オオタカ (*Accipiter gentilis*) の生息に配慮したマツ林管理に関する事例研究

末次 優花^{1*}・菅井 理恵²・日置 佳之³・田中 一郎⁴・土居 克夫⁴

¹ 鳥取大学大学院連合農学研究科 〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101

² 〒276-0032 千葉県八千代市八千代台東5-17-4

³ 鳥取大学農学部 〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101

⁴ NPO 法人日本野鳥の会鳥取県支部 〒683-0006 米子市車尾4-7-29

A Case Study on Pine Forest Management Aimed at Habitat Conservation for the Northern Goshawk (*Accipiter gentilis*)

Yuka Suetsugu^{1*}, Rie Sugai², Yoshiyuki Hioki³, Ichiro Tanaka⁴ and Katsuo Doi⁴

¹ The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, 4-101 Koyamacho-Minami, Tottori, 680-8551, Japan

² 5-17-4 Yachiyodai-higashi, Chiba, 276-0032, Japan

³ Faculty of Agriculture, Tottori University, 4-101 Koyamacho-Minami, Tottori, 680-8551, Japan

⁴ Tottori Chapter of Wild Bird Society of Japan, 4-7-29 Kuzumo, Yonago-shi, Tottori, 683-0006, Japan

Abstract: The Northern Goshawk (*Accipiter gentilis* Linnaeus 1758), a rare raptor, is listed as a near threatened (NT) species on the red lists by the Ministry of Environment of Japan. Many guidelines about how to manage the forest have been suggested for habitat conservation of the Northern Goshawk, and suggested that active forest management is required to maintain appropriate habitat conditions for extended periods. However, there are few cases of actual active management in Japan. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of the active forest management implemented in “The Forest of *Accipiter gentilis*, Daisen, Tottori Prefecture” by comparing the forest structure and avifauna before and after forest management and to suggest an appropriate management plan. A management plan (Management of pine tree density, improvement by cutting of broad-leaved trees that reached the sub-tall tree layer) was suggested based on the first survey by the Tottori Chapter of the Wild Bird Society of Japan and Tottori University in 2003, and this suggestion was implemented by Tottori Prefecture for the five ensuing years. A second survey, conducted after the management, revealed that pine trees with a large diameter at breast height (DBH) and open spaces between the canopy and understory foliage for flying were preferred as nest areas by the Northern Goshawk. In addition, there was a good foraging range around the case study area. The mosaic of farmland and forest of the Satoyama range was utilized by the Northern Goshawk for foraging. Forest management that includes (1) promoting growth of large diameter trees for nesting and (2) securing flight space in the forest was made clear appropriate for both the conservation of Northern Goshawk habitat and timber cultivation.

Key Words: *Accipiter gentilis*, Pine Forest, Forest Management, Habitat Evaluation, Tottori Prefecture

要旨：オオタカ (*Accipiter gentilis* Linnaeus 1758) は、環境省が公表しているレッドリスト2019に準絶滅危惧として記載されている希少猛禽類である。これまで、オオタカの生息環境については日本国内及び海外の事例を基に、多数の基準等や生息環境である針葉樹人工林の管理方法が示されている。希少猛禽類の保全については生息環境をより良好に保つことが必須であり、そのためには放置型の管理ではなく、状況に応じて積極的に管理する必要がある。しかしながら、オオタカの営巣する森林において、実際に積極的に施業を実施し、好ましい生息環境の維持・改善を試みた事例はほとんど見られない。本研究では「鳥取県立大山オオタカの森」を事例研究地として、施業前後の人工林の環境を植生と鳥類の2側面から比較・評価し、森林管理のあり方について提言した。具体的には、2003年度に日本野鳥の会鳥取県支部及び鳥取大学により実施された第1回調査の結果に基づき提案された管理（アカマツの間伐及び亜高木層に達する広葉樹の除伐）が5年間施業された後、2011年度に第2回調査が実施された。その結果、オオタカは、営巣木

* 連絡先：suetsugu_yk@outlook.com

受付：2017年11月24日／受理：2020年6月18日

¹ 現所属：株式会社地域計画建築研究所大阪事務所 〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋3丁目1-7

Present address: Architects, Regional Planners & Associates, Kyoto, 3-1-7 Imabashi, Chuo-ku, Osaka, Osaka 541-0042, Japan

としての大径高木が多数存在し、営巣林として林内に飛翔空間が広がるアカマツ林を選択していた。また、事例研究地周辺には田畑や伐開地など多様な環境が広がっており採餌可能域は良好であった。すなわち、農地と森林がモザイク状に分布した里地里山の景観がオオタカの営巣及び採餌環境として利用されていた。①営巣木として利用できる大径高木の育成、②林内の飛翔空間の確保を目指す森林管理は、オオタカの生息地保全と用材林育成の両方にとって適切であることが明らかとなった。

キーワード：オオタカ、アカマツ林、森林施業、生息環境評価、鳥取県

はじめに

オオタカは、環境省が公表しているレッドリスト 2019（日本の絶滅のおそれのある野生生物の種のリスト）（環境省自然環境局野生生物課「報道発表資料：環境省レッドリスト 2019 の公表について」<https://www.env.go.jp/press/106383.html> 最終確認 2020 年 3 月 6 日）、および鳥取県が公表しているレッドリスト（鳥取県生活環境部公園自然課 2012）で「準絶滅危惧」に記載されている希少猛禽類であり、里地里山を象徴する生態系上位種であることから、その絶滅や減少による生態系への影響が危惧されている（環境省自然環境局野生生物課 2012）。オオタカは全国の主に平地から低山帯に生息し（松江ほか 2006）、行動圏も広いことから、人間活動と切り離れた形で保護を図っていくことは不可能であり、むしろ人間と共存して行く方策を積極的に構築していく必要がある（環境庁自然保護局野生生物課 2012）とされている。また、環境省は、オオタカの保全が里地里山の環境の保全に寄与してきた経緯があるなど、オオタカの保全を含めた里地里山の保全の重要性を述べている（環境省「オオタカの国内希少野生動植物種解除と解除後の対応についての検討」<http://www.env.go.jp/nature/kisho/domestic/otaka.html> 最終確認 2020 年 3 月 6 日）。以上から、オオタカの保全は重要である。

これまで、オオタカの営巣環境や採餌環境の特徴、生息環境である針葉樹人工林の管理方法については、日本国内及び海外の事例を基に、『オオタカの生態と保全』（尾崎・遠藤 2008）など多数の資料において示されてきた。オオタカは全国的に針葉樹によく営巣し、特にアカマツ（*Pinus densiflora*）に営巣する個体が多い。アカマツは営巣に適した樹形を形成することが多く、他の針葉樹よりも架巢しやすい（四手井・佐野 1973；堀江ほか 2006）とされている。そのため、オオタカの生息環境としてアカマツ林を維持していくことは重要である。

アカマツ林は二次林や人工林として全国的に分布している。一方、2015 年の国産材生産量の樹種別割合をみると、スギ、ヒノキ、カラマツ、広葉樹で 90%を占めるなど（林野庁 2017）、全国的にみてアカ

マツ生産量の割合は少なく、間伐、枝打ちなどの林業的な施業が実施され、アカマツが木材として収穫されている地域は少ない。

加えて、オオタカの営巣する森林において積極的に施業を実施し、好ましい環境の維持改善を試みた事例はほとんど見られない。希少猛禽類の保全については生息環境をより良好に保つことが必須であり、そのためには放置型の管理ではなく、必要に応じて積極的な施業を実施するなどの森林管理を行う必要がある。アカマツ人工林は、他の針葉樹人工林と同様に、人手を入れず放置すると林内の環境が悪化し大径木の育成が出来ない等の問題が生じる。そのため、間伐などの林業的な施業が、オオタカの生息環境保全と用材林の育成の両面につながる可能性がある。

そこで本研究では、オオタカを象徴種として希少な野生動植物が生息できる豊かな自然環境を保全するために積極的な管理が行われている「鳥取県立大山オオタカの森」を事例研究地として、施業前後の環境の変化を植生と鳥類の 2 側面から把握した。そして、オオタカの生息地と用材林という 2 つの側面からみた森林管理のあり方について提言した。

方 法

1. 事例研究地

(1) 歴史的背景

表 1 に事例研究地をめぐる経緯を時系列的に示す。鳥取県西部に位置する大山（標高 1,729 m）北麓には、大山マツの産地として全国的に有名なマツ林が存在する（近藤 1995）。大山のマツ材は工業原料や梁・桁といった構造材として優秀であるため広大な面積のアカマツ人工林が造林されてきた。事例研究地の立地する西伯郡大山町豊房地域も、かつては草刈場として地域住民に利用されていた（大山町誌編さん委員会 1980）が、戦後にアカマツが植林され、共有林として地元の人々が管理してきた（小原 私信 2003）。その後、このアカマツ人工林は 1991 年にゴルフ場開発のために民間企業によって買収されたが、1995 年にオオタカの営巣が確認された（私信 田中 1995）。鳥

表 1. 鳥取県立大山オオタカの森年表
Table 1. Chronology of the development of “The Forest of *Accipiter gentilis*, Daisen, Tottori Prefecture”

year	Event	Breeding status of <i>Accipiter gentilis</i>
1991	Development plan for a Golf Resort	–
1992	–	–
1993	–	–
1994	Nesting of Northern Goshawk (<i>Accipiter gentilis</i>) found in the case study area.	Breeding (Young birds did not leave the nest. Signs of destruction by human.)
1995	–	Breeding (Four Young emerged, three left the nest)
1996	–	Breeding (Two Young emerged, two left the nest)
1997	–	Breeding (Two Young emerged, two left the nest)
1998	–	Breeding (One Young emerged, one left the nest)
1999	–	No breeding
2000	–	No breeding
2001	Tottori Prefecture purchased the area for conservation of Northern Goshawk, and designated it as “The Forest of <i>Accipiter gentilis</i> , Daisen, Tottori	No breeding
2002	–	No breeding
2003	The first field survey was implemented. A forest management plan was proposed based on the survey findings.	Breeding (Two Young emerged, two left the nest)
2004	–	Breeding (Two Young emerged, one left the nest)
2005	–	Breeding (Two Young emerged, one left the nest)
2006	The proposed forest management was implemented for five years from 2006 to 2010. (1) Thinning of the pine forest (2) Improvement by cutting broad-leaved trees that has reached to the sub tall tree layer	Breeding (One left the nest)
2007		No breeding
2008		No breeding
2009		No breeding
2010		Breeding (Two left the nest)
2011	The second field survey was implemented.	Breeding (The nest was abandoned)

取県内における繁殖の確認はごく少ない（鳥取県生活環境部公園自然課 2012）ことから、オオタカ保全の重要性を認識していた鳥取県は、県内に繁殖するオオタカの主要営巣地の保全を目的として、2001年にこのアカマツ人工林を取得し、「鳥取県立大山オオタカの森」と命名した。2004年には「鳥取県立大山オオタカの森の保全に関する条例」が制定され、「リゾート開発から絶滅のおそれのある希少な野生動物であるオオタカの営巣地を守ることを目的として当該営巣地の存在する森を県が取得した経緯にかんがみ、鳥取県立大山オオタカの森を、希少な野生動植物が生息することのできる豊かな自然環境を貴重な財産として将来に継承し、環境立県を目指す象徴として、県及び県民が一体となって保全する」ことが決定された（鳥取県「鳥取県立大山オオタカの森の保全に関する条例」http://www1.g-reiki.net/tottori/reiki_honbun/k500RG00001251.html 最終確認 2020 年 3 月 6 日）。すなわち、「鳥取県立大山オオタカの森（以下、事例研究地）」は、オオタカの生息地としてアカマツ林を管理・保全することを通して、生物多様性が豊かな森林を目指して設立されたといえる。

鳥取県は、事例研究地をオオタカの主要営巣林として保全・管理するために、2003 年度に日本野鳥の会鳥取県支部及び鳥取大学に委託して第 1 回調査を実施した。調査結果とそれに基づく森林管理に関する提言をふまえ、鳥取県は 2006 年から 2010 年にかけて施業（アカマツの間伐及び亜高木層に達する広葉樹の除伐）を実施した。その後、施業後の状況を把握するために、2011 年度に第 2 回調査を実施した。

(2) 立地条件

図 1 に事例研究地の位置を示す。事例研究地は 104.5 ha のアカマツ人工林である。大山北麓に位置し、標高は 300 m ～ 400 m である。新期火砕流の堆積面である火山灰砂台地上にあり、土壌は表層腐植層が厚く排水のよい多湿黒ボク土（鳥取県農林部農業指導課 1974）である。地形は南東から北西に向かって約 7% で傾斜する等斉斜面である。

