

# モニタリングサイト1000森林・草原調査 2004-2017年度とりまとめ報告書





# 表紙写真

キビタキ (撮影:森本元)	晩生内サイトの景観(撮影:葉 山政治)
	苫小牧サイト の落葉(撮 影:丹羽慈)キタクロナガ オサムシ(撮 
三之公サイトの 景観(撮影:甲山哲生)	トの景観(撮影:星崎和彦)

# はじめに

本報告書は、調査開始から5年を区切りとしてこれまでの成果をとりまとめ、関係する行 政機関、個人、団体などに周知し、日本における森林・草原の現状を伝えるものである。

「モニタリングサイト 1000 (重要生態系監視地域モニタリング推進事業)」は、平成 14 (2002) 年に策定された生物多様性国家戦略に基づき、平成 15 (2003) 年度から開始された。その目的は、わが国の代表的な生態系の状態を長期的かつ定量的にモニタリングすることにより、種の増減、種組成の変化などを検出し、適切な生物多様性保全施策に資することである。平成 22 (2010) 年に愛知県名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議 (COP10) では、生物多様性に関する世界目標となる愛知目標が採択され、各国はその達成に向けた国別目標を設定し、生物多様性国家戦略に反映することが求められた。わが国では、平成 24 (2012) 年に愛知目標のロードマップとなる「生物多様性国家戦略 2012-2020」が策定された。このロードマップの重点施策の基本戦略の中に、新たに「科学的基盤を強化し政策に結びつける」ことが加えられ、モニタリングの重要性があげられている。

モニタリングサイト 1000 には、それぞれの生態系の状況を長期的かつ定量的に調査できる調査体制を構築し、維持することが求められている。そのため、研究者や地域の専門家、NPO、市民ボランティアなど、多様な主体の参加により調査が実施されている。調査で得られたデータは、モニタリングサイト 1000 のウェブサイトなどを通じて広く一般に公開され、行政の施策をはじめ、現地のさまざまな関係者に提供され、保全活動や教育現場などでも活用されつつある。

モニタリングサイト 1000 森林・草原調査 (以下、「森林・草原調査」という) は、モニタリングサイト 1000 のなかでも森林生態系及び草原生態系を対象とし、樹種、胸高周囲長、地表徘徊性甲虫の個体数を調べる「森林・草原調査」、樹木の落葉・落枝量、落下種子量を調べる「炭素循環動態把握調査」、陸生鳥類の種数と個体数を調べる「陸生鳥類調査」の3部門で構成され、2004年から調査を開始している。現在は、自然性の高い森林生態系を対象に主に大学研究林等に設置した20か所のコアサイト (毎年、全調査項目を実施)と28か所の準コアサイト (5年に1度、樹種、胸高周囲長、鳥類調査を実施)、市民調査員等を主体とした約420か所の一般サイト (5年に1度、鳥類調査等を実施)の3種類があり、調査頻度や調査項目に強弱をつけて実施し、各部門の調査結果に基づく総合的な森林生態系及び草原生態系の現状評価を行っている。

最後に、本調査の実施に当たっては、各サイトにおける代表者及び調査員の皆様、検討委員及び解析ワーキング・グループ委員の皆様に多大なご尽力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

# 1. 森林・草原生態系の指標生物群

本調査では、森林・草原生態系の変化を把握するため、指標となる生物群として、樹木、地表徘徊性甲虫及び鳥類を選定した。樹木は、自ら移動できず、寿命が長いため、直径成長量、死亡率や種子生産量の変化が地球温暖化等の長期的環境変化の指標となると考えられる。地表徘徊性甲虫は、移動分散能力が低く、寿命が短いため、個体数や種構成の変化が、短期的な環境変化、特に土壌環境の変化の指標になると期待される。鳥類は、移動能力が高く、個体の生息範囲が樹木や甲虫類と比べ格段に大きいため、個体数、種構成、分布域の変化が、気候変動や広域的な環境変化の指標となると考えられる。全体として、一次生産、高次生産、分解などの生態系全体の変化や、短期及び長期の変化が広域的に把握できるように設計されている。

#### 2. サイト配置状況

コアサイト、準コアサイト、一般サイトの3種類を設けている(図1及び図2)。コアサイト及び準コアサイトは指標生物群間の関係性に留意し、生じた変化の関係性や影響要因の検討を目指しているため、自然性の高い森林生態系を対象としている。一般サイトは移動性の高い鳥類の分布の変化をはじめ、さらに広域多地点の異変を捉えることを目指し、森林と草原生態系を対象としている。

#### 3. 調査方法

毎木調査、落葉落枝・落下種子調査、地表徘徊性甲虫調査、鳥類調査を行った。コアサイトでは毎年、全調査項目を実施し、準コアサイトでは5年に1度、毎木調査および鳥類調査を実施した。一般サイトでは、市民調査員による協力体制のもと、鳥類調査等を5年に1度実施した。

#### 4. 森林・草原生態系の現状と課題と解析の方向性

現在、様々な環境条件の変化に晒されている日本の森林の現状とその動向を把握するため、"生物多様性の4つの危機"との関係を整理した上で、気候変動(第4の危機)、人による自然への働きかけの縮小・撤退(第2の危機)、外来種(第3の危機)について、各々の影響による変化傾向を把握するための解析を行った(なお、開発や乱獲など人為の影響が要因となる第1の危機については、本事業の調査サイトが開発や伐採等の影響を受けにくい場所を中心に設定しており、得られたデータから人為の影響による変化を把握することは難しいため、関係する解析は行っていない)。

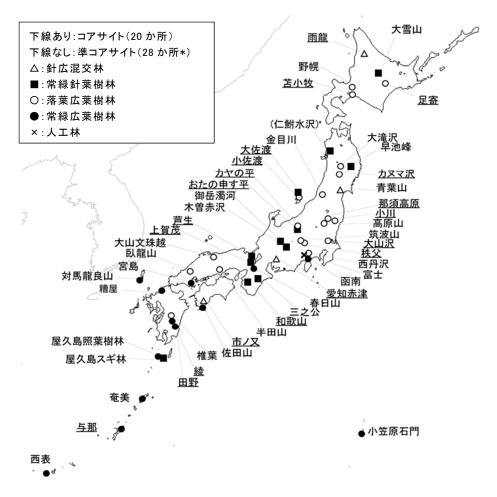


図 1 コアサイト・準コアサイトの配置状況

複数調査区がある場合は毎年調査している調査区の森林タイプを表示している。 \* 仁鮒水沢は 2010 年度で調査を終了した。

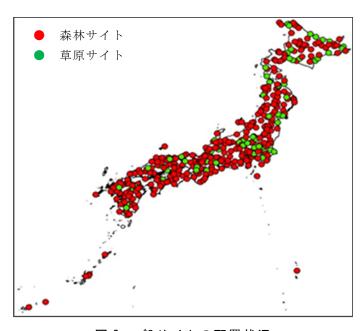


図2 一般サイトの配置状況

#### 5. 森林・草原生態系の変化状況

#### (1) 気候変動

「動植物分布域の高緯度・高標高への移動、縮小・拡大」「生物の成長量、個体数・種数の変化」「炭素循環の変化」「生物の季節性・生育期間の変化」「種子生産量の変化」という5つの視点で解析した。

#### 1) 動植物分布域の、高緯度・高標高への移動、縮小・拡大

#### ① 樹木の新規加入率、死亡率及び個体数変化と気温との関係

パラメータとして取り上げた樹木の新規加入率及び死亡率は、気温の影響よりも台風などの攪乱による影響が大きいことが示された。一方、樹種タイプ(生活形)組成をみるとより温暖な気候に生育する樹種タイプの個体数(幹数)が増加している傾向がみられた。図3に、各サイトの樹種タイプの割合の変化と年平均気温との関係を示した。

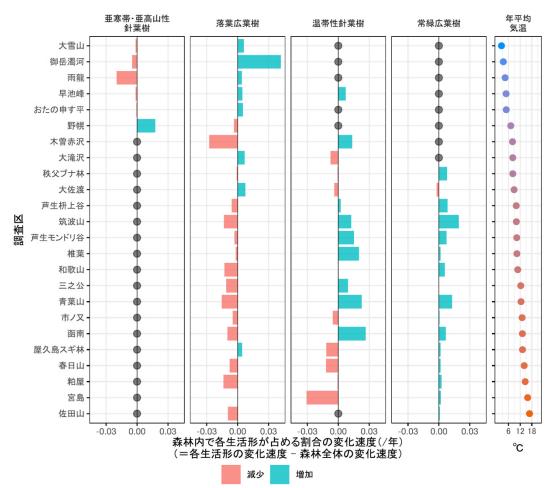


図3 複数の生活形で構成される調査区における、各生活形の割合の変化

全体の 95%以上をいずれかの生活形が占める調査区を除いた、成熟林および古い二次林の調査区を対象とし、各生活形の幹数の変化速度と、調査区全体の変化速度の差を計算した。 亜寒帯・亜高山帯性針葉樹にはアカエゾマツ、エゾマツ、トドマツ、シラビソ、オオシラビソ、トウヒ、コメツガ、カラマツが含まれ、温帯性針葉樹はモミ、ツガ、スギ、ヒノキなどが含まれる。 黒丸は該当する生活形の樹種が分布しないことを示す。

#### ② 地表性徘徊性甲虫の広域分布種の個体数変化と気温との関係

広域分布種8種の内5種で「寒冷な地域での捕獲個体数の増加傾向」が、その内2種で「温暖な地域での減少傾向」がみられた。飛翔能力を欠く地表徘徊性甲虫での結果は、この対象種群の、生態系への斬新的な気候変動の影響についての指標としての有用性を示す可能性がある。

#### ③ 鳥類分布域の高緯度・高標高域への移動・拡大

亜種リュウキュウサンショウクイの分布は 1980 年代には九州南部に限られていたが、 本調査の期間中に、確認される場所が広がった(図4)。一方、亜種サンショウクイの分布 域は縮小している傾向がみられた。

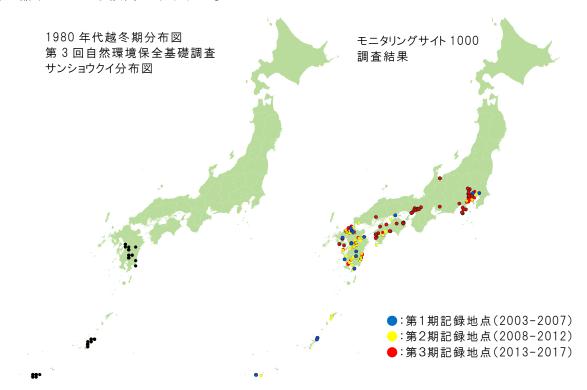


図 4 亜種リュウキュウサンショウクイの分布の変化

1980 年代の記録は種サンショウクイの記録だが、越冬期の分布のため冬期も日本に生息している亜種リュウキュウサンショウクイの分布を示していると考えられる。

#### 2) 生物の成長量、個体数・種数の変化

#### ① 樹木の単年あたりの成長量とその年の気温との関係

解析対象とした 62 種のうち 51 種で推定結果が得られた。樹種によって直径成長と年平均気温の関係は異なり、関係性のみられない種 (25 種)、正の関係のある種 (14 種)、負の関係がある種 (4 種)、一山型の関係を示した種 (8 種) がみられた。

