rep.*, 63, 904-905.

Reunanen, M., Ekman, R. and Heinonen, M. (1989) Analysis of Finnish pine tar from the wreck of Frigate St. Nikolai. *Holzforschung*, 43, 33-39.

・誌名の略記法は慣例にならう。

・氏名が和文の場合は、姓と名の間に全角スペースを入れる。(■は全角スペースを、 \_ は半角スペースを表す)

例 森■章\_(2001)\_イチイガシの種子生産における同化産物投資. \_日林誌\_, 83, 93-100.

堀■高夫\_(1965)\_路網計画のための図上地形判定について. \_日林誌\_, 47, 168-170.

上野■洋二郎\_(2000)\_森林計画における森林諸機能の最適配分. \_日林誌\_, 82, 360-363.

田島■正啓・宮島■寛・宮崎■安貞\_(1977)\_ヒノキパーオキシターゼ・アイソザイムの遺伝子分析. \_日林誌\_, 59, 173-177.

・書籍を引用する場合

例(本一冊を引用する場合)

三浦■伊八郎・西田■屹二\_(1948)\_木材化学. \_丸善\_, 690pp.

(複数の著者によって書かれた編集本の特定部分を引用する場合)

沼田■真\_(1967)\_植物的環境の解析と評価. \_森下■正明・吉良■竜夫編\_“自然：生態学的研究”. \_中央公論社\_, 163-187.

(叢書の特定部分を引用する場合)

川合■眞一・田中■早苗\_(1963)\_“実用化学講座 17 巻有機化合物の反応(下)”. \_第2版\_. \_日本化学会編\_, 丸善, 210-212.

(欧文の単行書のタイトルはイタリックとする)

Ishii, M. (1996b) Decline and conservation of butterflies in Japan. In Ae, S. A., Hirowatari, T., Ishii, M. and Brower, L. P. (eds.) “Decline and Conservation of Butterflies in Japan III”. \_The Lepidopterological Society of Japan, \_

Osaka, 157-167.

(訳本を引用する場合は、原著者名(訳本の表記に従い、姓・名の順)や原著発行年等を引用する) プレーヌ■ジャン\_(1989)\_(永塚鎮男訳, 2011) 人は土をどうとらえてきたか: 土壌学の歴史とペドロジスト群像, 農山漁村文化協会, 415pp.

- Web ページの引用は、適当な文献資料が利用できないか、または電子テキスト利用の利便性が特に高い場合に限る。引用する場合には、文献の発行年にあたる部分は、当該 Web ページの公表年(更新年)とするが、公表年が無い場合は筆者が当該ページを確認した年次とし、URL と参照日を記載する。ただし、官公庁等の冊子体資料がそのまま PDF ファイル等の形態で公表されている場合には、冊子体の発行年、発行所、ページ数等を引用し、URL のみを併記する。一連の資料・文書が別ファイル化されている場合には、トップページのみ典拠すればよい。

例 環境省 (2004) “農林水産省と環境省の連携による田んぼの生きもの調査”,

<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/tanbo.html>,  
(参照 2008-01-24).

Finger Lakes Resource Conservation & Development Council (2007) “Forest land best management practices in the Finger Lakes Region of New York State”,

<http://www.dnr.cornell.edu/ext/bmp/index.html>,  
(accessed 2007-11-30).

環境省 (2002) “平成 13 年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書”, 環境省, 122 pp,

<http://www.env.go.jp/earth/report/h14-03/index.html>.

- 3) 私信扱いの情報は、下記の例に従い、本文中に記載する。( \_ は半角スペースを表す)

なお、所属については、省略することができる。

(氏名, \_ 所属, \_ 私信)

(Name, \_ Affiliation, \_ pers, \_ comm.)

## 英文校閲

- 1 1. 英文原稿及び和文原稿の英文摘要は原稿提出前に必ず英文校閲を受ける。

## 図・表・写真(補足電子資料含む)

- 1 2. 1) 図・写真はなるべく高解像度の Jpeg、表は Excel 形式とする。表については、表題は表の上部に、注釈は表の下部に記載し、図・写真については、表題及び注釈は本文末にまとめて記載する(印刷では図・写真の下部に記載される)。和文原稿の場合は、表題・注釈及び図表は和文、英文または和英併記とする。また、本文中では「Fig.」「Table」「Photo」を使用。

- 2) 印刷時の図・写真の大きさは、段組幅 (82 mm) か頁幅 (170 mm) のどちらかを明示する。なお、図・表・写真の挿入箇所を本文に朱書きで明示する。

- 3) 原則として、表には縦の罫線を用いない。

## 補足電子資料 (Supplemental materials)

- 1 3. 紙面の都合上掲載できない図表は、補足電子資料として引用文献の後に付記することができ、本文中にも引用できる。印刷版には引用文献の後に図表の表題と公開 URL を、電子版には全てを公開する(例: 図. S1, 表. S1)。

補足電子資料の掲載は、論文、短報、ノート、総説、研究資料の全てが対象となる。

(2015 年 3 月 31 日)



担 当 者      御 中  
To the person concerned

国立研究開発法人 森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所研究報告を送付させていただきますのでお受け取り下さい。  
貴刊行物と交換願えれば幸いです。なお、貴研究所の名称、住所などを変更  
された場合は、下記まで連絡を御願い致します。

Please, find an enclosed Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute.  
We greatly appreciate receiving any relevant publications in exchange.  
Let us know when the name of your institution and mailing address are changed.

Officer in charge at publication section  
Forestry and Forest Products Research Institute  
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 Japan  
Tel : + 81-29-829-8373 Fax : + 81-29-873-0844  
e-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

---

2015年12月 発行      森林総合研究所研究報告 第14巻4号 (通巻437号)

編 集 人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発 行 人 国立研究開発法人 森林総合研究所  
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地  
電話 : 029-829-8373 Fax : 029-873-0844

製 版・印 刷 朝日印刷株式会社 つくば支社  
〒305-0046 茨城県つくば市東2-11-15  
電話 : 029-851-1188 Fax : 029-856-5009

©2015 Forestry and Forest Products Research Institute

---

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。

# 森林総合研究所研究報告

Vol.14-No.4 (No.437)



## page193

荒廃熱帯林の修復には、景観レベルの順応的管理とガバナンスの改善が必要  
：藤間 剛

Rehabilitating degraded tropical forests requires adaptive management at the landscape level and improved governance  
by TOMA Takeshi

## page201

関東地方の窒素負荷量の異なる2地域における4樹種の窒素炭素安定同位体比と葉の性質(英文)  
：稲垣 善之、稲垣 昌宏、橋本 徹、金子 真司

Stable nitrogen and carbon isotope ratios and related leaf properties of four tree species at high and low nitrogen-deposition sites in the Kanto district of Japan  
by INAGAKI Yoshiyuki, INAGAKI Masahiro, HASHIMOTO Toru and KANEKO Shinji

## page209

羊ヶ丘実験林気象観測露場40年の記録  
：溝口 康子、山野井 克己

Forty-year meteorological statistics of the Hitsujigaoka Experimental Forest  
by MIZOGUCHI Yasuko and YAMANOI Katsumi