事例研究地及びその周辺の林内や伐開跡地、周辺の防風林などにはアカマツのほかクロマツ (*Pinus thunbergii*) もみられるが、主林木のほとんどはアカマツである。また、事例研究地の潜在自然植生は、シラカシ群集 (*Quercetum myrsinaefoliae* Miyawaki et Ohba 1965) とされている（宮脇ほか 1979）。シラカシ群集は一般に地形が平坦で安定し、しかも土壌条件、とくに表層土が、カシ林域における他の群集よりも厚い土地に発達する（宮脇ほか 1979）。しかしながら、事例研究地でシラカシは確認されず、周辺に現存植生としてのシラカシ群集はみられないことから、この潜在自然植生には疑問も残る。

事例研究地から直線距離で東南に約 18 km 離れた岡山県真庭市蒜山上長田（標高 430 m）にある気象庁のアメダスデータ（2004 年～ 2009 年月別平均気温）によって求められた温量指数（吉良 1949）は 77（冷温帯）であった。ちなみに、2009 年の上長田の年間の日平均気温は 11.3℃、日平均最高気温は 16.7℃、日平均最低気温は 6.5℃、年降水量は 2,132 mm、最大積雪深は 88 cm であった。

事例研究地内には、南東方向を流れる阿弥陀川に

図 1. 事例研究地位置図
Figure 1. Location map of the case study area

続く沢がある。林縁には鳥取県道 315 号線及び 305 号線などの道路が存在する。周囲は鍔拔山（標高 705 m）や飯戸山（標高 515 m）などの山々に囲まれ、伐開跡地や防風林、農耕地などが広がる。

(3) 事例研究地の林齢区分

図 2 にアカマツの林齢区分および調査地点を示す。事例研究地のアカマツは、何回かに分けて植林されたものであるが、植林年等の記録は残されていない（小原 私信 2003）。そのため、生育段階の違いがよく分かる 1974 年の空中写真を用いて、空中写真の判読及び現地確認により、アカマツの林齢ごとに 5 つのタイプ（A ～ E）に区分した林齢区分図を作成した。

2003 年の調査において、A, B タイプからそれぞれ 20 本程度、C, D, E タイプからはそれぞれ 10 本程度のアカマツを選抜し、成長錐（Haglof 社製）を用いてコアサンプルを採取し、樹齢を推定した。A タイプが最も林齢が高く、2011 年時点で林齢 66 年生であり、B（51 年生）、C（48 年生）、D（43 年生）、E（40 年生）の順に若齢となっていた。また、B タイプが最も面積が大きく、A, C, D, E の順に小さくなっていた。2003 年以前は A タイプ、2004 年から 2011 年にかけては B タイプでオオタカの営巣が確認された（表 1）。

2. 用語の定義

図 3 に本研究におけるオオタカの生息環境の概念を示す。ここで述べるオオタカの“生息環境”とは、オオタカの“営巣環境”と“採餌環境”を合わせた概念である。ある個体が採食・繁殖・育雛に通常利用する場所である“行動圏”（Burt 1943）と同じ概念である。

“営巣環境”とは、営巣地の物理的空間であり、営

巣木及び古巣周辺で、営巣に適した林相をもつひとままりの区域とされる営巣中心域（環境省自然環境局野生生物課 2012）と同じ概念である。

“採餌環境”とは、狩りを行う物理的空間及び餌となる鳥類の生息状況を指し、オオタカの餌動物のための良質な生息環境を提供すると共に、オオタカにとって好適な狩り場環境を提供する区域とされる採食行動域（前橋営林局 1998）と同じ概念である。

3. 調査及び解析方法

(1) アカマツ人工林における施業

鳥取県は、2006 年から 2010 年の 5 年間にかけて、2003 年の第 1 回調査に基づき提案されたアカマツ人工林の施業を実施した。施業内容は、①アカマツの間伐（以下、間伐）、②亜高木層に達する広葉樹の除伐（以下、除伐）、③マツ枯れ病による枯死木の除伐・燻蒸（以下、マツ枯れ対策）である。

2006 年は除伐が重点的に行われ、2007 年から 2010 年は間伐及び除伐が行われた。マツ枯れ対策は 2006 年から 2010 年にかけて実施された。除伐の際には、ヤマザクラ（*Prunus serrulata*）、ウワミズザクラ（*Prunus grayana*）など野鳥の餌となる果実をつける樹木は残すよう配慮された。

(2) 植生調査

各林齢タイプの組成と構造を把握するために、植生調査を実施した。調査内容は、①毎木調査、②植物社会学的植生調査、③林内空間の広がり（立木密度の算出及び横断面図の作成）、とした。期間は、2003 年 4 月から同年 11 月、2011 年 4 月から同年 11 月に実施した。

図 2. 事例研究地の 2011 年における林齢区分および調査地点
Figure 2. Forest age in 2011 and locations of the survey plots

図 4. オオタカ推定行動圏における植生・土地被覆図 (2009 年)
Figure 4. A map of the vegetation and land cover of the estimated home range of *Accipiter gentilis* (2009)

図 3. オオタカの生息環境の概念
Figure 3. Schematic habitat structure of *Accipiter gentilis*

表 2. 植生・土地被覆図の凡例一覧
Table 2. Legend of the vegetation and land cover map

本事例研究地 凡例	環境省1/25000植生図 統一凡例	統一凡例名
アカマツ林	230100	アカマツ群落 (V)
アカマツ林	420100	アカマツ群落 (VII)
スギ・ヒノキ植林	540100	スギ・ヒノキ・サワラ植林
広葉樹林	220100	ブナ・ミズナラ群落
広葉樹林	220102	クレーミズナラ群落
広葉樹林	300200	ムクノキ・エノキ群落
広葉樹林	310100	ハンノキ群落 (VI)
広葉樹林	320100	ヤナギ高木群落 (VI)
広葉樹林	410100	コナラ群落 (VII)
広葉樹林	411400	クサギ・アカメカシ群落
低木林	440200	クス群落
低木林	460000	伐採跡地群落 (VII)
草地	250100	ササ群落 (V)
草地	250200	ススキ群落 (V)
草地	470400	ヨシ群落
草地	470501	ツルヨシ群落
草地	470600	ヒルムシロ群落
草地	560100	ゴルフ場・芝地
草地	560200	牧草地
耕作地	570100	路傍・空地雑草群落
耕作地	570300	畑雑草群落
耕作地	570400	水田雑草群落
耕作地	570500	放棄水田雑草群落
竹林	550000	竹林
裸地	580400	造成地
裸地	580700	自然裸地
市街地	580100	市街地
市街地	580101	緑の多い住宅地
開放水域	580600	開放水域
道路・駐車場	該当なし	
防風林	該当なし	

(2)-1 毎木調査

各林齢タイプに生育するアカマツ及びその他の樹木の特徴（樹高・胸高直径）を把握するために行った。20m × 20m の方形プロットを A タイプに 4 箇所、B タイプに 5 箇所、10m × 10m の方形プロットを C・D・E タイプにそれぞれ 2 箇所ずつ設置した（図 2）。各エリアに設置した方形プロットの個数及び大きさは、佐藤（1971）の標本抽出法を参考に設定した。A・B タイプは、施業前後ともに、樹高が 1.3 m 以上で胸高直径が 3.5 cm 以上の全樹木について胸高直径及び樹高を測定した。測定した胸高直径から胸高断面積を算出した。C・D・E タイプは、2003 年はアカマツのみ測定し、2011 年はアカマツ以外の樹木が成長し計測可能となったため、A・B タイプと同様に全樹木について測定した。なお、1.3 m 以下で樹幹が分かっている場合は各樹幹を測定した。胸高直径の測定には、針葉樹は樹幹断面が真円形のため直径割巻尺を、広葉樹は樹幹断面が不定形のためメジャーを使用し周囲長の値を計算して直径を求めた。樹高は、測高竿とレーザー測距器（TRUPULSE200, レーザーテクノロジー）を用いて測定した。

各林齢タイプの統計的な差異を把握するために、KRUSKAL WALLIS 検定を行った。いずれも有意水準は 0.05% とした。胸高直径、樹高について、95% 信頼区間の推定を行い、値のとり区間を求めた。樹高・胸高直径の値を用いて一般化線形モデル（以下、GLM）を近似し、各変数間の関係性を把握した。

(2)-2 植物社会学的植生調査

事例研究地の植生を把握するために、ブラウン・ブランケの植物社会学的植生調査法（Braun-Blanquet 1964）により、各階層の植被率、出現種の被度・群度を記録した。階層区分は、高木層：Ⅰ層（15 m 以上）、亜高木層：Ⅱ層（1.3 ～ 15 m）、低木層：Ⅲ層（0.5 ～ 1.3 m）、草本層：Ⅳ層（0.5 m 未満）の 4 区分とした。調査地点は、2003 年は、毎木調査を行った A・B タイプに 20m × 20m の方形プロット 9 箇所、2011 ～ 2012 年の調査では新たに C・D・E タイプの 10m × 10m の方形プロット 6 箇所を加えて 15 箇所とした（図 2）。

記録した各階層の植被率から、林分階層多様度 FLD を算出した。FLD は、森林において鳥類の種多様度と正の関係を持つ傾向が知られている群葉高多様度 FHD（e.g. MacArthur & MacArthur 1961 ; Recher 1969）を参考に、由井（1988）が提唱した指標であり、以下の式で表される。

$$FLD = \left(\sum_{i \leq j=1}^4 A_i A_j \right)^{\frac{1}{2}}$$

FLD は林の階層を高木層、亜高木層、低木層、林床植生（本調査では草本層に該当）の四層に分け、各々の葉層密度を無、疎、中、密の四段階にランク付けし、各々に 0, 0.33, 0.67, 1.0 の仮の重み A を与え、その林に存在するすべての層同士（階層 i ～ j 番目）で A を掛け合わせて積算し平方根をとったものである。FLD は林内各層の存在と各層の間の組み合わせ数合計、つまりニッチの多さを絶対葉量もある程度考慮して把握した指数である（由井 1988）。本研究では、各層の植被率を 1% 単位で記録しているため、よりの確に葉層密度を反映させるために、記録した植被率の値そのものを重み A として計算した。

(2)-3 林内空間の広がり（立木密度の算出と横断面図の作成）

オオタカは営巣林として林内に空間が広がっている林を選択する傾向があり、その林内の空間を把握するためには、立木密度に加えて、林冠下部に空間が広がっているかどうかを把握することが重要である（Daw *et al.* 1998 ; DeStefano 1998 ; 鈴木 1999 ; Finn *et al.* 2002 ; Boal *et al.* 2006 ; 堀江ほか 2006 ; Squires and Kennedy 2006）。そのため、①水平方向の空間の広がり：毎木調査より立木密度の算出、②垂直方向の空間の広がり：横断面図の作成により林内構造や林内の空間の広がりを視覚的に把握、以上 2 点の調査を行った。

立木密度は、毎木調査の結果から、1 ha あたりのアカマツとアカマツ以外の本数を算出した。アカマツは高木層の、アカマツ以外は亜高木層～低木層の立木密度を把握した。各年の営巣林・非営巣林及び各林齢タイプの統計的な差異を把握するために、KRUSKAL WALLIS 検定を行った。いずれも有意水準は 0.05% とした。立木密度について 95% 信頼区間の推定を行い、値のとり区間を求めた。また、胸高断面積・立木密度の平均値を散布図に示し、各変数間の関係性を把握した。

横断面図の作成は、各タイプの林内構造は均質性が高いため、毎木調査及び植物社会学的植生調査の調査地点から各タイプ 1 箇所ずつ代表プロットを選び、方形プロットの中央に A・B タイプは 2.5m × 20m、C・D・E タイプは 2.5m × 10m のラインを設け、

横断面図を作成した。高木層の林冠下部と亜高木層の林冠上部の間に空間があるか無いかを横断面図から確認した。

(3) 生息鳥類調査

国内におけるオオタカの餌動物は、鳥が主で（関東森林管理局編 2008）、小型～大型の鳥類を主に採餌し、そのなかでも特に中型鳥類を捕食することがわかっている（前橋営林局 1998；小俣 1999；尾崎・遠藤 2008；関東森林管理局 2008）。また、事例研究地の生物多様性を考察する指標の一つとして、鳥類の種多様性の把握は重要だと考えられる。そこで、事例研究地に生息する鳥類の調査を行った。

調査方法は定点観察法とし、定点から半径 25 m の範囲内に出現した鳥類の種名・時間・個体数・行動・出現した階層を記録した。階層は、上空・上層（9 m 以上）・中層（3～9 m）・下層（0～3 m）・地面の 5 つに区分した。期間は、2003 年 4 月から 2004 年 1 月に計 11 回、2011 年 4 月から 2012 年 1 月にかけて計 10 回実施した。

調査地点は、2003～2004 年はアカマツ人工林で A タイプ 1 箇所、B タイプ 4 箇所、林縁、谷、防風林、畑、伐採跡地にそれぞれ 1 箇所の計 10 箇所で行った。2011～2012 年は、アカマツ人工林で C タイプ 1 箇所、D タイプ 1 箇所、E タイプ 1 箇所、林縁 2 箇所の計 5 箇所を新たに追加し、計 15 箇所で行った。アカマツ人工林の B タイプ 3 箇所（B-1, B-2, B-3）、A・C・D・E タイプに各々 1 箇所（A-1, C-2, D-1, E-1）の計 7 箇所は植生調査地点と重なっている（図 2）。