#### ② 地表徘徊性甲虫の個体数変化とリター供給量、林床環境、気象との関係

属・科レベルの個体数変化状況を解析した結果、分類群により個体数の増減傾向に差があることが明らかとなった。第2期から継続して全国的なPterostichus 属(寒冷な気候で多い)の減少傾向と、Synuchus 属(温暖な気候で多い)の増加傾向が確認された。

#### ③ 鳥類の個体数・種数について過去との比較による変化の検出

繁殖期の調査からは、キビタキ・ソウシチョウ (外来種) に増加傾向がみられ (表1)、 林縁や明るい林を好むホオジロやメジロなどが減少する傾向がみられた (表2)。 気温変化 などとの関係は明らかではなかったが、森林の遷移による影響の可能性がある。

表 1 森林・繁殖期における増加が大きかった上位 10種 (N=319 サイト)

種名	出現率の変	動順位と変動量		個体数の均	<b>曽</b> 減
キビタキ	1	+10.66%	増加	P<0.05*	N=250
アオバト	2	+6.58%	_	P=0.06	N=132
ソウシチョウ	3	+5.96%	増加	P<0.01*	N=118
アカゲラ	4	+5.33%	_	P=0.86	N=139
センダイムシクイ	5	+5.33%	_	P=0.95	N=176
オオアカゲラ	6	+4.08%	増加	P<0.01*	N=41
カケス	7	+4.08%	増加	P<0.01*	N=204
ツツドリ	8	+3.76%	増加	P<0.01*	N=126
キジバト	9	+3.13%	_	P=0.85	N=250
サンコウチョウ	10	+3.13%	_	P=0.96	N=103

<sup>※ \*</sup>は個体数に有意な差が検出された種。表1-2も同様。

表 2 森林・繁殖期における減少が大きかった上位 10種 (N=319 サイト)

種名	出現率の変	出現率の変動順位と変動量			個体数の増減		
ホオジロ	1	-5.96%	減少	P<0.01*	N=201		
ホトトギス	2	-5.64%	減少	P<0.01*	N=179		
メジロ	3	-4.39%	減少	P<0.05*	N=234		
モズ	4	-4.08%	減少	P<0.05*	N=52		
ミソサザイ	5	-3.15%	_	P=0.06	N=124		
ハシブトガラ	6	-3.15%	減少	P<0.01*	N=28		
ハシボソガラス	7	-2.82%	_	P=0.07	N=146		
ゴジュウカラ	8	-2.82%	_	P=0.35	N=96		
メボソムシクイ	9	-2.51%	_	P=0.19	N=39		
ハクセキレイ	10	-2.19%	_	P=0.19	N=33		

#### 3) 炭素循環の変化

#### ① 地上部バイオマス

地上部現存量の変化と気温変動との間には有意な関係がみられ、対象となる期間の年平 均気温が高いほど、地上部現存量が増加する傾向を示した(図5)。

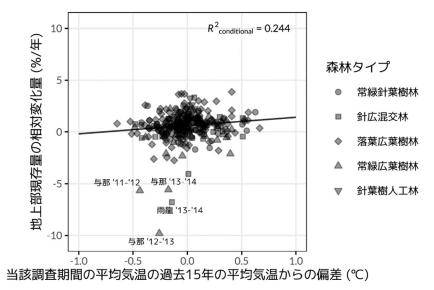


図 5 地上部現存量の相対変化量と気温変動(偏差)との関係

#### ② リター生産量、落葉堆積量など

リター生産量と個体成長による地上部現存量の増加量には有意な相関がみられ、また、 年平均気温が高い地域の森林ほど(両者の合計である)純一次生産量が大きくなる傾向が あった(図 6)。一方、リター生産量、落葉堆積量、土壌炭素濃度、セルロース分解速度と もに、それら自体と気温の年変動との明確な関係はみられず、短期的には台風などによる 攪乱の影響が大きいことが認められた。

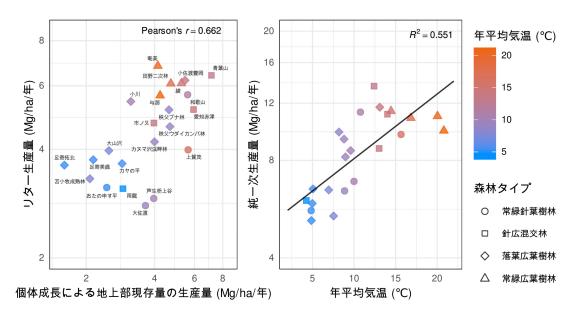


図 6 各調査区におけるリター生産量と個体成長による地上部現存量の生産量の関係 (左図)、 及び、純一次生産量と年平均気温の関係 (右図)

#### 4)生物の季節性・生育期間の変化

#### ① 落葉時期の年変動と気温との関係

調査地の平均気温と落葉時期との間に関係が認められ、気温の高い年ほど、常緑針葉樹林、針広混交林、落葉広葉樹林では秋季の落葉時期が遅くなった。一方、常緑針葉樹林と常緑広葉樹林の春季の落葉時期と気温変動の関係は明瞭ではなかった(図7)。

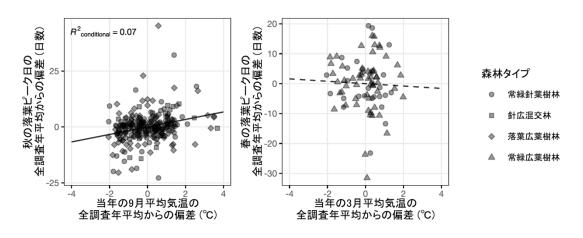


図 7 秋・春の落葉ピーク日と当年9月・3月の平均気温の年変動の関係

各点は推定された落葉ピーク日を示し、線形混合モデルで気温との有意な関係が検出された場合の回帰線を実線で、有意でなかった場合を破線で示す。

#### ② 主要樹種の種子落下時期の年変動と気温との関係

第2期までの結果と同様、コナラ属、カエデ属、カバノキ属では、気温が高いほど種子 落下時期のピークが遅い傾向がみられた(図8)。

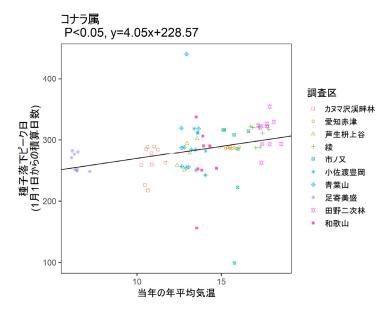


図8 コナラ属の種子落下ピーク日と年平均気温の関係

各点は推定された種子落下ピーク日を示し、実線は線形混合モデルで推定された回帰直線を示す。

#### ③ 鳥類のさえずり頻度の季節変化、年変動

キビタキのさえずりの活発な時期とヤマガラの巣立ち日について、気温との関係を解析した。キビタキのさえずりは、4月の平均気温が高いほど早くなり(図9)、ヤマガラの巣立ち日は4月末までの積算気温が大きいほど早くなる傾向が認められた。

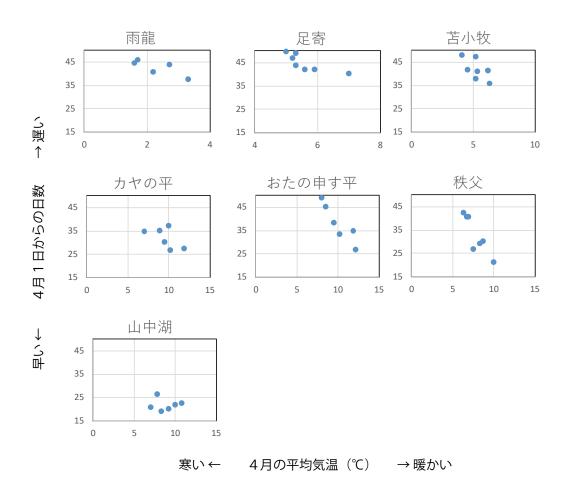


図 9 キビタキのさえずりの活発な時期と4月の平均気温との関係

#### 5) 種子生産量の変化

### ① 主要樹種の種子生産量の年変動と同調性

解析には、ブナ科、カバノキ科などの樹種のうち、複数の調査区で十分な情報が得られた種を主な対象として解析した(図 10)。同じ種の広範囲にわたる同調や、分類的には遠縁である種が調査区内という狭い範囲で同調する傾向がみられ、豊凶の同調性の年変動について知見を集積した。今後の追跡調査により、気温変化などの影響予測へ貢献すると考えられる。

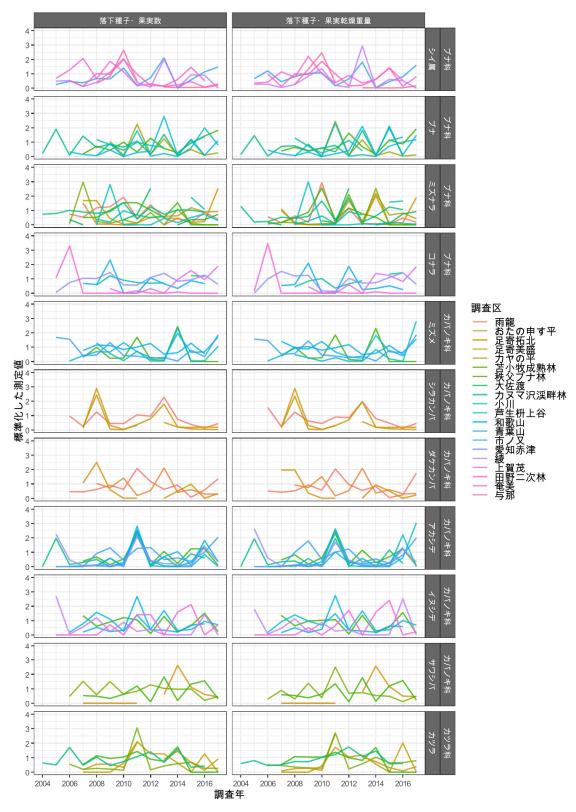


図 10 主要樹木種の各調査区における種子・果実生産量の年変動

#### 6) 気候変動による変化についてのまとめ

本事業を通じて、気候変動による漸進的な変化(平均気温の変化(上昇)、降水量の変化など)への森林・草原生態系の反応については、樹木の生活形ごとの割合、地表徘徊性甲虫の分類群ごとの個体数に、気温上昇も一因と考えうる経年変化が確認された。気候帯別に変化をまとめると、亜寒帯・亜高山帯の森林では、亜寒帯・亜高山帯性針葉樹の割合が減少し、落葉広葉樹の割合が増加する傾向にあった。冷温帯と暖温帯の移行帯の森林では、落葉広葉樹の割合が減少する一方で、常緑広葉樹と温帯性針葉樹の割合が増加し、また冷温帯の森林で優占度の高い Pterostichus 属の甲虫が減少する一方で、より温暖な森林で優占度の高い Synuchus 属の甲虫が増加する傾向にあった。

さらに、地上部バイオマスの増加率、落葉・種子の落下時期、鳥類の繁殖時期に、気温との関係が認められた。多くは、個別のサイトで固有の事項ではなく全国に配置したサイトを通じての解析によって、明らかになった。一方、樹木の加入率・死亡率やリター供給量に関する解析で示されているように、台風などの極端な気象イベントによる影響が大きいことも明らかとなった。こうした「気候変動」の影響を把握・予測するために、漸進的な変化と台風などによる大規模な攪乱とを考慮に入れる必要がある。特に、回復過程についてのモニタリングからは、有効な情報が得られる。

#### (2) 自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による生物間相互作用の変化

「病虫害の発生状況の変化」、「シカの分布拡大・密度増加」、「植生環境の変化」という 3つの視点で解析した。

#### 1) 病虫害の発生状況の変化

森林に対する人の利用と管理の減退等により、病害虫害が多く発生しているとの報告がある。本調査では病害虫害の状況について、各期に調査サイトを対象にアンケート調査を行っている。今回の解析に当たっては、アンケート結果と、個別サイトでの経年データとを用いた。

#### ① コアサイト・準コアサイトでの状況

全時期を通じて、サイトの約4割に当たる 20 サイトで大規模な病虫害が発生した (表3)。この内の半数以上の11 サイトからは生態系に顕著な影響が生じたとの回答があり、これらはすべてマツ枯れ・ナラ枯れによるもの (各6、7サイト、重複あり) だった。 第3期では第2期と比べ、新たな大規模病虫害の発生は少なかったため、回復過程についての情報が得られた。

表 3 コアサイト・準コアサイト及びその周辺の森林における大規模な病虫害の発生状況

発生開始年	マツ枯れ	ナラ枯れ	食葉性昆虫の大発生
1970~1989	<u>愛知赤津</u> ** 上 <u>賀茂</u> * <u>宮島</u> 糟屋		
1990~2002	<u>小佐渡</u> * <u>筑波山</u>	<u>小佐渡</u> *	
2003~2007 (第1期)		<u>芦生</u> ** 上賀茂 春日山	
2008~2012 (第2期)	奄美	カヌマ沢 金 <u>目川</u> 愛知赤津** 屋久島照葉樹林**	足寄(マイマイガ・カラマツハラアカハバチ) 苫小牧(カラマツハラアカハバチ)** 金目川(ウェツキブナハムシ)** 高原山(ブナハバチ)** 与那(タイワンハムシ)
2013~2016 (第3期)		<u>田野</u>	苫小牧(カシワマイマイ)**
不明	青葉山 佐田山 椎葉	青葉山	

サイトへのアンケート調査等に基づく。

下線: 生態系に顕著な影響が生じているサイト。

\*調査区内で発生、\*\*調査期間中に調査区内で発生。

#### ② 愛知赤津サイトの状況の解析

特にナラ枯れの影響が顕著にみられた愛知赤津サイトについて、第3期で回復過程のデータが得られた。

地上部現存量の変化をみると、2010年度に発生したナラ枯れにより、2014年度までに約10%減少した(図 11)。その後、第 3 期に入ってからの測定では、回復傾向に転じ <math>2017年度には 2010年度の 5%減までに回復した。 7 年間で減少の半分、回復したことになる。

地表徘徊性甲虫の個体数は、2010 年度のナラ枯れの後、2015 年度まで顕著な増加がみられた(2015 年度ではナラ枯れ前の約 9 倍、図 12)。これは樹木が枯死することで材リターが供給され、甲虫類およびその餌である土壌動物類の生息環境・餌資源にプラスに働いたためと考えられる。この傾向は 2016 年度には終息し、2016 年度・2017 年度の個体数はナラ枯れ前の水準へと戻った。

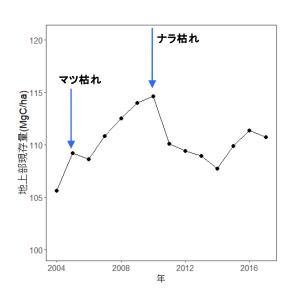


図 11 愛知赤津調査区における地上部現 存量の調査開始時からの変化

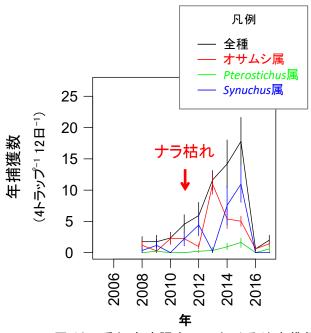


図 12 愛知赤津調査区における地表徘徊 性甲虫類の捕獲数

(5サブプロットの平均 ±標準誤差)の経年変化

単純に比較すれば、樹木の地上部現存量についてはナラ枯れによって減少した分の半分程度が7年後まで回復し、地表徘徊性甲虫の個体数は一時増加したものの、6年間でナラ枯れの発生前に戻ったという結果になる。しかし傾向が安定したものなのかを判断するためには、今後の観測データを見る必要がある。

#### 2) シカの分布拡大・密度増加

全国でのシカの分布拡大・密度増加とそれによる農林業被害が問題となっている。また、自然植生への影響・個別種への「食害」が問題視されることがある。シカの分布拡大・密度増加の要因としては、狩猟者の減少、特に経営効率の低い中山間農業地域からの人口流出、等があげられてはいるが、明確に原因は示されてはいない。ここでは、原因を「多くは人間社会の側の問題」と捉え、「自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による生物相互作用の変化」として解析した。

前述の病虫害と同様各期に、コアサイト、準コアサイトへシカの影響についてのアンケートを行い、その結果に基づき解析を行った。

#### ① 樹木への影響

アンケート調査では、全サイト(48 サイト)の 54%に当たる 26 サイトからシカが生息 しているとの回答があった。その内 13 サイトからはシカの影響が、「顕著」または「やや 顕著」という回答があった。

シカの分布範囲内のサイトでは、「樹皮剥ぎ」等により特定樹種の更新への影響が大きいことが明らかとなった(図 13)。シカによる影響は、第2期でも認められたが、未だ続いていると考えられる。

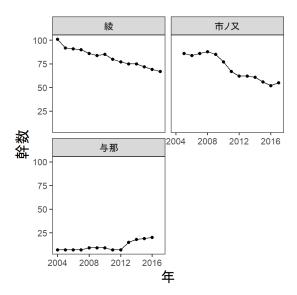


図 13 シカによる樹皮剥ぎが多いアオガシ(ホソバタブ)の幹数の経年変化 シカの影響が確認されている市ノ又サイトと綾サイトは幹数が減少しているが、シカが生息していない与那サイトで は微増している。

#### ② 鳥類への影響

コアサイト・準コアサイトでは、藪を利用する種の個体数が減少している傾向が第2期に引き続きみられている(図 14、15)。また、それらの種に依存する托卵性の鳥類への影響も示唆されている。シカの影響が顕著でないサイトにおいては藪を利用する鳥類でのこうした傾向は認められなかった(図 16:コマドリはシカの影響が顕著ではないサイトでは確認されなかったため示していない)。

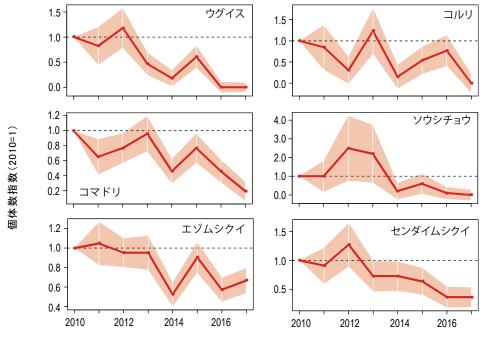


図 14 大山沢サイトで減少している下層植生を利用する鳥類

2010年の個体数を1とした相対的な個体数指数。線が推定値,網掛けが信頼区間。図15と図16も同様。

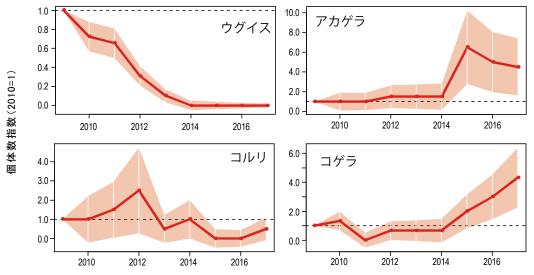


図 15 苫小牧で減少している下層植生を利用する鳥と増加しているキツツキ類

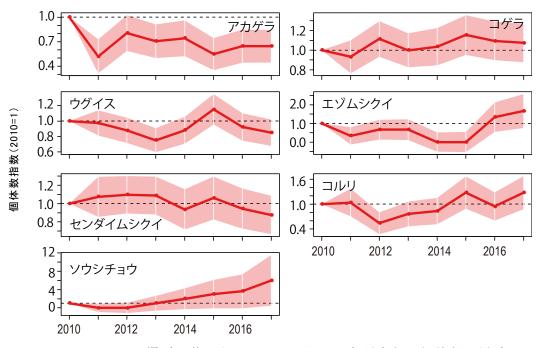


図 16 シカの影響が顕著でないサイトにおける各種鳥類の個体数の増減

#### 3) 植生の変化

特に二次草原(茅場など)において、人の働きかけの縮小・撤退によって森林への遷移が進んでいる。また前述のとおり、シカの影響等により森林・草原の植生の変化が起こっている。これらが、生息する鳥類に対し、どの様な影響を及ぼしているかについて解析した。一般サイトの鳥類データの状況からは、最も個体数変化が大きかったキビタキ・ハシブトガラスについて出現傾向と植生の変化との関係を解析したが、明確な傾向は得られなかった。

#### 4) 自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による生物間相互作用の変化のまとめ

第2の危機が森林・草原生態系へどのように関係しているかを、病虫害の発生、シカの 分布拡大・密度増加、植生の変化の3つの視点で継続して観測し、その影響を定量的に把 握した。

「病虫害」に関しては、その回復過程をある程度把握することが出来た。森林・草原生態系への「病虫害」の影響と、その影響からの回復能力を把握する上で、基礎情報を収集しその持続的なモニタリングを行うことが有効であることを示した。