調査時間帯は、鳥類が良く活動する早朝とし、日の出から 30 分とした。

また、関東森林管理局（2008）の好適餌種のサイズを参考に、出現した鳥類の大きさを小型・中型・大型の 3 段階に分類し、中型鳥類を好適餌種、小・大型鳥類をその他として整理した。

解析については、①出現個体数のクロス集計表を用いたカイ二乗検定（以下、クロス検定）、② Shannon-Wiener の多様度指数 H' の算出及び母平均の差の検定、③ FLD と H' の GLM、以上 3 点を行った。①については、各年、各タイプ、各調査回の出現個体数に統計的な差異があるか把握するために、クロス検定を行った。有意水準は 0.05% とした。②については、各年、各タイプの鳥類の多様性を把握するた

めに、Shannon-Wiener の多様度指数 H' を算出した。

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (0 \leq H')$$

ここで P_i は一調査区の全種の合計記録数に占める i 番目の種の記録数の割合である。 H' は多様性全体を表現する指標であり、数値が高いほど多様性が高いことを示す。 H' は通年と繁殖期について算出した。繁殖期は、由井（1974）を参考に、4 月から 8 月の 5 か月間とした。また、各年の H' の統計的な差異を把握するために、母平均の差の検定（t 検定）を行った。有意水準は 0.05% とした。③については、(2) -2 植物社会学的植生調査で算出した各林齢タイプの FLD と H' の値を用いて GLM を近似し、各変数間の関係性を把握した。

(4) 営巣木調査

事例研究地におけるオオタカの営巣木の特徴を知るために、営巣木の樹種、樹高、胸高直径、架巢高、架巢型、その他特徴を記録した。架巢型は、『オオタカの生態と保全』（尾崎・遠藤 2008）に基づき分類した。調査対象木は、2010 年および 2011 年の営巣木とした。左記期間は、連続して同一の木に営巣していた。それ以外の営巣木は情報を得られなかったため、調査対象外とした。

(5) 植生・土地被覆図の作成

事例研究地とその周辺の植生・土地被覆図を作成した（図 4）。植生・土地被覆図の作成範囲は、オオタカの採餌環境を把握するために適切なスケールを設定することが求められる。環境省により公表された指針『猛禽類保護の進め方（改訂版）：特にイヌワシ、クマタカ、オオタカについて』（環境省自然環境局野生生物課 2012）では、巣から半径 3 km の円を描き、その円とボロノイ領域とが重複した範囲を行動圏とみなす方法が示されている。事例研究地では、営巣木から半径 3 km の円を分割するような近隣の営巣木は確認されていないため、ボロノイ領域は対象外である。そのため、営巣木調査で特定されたオオタカの巣の位置から半径 3 km の円を行動圏とみなし（以下、推定行動圏）、植生・土地被覆図の作成範囲とした（約 2,827 ha）。

植生・土地被覆図の作成方法は、環境省の自然環境情報 GIS 提供システムにより提供されている 2 万 5

結 果

千分の1の植生図を使用することが提案されているが、現状にあっていない可能性があるため、航空写真、現地調査等に基づき、植生図を修正する必要があると示唆されている（環境省自然環境局野生生物課 2012）。事例研究地を含む作成範囲の2万5千分の1の植生図は、2009年に作成されたものであったが、2009年に撮影された衛星写真（ALOS衛星、AVNIR-2センサ、解像度10m）や現地調査から現状と異なる箇所があったため、この植生図をそのまま使用することは憚られた。そのため、2009年に撮影された衛星写真を用いて、2万5千分の1の植生図を参考にしながら、推定行動圏の植生・土地被覆図を作成した。判読にはリモートセンシング画像処理ソフト（ESRI社製ERDAS IMAGINE）を用いた。凡例は、環境省の自然環境情報GIS提供システムの2万5千分の1の植生図に用いられている統一凡例の環境大区分・中区分の名称を参考にして、植生および土地被覆ごとに区分した（表2参照）。

1. アカマツ人工林における施業

図5にアカマツ人工林の施業実施年度区分図、表3に施業前後のアカマツの平均立木密度および間伐木の平均胸高直径を示す。間伐は、10m×10mの方形プロットにアカマツが6～7本残るように行われた。その結果、間伐後の立木密度は平均 633 ± 37.1 本/haとなった。林業面からアカマツの立木密度を考えると、アカマツ一般林分密度管理図（安藤 1982）によれば、立木密度600本/haのアカマツ林では、最大で樹高24m前後、胸高直径33cm前後となり、幹材積500m³/ha前後の収量が得られる大径高木の林分になると予想される。

また、表4に毎木調査の結果を示す。除伐の結果、アカマツ以外の樹木の平均立木密度はAタイプで $2,138 \pm 733.3$ 本/haから $1,381 \pm 232.2$ 本/haと大幅に減少した。

マツ枯れ病による枯死木については、松枯れ対策として、間伐及び除伐の実施時に発見した枯死木は全て除伐され、燻蒸処理が実施された。5年間で計111.2m³（103本）が処理された。

図5. 施業実施年度区分図
Figure 5. Forest management history (2006-2010)

表3. 間伐前後におけるアカマツの立木密度および間伐木の胸高直径

Table 3. The tree stand density and tree diameter at breast height (DBH) of pine trees before and after thinning

Fiscal year	Forest age type	Average stand density (stems/ha)		Average DBH of thinned trees (cm)
		Before forest management	After forest management	
2006	A・C・D	—	—	—
2007	B・D	931	606	17.4
2008	B・D・E	1,267	647	21.5
2009	B・C	1,114	679	29.9
2010	A・C・D・E	1,008	600	21.0

*Pine trees were not thinned in 2006. Only broad-leaved trees were cut for forest improvement.

表 4. 毎木調査結果
Table 4. Results of the tree census

Type of tree	Forest age type	Number of plots	Diameter at Breast Height (DBH)				Tree Height				Tree Density				Tree Basal Area			
			Before forest management		After forest management		Before forest management		After forest management		Before forest management		After forest management		Before forest management		After forest management	
			Ave. (cm)	SD	Ave. (cm)	SD	Ave. (m)	SD	Ave. (m)	SD	Ave. (stems/ha)	SD	Ave. (stems/ha)	SD	Ave. (m ² /ha)	SD	Ave. (m ² /ha)	SD
Pine	A	4	37.0	11.3	42.1	11.0	20.0	3.1	21.9	2.5	363	66.1	344	150.5	4,271	892.1	5,306	825.9
	B	5	27.0	7.8	32.2	9.0	18.4	3.4	18.7	2.9	820	143.0	525	135.8	5,110	334.9	4,623	552.5
	C	2 ^{*3}	26.9	6.2	30.0	7.7	17.2	1.5	17.6	1.0	1,300	0.0	600	424.3	7,793	0.0	4,496	1,415.6
	D	2	24.7	7.0	36.9	7.3	17.1	2.8	18.6	0.5	2,550	1,626.3	400	141.4	13,185	9,221.0	4,443	178.0
	E	2	19.4	5.8	30.1	6.7	12.9	2.6	17.7	3.1	1,450	212.1	500	141.4	4,680	723.6	3,724	51.6
Others	A	4	8.3	5.5	8.5	4.5	6.9	3.6	6.7	3.3	2,138	733.3	1,381	232.2	1,679	528.2	998	200.9
	B	5	5.2	1.6	6.7	2.9	6.2	1.8	7.6	3.4	1,850	439.1	1,975	437.3	433	149.1	833	263.4
	C	2 ^{*3}	—	—	8.1	6.0	—	—	6.5	3.2	—	—	2,250	777.8	—	—	1,798	981.2
	D	2	—	—	7.0	3.5	—	—	6.7	3.5	—	—	2,400	141.4	—	—	1,164	461.0
	E	2	—	—	7.1	3.0	—	—	6.5	2.5	—	—	1,500	0.0	—	—	710	61.9

*1 The average and SD are calculated for all trees of several forest age types.

*2 We surveyed DBH, tree height and tree density for only the A and B type forests before forest management.

*3 Plot number of C type before forest management is 1, after forest management is 2.

図 6. 胸高直径

Figure 6. Average tree diameter at breast height (DBH) before and after forest management

図 7. 樹高

Figure 7. Average tree height before and after forest management

図 8. 立木密度

Figure 8. Average stand density before and after forest management

2. 植生

(1) 毎木調査

(1)-1 調査結果

①アカマツ

表 4, 図 6, 図 7, 図 8 に毎木調査の結果を示す。

2003 年におけるアカマツの胸高直径及び樹高の平均値は, A タイプで最も大きく, B, C, D, E タイプの順に小さかった。胸高直径は, 最大の A タイプの平均値は 37.0 ± 11.3 cm, 最小の E タイプの平均値は 19.4 ± 5.8 cm であった。樹高は, 最大の A タイプの平均値は 20.0 ± 3.1 m, 最小の E タイプの平均値は 12.9 ± 2.6 m であった。

2011 年における胸高直径の平均値は, A タイプで最も大きく, D, B, E, C タイプの順に小さくなり, 2003 年と傾向が異なった。最大の A タイプの平均値は 42.1 ± 11.0 cm, 最小の C タイプの平均値は 30.0 ± 7.7 cm であり, いずれの林齢タイプも 30.0 cm を上回った。樹高の平均値は, A タイプで最も大きく, B, D, E, C タイプの順に小さかった。最大の A タイプの平均値は 21.9 ± 2.5 m, 最小の C タイプの平均値は 17.6 ± 1.0 m であった。

②アカマツ以外の樹木

アカマツ以外の樹木の 2003 年における胸高直径の平均値は A タイプで 8.3 ± 5.5 cm, B タイプで 5.2 ± 1.6

cm であった。樹高の平均値は A タイプで 6.9 ± 3.6 m, B タイプで 6.2 ± 1.8 m であった。胸高直径及び樹高ともに, A タイプの方が大きかった。

2011 年は全ての林齢タイプでアカマツ以外の樹木が成長していたため, 全ての林齢タイプで調査を行った。2011 年における胸高直径の平均値は, A タイプで最も大きく, C, E, D, B タイプの順に小さかった。最も胸高直径が大きかった A タイプの平均値は 8.5 ± 4.5 cm であった。樹高の平均値は, B タイプで最も大きく, A・D が同値, C・E が同値でこの順に小さかった。最も樹高が大きかった A タイプの平均値は 7.6 ± 3.4 m であった。胸高直径, 樹高ともに 2003 年よりも大きかった。

(1)-2 解析結果

①信頼区間

胸高直径と樹高の信頼区間 (95.0%) を推定した結果, 2003 年は, A タイプの胸高直径は 34.0-40.0 cm, 樹高は 19.2-20.8 m, B タイプはそれぞれ 25.9-28.2 cm, 17.9-19.0 m であった。2011 年は, A タイプの胸高直径は 39.1-45.1 cm, 樹高は 21.2-22.6 m, B タイプはそれぞれ 30.5-34.0 cm, 18.2-19.3 m であった。2003 年, 2011 年ともに A タイプの方が B タイプよりも胸高直径と樹高の信頼区間が大きかった。2011 年の B タイプの樹高と胸高直径の信頼区間は, 2003 年 A タイプ

の値に近づいていた。

② KRUSKAL WALLIS 検定

②-1 アカマツ

2003 年は、胸高直径、樹高ともに、営巣林 (A タイプ) に対して、非営巣林のうち B, D, E タイプは差がみられ、C タイプは差がみられなかった ($r<0.05$)。非営巣林 (B, C, D, E タイプ) 同士の検定では、E タイプとの組み合わせ (B-E, C-E, D-E タイプ) で差がみられたが、他の組み合わせ (B-C, B-D, C-D タイプ) で差はみられなかった ($r<0.05$)。

2011 年は、胸高直径、樹高ともに、営巣林 (B タイプ) に対して、非営巣林のうち A タイプは差がみられ、C, D, E タイプは差がみられなかった ($r<0.05$)。非営巣林 (A, C, D, E タイプ) 同士の検定では、胸高直径では A-C, A-E タイプの組み合わせで差がみられたが、その他の組み合わせ (A-D, C-D, C-E, D-E タイプ) で差はみられなかった ($r<0.05$)。樹高は、A タイプとの組み合わせでは全て有意な差がみられたが、それ以外の組み合わせ (C-D, D-E, C-E タイプ) で差はみられなかった ($r<0.05$)。胸高直径、樹高ともに B, C, D, E タイプの間で差はみられなかった ($r<0.05$)。

②-2 アカマツ以外の樹木

2003 年は営巣林 (A タイプ) に対して、非営巣林 (B タイプ) の胸高直径は有意な差がみられたが、樹高は有意な差がみられなかった ($r<0.05$, CDE タイプは未調査。) 一方、2011 年は営巣林 (B タイプ) に対して、非営巣林のうち A タイプは胸高直径、樹高ともに差がみられたが、C, D, E タイプは差がみられなかった。また、2011 年非営巣林 (A, C, D, E タイプ) 同士の検定では、胸高直径、樹高ともに有意な差はみられなかった ($r<0.05$)。