「シカの影響」に関しては、各地の調査サイトで対象とした各生物群への影響が第2期 にも認められたが継続・拡大していることが、一定程度定量的にも示唆された。

「植生変化」の影響については、今回の解析では鳥類の一定の要因による明瞭な傾向は 把握できなかったが、長期的な影響を含め、今後の情報集積によって影響の多少がみえて くると思われる。

#### (3) 外来種の影響

コアサイト及び準コアサイトでの外来種の状況については、病虫害・シカの影響と同じく、各期のとりまとめごとにアンケートで各サイトから情報を収集している。また、一般サイト及び周辺の森林への外来種の侵入状況について解析した。

#### 1) コアサイト・準コアサイト

外来種の侵入は、回答のあった 40 サイトの内 14 サイト (35%) から報告された。哺乳類では、アライグマ、ハクビシン、クマネズミなど、鳥類では、ソウシチョウ、ガビチョウなどが報告されている。植物では、モウソウチク、オオハンゴンソウなどが確認されている。 亜熱帯の島嶼部のサイト (与那・小笠原石門) では樹木を含む多くの外来種が侵入し、生態系に深刻な影響を及ぼしているが、一部については駆除などの対策が進み改善の兆しもみられる。

#### 2) 一般サイト及び周辺の森林への外来種の侵入状況

ガビチョウ・ソウシチョウについて、分布の変化と一般サイトの調査結果を用いて個体数の変化を解析した。その結果、両種とも分布を拡大しており(図 17)、サイトにおける個体数も増加傾向がみられた。また、ガビチョウは積雪のある地域まで分布している可能性がある。

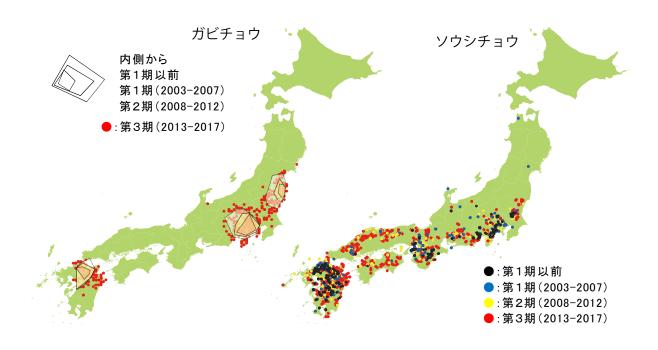


図 17 ガビチョウとソウシチョウの分布の変化

#### 3) 外来種の影響のまとめ

外来種の侵入による森林・草原生態系への影響について、コア・準コアについては各サイトで確認された外来種の状況をアンケート調査に基づいて、一般サイトについては既に 分布を拡大している外来種の状況をデータに基づいて整理した。

哺乳類では、アライグマ・ハクビシン・クマネズミなどが多くのサイトで確認されており、鳥類では、ガビチョウ・ソウシチョウが報告された。一般サイトを含めた分布情報からは、ガビチョウ・ソウシチョウの分布範囲は広がっており、第2期の結果と比べ推定分布域は増加した。外来種の対策や長期的な計画策定のためには、現在進行している外来種による生態系への影響を、定量的且つ継続的に把握していく必要がある。

#### 6. 第4期に向けた課題と展望

#### (1) サイト配置及び調査手法の改善

第2期に設置が完了したサイト数を維持しており、指標生物群と各指標生物の調査手法がほぼ確立し、第3期は継続して調査を実施している。

第2期とりまとめで調査手法上の課題となっていた落下種子調査で種子の健全性の判別に時間を要する件について、未同定や不確かなサンプル情報の記録を残すことや一部のサイトを対象とした講習会を開催する等の対応を行った。その他、森林の景観変化を記録するための定点写真の撮影方法を検討し、毎木調査マニュアルを改訂した。

調査予算や体制面から調査未実施のサイトや継続が困難な遠隔地のサイトも生じているが、国立公園や世界自然遺産登録地などに含まれ、調査継続が特に重要と考えられるサイトもあることから、今後、調査の継続に向けた検討が必要である。また、一般サイトでは自然災害により通行不能となった林道などが復旧されず調査できないサイトが増える可能性があり、サイトの変更等の対応も必要となる。調査手法の改善策として、落葉落枝・落下種子調査の仕分け作業やサイト間の精度のすり合わせに必要な支援ツールを作成してホームページ上で共有すること、特定の地域や森林タイプのサイトを対象とした講習会の開催などの取組みを検討していく。

#### (2) 持続可能な調査体制

コア・準コアサイトでは、研究者主体あるいは研究者と地元 NPO の協働で現地調査を実施し、ネットワークセンターが調査の支援とデータの整理を実施する体制が構築されている。また、コア・準コアの鳥類調査と一般サイト (陸生鳥類調査) では、研修会等で要請された調査員による調査体制が構築されている。

しかしながら、第3期までに後継者の不在や調査員の減少等で、計画通りの調査が難しいサイトが生じつつある。新たな担い手を確保するため、試験的な自然環境系専門学校のインターンシップ導入や、鳥類調査の研修会を各地で開催する等の取組みを行った。また、マニュアルに含まれない調査手法の細部について、各サイトが個別の事情で対応すると、手法や精度の統一が難しくなることが懸念されたため、ホームページ上で作業の細部、対処手法等を記録し、情報共有するシステムを検討した。また、一部のサイトを対象に落葉落枝・落下種子の仕分け講習会を実施した。調査員の意欲維持のための取組みとして、事業の認知度不足を改善するため、学会の集会やシンポジウム等を開催し、事業成果の普及や調査結果活用を促すための取組みを行った。特に鳥類調査では、研修会で調査員同士が交流できるよう調査や活動の発表の場を設けた。その他、年4回行っている地表徘徊性甲虫調査の回数を減らした場合の調査精度を検証した。

第4期に向けては、生態系の観測を長期に渡り継続するために、調査員の適切な確保と世代交代が必要となる。第3期に実施した数々の前述の取組みは、調査員を確保し、負担を軽減し、支援するために試行検討中のものであり、引き続き検討が必要である。

#### (3)情報の共有・管理及び発信

本事業は、生態系の異変をいち早く捉え、生物多様性の保全施策に貢献することを目標とするため、得られた調査成果を適切に管理・発信し、より幅広い主体と成果を共有することが重要である。データの帰属や取扱いと管理体制、標本の保管の体制は第2期までにほぼ整備され、第3期はそれらを適切に運用してきた。

第3期の成果としては、日本生態学会の英文誌 Ecological Research のデータペーパーとして地表徘徊性甲虫データが公開された他、調査関係者によって多くの論文(49件)や学会発表(90件)が行われた。教育・研究機関や地方自治体等からの調査計画やデータの活用等に関する問合せにも対応している。

第4期に向けた展望として、モニタリングサイト 1000 事業の他の生態系間の連携、事業成果の効果的な活用のための事業の知名度向上と保全施策に役立つ情報の提供、都道府県へのメールを用いた情報適用の取組みの開始、活用事例の公表の検討などがある。

#### (4) 結果の保全施策への活用

第2期以降、生物多様性保全施策に貢献するため、異変があった場合の検出や調査・解析結果の提供を迅速に行う事に課題があった。

第3期の成果としては、事業成果が「日本における気候変動による影響に関する評価報告書」等の国の各種計画施策へ寄与した。また、大山鳥獣保護区の更新、白神山地や小笠原諸島の世界自然遺産地域の管理、沖縄やんばる地域の野生動物の保護管理、環境省の環境研究総合推進費による研究、地方自治体の野生動物の保護管理、企業の環境アセスメントに事業成果が活用された。

第4期には、過去 15 年間のデータを解析した第3期とりまとめの解析結果が環境省や地方自治体による各種計画の策定・改訂において活用されることが期待される。同時に、関係機関とも連携を図りつつ、気候変動影響の把握・評価に必要なデータを引き続き整備・提供していく。その他、FSC 認証等を取得するために、社有林の生物多様性に関する情報を求めている民間企業との連携や、情報を求めている方が事業成果を活用しやすくなるよう、環境情報を提供しているウェブサイトへの登録を模索する。また、事業成果の活用実績は外部評価の指標となるため、成果を提供する際に活用した際には連絡を依頼する等、情報収集を強化する。

# (5) 国際的枠組みとの連携

地球規模の生物多様性モニタリング推進のためには、既存の国際的な枠組みとの連携が重要である。本事業は JaLTER を通じて国際的な枠組みとの連携を図っており、第 3 期には国際学会や国際ワークショップへの参加、海外の研究者による視察の受入れ等を通じた人的連携も進んでいる。しかし、第 2 期とりまとめまでに挙げられた課題や展望への対応はあまり進んでおらず、第 4 期以降も引き続き課題となっている。

第4期に向けては、GEO BON (地球観測グループ生物多様性観測ネットワーク)等の国際的な枠組みとの連携、英語版のウェブサイトやマニュアルの整備、生物多様性条約締約

国会議(COP)でのアピール等、第2期とりまとめで展望に挙げられた事項が、引き続き 課題と考えられる。

#### **Summary**

# 1. Indicators for Forest and Grassland Ecosystems

In this research, we selected trees, ground-dwelling beetles, and birds as indicators for comprehending changes at sites with forest and grassland ecosystems scattered throughout Japan. Trees cannot move by themselves and have a long lifespan, and are thus considered to be indicators of long-term environmental changes, including global warming, by monitoring the growth of their diameter, mortality rate, and seed production. Ground-dwelling beetles, which have a low dispersal ability and short lifespan, can be indicators of short-term environmental changes, especially changes in the soil environment by monitoring their abundance and species composition. Birds are highly mobile and have far broader habitats than trees and beetles. They are adopted as indicators of climate change and environmental changes in broad areas, by monitoring their abundance, species composition, and areas of distribution. Thus, we can quantify production in primary and some higher trophic levels, and decomposition in the short and long term across the whole of Japan.

#### 2. Site Placement

Three types of sites, core (20 sites), sub-core (28 sites), and satellite sites (419 sites), were established (Figures 1 and 2). Core and sub-core sites target natural forest ecosystems focusing on the inter-relationships among indicators and the factors causing variation and changes occurring in the ecosystems. Satellite sites are targeted to detect spatial variation and chronological changes with a particular focus on bird communities with a greater number of locations in broader areas.

#### 3. Monitoring Methods

At the core sites, all monitoring surveys (tree censuses, litter and seed trapping, ground-dwelling beetle surveys, and bird surveys) were conducted every year, while at the sub-core sites, tree censuses and bird surveys were conducted once every five years. At the satellite sites, a bird census was conducted once every five years in cooperation with amateur researchers.

### 4. Detected trends of ecosystem change

We analyzed the monitored data relating to "the four major threats" in biodiversity (National Biodiversity Strategy of Japan 2012-2020). In particular, we focused on the effects of climate change (fourth threat), reduction and withdrawal of human activities on nature (second threat), and alien species (third threat). We did not conduct analyses on the effects of human activities such as development and overexploitation (first threat) because the monitoring sites of this project were mainly at locations that were not susceptible to the impact of development, logging, and other human actions.

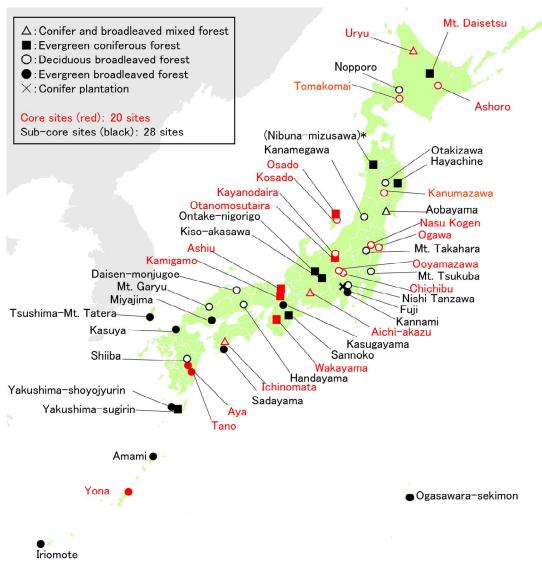


Figure 1. Core and sub-core sites of the forest and grassland ecosystems in the Monitoring Sites 1000 Project

The forest types are shown with symbols.

<sup>\*:</sup> The monitoring activities at the Nibuna-Mizusawa site were terminated by JFY2010.

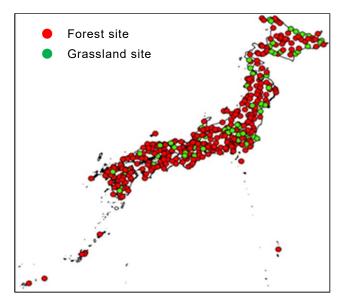


Figure 2. Satellite sites of the forest and grassland ecosystems in the Monitoring Sites 1000 Project

#### 5. Detected Changes in Forest and Grassland Ecosystems

#### (1) Climate change

We analyzed the impact of climate change on forest and grassland ecosystems from the following five aspects: 1) distribution shifts of organisms, possibly to high-latitude and high-altitude areas; 2) changes in the growth rate, abundance, and number of species; 3) changes in the carbon cycle; 4) changes in phenology and growing period of species; and 5) changes in seed production.

#### 1) Distribution shifts of trees, beetles, and birds

(i) Spatial variation in the recruitment rate, mortality, and abundance of trees along temperature regime

Tree recruitment and mortality rates were more affected by disturbances such as typhoons than by short-term temperature fluctuations. Although it is difficult to detect trends in population change for each tree species, some types of tree (deciduous/evergreen, conifer/broadleaf, etc.) showed significant trends along the temperature gradient. The populations of life-forms adapted to a warmer climate tended to increase more than those adapted to a cooler climate (Figure 3), suggesting the existence of distribution shifts from south to north in tree life-forms.

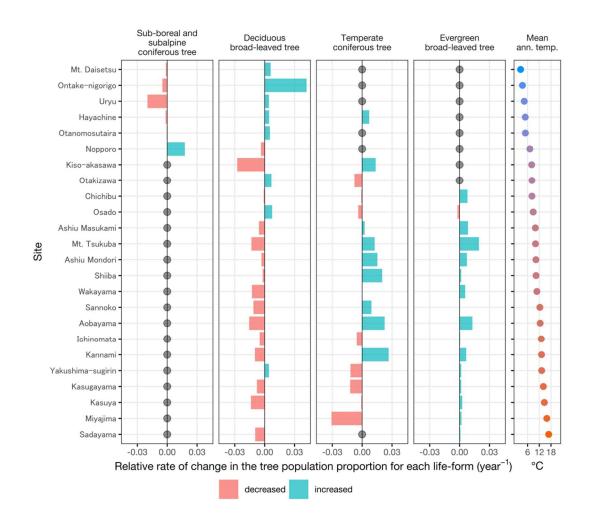


Figure 3. Changes in the proportion of tree populations for each life-form among the monitoring sites

The relative rates of population change were calculated for four types of tree life-form. The differences between the rates of population change in each life-form and community-wide are shown for each site. The monitoring sites where one life-form class occupies more than 95% of the total were excluded. Sub-boreal and subalpine coniferous trees include Sakhalin spruce (*Picea glehnii*), Yezo spruce (*P. jezoensis*), Sakhalin fir (*Abies sachalinensis*), Veitch's fir (*A. veitchii*), Maries' fir (*A. mariesii*), Touhi spruce (*P. jezoensis* var. hondoensis), Kometsuga hemlock (*Tsuga diversifolia*) and Japanese larch (*Larix Kaempferi*), while temperate coniferous trees include Momi fir (*A. firma*), Tsuga hemlock (*T. sieboldii*), Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). The closed black circles indicate the lack of distribution of the life-form class.

# (ii) Change in the abundance of wide distributing ground-dwelling beetles along temperature gradients

For five out of the eight widely distributed species of ground-dwelling beetles, we found an increasing trend in the number of individuals captured in colder areas, while two species showed a declining trend in their numbers in warmer areas. Both trends

indicated the distribution shifts from south to north. Since these species do not have a high ability to fly, they should be effective indicators of the slow-going impacts of climate change on ecosystems.

(iii) Shifts and expansions of bird distribution to high-latitude or high-altitude areas

The distribution of the Ryukyu minivet (*Pericrocotus divaricatus tegimae*) was limited to the southern part of Kyushu in the 1980s, although we confirmed that their distribution had expanded to northern areas during the past 30 years (Figure 4). Meanwhile, we found a declining trend in the distribution area of the related ashy minivet (*Pericrocotus divaricatus divaricatus*) in the 1990s.

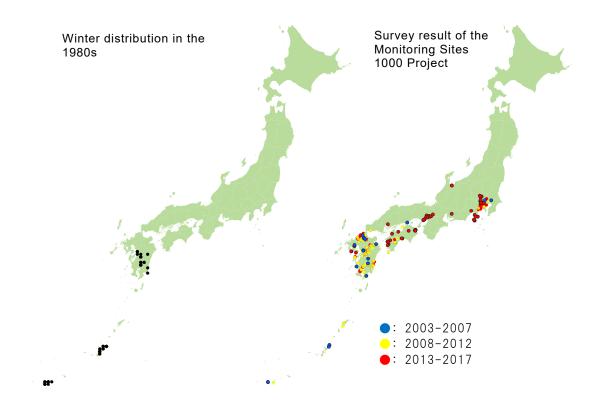


Figure 4. Changes in distribution of Pericrocotus divaricatus tegimae

The record from the 1980s refers to the distribution of *Pericrocotus divaricatus*. However, as it shows the distribution during the wintering period, it may indicate the distribution of *Pericrocotus divaricatus tegimae*, the subspecies that spends the winter in Japan.

#### 2) Changes in growth rate, abundance, and the number of species

(i) Relationship between the growth rate of trees and temperature of a single year

We obtained results for 51 species out of the 62 species analyzed. The relationship between the diameter growth and the annual average temperature differed among tree species; there were positive correlations for 14 species, negative correlations for four species, and an inverted U-shaped relationship (indicating optimal temperature) for eight species, and there were significant correlations for 25 species.

# (ii) Change in abundance of ground-dwelling beetle

We analyzed the change in abundance at the levels of genus and family, and the trends were different among taxa. We observed a declining trend for the genus *Pterostichus* (which are often dominant in cold climates) and an increasing trend for the genus *Synuchus* (which are often dominant in warm climates). Both of these trends were common for the periods 2005-2011 and 2012-2017.

#### (iii) Change in abundance of bird species

Monitoring surveys conducted during the breeding season found increasing trends in abundance for the Narcissus flycatcher (Ficedula narcissina) and red-billed leiothrix (Leiothrix lutea, alien species), and declining trends for the meadow bunting (Emberiza cioides) and Japanese white-eye (Zesterops japonica), which prefer forest edges and bright forests (Tables 1 and 2). While their correlation with temperature change and other factors was not clear, there could be general trends of succession from relatively open vegetation types to forests, which has been proceeding all over Japan in recent decades.

Table1. Top 10 species that the increased most during the breeding season at forest sites (N=319site)

Species	Rank of change rate of appearance ratio Increase (+) or decrease (-) in observed individual		number of		
Narcissus Flycatcher Ficedula narcissina	1	+10.66%	+	P<0.05*	N=250
Japanese Green Pigeon  Treron sieboldii	2	+6.58%	N.S.	P=0.06	N=132
Red-billed Leiothrix  Leiothrix lutea	3	+5.96%	+	P<0.01*	N=118
Great Spotted Woodpecker  Dendrocopos major	4	+5.33%	N.S.	P=0.86	N=139
Eastern Crowned Leaf Warbler  Phylloscopus coronatus	5	+5.33%	N.S.	P=0.95	N=176
White-backed Woodpecker  Dendrocopos leucotos	6	+4.08%	+	P<0.01*	N=41
Eurasian Jay  Garrulus glandarius	7	+4.08%	+	P<0.01*	N=204
Oriental Cuckoo Cuculus optatus	8	+3.76%	+	P<0.01*	N=126
Oriental Turtle Dove Streptopelia orientalis	9	+3.13%	N.S.	P=0.85	N=250
Japanese Paradise Flycatcher  Terpsiphone atrocaudata	10	+3.13%	N.S.	P=0.96	N=103

Table 2. Top 10 species that decreased the most during the breeding season at forest sites

Species		Rank of change rate of appearance ratio  Increase (+) or decrease (-) in robserved individuals		number of	
Meadow Bunting  Emberiza cioides	1	-5.96%	-	P<0.01*	N=201
Lesser Cuckoo Cuculus poliocephalus	2	-5.64%	-	P<0.01*	N=179
Japanese White-eye  Zosterops japonicus	3	-4.39%	-	P<0.05*	N=234
Bull-headed Shrike  Lanius bucephalus	4	-4.08%	-	P<0.05*	N=52
Eurasian Wren  Troglodytes troglodytes	5	-3.15%	N.S.	P=0.06	N=124
Marsh Tit  Poecile palustris	6	-3.15%	-	P<0.01*	N=28
Carrion Crow Corvus corone	7	-2.82%	N.S.	P=0.07	N=146
Eurasian Nuthatch Sitta europaea	8	-2.82%	N.S.	P=0.35	N=96
Japanese Leaf Warbler Phylloscopus xanthodryas	9	-2.51%	N.S.	P=0.19	N=39
White Wagtail  Motacilla alba	10	-2.19%	N.S.	P=0.19	N=33

# 3) Change in the carbon cycle

# (i) Above-ground biomass

There was a significant correlation between annual change in above-ground biomass and temperature anomalies in the year: there was a tendency that the higher the average annual temperature during the observed period, the greater the growth of above-ground biomass (Figure 5).