図 9. 胸高直径・樹高の相関図
Figure 9. Correlation diagram of tree diameter and tree height

③ GLM

図 9 に 2003 年及び 2011 年のアカマツの樹高と胸高直径の値を用いた GLM を示す。

樹高と胸高直径は、 $y=0.1986x+12.48$ の直線近似式で $R^2=0.3569$ ($r<0.05$) となり、弱い正の相関がみられた。

(2) 植物社会学的植生調査

表 5 に植物社会学的植生調査の結果を示す。階層は、いずれの林齢タイプにおいても、高木層、亜高木層、低木層及び草本層の 4 つに区分された。

2003 年は、A タイプ、B タイプともに高木層の優占種はアカマツで、植被率はそれぞれ 33%、56%であり、B タイプの方が高かった。亜高木層は、A タイプの植被率は 65%、優占種はエゴノキ、ヒサカキ、ソヨゴであった。B タイプの植被率は 80%、優占種はヤマザクラ、クロモジであった。低木層は、A タイプの植被率は 40%、優占種はクロモジ、ヒサカキ、ヒメアオキであった。B タイプの植被率は 48%、優占種はハイヌツゲ、クロモジ、ヒメアオキであった。草本層は、A タイプの植被率は 27%、優占種はヤマウグイスカグラ他であった。B タイプの植被率は 14%、優占種はハイヌツゲ、クロモジであった。A タイプ、B タイプともに亜高木層の植被率が最も高かった。

2011 年は、高木層の優占種は、全タイプでアカマツであり、植被率は 38～55%であった。亜高木層の優占種は A タイプでエゴノキ、コナラ、リョウブ、ウリハダカエデ、A タイプ以外の優占種はヤマザクラなどのサクラ類等であった。植被率は 48～68%であった。低木層の優占種は、ネジキ、ヒサカキ、クマノミズキ、ヤマモミジなど多様な種が共優占していた。植被率は 21～46%であった。草本層の優占種は、ヒメアオキ、クロモジ、ヒサカキ、ハイヌツゲ等が共優占していた。植被率は 37～74%であった。

表 5 に林分階層多様度 FLD を算出した結果を示す。A タイプは、2003 年 0.99、2011 年 1.36 となり、増加していた。B タイプは、2003 年 1.17、2011 年 1.12 となり、わずかに減少した。また、2011 年の C, D, E タイプは 1.01～1.28 となり、いずれも 2003 年の A タイプよりも大きい値であった。2003 年と 2011 年の FLD について母平均の差の検定 (t 検定) を行った結果、有意な差はみられなかった ($P=0.516$, $r<0.05$)。

表 5. 植生調査結果
Table 5. Results of the vegetation survey

Hierarchy	2003 (Before forest management)						2011 (After forest management)								
	TypeA		TypeB		TypeA		TypeB		TypeC		TypeD		TypeE		
	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	Vegetation cover rate	Dominant species (degree)	
I Canopy layer Over 15m	33%	アカマツ(3) <i>Pinus densiflora</i>	56%	アカマツ(4) <i>Pinus densiflora</i>	46%	アカマツ(3) <i>Pinus densiflora</i>	46%	アカマツ(4) <i>Pinus densiflora</i>	55%	アカマツ(4) <i>Pinus densiflora</i>	38%	アカマツ(3) <i>Pinus densiflora</i>	50%	アカマツ(3) <i>Pinus densiflora</i>	
	65%	エゴノキ(2) <i>Styrax japonica</i> ヒサカキ(2) <i>Eurya japonica</i> ソヨゴ(2) <i>Ilex pedunculosa</i>	80%	ヤマザクラ(3) <i>Prunus jamasakura</i> クロモジ(3) <i>Lindera umbellata</i>	63%	エゴノキ(2) <i>Styrax japonica</i> コナラ(2) <i>Quercus serrata</i> リョウブ(3) <i>Clethra barbinervis</i> ウリハダカエデ(2) <i>Acer rufinerve</i>	62%	ヤマザクラ(4) <i>Prunus jamasakura</i> ウミズザクラ(2) <i>Prunus grayana</i> リョウブ(2) <i>Clethra barbinervis</i>	67%	ヤマザクラ(2) <i>Prunus jamasakura</i> カスミザクラ(2) <i>Cerasus leveilleana</i> リョウブ(2) <i>Clethra barbinervis</i> ウリハダカエデ(2) <i>Acer rufinerve</i>	68%	ヤマザクラ(3) <i>Prunus jamasakura</i> ソヨゴ(3) <i>Ilex pedunculosa</i>	48%	ヤマザクラ(3) <i>Prunus jamasakura</i> アオハダ(2) <i>Ilex macrospora</i>	
II Subcanopy layer 3-15m	40%	クロモジ(1) <i>Lindera umbellata</i> ヒサカキ(1) <i>Eurya japonica</i> ヒメアオキ(1) <i>Aucuba japonica</i> var. <i>borealis</i>	48%	ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> クロモジ(1) <i>Lindera umbellata</i> ヒメアオキ(1) <i>Aucuba japonica</i> var. <i>borealis</i>	46%	エゴノキ(2) <i>Styrax japonica</i> ネジキ(2) <i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i> ヒサカキ(2) <i>Eurya japonica</i> シロダモ(2) <i>Neolitsea sericea</i> リョウブ(1) <i>Clethra barbinervis</i> ウミズザクラ(1) <i>Prunus grayana</i>	24%	クロモジ(2) <i>Lindera umbellata</i> クマノミズキ(2) <i>Cornus macrophylla</i> ヒサカキ(1) <i>Eurya japonica</i> リョウブ(1) <i>Clethra barbinervis</i>	42%	ヒサカキ(2) <i>Eurya japonica</i> クロモジ(2) <i>Lindera umbellata</i> ヒメアオキ(2) <i>Aucuba japonica</i> var. <i>borealis</i> ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> ヒサカキ(2) <i>Eurya japonica</i> チマキザサ(2) <i>Sasa palmata</i>	26%	ソヨゴ(2) <i>Ilex pedunculosa</i> ヤマモミジ(1) <i>Acer palmatum</i> var. <i>mastumurae</i> ソヨゴ(1) <i>Ilex pedunculosa</i>	21%	エゴノキ(1) <i>Styrax japonica</i> ヒサカキ(1) <i>Eurya japonica</i>	
	III Shrub layer 1.3-3m	27%	ヤマウダシカグラ(1) <i>Lonicera gracilipes</i> var. <i>glabra</i> オオイタヤメグサ(1) <i>Acer shirasawanum</i> ハイヌツグ(+) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> クロモジ(+) <i>Lindera umbellata</i>	14%	ハイヌツグ(1) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> クロモジ(1) <i>Lindera umbellata</i>	74%	ヒメアオキ(3) <i>Aucuba japonica</i> var. <i>borealis</i> クロモジ(2) <i>Lindera umbellata</i> ヒサカキ(2) <i>Eurya japonica</i> ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i>	54%	ヒメアオキ(2) <i>Aucuba japonica</i> var. <i>borealis</i> ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> チマキザサ(2) <i>Sasa palmata</i> ヤブコウジ(1) <i>Ardisia japonica</i>	46%	ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> クロモジ(2) <i>Lindera umbellata</i>	37%	ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i> ソヨゴ(1) <i>Ilex pedunculosa</i>	55%	ハイヌツグ(2) <i>Ilex crenata</i> var. <i>paludosa</i>
		IV Herbaceous layer Under 1.3m													
	FLD*		0.99		1.17		1.39		1.12		1.28		1.01		1.05

*FLD is "Forest Layers Diversity" (1988 Yui)

注) 植被率の括弧内の数字は被度を示す。

Note: The figures in parentheses indicate the coverage scale.

(3) 林内空間の広がり

(3)-1 立木密度

①調査結果

立木密度は表 4 及び図 8 のとおりである。アカマツの 2003 年における立木密度の平均値は、D タイプで最も大きく、E, C, B, A タイプの順に小さかった。最大の D タイプの平均値は 2,550 ± 1626.3 本/ha、最小の A タイプの平均値は 363 ± 66.1 本/ha であった。胸高断面積の平均値は、D タイプで最も大きく、C, B, E, A の順に小さかった。最大の D タイプの平均値は 13,185 ± 9,221.0 m²/ha、最小の A タイプの平均値は 4,271 ± 892.1 m²/ha であった。アカマツの 2011 年における立木密度の平均値は、C タイプで最も大きく、B, E, D, A タイプの順に小さかった。最大の C タイプの平均値は 600 ± 424.3 本/ha、最小の A タイプの平均値は 344 ± 150.5 本/ha であり、いずれの林齢タイプも 1,000 本/ha を下回った。胸高断面積の平均値は、A タイプで最も大きく、B, C, D, E の順に小さくなり、2003 年と傾向が異なった。最大の A タイプの平均値は 5,306 ± 825.9 m²/ha、最小の E タイプの平均値は 3,724 ± 51.6 m²/ha であった。

アカマツ以外の樹木の 2003 年における立木密度の平均値は、A タイプで 2,138 ± 733.3 本/ha、B タイプで 1,850 ± 439.1 本/ha であった。胸高断面積の平均値は、A タイプで 1,679 ± 528.2 m²/ha、B タイプで

433 ± 149.1 m²/ha であった。なお C, D, E タイプは、アカマツ以外の樹木が若齢であったため調査を行っていない。アカマツ以外の樹木の 2011 年における立木密度の平均値は、D タイプで最も大きく、C, B, E, A タイプの順に小さかった。A タイプは 1,381 ± 232.2 本/ha、B タイプは 1,975 ± 437.3 本/ha であった。胸高断面積の平均値は、C タイプで最も大きく、D, A, B, E タイプの順に小さかった。最も胸高断面積が大きかった C タイプの平均値は 1,798 ± 981.2 m²/ha、最も小さかった E タイプの平均値は 710 ± 61.9 m²/ha であった。

②解析結果

②-1 信頼区間 (95.0%)

立木密度の信頼区間 (95.0%) を推定した結果、2003 年営巣林の A タイプは 257-468 本/ha、非営巣林 B, C, D, E タイプの合計値は 706-1974 本/ha となり、営巣林の方が非営巣林よりも立木密度の信頼区間が小さかった。2011 年営巣林の B タイプは 356-694 本/ha、非営巣林 A, C, D, E タイプの合計値は 289-586 本/ha となり、営巣林と非営巣林の信頼区間が一部重なる結果となった。また、各年の営巣林 (2003 年 A タイプ, 2011 年 B タイプ) と非営巣林 (2003 年 B, C, D, E タイプ, 2011 年 A, C, D, E タイプ) の合計値を用いて立木密度の信頼区間 (95.0%) を推定した結果、営巣林は 349-556 本/ha、非営巣林は 524-1253 本

図 10. 胸高断面積・立木密度の平均値の散布図
Figure 10. Correlation diagram of average tree density and average tree basal area

/ha となり、営巣林の方が非営巣林よりも信頼区間が小さかった。

②-2 KRUSKAL WALLIS 検定

KRUSKAL WALLIS 検定では、アカマツ、アカマツ以外の立木密度について、林齢タイプ間に有意な差があるか検定を行った。

アカマツは、2003 年営巣林（A タイプ）と非営巣林（B, C, D, E タイプ）の組み合わせについては有意な差がみられたが、2011 年営巣林（B タイプ）と非営巣林（A, C, D, E タイプ）については有意な差はみられなかった ($r < 0.05$)。

アカマツ以外の樹木については、2003 年営巣林（A タイプ）と非営巣林（B, C, D, E タイプ）、2011 年営巣林（B タイプ）と非営巣林（A, C, D, E タイプ）いずれの組み合わせについても有意な差はみられなかった ($r > 0.05$)。

②-3 胸高断面積と立木密度の関係

図 10 に 2003 年と 2011 年のアカマツの胸高断面積と立木密度の平均値の散布図を示す。事例研究地のアカマツは、①胸高直径が小さく立木密度が低いグループ、②胸高直径が小さく立木密度が高いグループ、③胸高直径が大きく立木密度が低いグループの 3 つに分かれる。③には A, B タイプが含まれ、大径木がまばらに生えていると言える。

(3)-2 横断面

図 11 に横断面図を示す。2003 年 A, B タイプ、2011 年 A, B, E タイプは高木層の林冠下部と亜高木層の林冠上部の間に空間が広がっていることが確認できた。2011 年 C タイプは空間がほとんど無く、2011 年 D タイプは空間が全く無かった。