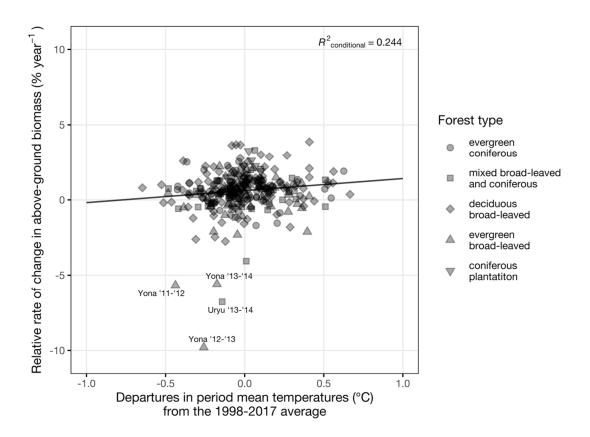


Figure 5. Relationship between the relative rate of change in aboveground biomass and temperature anomaly of each year

The black line is the regression line obtained by the linear mixed model.

# (ii) Litter production and accumulated leaf litter

There was a significant correlation between litter production and an increase in above-ground biomass, which is calculated by summing up the growth of individual trees. Also, the forests in the areas with a higher mean annual temperature tended to

have a greater net primary production (i.e. the total of litter production and an increase in above-ground biomass) (Figure 6). On the other hand, there was no significant correlation between the annual change in temperature and litter production, accumulated leaf litter, carbon concentration in soil, or the rate of cellulose decomposition. It was acknowledged that these were largely influenced by disruptions such as typhoons in the short term.

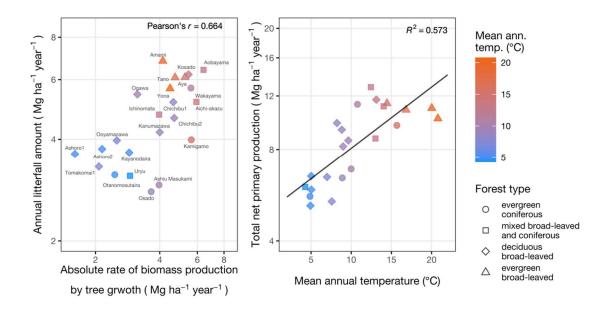


Figure 6. Relationship between litter production and above-ground biomass production by individual growth (left), and that between total net primary production and mean annual temperature (right)

# 4) Changes in phenology and growing period of species

#### (i) Relationship between temperature and time of defoliation

There was a correlation between the time of defoliation and the mean annual temperature of the year for the surveyed sites. It was observed that the higher the temperatures in the summer, the later the time of defoliation in the autumn in the evergreen coniferous forests, coniferous and broadleaved mixed forests, and deciduous broadleaved forests. Meanwhile, there was no clear correlation between the timing of defoliation in spring and temperature changes in the evergreen coniferous forests and evergreen broadleaved forests, where most trees shed their old leaves in early summer (Figure 7).

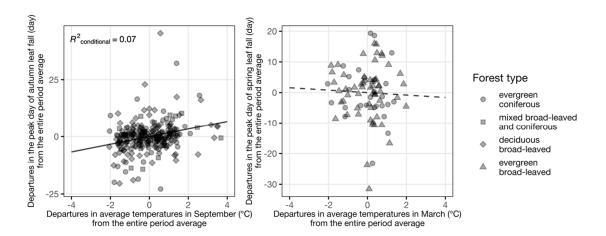


Figure 7. Relationship between the date of peak leaf fall in autumn/spring and the annual anomalies of average temperatures in September/March

Each point represents an estimated date of leaf fall peak. The regression line for a significant relationship between covariates detected by the linear mixed model is shown as a solid line, and the non-significant case is shown as a dashed line.

# (ii) Temperature and annual change in seed falling time

As well as the results obtained during the period 2007-2014, there was a tendency that the higher the temperature, the later the time of seed falling for trees in the genera *Quercus*, *Acer*, and *Betula* (Figure 8).

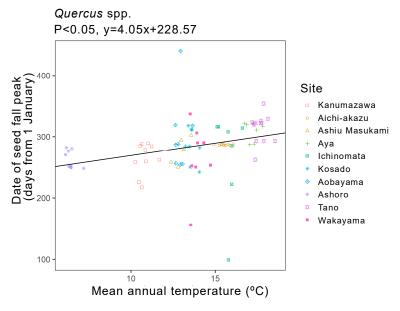


Figure 8. Relationship between the date of peak seed fall for the genus *Quercus* and mean annual temperatures

Each point represents the estimated date of peak seed fall, and the solid line represents the regression line estimated by the linear mixed model.

# (iii) Seasonal and annual change in the singing frequency of birds

We analyzed the correlation between temperature and the period when the Narcissus flycatcher sang actively and the date when the varied tit (*Parus varius*) fledged. It was observed that the higher the average temperature in April, the earlier the Narcissus flycatcher started singing (Figure 9), while the greater the cumulative temperature up to the end of April, the earlier the varied tits left their nests.

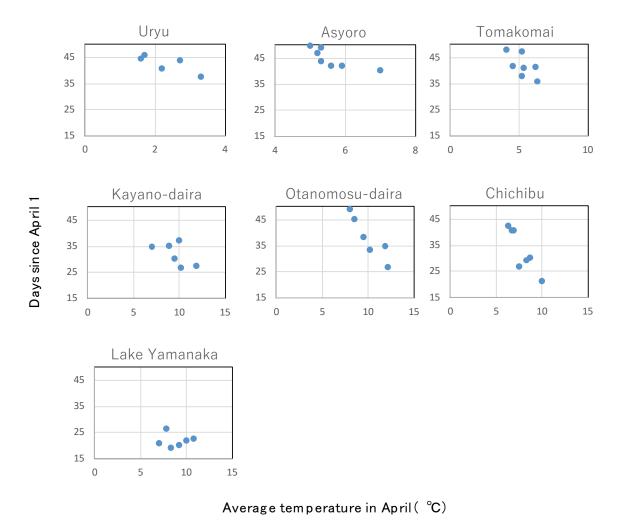


Figure 9. Relationship between the period of active singing in Narcissus flycatcher (Ficedula narcissina) and the average temperature in April

#### 5) Changes in seed production

(i) Annual change and synchrony in the seed production of major tree species

Of the tree species in the Fagaceae and Betulaceae families, we mainly analyzed 11 species whose information we could obtain in a sufficient amount at multiple sites (Figure 10). There was a tendency of synchronous seed production for the same species among the sites in broad areas and also among distantly related species at the same monitoring site. Further elucidation on synchrony in annual seed production and climate factors is expected by continuing the monitoring.

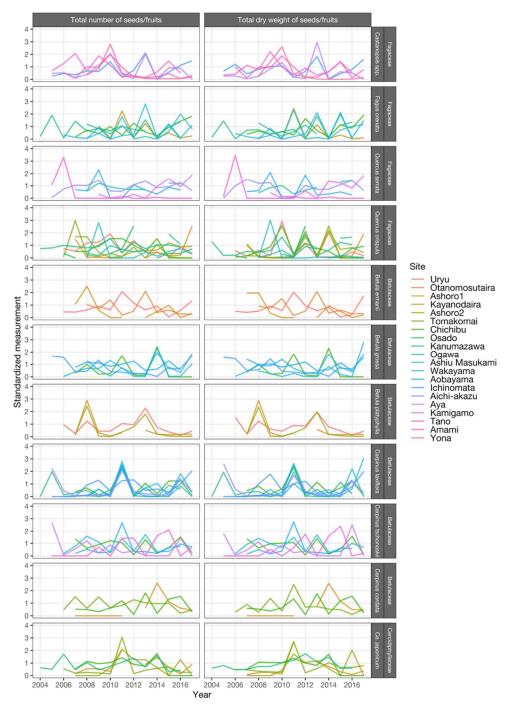


Figure 10. Annual variation in seed (or fruit) production of major tree species for each study site

#### 6) Summary of changes caused by climate change

This project could confirm some temporal changes in forest and grassland ecosystems (abundance of life-form groups and ground-dwelling beetles) in response to rising temperature. In subarctic and subalpine forests, the proportions of subarctic and subalpine coniferous trees declined, while that of deciduous broadleaved trees increased. In forests in transitional zones of cool-temperate and warm-temperate zones, the proportion of deciduous broadleaved trees declined, while those of evergreen broadleaved trees and temperate coniferous trees rose. In addition, the *Pterostichus* beetle, which is dominant in cool-temperate forests, decreased, while the *Synuchus* beetle, which is dominant in warmer forests, increased. All of these trends suggest the existence of distributional shifts from south to north as the temperature rises.

Some correlations between temperature and ecosystem function or phenology were found by analyses on variations among monitoring sites: (i) change in aboveground biomass; (ii) period of falling leaves and seeds; and (iii) breeding period of birds. It also became clear that extreme meteorological events, such as typhoons, had substantial impacts on ecosystem functions, the recruitment rate and mortality rate of trees, and the amount of litter supply. The roles and effects of both slow-going processes and extreme events in climate change should be elucidated by further monitoring.

#### (2) Impacts on ecosystems due to changes in human activities on nature

Analyses were conducted on three aspects: changes in damage by forest pests and diseases, effects of expanding distribution of the sika deer (*Cervus nippon*), and change in the vegetation environment, all of which have been induced by changes in human-nature interaction in recent decades.

## 1) Change in damage by forest pests and diseases

Some forest pests and diseases have been increasing, and this is said to be mainly caused by the decline in forest management. In addition to the analyses on the monitoring data, we conducted a questionnaire survey for the participants of monitoring on the situation of damage caused by forest pests and diseases.

#### (i) Situation in core and sub-core sites

During the period 1970-2016, 20 sites (approximately 40% of the total) experienced significant damage caused by forest pests and diseases and by pine and oak wilt diseases (Table 3). Of these, 11 sites responded that such damage had a noticeable impact on the ecosystem. This damage in the third period of monitoring (2013-2016) were relatively smaller than that in the second period (2008-2012). Thus, the changes occurring in the third period are more of a recovery than a damaging process.