3. 鳥類

(1) 調査結果

(1)-1 確認種数

表 6 に出現鳥類リストを示す。2003 ～ 2004 年の調査で確認された鳥類の種数は 61 種であった。このうち、環境省レッドデータブック記載種は 2 種、レッドデータブックととり記載種は 14 種であった。2011 ～ 2012 年の調査で確認された鳥類の種数は 45 種であった。このうち、環境省レッドデータブック記載種は 3 種、レッドデータブックととり記載種は 8 種であった。2003 ～ 2004 年には確認されたが、2011 ～ 2012 年には確認されなかった種はアオジ、アマツバメ、オオアカゲラ、コルリ、ツミなど 22 種であった。2011 ～ 2012 年に新たに確認された種はアカハラ、コシアカツバメ、ハイタカなど 6 種であり、特定外来生物指定種であるソウシチョウが確認された。

(1)-2 出現個体数

表 7 および図 12 に調査地点ごとの出現個体数一覧を示す。全地点を総合した出現個体数の平均値は、好適餌種、その他ともに増加していた。調査地点ごとにみると、好適餌種は B タイプ以外の全ての地点で増加し、林縁は同数であった。その他の種の合計値は、伐採跡地、谷筋以外の全ての地点で増加していた。2011 ～ 2012 年の調査結果より各林齢タイプの個体数を比較すると、好適餌種は C タイプが最も多く、A, E, B, D タイプの順に多かった。

また、好適餌種の内訳をみると、両調査期間とも上位 3 種はヒヨドリ、キジバト、イカルであり、好適餌種合計数に占めるヒヨドリの割合の平均は約 60% と 1 位であり、上位 3 種の割合の平均は約 80% であった。

(1)-3 季節変化

図 13 に 2003 ～ 2004 年、図 14 に 2011 ～ 2012 年の好適餌種における出現個体数の季節変化を示す。好適餌種の個体数が最も多かったのは、2003 ～ 2004 年では 6 月であり、次いで 1 月が多かった。2011 ～ 2012 年は 4 月が最も多く、次いで 5 月が多かった。両調査期間とも、通年の好適餌種の合計値が最も多かったのは林縁であった。全地点のなかで林縁が最多であった月は、2003 ～ 2004 年は 5 月～ 6 月、10 月及び 12 月、2011 ～ 2012 年は、4 月及び 6 月であった。

(1)-4 Shannon-Wiener の多様度指数 H'

2003 ～ 2004 年における森林内の H' は、通年では A タイプ 3.880, B タイプ 3.748, 繁殖期は A タイプ 3.737, B タイプ 3.297 となり、A タイプの方が高かつ

図 11. 各林齢タイプの横断面図 (上段 : 2003 年 下段 : 2011 年)
Figure 11. Cross-sectional views of each forest type (upper: 2003; lower: 2011)

表 6. 出現鳥類リスト
Table 6. The avifauna of the case study area

Japanese Name	Scientific Name	MEO RDB	TOTTORI RDB	Full Length (cm)	Size (S,M,L)	Class (APS*,Others)	Avifauna Apr. 2003~Jan. 2004	Avifauna Apr. 2011~Jan. 2012
アオゲラ	<i>Picus awokera</i>			29	M	APS	○	○
アオサギ	<i>Ardea cinerea</i>			93	L	Others	○	○
アオジ	<i>Emberiza spodocephala</i>			16	S	Others	○	
アオバト	<i>Treron sieboldii</i>		NT	33	M	APS	○	○
アカゲラ	<i>Dendrocopos major</i>			23.5	M	APS	○	○
アカハラ	<i>Turdus chrysolaus</i>			23.5	M	APS		○
アトリ	<i>Fringilla montifringilla</i>			16	S	Others	○	○
アマツバメ	<i>Apus pacificus</i>			20	S	Others	○	
アリスイ	<i>Jynx torquilla</i>			17.5	S	Others	○	
イカル	<i>Eophona personata</i>			23	M	APS	○	○
イワツバメ	<i>Delichon dasypus</i>			14.5	S	Others	○	○
ウグイス	<i>Cettia diphone</i>			14~15.5	S	Others	○	○
ウソ	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>			15.5	S	Others	○	
エナガ	<i>Aegithalos caudatus</i>			13.5	S	Others	○	○
オオアカゲラ	<i>Dendrocopos leucotos</i>		NT	28	M	APS	○	
オオタカ	<i>Accipiter gentilis</i>	NT	VU	50/56.5	L	Exclusion	○	○
オオルリ	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>			16.5	S	Others	○	○
カケス	<i>Garrulus glandarius</i>			33	M	APS	○	○
カシラダカ	<i>Emberiza rustica</i>			15	S	Others	○	○
カワラヒワ	<i>Carduelis sinica</i>			14.5	S	Others	○	○
キジバト	<i>Streptopelia orientalis</i>			33	M	APS	○	○
キクイタダキ	<i>Regulus regulus</i>		NT	10	S	Others	○	
キビタキ	<i>Ficedula narsissina</i>			13.5	S	Others	○	○
クロジ	<i>Emberiza variabilis</i>		NT	17	S	Others	○	
クロツグミ	<i>Turdus cardis</i>			21.5	M	APS	○	○
コガラ	<i>Parus montanus</i>			12.5	S	Others	○	○
コゲラ	<i>Dendrocopos kizuki</i>			15	S	Others	○	○
コシアカツバメ	<i>Hirundo daurica</i>			18.5	S	Others		○
ゴジュウカラ	<i>Sitta europaea</i>		NT	13.5	S	Others	○	○
コルリ	<i>Luscinia cyane</i>		NT	14	S	Others	○	
サンコウチョウ	<i>Terpsiphone atrocaudata</i>		NT	44.5/17.5	S	Others		○
サンショウクイ	<i>Pericrocotus divaricatus</i>	VU	NT	20	S	Others	○	○
シジュウカラ	<i>Parus major</i>			14.5	S	Others	○	○
シメ	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>			18	S	Others	○	
ジュウイチ	<i>Cuculus fugax</i>			32	M	APS	○	
ジョウビタキ	<i>Phoenicurus aureus</i>			14	S	Others	○	
シロハラ	<i>Turdus pallidus</i>			24	M	APS	○	○
セグロセキレイ	<i>Motacilla grandis</i>			21	S	Others	○	
セッカ	<i>Cisticola juncidis</i>		NT	12.5	S	Others	○	
ソウシチョウ	<i>Leiothrix lutea</i>			-	S	Others		○
ツグミ	<i>Turdus naumanni</i>			24	M	APS	○	○
ツツドリ	<i>Cuculus saturatus</i>			32.5	M	APS	○	○
ツバメ	<i>Hirundo rustica</i>			17	S	Others	○	○
ツミ	<i>Accipiter gularis</i>		NT	27/30	L	Others	○	
トビ	<i>Milvus migrans</i>			58.5/68.5	L	Others	○	○
トラツグミ	<i>Zoothera dauma</i>		NT	29.5	M	APS	○	○
ノゴマ	<i>Luscinia calliope</i>			15.5	S	Others	○	
ハイタカ	<i>Accipiter nisus</i>	NT	NT	31.5/39	L	Others		○
ハシブトガラス	<i>Corvus macrorhynchos</i>			56.5	L	Others	○	○
ハシボソガラス	<i>Corvus corone</i>			50	L	Others	○	○
ヒガラ	<i>Parus ater</i>			11	S	Others	○	○
ヒバリ	<i>Alauda japonica</i>			17	S	Others	○	○
ヒヨドリ	<i>Ixos amaurotis</i>			27.5	M	APS	○	○
ビンズイ	<i>Anthus hodgsoni</i>			15.5	S	Others		○
ホオジロ	<i>Emberiza cioides</i>			16.5	S	Others	○	○
ホシガラス	<i>Nucifraga caryocatactes</i>		VU	34.5	L	Others	○	
ホトギス	<i>Cuculus poliocephalus</i>			27.5	M	APS	○	○
マヒワ	<i>Carduelis spinus</i>			12.5	S	Others	○	
ミサゴ	<i>Pandion haliaetus</i>			54/64	L	Others	○	
ミソサザイ	<i>Troglodytes troglodytes</i>			10.5	S	Others	○	
ミヤマホオジロ	<i>Emberiza elegans</i>			15.5	S	Others	○	
メジロ	<i>Zosterops japonicus</i>			11.5	S	Others	○	○
メボソムシクイ	<i>Phylloscopus borealis</i>		NT	13	S	Others	○	
モズ	<i>Lanius bucephalus</i>			20	S	Others	○	○
ヤブサメ	<i>Urosphena squameiceps</i>			10.5	S	Others	○	○
ヤマガラ	<i>Parus varius</i>			14	S	Others	○	○
ルリビタキ	<i>Tarsiger cyanurus</i>		DD	14	S	Others	○	
Total							61	45

*1 APS: Appropriate play species for *Accipiter gentilis*

た。森林外のプロットでは、通年は防風林が最も高く 4.250 となり、次いで林縁、畑、谷筋、伐採跡地の順となった。繁殖期は、防風林が最も高く 3.728 となり、次いで谷筋、林縁、畑、伐採跡地の順となった。通年の平均値は、全プロット 3.638、森林（A、B タイプ）3.814、森林以外 3.568 であった。繁殖期の平均値は、全プロット 3.302、森林（A、B タイプ）3.517、森林以外 3.216 であった。

2011～2012 年における森林内の H' は、通年では D タイプが最も高く 4.187 であり、次いで C、B、E、A タイプの順となった。一方、繁殖期では、C タイプが最も高く 3.774 であり、次いで A、D、B、E タイプの順となった。森林外のプロットでは、通年は防風林が最も高く 3.846 であり、次いで谷筋、林縁、伐採跡地、畑の順となった。繁殖期も防風林が最も高く 3.495 であったが、次いで伐採跡地、谷筋、林縁、畑の順となり、通年と傾向が異なった。 H' の平均値は、2003～2004 年と同じプロット（C、D、E タイプを除く）では、通年は全体 3.544、森林（A、B タイプ）3.532、森林以外 3.550 となり、2003～2004 年よりも小さかった。繁殖期は全体 3.437、森林（A、B タイプ）3.609 であり、2003～2004 年よりも大きかった。2011～2012 年に調査した全地点の平均値は、通年は全体 3.623、森林（全林齢タイプ）3.696、繁殖期は全体 3.484、森林のみ 3.600、森林以外 3.368 となった。

(2) 解析結果

(2)-1 出現個体数（クロス検定）

2003～2004 年、2011～2012 年の好適餌種とその他で出現個体数に有意な差があるかタイプ別（ $\chi^2=0.003$, $r>0.05$ ）と調査回別（ $\chi^2=1.380$, $r>0.05$ ）にクロス検定を行ったが、有意な差はみられなかった。

各年の調査地点ごとに、好適餌種とその他で出現個体数に有意な差があるかクロス検定を行ったところ、2003～2004 年（ $\chi^2=63.328$, $r<0.05$ ）、2011～2012 年（ $\chi^2=28.263$, $r<0.05$ ）ともに有意な差がみられた。2003～2004 年は、好適餌種の割合が 30%以上と多かったのが A タイプ、B タイプ、林縁であり、その他のタイプは好適餌種の割合が 29%以下と少なかった。特に畑、谷筋はその他の割合が 85～86%と高く、好適餌種の割合は少なかった。畑はカワラヒワやヒバリなど、谷筋はアトリやマヒワなどの小型鳥類の出現個体数が多かったことが理由だと考えられる。2011～2012 年は、好適餌種の出現割合が 30%以上と多かったのが A タイプ、伐採跡地、谷筋であり、

ヒヨドリの出現個体数が多かった。その他のタイプは好適餌種の割合が 22～29%と同程度に少なかった（表 7、図 12）。

(2)-2 季節変化

調査回ごとの好適餌種とその他の出現個体数に有意な差があるかクロス検定を行ったところ、2003～2004 年は有意な差がみられなかった（ $\chi^2=8.246$, $r>0.05$ ）が、2011～2012 年は有意な差がみられた（ $\chi^2=18.827$, $r<0.05$ ）。2011～2012 年は、4 月、5 月、8 月、9 月の調査で好適餌種の割合が 30%以上と高く、最も割合が高かったのは 4 月（繁殖期、46%）であった。

(2)-3 Shannon-Wiener の多様度指数 H'

2003～2004 年と 2011～2012 年の通年の H' について母平均の差の検定（t 検定）を行なった結果、有意な差はみられなかった（ $P=0.554$, $r<0.05$ ）。また、繁殖期についても、有意な差はみられなかった（ $P=0.787$, $r<0.05$ ）。

(2)-4 林分階層多様度 FLD と鳥類の Shannon-Wiener の多様度指数 H' の関係

2003～2004 年と 2011～2012 年の FLD と鳥類の H' を用い GLM で関係を見たところ、通年、繁殖期のいずれにおいても、 $R^2=0.2$ 以下であり、相関はほとんどみられなかった。

4. 営巣木

2010 年及び 2011 年に営巣が確認された営巣木はアカマツで、樹高 16.2 m、胸高直径 43.5 cm、架巢高 13.2 m であった。架巢型は樹幹型であった。