Table 3. Outbreaks of forest pests and diseases observed in and around the core and sub-core sites

based on a questionnaire survey among the participants in the monitoring sites

Onset year	Pine wilt	Oak wilt	Outbreak of leaf-feeding insects
1970-1989	Aichi-akazu** Kamigamo* Miyajima Kasuya		
1990-2002	Kosado* Mt. Tsukuba	<u>Kosado</u> *	
2003-2007 (the 1 <sup>st</sup> period)		Ashiu** Kamigamo Kasugayama	
2008-2012 (the 2 <sup>nd</sup> period)	Amami	Kanumazawa <u>Kanamegawa</u> <u>Aichi-akazu</u> ** Yakushima- shoyojyurin**	Ashoro (gypsy moth, Lymantria dispar; larch sawfly, Pristiphora erichsonii) Tomakomai (larch sawfly, Pristiphora erichsonii)** Kanamegawa (a beech-feeding leaf beetle, Chujoa uetsukii)** Mt. Takahara (a beech-feeding sawfly, Fagineura crenativora)** Yona (an alder-feeding leaf beetle, Linaeidea formosana)
2013-2016 (the 3 <sup>rd</sup> period)		<u>Tano</u>	Tomakomai (rosy gypsy moth,  Lymantria mathura)**
Unknown	Aobayama Sadayama Shiiba	Aobayama	

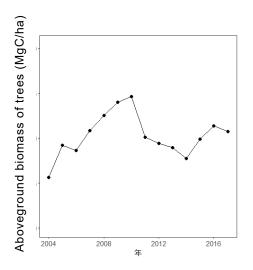
Underlined: Impacts on ecosystems are significant.

# (ii) Case analysis at Aichi-akazu site

The monitoring data at Aichi-akazu site provided a good example of recovery after oak wilt. The oak wilt that had been happening since 2010 had reduced the above-ground biomass of the forest by approximately 10% by 2014 (Figure 11). It recovered to 95% of the level recorded in 2010 by 2017. This result means that half of the damaged above-ground biomass recovered in the following seven years.

<sup>\*</sup>Observed in monitoring plots. \*\*Occurred in monitoring plots during the monitoring period.

It is interesting that the recovery process also affected the ground-dwelling beetles. After the oak wilt in 2010, the abundance of ground-dwelling beetles increased noticeably by 2015 when it reached approximately nine times more than the level recorded before the oak wilt (Figure 12), suggesting that the tree damage by pests had supplied much litter, which provided a rich habitat and food environment for beetles and soil animals. This trend had ended by 2016 and the abundance of ground-dwelling beetles in 2016 and 2017 returned to the level recorded before the oak wilt.



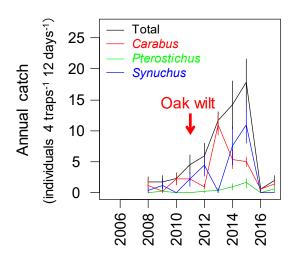


Figure 11. Changes in the above-ground biomass of trees in the Aichi-akazu monitoring plot

Figure 12. Changes in the annual catches (means ± SE) of ground-dwelling beetles in the Aichi-akazu monitoring plot

Thus, the damaging and recovery processes of pests occurred very quickly. Further monitoring data are necessary to confirm if such quick processes commonly occur in other forests.

#### 2) Expanding population and distribution of the sika deer

The expanding distribution and growing density of the sika deer and the resulting damage to agriculture and forestry have become problems throughout Japan in recent decades. The overpopulation of sika deer is thought to be caused by several human-induced factors, such as the declining number of hunters, increase of concentrated single-species plantations in particular decades, and reduced management of human-

dominated landscapes. In the same manner as the analysis of damage from forest pests and diseases, we conducted a questionnaire survey among monitoring participants on the impact of the sika deer at core and sub-core sites and analyzed this in connection with the monitoring results.

# (i) Impact on tree community

According to the questionnaire survey, sika deer were thought to inhabit 26 monitoring sites (54% of the total 48 sites). At 13 sites, the impact of the sika deer was classified as "noticeable" or "somewhat noticeable". Trees at the sites with impacts of sika deer suffered serious damage such as bark stripping (Figure 13). Most sites which had deer impact in the second period of the monitoring (2008-2012) still had marked impacts in the third period (2013-2017).

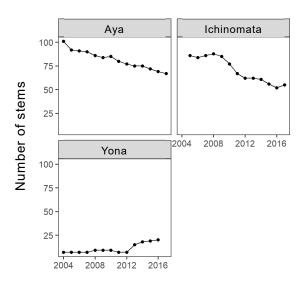


Figure 13. Temporal change in the number of *Machilus japonica* stems whose barks are often stripped by sika deer

The number of stems decreased at Ichinomata and Aya sites where the impact of sika deer was confirmed, while it slightly increased at Yona site where there were no sika deer.

#### (ii) Impact of sika deer on the bird community

The sika deer has been affecting some particular types of bird communities which utilize bush vegetation continuously since the second period of monitoring (Figures 14 and 15), because the deer browsing reduced the bush or forest floor vegetation. In

addition, the impact on brood-parasitic birds that depended on these bird species was also suggested. This trend among the birds was not confirmed at the sites where the sika deer did not have a noticeable impact (Figure 16). The Japanese robin (*Luscinia akahige*) was not included as an example because it was not confirmed at the sites without noticeable deer impacts.

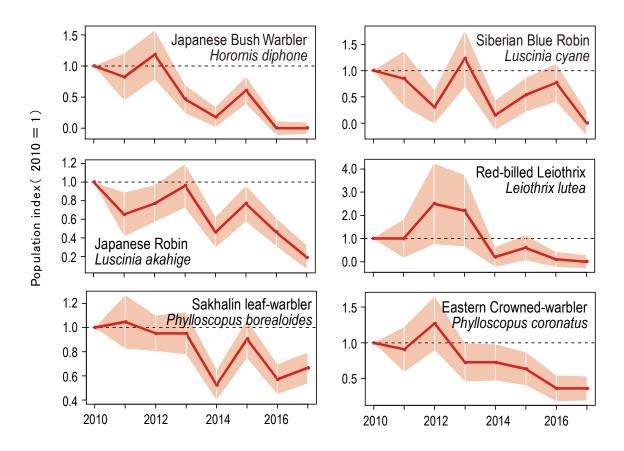


Figure 14. The trends of population indices for six bird species that use bushes for feeding and/or nesting sites at Ooyamazawa

Shaded areas show confidence intervals. The population index is presented with 2010 as the base year (=1).

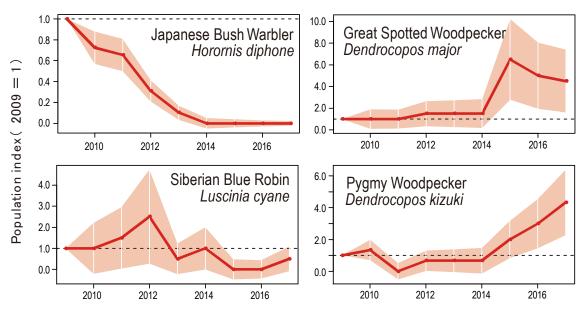


Figure 15. The trends of population indices for two woodpecker species and two bird species that use bushes for feeding and/or nesting sites at Tomakomai.

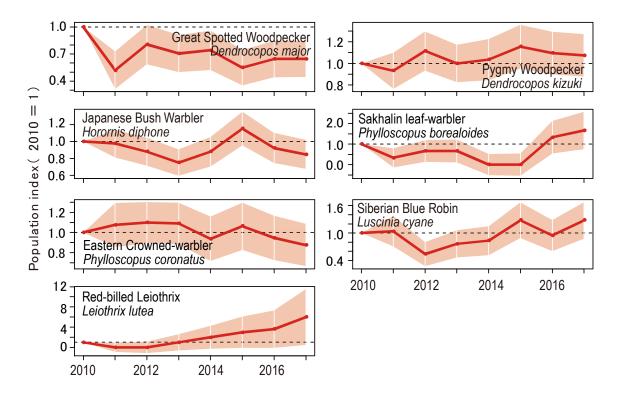


Figure 16. The trends of population indices for two woodpecker species and five bird species that use bushes for feeding and/or nesting sites in the sites with little or no understory vegetation damage by sika deer

#### 3) Vegetational succession in abandoned areas.

Reduced management and/or abandonment have facilitated a transition from human managed ecosystems, such as grasslands that used to be pastures or thatch fields (e.g. *Miscanthus sinensis* communities) into forests. We analyzed how these successional changes affected the bird communities, in particular on the Narcissus flycatcher and large-billed crow (*Corvus macrorhynchos*), which experienced the greatest change in abundance according to the data on birds obtained at satellite sites. However, they did not show any clear trend.

# 4) Summary of changes in biological interactions due to the reduction and withdrawal of human activities on nature

We analyzed how the second threat (change in agricultural or forestry management) affects forest and grassland ecosystems through three viewpoints: 1) damage from forest pests and diseases; 2) larger distribution and growing density of sika deer; and 3) vegetational succession by reduced management. We partially detected the damaging and recovery processes by forest pests and diseases. The impact of sika deer had been recognized continuously since the 2000s, and it has become even more serious now. As for the impact of vegetational succession, the recent analysis did not suggest any clear trend concerning bird communities. The further collection of monitoring data is expected to contribute to these ambiguous or long-term impacts.

#### (3) Impact of alien species

As with the previous analyses, we collected information from each site by a questionnaire survey on alien species invasions.

#### 1) Core and sub-core sites

At 14 sites (35% of the 40 core and sub-core sites) reported invasion by some alien species. They included invasions of some mammals such as the raccoon (*Procyon lotor*), masked palm civet (*Paguma larvata*), and black rat (*Rattus rattus*), birds including the Chinese hwamei (*Garrulax canorus*) and red-billed leiothrix, and plants, like *Phyllostachys edulis* and *Rudbeckia laciniata*. At the sites on subtropical islands such as Yona and Ogasawara-sekimon, we confirmed invasion by many alien species including trees, which are causing serious impacts on the local ecosystem.

Countermeasures, including eradication, have been applied in some areas and signs of improvement have appeared in some cases.

# 2) Situation of invasion by alien species at satellite sites

In regard to the Chinese hwamei and red-billed leiothrix, we analyzed the change in distribution and abundance based on the results obtained at the satellite sites. Our analysis showed that the distribution of both species was expanding (Figure 17) with increasing abundance at the sites. Furthermore, the distribution of the Chinese hwamei may have spread even to snowy regions, which were not thought to be a suitable habitat.