表 8 に事例研究地とオオタカの営巣に関する先行研究について、営巣木、営巣林の特徴（胸高直径、樹高等）を比較した結果を示す。これをみると、2011 年の営巣木の胸高直径は、先行研究の営巣木と同様に大きく、営巣林のアカマツの胸高直径平均値も大きかった。また、営巣林のアカマツの立木密度平均値は、先行研究と同様に小さかった。

5. 植生・土地被覆図

図 4 にオオタカの推定行動圏における植生・土地被覆図、表 9 にオオタカの推定行動圏における植生・土地被覆図の面積割合を示す。森林の面積（括弧内は全体に対する割合）は、アカマツ林 679.74 ha（24.04%）、スギ・ヒノキ植林 159.84 ha（5.65%）、広葉樹林 852.01 ha（30.13%）であり、合計で 1691.59 ha（59.82%）であった。森林は一箇所に固まることなく、

表 7. 出現個体数一覧 (通年)
Table 7. Total number of bird (year-round)

Plot	Total number by confirmed in a year											
	year:2003-2004(a)				year:2011-2012(b)				Difference(b-a)			
	Others	APS*1	H ^{*2}	H ^{*2}	Others	APS*1	H ^{*2}	H ^{*2}	Others	APS*1	H ^{*2}	H ^{*2}
Type A	62	39	3.880	3.737	87	54	3.300	3.742	25	15	-0.580	0.005
Type B	74	61	3.748	3.297	88	30	3.763	3.476	14	-30	0.015	0.179
Type C	-	-	-	-	92	56	3.925	3.774	-	-	-	-
Type D	-	-	-	-	47	29	4.187	3.702	-	-	-	-
Type E	-	-	-	-	137	48	3.304	3.305	-	-	-	-
Cutover area	163	59	2.829	2.537	63	68	3.443	3.428	-100	9	0.614	0.891
Windbreak forest	80	28	4.250	3.728	98	36	3.846	3.495	18	8	-0.404	-0.233
Cultivated land	89	15	3.537	2.834	261	34	3.173	3.163	172	19	-0.364	0.329
Valley	205	33	3.483	3.504	143	69	3.683	3.408	-62	36	0.200	-0.096
Edge of forest	112	79	3.742	3.476	206	79	3.603	3.345	94	0	-0.139	-0.131
Average:all	112	45	3.638	3.302	122	50	3.623	3.484	10	5	-0.015	0.182
Average:all (avoid TypeC,D,E)	112	45	3.638	3.302	135	53	3.544	3.437	23	8	-0.094	0.135
Average:forest	-	-	-	-	90	43	3.696	3.600	-	-	-	-
Average:forest (avoid TypeC,D,E)	68	50	3.814	3.517	87	42	3.532	3.609	19	-8	-0.283	0.092
Average:others	130	43	3.568	3.216	154	57	3.550	3.368	24	14	-0.019	0.152

* 1 APS means "Appropriate prey species for *Accipiter gentilis*".

* 2 H^{*} is the Shannon-Wiener index of diversity.

図 12. 出現個体数一覧 (通年)
Figure 12. Total number of bird (year-round)

* APS means "Appropriate prey species for *Accipiter gentilis*".

図 13. 季節変化 (2003 年度) (上図: 好適餌種別 下図: 調査地点別)
Figure 13. Seasonal changes in the bird population / 15 hectares (2003-2004)

*1 APS means "Appropriate prey species for *Accipiter gentilis*".

*2 The investigation on January 22, 2012 was conducted only for Type B,C,E,cultivated land and edge of forest due to the impact of snowfall.

図 14. 季節変化 (2011 年度) (上図: 好適餌種別 下図: 調査地点別)
Figure 14. Seasonal changes in the bird population / 15 hectares (2011-2012)

全域に分布していた。草地は 507.38 ha (17.94%)、耕作地(畑, 水田)は 332.83 ha (11.77%)であり、合計すると全体のおよそ 3 割を占めることがわかった。低木林は 59.45 ha (2.10%)、防風林は 6.83 ha (0.24%)、竹林は 46.88 ha (1.66%)と少ない面積ではあったが、全域に飛び石状に散らばって分布していた。開放水面は 25.82 ha (0.91%)であり、南から北西に向かって流れる河川のほか、いくつかの池が北西及び南西に分布していた。裸地は 5.58 ha (0.20%)であり、南東のアカマツ林・広葉樹林内に分布していた。道路・駐車場及び市街地などの人工的な施設については、道路・駐車場が 74.8 ha (2.65%)と森林などよりも少なく全域に粗い網目状に分布しており、市街地は 76.72 ha (2.71%)と少なかった。

考 察

1. 植生

(1) 営巣林及び営巣木

オオタカは、大径高木に営巣する傾向があり(堀江ほか 2006; 内田ほか 2007; 尾崎・遠藤 2008; 財団法人道路環境研究所 2008; 平井ほか 2008)、樹高よりも胸高直径が重視される傾向がある(鈴木 1999; 農林水産技術会議事務局 2003; 堀江ほか 2006)。事例研究地におけるアカマツの胸高直径および樹高の KRUSKAL WALLIS 検定により、2003 年は営巣林(A タイプ)に対してほとんどの林齢タイプで有意な差がみられた。そのため、事例研究地でも大径高木の多い林分が営巣林として選択されたと考えられる。加えて、事例研究地の営巣木と先行研究を比較すると胸高直径が太い(表 8)ことや、事例研究地のアカマツの樹高と胸高直径は弱い正の相関(図 9)しかなく、胸高直径が大きければ樹高も比例して高くなる傾向は小さいことから、事例研究地の営巣木は胸高直径が重視され、営巣林内で相対的にみて大径木が選択されたと考えられる。

これに対し、2011 年の胸高直径および樹高について、KRUSKAL WALLIS 検定により営巣林(B タイプ)に対して有意な差がみられたのは A タイプのみであり、その他の非営巣林(C, D, E タイプ)に有意な差はみられなかった。アカマツの胸高直径及び樹高の信頼区間(95.0%)の推定結果をみると、B タイプは 2011 年には 2003 年時点で営巣林であった A タイプと同程度に大きくなっていった。そこで、A, B タイプにおけるアカマツの胸高直径-樹高相関図(図 15)

において、現在の営巣木よりも大径高木であれば潜在的に営巣木として選択される可能性が高いとみなし、胸高直径・樹高が営巣木よりも大きなアカマツの 1 ha あたりの本数を算出した。B タイプは、施業後に営巣木よりも大きな大径高木が 2003 年は 20 本/ha であったが、2011 年は 60 本/ha と 3 倍に増加していた。以上から、2011 年までに全ての林齢タイプのアカマツが伸長・肥大成長し、営巣林として選択される可能性のある大径高木林に成長してきたと考えられる。これは、2006～2010 年に実施された間伐による立木密度低下の効果と考えられる。

(2) 林内の飛翔空間の広がり

水平方向の空間の広がりとは、立木密度を用いて把握した。2003 年時点で営巣林に選択されていたのは、アカマツの立木密度が最も低い A タイプ(363 本/ha)であり、KRUSKAL WALLIS 検定により、2003 年営巣林と非営巣林の間には有意な差がみられた。このことから、事例研究地においても、先行研究(鈴木 1999; 平井ほか 2008; 関東森林管理局 2008; 財団法人道路環境研究所 2008)と同様に、立木密度が低い林分が営巣林として選択されたと考えられる。加えて、事例研究地の営巣木の立木密度は、先行研究と比べて低かった(表 8)ことから、相対的にみて立木密度が低い林分を選択したと考えられる。間伐の結果、2011 年には、全林齢タイプでアカマツの立木密度が低下した(表 4, 図 8)。KRUSKAL WALLIS 検定により、2011 年の営巣林と非営巣林の間には有意な差がみられなかったこと、信頼区間(95.0%)の推定結果から 2011 年の営巣林と非営巣林の推定区間は重複がみられたことから、2011 年までには全林齢タイプが潜在的に営巣林として選択される立木密度に低下したと考えられる。また、2003 年・2011 年のアカマツの胸高断面積と立木密度の平均値の散布図(図 10)より、胸高直径が大きなアカマツがまばらに立ち並んでおり、水平方向の飛翔空間が広がっていることが示唆された。

垂直方向の空間の広がりとは、植生調査で作成した横断面図を用いて把握した。Boal (2005)は、営巣林は林冠下部と低木層の間に開放空間がある林が選択されていると述べ、他の先行研究(前橋営林局 1998; 植田ほか 2006; 堀江ほか 2006; 関東森林管理局 2008)も、亜高木層が無い疎で低木層あるいは草本層と樹冠との間に空間があることが重要だと述べている。事例研究地では、営巣林として選択された

表 8. 本研究と他事例の営巣木及び営巣林の比較

Table 8. Comparison of the nesting trees and nesting forests in the study area and in other cases

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
References, etc.	the study area			1996	1998	2008	2008	1999	2008	2003	1999
	2003 Nested Forest	2011 Nested Forest	2010, 2011 Nested Tree	Environment Agency, Nature Conservation Bureau, Wildlife	Maebashi Forestry Administration	Ozaki-Endo	Foundation road Institute for Environmental Studies	Suzuki	Hirai et al.	Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat	Komata
Nesting area	Tottori prefecture							Hokkaido			Aomori to Gifu prefecture
	Daisen-cho Toyofusa area							Tokachi plain			
Tree type	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>				マツ類(アカマツ 等) <i>Pinus densiflora</i>	アカマツ, スギ等 <i>Pinus densiflora</i> , <i>Cryptomeria japonica</i> etc.	アカマツ, クロマツ, ス ギ <i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus thsiangii</i>	カラマツ <i>Larix kaempferi</i>	カラマツ, ストローブマ ツ <i>Larix kaempferi</i> , <i>Picea</i> <i>japonensis</i> var. <i>hondoensis</i>	アカマツ, トウヒ等 <i>Pinus densiflora</i> , <i>Cryptomeria japonica</i> etc.	
DBH(cm)	–	43.5	43.5	Over 25	Over 25	Over 30	Over 30	37.8 (±7.6)	38.6 (±7.1)	36.8 (±15.0)	34 (18.0–60.0)
Height(m)	–	16.2	16.2	Over 15	Over 15	–	Over 16	22.1 (±2.5)	25.5 (±3.6)	19.4 (±4.6)	15.9 (1.0–30.0)
Nest height(m)	–	13.2	13.2	–	–	–	Over 11 Tree height 70%	11.6 (±3.0)	12 (±3.5)	–	11.5 (7.0–21.0)
Forest type	Red pine forest (TypeA)	Red pine forest (TypeB)	Red pine forest (TypeB)	–	–	Coniferous forest, needles wide, mixed forest	–	Larch forest (windbreak forest etc.)	Larch forest (windbreak forest)	Red pine forest, spruce forest, etc.	Red pine forest, cedar forest, etc.
DBH(cm)	36.8 (±11.3)	32.4 (±8.9)	32.4 (±8.9)	–	–	–	–	20.1 (±4.6)	23.4 (±4.3)	19.9 (±4.4)	–
Height(m)	20 (±3.1)	18.9 (±2.7)	18.9 (±2.7)	–	–	–	–	–	18.4 (±3.6)	13.9 (±3.1)	–
Density (stems/ha)	363 (±66.1)	525 (±135.8)	525 (±135.8)	–	250~1500	–	125~700	489.8 (±130.2)	523.5 (±171.0)	1018.8 (±282.0)	–
Surrounding area	Forest, Cropland			Distribute Forest and Cropland in patch	Distribute Forest and Cropland in patch	Distributed mosaic of forest and cropland	Forest, cropland, Satoyama	Forest, cropland, Forest, cropland	Cropland	Cropland	Elevation 10m to 1130m, a low mountain zone

No.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
References, etc.	2006	2006	1998	2006	2007	1999	2001		1996		2008
	Ueda et al.	Horie et al.	Maebashi Forestry Administration	Ueda et al.	Uchida et al.	Saitama Prefecture, Northern goshawk, etc., protection guidelines	Hasebe et al.		Kosaka et al.		Foundation road Institute for Environmental Studies
Nesting area	Tochigi prefecture			Throughout Nagano Prefecture	Saitama prefecture		Throughout Kumamoto Prefecture	The whole of Japan			
	Knuma city, Utsunomiya city	Nasunogahara			Hilly terrain of the main area	Throughout Saitama		(1993)	(1994)	(1995)	(1989–2004)
Tree type	アカマツ, スギ等 <i>Pinus densiflora</i> , <i>Cryptomeria japonica</i> etc.	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	アカマツ, モミ <i>Pinus densiflora</i> , <i>Abies firma</i>	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	アカマツ, スギ等 <i>Pinus densiflora</i> , <i>Cryptomeria japonica</i> etc.	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	アカマツ, スギ等 <i>Pinus densiflora</i> , <i>Cryptomeria japonica</i> etc.			
DBH(cm)	43.5 (±11.8)	34.8 (±1.2)	–	37 (±6.0)	30.6 (±7.2)	39.3 (20.0–80.0)	60	41.2 (±17.6)	40.8 (±17.9)	39.7 (±17.4)	40.3 (±1.0)
Height(m)	23.7 (±5.8)	17.8 (±0.6)	–	24.8 (±2.8)	16.5 (±2.9)	19.5 (11.0–30.0)	14.5 (±0.7)	15.5 (±6.1)	17.5 (±5.8)	17.7 (±5.8)	20.7 (±0.4)
Nest height(m)	16.8 (±8.9)	12.7 (±0.5)	–	19.3 (±3.0)	12.5 (±2.6)	14 (8.0–23.0)	7	–	–	–	15 (±0.4)
Forest type	Cedar plantation, coppice	Red pine forest, cedar forest etc.	Red pine forest	Red pine forest, fir forest	–	Red pine forest, cedar and cypress forest	10th to 20th grade <i>Quercus</i> forest	–	–	–	–
DBH(cm)	–	25.2 (±0.7)	26.4	–	–	–	–	–	–	–	33.7 (±3.2)
Height(m)	–	–	17.1	–	–	–	–	–	–	–	18.8 (±0.9)
Density (stems/ha)	–	820.1 (±45.3)	1310	–	–	–	–	–	–	–	619.8 (±79.6)
Surrounding area	Forest, cropland	Forest, cropland	Forest, cropland	Forest, paddy field	Cropland	Forest, cropland	Forest, cultivated land, cutting and reclamation area	–	–	–	–

*1 Nos. 1 to 3 indicate results from this study area. Nos.4 to 22 are results from previous studies. Nos.4 to 7, in particular, show the tendency for the whole of Japa

*2 Nos. 8 to 22 show the average DBH, height, and density. Numbers in parentheses indicate the following
(±number). Standard deviation
(number-number). Left hand number is the minimum, right hand number is the maximum of a range.表 9. 植生・土地被覆図の面積及び面積割合
Table 9. Area and ratio of area of vegetation and land cover map

Area name	Area (ha)	Ratio of area (%)	Area (ha)	Ratio of area (%)
Pine forest	679.74	24.04%		
Cedar and cypress forest	159.84	5.65%	1691.59	59.82%
Broad-leaved forest	852.01	30.13%		
Low trees and bushes	59.45	2.10%		
Windbreak forest	6.83	0.24%		
Grassland	507.38	17.94%		
Cultivated land & Paddy field	332.83	11.77%		
Open water	25.82	0.91%	1136.29	40.18%
Road & Parking area	74.8	2.65%		
Urban area & Built up area	76.72	2.71%		
Bamboo grove	46.88	1.66%		
Wasteland	5.58	0.20%		

表 10. 前橋営林局（1998）が示した採餌行動域の面積割合

Table 10. Recommended ratio for the foraging area for *Accipiter gentilis* (Maebashi Bureau of Forestry 1998)

Ratio of area	Type of Forest land cover	Note
50~60%	Mature forest	Different growth stage forests should form a mosaic pattern throughout the area for foraging.
40~50%	Openland, new afforestation forest, young forest, etc.	

2003 年 A タイプと 2011 年 B タイプは、いずれも高木層の林冠下部と亜高木層の林冠上部の間に空間が広がっていることが確認できた。また、2011 年は A, B, E タイプで垂直方向の飛翔空間が広がっていた（図 11）。

(3) 植生に関する小括

2006 ～ 2010 年に行われた施業（間伐，除伐，マツ枯れ対策）の結果，立木密度の低下により，全林齢タイプでアカマツが成長し，営巣可能な大径高木が増加していた。また，立木密度が低い上，垂直方向の空間が広いなど，林内の飛翔空間が確保されていた。そのため，オオタカの営巣環境の改善という観点から施業は適切であったと考えられる。

2. 鳥類

(1) オオタカの採餌環境

オオタカを保全するためには，その餌動物を明らかにし，オオタカが利用可能な食物の量を維持する必要がある（Reynolds *et al.* 1992）。事例研究地における好適餌種の出現個体数の合計値上位 3 種はヒヨドリ，キジバト，イカルであり，ヒヨドリが最も多かった（図 13，14）ため，これらがオオタカの主要な餌と考えられる。先行研究でもヒヨドリ，キジバトが主要な餌となっている可能性が示唆されている（関東森林管理局 2008）。

森林地帯のオオタカは林内でも採餌する（Widen 1989）ため，事例研究地の林内における好適餌種の出現個体数に着目した。2010・2011 年に営巣林であった B タイプは，2003 ～ 2004 年に比較して，2011 ～ 2012 年の好適餌種の出現個体数が減少していた（表 7，図 12）。この原因として，低木層と草本層の植被率の変化が考えられる。先行研究により森林内部の植生が鳥類の生息状況に関係することが明らかとなっている（由井 1988）。他地域のオオタカ生息地では，ヒヨドリ・イカル・カケスは低木層の中～密な林に多く，キジバト・アオバトは，低木層の中～密，草本層は無い疎な林の方が多いことが明らかとなっている（関東森林管理局 2008）。B タイプでは 2011 ～ 2012 年の方が低木層の植被率は低くなっており，草本層の植被率は高くなっていた（表 5）。低木層の植被率が低下した原因は，除伐や踏み入りの影響，草本層の植被率が増加した原因は，間伐及び除伐により立木密度が低下したことで林内の光環境が改善され，草本層の生育が旺盛になったことが考えられる。こ

のことから，施業が必ずしも好適餌種にとって好適な生息環境の形成に寄与したとは言えない。

しかしながら，全調査地点の出現個体数の平均値は 2011 ～ 2012 年の方が多く，クロス検定の結果，2003 ～ 2004 年と 2011 ～ 2012 年の好適餌種とその他の出現個体数については，有意な差がみられなかった。その理由として，全ての林齢タイプにおいて，好適餌種の餌となるサクラ類やミズキ等の樹木が亜高木層及び低木層の優占種として生育していたことから，鳥類の生息を助けている可能性が考えられる。また，営巣林の周辺には，ヒヨドリが良く利用する林縁（由井 1988；黒沢ほか 1999）や，耕作地，草地等の多様な環境が存在するため，全体として出現個体数にほとんど変化が無かったと考えられる。また，好適餌種の季節変化をみると，2003 ～ 2004 年，2011 ～ 2012 年とも好適餌種の出現個体数が最も多かったのは春季～初夏であり（図 13，14），2011 ～ 2012 年はクロス検定により有意差がみられた。この時期はオオタカの抱卵期～育雛期にあたる（環境省自然環境局野生生物課 2012）。餌重量は雛の日齢とともに増加する（Rogers *et al.* 2006）ため，この時期に出現個体数が多い，すなわち餌種バイオマス量が多いことは，オオタカの健全な育雛にとって良い環境であると考えられる。

次に，オオタカ推定行動圏における植生・土地被覆と採餌可能域の広がりについて考察する。前橋営林局（1998）は，アメリカの「オオタカの保護管理のための森林管理推奨方策」において提案されている採食行動域の構造（Reynolds *et al.* 1992）を参考にし，適切な採餌環境の構造を推測している（表 10）。これを参考に，事例研究地のオオタカの推定行動圏内における植生・土地被覆の面積をみると，森林（アカマツ林，スギ・ヒノキ植林，広葉樹林）1691.59 ha（59.82%），その他（低木林，草地，耕作地，開放水面，市街地 他）1136.29 ha（40.18%）であり，表 10 の壮齢林（50 ～ 60%），その他：伐開跡地，新植地，若齢林など（40 ～ 50%）の面積割合を満たしていた。そのため，事例研究地のオオタカの推定行動圏内には適切な採餌可能域が広がっていると考えられる。

また，植生・土地被覆の分布状況は，アカマツ林，スギ・ヒノキ植林，広葉樹林などの森林，重要な採餌環境である草地，耕作地（畑，水田）は推定行動圏内全域に分布していた。低木林，防風林，竹林，開放水面，裸地は少ない面積だが全域に飛び石状に散らばって分布していた。オオタカの推定行動圏内

に多様な環境が分散して分布していることは、採餌環境として望ましい環境である（前橋営林局 1998；環境省自然環境局野生生物課 2012）。

(2) 鳥類の種多様性と植生の関係

2011～2012年の鳥類の確認種数は、2003～2004年よりも少なかった（表6）。2011～2012年のH'は2003～2004年と比べ、通年は低く、繁殖期は高かった。母平均の差の検定より、施業前後のH'に有意な差はみられなかった。そのため、事例研究地における鳥類群集の多様性は、施業前後で大きく変化しなかったと考えられる。

森林内について、事例研究地における繁殖期の鳥類のH'平均値（森林内：2003～2004年3.517、2011～2012年3.600）を、全国190箇所余のH'（由井1988）と比較すると、暖帯・暖温帯壮齢単純人工林2.893、暖帯・暖温帯壮齢人工林（広葉樹混交）3.106、冷温帯壮齢単純人工林3.138、冷温帯壮齢人工林（広葉樹混交）3.729など他の人工林と比べても高いか同等の多様度の高さを示すことがわかった。広葉樹林と比較すると、ブナ林3.247、ミズナラ林3.666、クヌギ・コナラ林3.125（由井1988）、森吉山ブナ林の平均は3.44（鈴木2000）であり、広葉樹林と比べても高いか同等の多様度を示していた。鳥類群集は、成熟した背の高い天然林や広葉樹を交えた壮齢人工林で時に天然林より豊かになる（由井1988；樋口1996）ことや、森林の各階層がよく発達している森林で多様になること（MacArthur & MacArthur 1961）が指摘されている。事例研究地のアカマツ林は人工壮齢林であり、各階層に広葉樹が茂っているため、鳥類群集の多様性が豊かな林となったと考えられる。また、事例研究地における植生と鳥類の種多様性の関係については、GLMにより、FLDと鳥類のH'に有意な相関はみられなかった。これは、施業により各林齢タイプの植生に大きな差が生じず、均質な林内環境が維持されたため、鳥類群集の多様性にほとんど変化がみられなかったと考えられる。

森林外についても森林内のH'と同等に多様性が高かった。里地里山は多様な動植物の生息地となっている（村上2018）ことから、事例研究地とその周辺に里地里山として多様な環境が広がっていることが、多様性が高い一因であると考えられる。

(3) 鳥類に関する小括

全調査地点の鳥類の出現個体数とH'より、施業に

よる鳥類群集への大きな影響は生じていないと考えられる。また、H'は、繁殖期に高くなっており、先行研究の人工林及び広葉樹林に比べても同等か高かった。しかし、好適餌種の出現個体数がBタイプで減少していたことから、鳥類群集の今後の動向に留意することが望ましい。

3. オオタカの生息地と用材林という2側面からみたマツ林に対する森林管理の意義

種としてのオオタカは、主に北半球の環北極地域に広く分布している。日本国内の分布については、上野（2015）が全国スケール（東北以南）でのオオタカの営巣適地の予測結果を算出している。これを見ると、本州、四国、九州に広く営巣適地が広がっており、特に関東地方で生息ポテンシャルが高い。事例研究地の立地する鳥取県の生息ポテンシャルは0.5～0.8と全国的にみて高い値が算出されている。

営巣木の樹種としては海外、国内にかかわらず針葉樹をはじめとした様々な樹種を利用している（尾崎・遠藤2008）。日本国内をみると、営巣木の樹種は、アカマツ、スギ、モミ、カラマツの順に多い（尾崎・遠藤2008）。日本におけるマツ林の大半はアカマツ二次林であり、冷温帯の青森県から暖温帯の鹿児島県まで広く分布している（福嶋・岩瀬2005）。江戸期に

図 15. アカマツの胸高直径－樹高相関図
Figure 15. Pine tree diameter at breast height (DBH) and a height correlation diagram

かつて草山が広がっていた里山には、近代にはその多くはコナラやアカマツが優占する二次林に移行した（田村 1994；小椋 1996）。これに加え、アカマツ人工林は戦後の昭和 30 年頃から全国に造林された（大住 私信）。里山に広がるアカマツ林の分布と同様にオオタカの分布も全国的に里山に多く、これらの主な分布域は重なっていると考えられる。つまり、多くのオオタカは、日本全国の里地里山に広がる二次林としてのアカマツ林や戦後造成されたアカマツ人工林に分布していると考えられる。

アカマツは伝統的な和風建築の構造材、特に梁材として用いられるが、事例研究地を含む大山山麓は大山マツの産地として有名な地域であり、高級建築用材として高い評価を受けて需要が高かった（鳥取県 1962；大山町誌編集委員会 2010）。そのため、1924（大正 13）年頃からアカマツ人工林が造成・管理され、大径高木が育成されてきた（大山町誌編集委員会 2010）。そのような経緯が、オオタカに営巣林として選択される林内空間のある大径高木のマツ林を作り出したといえる。そして、間伐の結果、用材林の育成という側面から考えても 450～500 m³/ha 前後の収量が得られる大径高木を育成できる立木密度となっており、人工林の密度管理の観点からも適切であると考えられる。つまり、用材林として大径高木を育成するための管理が、オオタカの生息地保全にも寄与しており、オオタカの生息地と用材林という 2 側面をもった森林が成立したと考えられる。

しかし、1955（昭和 30）年頃から造成されたアカマツ人工林は、板材や梁材としてのアカマツ材の需要減少に伴い、供給量が減少し、現在では管理が実施されていない地域がほとんどである（大住 私信）。また、オオタカの生息環境をより適切に管理するために、営巣林の施業を実施した例はほとんどない。二次林としての性質をもつアカマツ林は、そのまま放置していると、いずれはコナラ等を主体としたナラ林、またはカシ類の優占する森林へと遷移が進む（中山ほか 2005）。また、二次林・人工林いずれのアカマツ林も性質は同様であり、オオタカの生息地保全の観点からみても、間伐、除伐などの森林管理を行うことは重要だと考えられる。

4. 今後の森林管理への提案

以上の考察をもとに、今後の短期的な森林管理計画を提案する。B タイプは営巣可能な林分として現状を維持し、そのほかの林齢タイプ、特に垂直空間が

ほとんどない又は全くない C、D タイプは除伐を行うことで、林内の飛翔空間を改善することが望ましい。

加えて、松くい虫被害木が継続して確認されているため、引き続き松枯れ対策が必要である。オオタカへの影響や生態系保全を考慮すれば、薬剤散布等の方法は用いず、枯死木の除伐及び燻蒸処理が望ましい。また、今後さらに被害が増大した場合は、スギ（*Cryptomeria japonica*）、モミ（*Abies firma*）等の代替樹種もあわせて植林することも検討の余地がある。

鳥類群集の多様性を維持するためには、林内の各階層に広葉樹が混交する壮齢人工林を維持することが重要だと考えられる。また、好適餌種の生息環境を考えると、低木層や草本層の植被率の改善や、餌となる花や実をつける樹木を残すなどの配慮が望ましい。亜高木層はオオタカの飛翔空間であるため、あまりに茂りすぎるとオオタカの飛翔を妨げる恐れがある。そのため、除伐は行いながら、鳥類群集の動向についてモニタリング調査も行うことが望ましい。

結 論

オオタカは、主として里地里山を象徴する生態系上位種である。里地里山は農地と森林がモザイク状に分布した景観を成しており、このモザイク景観がオオタカの採餌環境として利用されていた。また、里地里山の森林であるアカマツ林は、営巣環境として利用されていた。オオタカの営巣環境として重要な要素である①営巣木として利用できる大径高木の育成、②林内の飛翔空間の確保の 2 点は、用材林としてのアカマツ林の管理としても適切であり、オオタカの生息地保全と用材林育成は両立を図ることが出来ると明らかになった。

謝 辞

特定非営利活動法人日本野鳥の会鳥取県支部の皆様には、鳥類調査にご協力いただいた。また、鳥取県西部総合事務所生活環境局生活安全課の皆様には、鳥取県立大山オオタカの森における間伐等の施業履歴及び調査データの使用承認をいただいた。鳥取大学の大住克博名誉教授には、アカマツ人工林拡大の社会的背景についてご教示いただいた。記して以上の方々に感謝申し上げたい。

引用文献

- 安藤貴. 1982. 実践林業大学 XXV 林分の密度管理. 126pp. 農林出版株式会社. 東京.
- Beier, P. and Drennan, J. E. 1997. Forest structure and prey abundance in foraging areas of Northern Goshawks. *Ecological Applications* 7: 564-571.
- Boal, C. W., Andersen, D. E. and Kennedy, P. L. 2005. Foraging and nesting habitat of breeding male Northern Goshawks in the Laurentian mixed forest province, Minnesota. *Journal of Wildlife Management* 69: 1516-1527.
- Boal, C. W., Andersen, D. E., Kennedy, P. L. and Roberson, A. M. 2006. Northern Goshawk ecology in the western Great Lakes region. *Studies in Avian Biology* 31:126-134.
- Bosakowski, T., McCullough, B., Lapsansky, F. J. and Vaughn, M. E. 1999. Northern Goshawks nesting on a private industrial forest in western Washington. *Journal of Raptor Research* 33: 240-244.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. 865pp. 3. Aufl. Wien, New York. 鈴木時夫訳. 1971. 植物社会学 I, II, 朝倉書店. 東京.
- Burt, W. H. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy* 24: 346-352.
- 大山町誌編さん委員会. 1980. 大山町誌. 1284pp. 大山町長 入江正雄. 鳥取.
- 大山町誌編集委員会. 2010. 続大山町誌. 900pp. 大山町. 鳥取.
- Daw, S. K., DeStefano, S. and Steidl, R. J. 1998. Does survey method bias the description of Northern Goshawk nest-site structure? *Journal of Wildlife Management* 62: 1379-1384.
- DeStefano, S. 1998. Determining the status of the Northern Goshawks in the West: is our conceptual model correct? *Journal of Raptor Research* 32: 342-348.
- 財団法人 道路環境研究所. 2008. オオタカの人工代替巢設置に関する手引き (案). 39pp. 財団法人 道路環境研究所. 東京.
- 遠藤孝一・小金沢正昭. 1989. 林業から見たオオタカ営巣地の保護管理. *日本鳥学会誌* 37. 185.
- Finn, S. P., Varland, D. E. and Marzluff, J. M. 2002. Does Northern Goshawk breeding occupancy vary with nest-stand characteristics on the Olympic Peninsula, Washington? *Journal of Raptor Research* 36: 265-279.
- 福嶋司・岩瀬徹. 2005. 図説 日本の植生. 153pp. 朝倉書店. 東京.
- 樋口広芳. 森林と鳥の多様性. 1996. 森林科学 16(0): 34-38.
- 平井克亥・瀧本育克・柳川久. 2008. 北海道十勝地方におけるオオタカとハイタカの営巣環境とその保全. 第7回「野生生物と交通」研究発表会 講演論文集. 51-56.
- 堀江玲子・遠藤孝一・野中 純・船津丸弘樹・小金澤正昭. 2006. 栃木県那須野ヶ原におけるオオタカの営巣環境選択. *日本鳥学会誌* 55(2): 41-47.
- 堀江玲子・遠藤孝一・山浦悠一・尾崎研一. 2008. 栃木県におけるオオタカ雄成鳥の行動圏内の環境選択. *日本鳥学会誌* 57(2): 108-121.
- 環境庁自然保護局野生生物課. 1996. 猛禽類保護の進め方: 特にイヌワシ, クマタカ, オオタカについて. 87pp. 公益財団法人 日本鳥類保護連盟. 東京.
- 環境省自然環境局野生生物課. 2012. 猛禽類保護の進め方 (改訂版): 特にイヌワシ, クマタカ, オオタカについて. 88pp. 環境省自然環境局野生生物課. 東京.
- 関東森林管理局. 2008. オオタカの営巣地における森林施業2: 生息環境の改善を目指して. 169pp. 一般社団法人 日本森林技術協会. 東京.
- 吉良竜夫. 1949. 日本の森林帯: 林業解説シリーズ 17. 42pp. 日本林業技術協会. 東京.
- 小俣信一郎. 1999. 37 の事例から見たオオタカの営巣環境. *PREC STUDY REPORT Vol.05*: 40-41.
- 近藤芳五郎. 1995. 山陰のマツ: 戦後 50 年をふりかえって. 181pp. 近藤芳五郎. 鳥取.
- 黒沢令子・Robert A. Askins. 1999. 林縁と林内の鳥類群集の違い: 日本に林内種はいるか?. *山科鳥類研究所研究報告* 31(2): 63-79.
- MacArthur, R. H. and MacArthur, J. W. 1961. On Bird Species Diversity. *Ecology* 42: 594-598.
- 前橋営林局. 1998. オオタカの営巣地における森林施業: 生息環境の管理と間伐等における対応. 142pp. 一般社団法人 日本林業技術協会. 東京.
- 松江正彦・百瀬 浩・植田睦之・藤原宣夫. 2006. オオタカ (*Accipiter gentilis*) の営巣密度に影響する環境要因. 平成 18 年度日本造園学会全国大会研究発表論文集 24. *ランドスケープ研究* 69(5): 513-518.

- 宮脇昭・奥田重俊・藤原一絵・鈴木邦雄. 1979. 中国地方の潜在自然植生図. 3pp. 環境科学特別研究総合班. 東京.
- 村井英紀・樋口広芳. 1988. 森林性鳥類の多様性に影響する諸要因. *Strix* 7: 83-100.
- 村上拓彦. 2018. 農地を囲む土地利用の空間分布パターンと里地里山の生物多様性保全. *日本リモートセンシング学会誌* 38(3): 266-268.
- 農林水産技術会議事務局. 2003. アンブレラ種であるオオタカを指標とした生物多様性モニタリング手法の開発に関する研究. 環境保全研究成果集 415. 29. 1-29. 17.
- 小椋純一. 1996. 植生からよむ日本人のくらしー明治期を中心に. pp.246. 雄山閣出版. 東京.
- 尾崎研一・遠藤孝一. 2008. オオタカの生態と保全. 147pp. 一般社団法人日本森林技術協会. 東京.
- Pielou, E. C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience.
- Recher, H. F. 1969. Bird species diversity and habitat diversity in Australia and North America. *American Naturalist* 103: 75-80.
- Reynolds, R. T., Graham, R. T., Reiser, M. H., Bassett, R. T., Kennedy, P. L., Boyce, D. A., Goodwin, G., Smith, R. and Fisher, E. L. 1992. *Management Recommendations for the Northern Goshawk in the Southwestern United States*. RSDA Forest Service. General Technical Report RM. 217.
- 林野庁. 2017. 平成29年版 森林・林業白書. 314pp. 全国林業改良普及協会. 日本.
- Rogers, A. S., DeStefano, S. and Ingraldi, M. F. 2006. Diet, prey delivery rates and prey biomass of Northern Goshawks in east-central Arizona. *Studies in Avian Biology* 31: 260-273.
- 佐藤義明. 1971. 優しい測樹の実務. 214pp. 農業図書. 東京.
- 四手井鋼英・佐野宗一. 1973. 松と人生. 297pp. 明玄書房. 東京.
- Squires, J. R. and Kennedy, P. L. 2006. Northern Goshawk ecology: an assessment of current knowledge and information needs for conservation and management. *Studies in Avian Biology* 31: 8-62.
- 鈴木祥悟. 2000. 森吉山ブナ林の繁殖鳥類群集. 東北森林科学会誌 5(1): 27-30.
- 鈴木貴志. 1999. 北海道十勝平野におけるオオタカ *Accipiter gentilis* の営巣環境. *日本鳥学会誌* 48(2): 135-144.
- 田村説三. 1994. まぐさ場（稗場）の植生とまぐさ場期限の二次林. 埼玉県自然史博物館研究報告 12: 73-82.
- 鳥取県. 1962. 鳥取県の林業 1962 年版. 19pp. 鳥取県. 鳥取.
- 鳥取県農林部農業指導課. 1974. 大山山ろく開発地域土地分類基本調査: 赤崎・大山. 50pp. 鳥取県農林部農業指導課. 鳥取.
- 鳥取県生活環境部公園自然課. 2012. レッドデータブックとっとり改訂版: 鳥取県の絶滅のおそれのある野生動植物. 337pp. 鳥取県生活環境部公園自然課（鳥取県生物学会編）. 鳥取.
- 内田博・高柳茂・鈴木伸・渡辺孝雄・石松康幸・田中功・青山信・中村博文・納見正明・中嶋英明・桜井正純. 2007. 埼玉県中央部の丘陵地帯でのオオタカ *Accipiter gentilis* の生息状況と営巣特性. *日本鳥学会誌* 56(2): 131-140.
- 植田睦之・百瀬浩・山田泰広・田中啓太・松江正彦. 2006. オオタカの幼鳥の分散過程と環境利用. *Bird Research* 2(0): A1-A10.
- 上野裕介・栗原正夫. 2015. 広域スケールでのオオタカの生息適地予測の有効性と空間的汎用性・地域性の課題. *ランドスケープ研究* 78(5): 647-650.
- Widen, P. 1989. The hunting habitats of Coshawks *Accipiter gentilis* in boreal forests of central Sweden. *Ibis* 131: 205-213.
- 山中勤・松尾大悟・矢野翠・角張順一・飯田真一・涌井久司・清水亮介・田中正. 2005. 遷移過程のアカマツ二次林における植物種間の根系分布の差異. 筑波大学陸域環境研究センター報告 No.6: 39-44.
- 由井正敏. 1974. 繁殖期における小鳥類の生息数調査法に関する研究. 森林総合研究所林業試験場研究報告 264: 13-84.
- 由井正敏. 1988. 森に棲む野鳥の生態学. 237pp. 創文. 東京.
- 由井正敏・鈴木祥悟・青山一郎. 1989. 森林原野性鳥類のラインセンサス法の研究 IX スポットセンサス法との比較. *山階鳥研報* 21: 208-223.