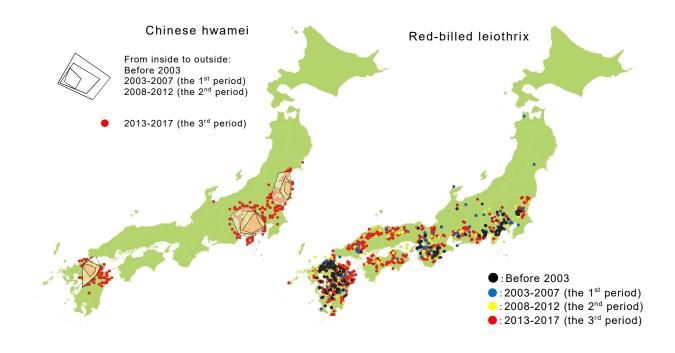


Figure 17. Change in the distributions of the Chinese hwamei and red-billed leiothrix

#### 3) Summary of the impact of alien species

We confirmed that some alien species had expanded their distributions among satellite sites. Some mammals, such as the raccoon, masked palm civet, and black rat, were confirmed at many sites, as well as birds, like the Chinese hwamei and red-billed leiothrix, were reported to have already invaded. The distributions of the Chinese hwamei and red-billed leiothrix were expanding among the satellite sites. In comparison with the results of the second period (2008-2012), the estimated

distribution areas have increased during the third period (2013-2017). Monitoring and analytical activities are essential to take measures against alien species and to formulate long-term plans.

#### 6. Remaining Issues and Challenges for the Fourth Period

## (1) Improvement to site placement and monitoring methods

By the end of the second period of monitoring, we have established most of the sites and monitoring methodologies. In the third period, we were able to continue most of the monitoring activities.

Due to the restrictions on the research budget and structure, it is difficult to conduct or continue research at some sites. However, we need to discuss the necessity to include some other important sites, which are located in national parks or World Heritage sites, together with continuation at the existing sites. In addition, the number of satellite sites where there is some difficulty to continue monitoring may increase under future conditions. These include the deterioration of accessing forest roads and lack of human resources. Thus, we may need to reconsider the monitoring site distribution.

As improvement measures of monitoring methods, we will look into the preparation of support materials necessary for sorting work involved in the litter and seed trapping survey and for ensuring research accuracy across sites and the sharing of such materials through a website. We will also consider holding seminars for specific regions or sites with a specific forest type. For instance, the time required to determine the soundness of seeds was an issue raised at the end of the second period. We almost solved the issue by keeping records of unidentified or unclear samples and held seminars for some sites. In addition, we examined the photographing methods of fixed-point photos designed to record changes in the forest landscapes and revised the tree census manual.

#### (2) Sustainable research structure

At the core and sub-core sites, there is a system for researchers to take initiatives or cooperate with local NPOs in conducting local on-site research and for the network center to support their research and sort out data. In addition, there is a system for monitoring staff trained at workshops and so on to conduct research on birds at core and sub-core sites and at satellite sites.

By the third period, however, it had become difficult for some sites to conduct monitoring as planned for reasons such as the absence of successors or a decrease in monitoring staff. To secure new participants, we introduced trial internships with tree censuses for vocational college students majoring in courses related to the natural environment. Also, we held workshops on bird surveys throughout Japan.

Furthermore, there was a concern about applying uniform methodologies and keeping the same level of accuracy. To address this concern, we examined a system of recording the details of the work conducted, methods used, and other information on the website and sharing such information. In addition, we held seminars on specific techniques for some sites. As an effort to keep motivating monitoring staff, we held sessions, symposiums and so on at academic conferences to improve the project's recognition, disseminate the achievements of the project, and encourage use of the research results. In particular, we created forums to present research and activities on bird surveys to facilitate interactions among monitoring staff through workshops. We also examined the accuracy of monitoring with less effort.

As our preparations for the fourth period, we will need to secure an appropriate number of monitoring staff and to facilitate generational change in order to continue observing ecosystems over a long period. A number of efforts mentioned above which we implemented in the third period are under discussion or being trialed to secure monitoring staff, reduce their workload, and to support them.

#### (3) Information sharing, management, and dissemination

The goal of this project is to promptly detect any unusual change in ecosystems to contribute to the measures for biodiversity conservation or ecosystem management. It is therefore important that we appropriately manage and disseminate the research results we have obtained and to share them with a broader scope of entities. Data ownership, handling, and management structure and the storage structure of samples had been generally organized by the end of the second period. By the third period, the structure was established and operated in an appropriate manner. In addition, we completed the publication of data on ground-dwelling beetles as a data paper for

Ecological Research, an English-language journal published by the Ecological Society of Japan; publication of as many as 49 papers by research participants; and 90 presentations in academic conferences. We also responded to inquiries from educational/research institutions, local governments, and others, on issues such as research plans and use of data.

Potential views in the fourth period include collaboration with other ecosystem surveys of the Monitoring Site 1000 Project, since some environmental issues are closely linked beyond ecosystems. These include improvement of the project's recognition for the efficient use of project outcome, information provision to support conservation measures, commencement of an information provision by email to prefectures, and an examination of the publication of examples of use of information.

#### (4) Use of research results for conservation measures

There had been some aspects to be improved regarding the early detection of unusual changes and the prompt provision of research and analysis results since the second period in order to contribute to biodiversity conservation measures. One of our achievements in the third period was the contribution our project results made to the formulation of various plans and measures including the Report on Impact Assessments of Climate Change in Japan. The project results were also used for the renewal of some protected areas like the Daisen Wildlife Protection Area, management of World Heritage properties such as the Shirakami-Sanchi and the Ogasawara Islands, and protection and management of wildlife in the Yambaru region of Okinawa. It also contributed to research projects funded by the Environment Research and Technology Development Fund of the Ministry of the Environment, protection and management of wildlife by local governments, and corporate environmental assessments.

In the fourth period, we expect that the analysis results of the data compiled during the past 15 years will be used for policy making by the Ministry of the Environment and local governments to formulate and modify various policy plans. At the same time, we will continue organizing and providing data necessary to understand and evaluate the impact of climate change in collaboration with relevant academic bodies. In addition, we will explore the option of registering with websites providing environmental data in order to facilitate collaboration with private sectors seeking information on the biodiversity of the forests they own to acquire the Forest

Stewardship Council (FSC) and other certificates and to help those seeking information to use the project results more easily. The use of the project results is one of the benchmarks used by external evaluations. We will therefore strengthen information collection on the use of our project results by, for instance, asking users when providing them with research results to contact us after they have used the results.

#### (5) Collaboration with international frameworks

To promote the monitoring of biodiversity on a global scale, it is important that we collaborate with existing international frameworks. In this project, we sought to collaborate with international frameworks through the Japan Long Term Ecological Research Network (JaLTER). In the third period, we made progress in collaboration among people through participation in international academic conferences and workshops and the acceptance of site visits and information exchange with overseas researchers.

In the fourth period, further efforts are needed to collaborate with international frameworks including the Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network (GEO BON), preparation of the English website and manuals, and the raising of our profile at the Conference of Parties to the Convention on Biological Diversity.

# 目 次

1. 森林・草原生態系の指標生物群	1
(1)樹木	1
(2) 地表徘徊性甲虫	
(3) 鳥類	3
2. サイト配置状況	6
2. 1. コア・準コアサイト配置状況	6
2. 2. 一般サイト配置状況	14
3. 調査方法	16
3. 1. コア・準コアサイト調査方法	16
3. 2. 一般サイト調査方法	19
4. 森林・草原生態系の現状と課題及び解析の方向性	
4.1.事業の目的とモニタリングの必要性	
(1)事業の目的	23
(2)統一的な手法による長期・広域・多地点観測の必要性	23
4.2.森林・草原生態系の現状と生物多様性の4つの危機	25
(1)森林・草原生態系の現状	25
(2)森林・草原生態系における生物多様性の4つの危機	25
4.3.解析の方向性	36
(1)気候変動<第4の危機>	38
(2) 自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による	
生物間相互作用の変化<第2の危機>	40
(3)外来種<第3の危機>	42
5. 森林・草原生態系の変化状況	46
5. 1. 気候変動	
(1)動植物分布域の高緯度・高標高への移動、縮小・拡大	46
(2)生物の成長量、個体数・種数の変化	
(3)炭素循環の変化	
(4)生物の季節性・生育期間の変化	96
(5)種子生産量の変化	
5.2.自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による生物間相互作用の	変化
	117
(1)病虫害の発生状況の変化	117
(2)シカの分布拡大・密度増加	125

	(3)	植生環境の変化	141
	5.3.	外来種	147
	(1)	森林・草原への外来種の侵入	147
6	. 第4期	に向けた課題と方針	160
	(1)	サイト配置及び調査手法の改善	160
	(2)	持続可能な調査体制	163
	(3)	情報の共有・管理及び発信	168
	(4)	結果の保全施策への活用	170
	(5)	国際的枠組みとの連携	174

# 第1章 森林・草原生態系の指標生物群

本調査では、森林・草原生態系の変化を把握するため、指標となる生物群として、樹木、 地表徘徊性甲虫及び鳥類を選定した(図 1-1)。



図 1-1 森林・草原調査の指標生物群。指標性と生態系における役割

#### (1) 樹木

森林の主要な生産者であり、森林の構造を作り、様々な生物の生息環境を提供し、環境形成する役割を担っている。森林生態系の炭素吸収・蓄積機能は、生産者である樹木に由来している。樹木は大気中の二酸化炭素から有機物を合成し、その巨大なバイオマスに大量の炭素を蓄積している。その量は森林の草本類に比べて圧倒的に多い(Fischlin et al. 2007)。有機物は落葉、落枝等として土壌分解系に供給され、土壌中にも大量の炭素が蓄積している。また、樹木が造った葉・花・果実・種子等の有機物を餌として、森林には様々な消費者・分解者が生息している。そのため樹木の変化は、樹木以外の広範囲の生物の多様性へ大きな影響を与える。また、樹木は自ら移動できないため、その地域の環境変化の影響を受ける。同じ個体を追跡調査することができ、環境変化を直径成長、死亡率や種子生産量の変化として把握することができる。さらに、寿命が長いため、急激な変化だけでなく地球温暖化等の環境変化による長期的影響を蓄積する。

#### (2) 地表徘徊性甲虫

地表徘徊性甲虫類は、地表を主な生息場所とする甲虫類(昆虫綱甲虫目)の総称で、オ サムシ科を中心として、シデムシ科、ハネカクシ科、センチコガネ科などを含む。その多 くは地表性、土壌性の動物やその死骸を主食とする捕食者、死体食者であり、草本の種子 も主食とする雑食者の割合は森林では低い(Vanbergen *et al.* 2010)。分解系の中で腐食 連鎖の上位捕食者としての役割を果たす一方 (Okuzaki et al. 2009)、中小型哺乳類をはじ めとする様々な脊椎動物の餌資源ともなっている(Koike et al. 2012)。これらの甲虫の多 くは土壌中に産卵し、多くの種が幼虫期、蛹期を土壌中で過ごし羽化する。羽化した成虫 も、ほとんどが落ち葉の下を生息の場としている。地表徘徊性甲虫は、①生涯を地表や土 壌中で過ごす、②飛翔能力がないまたは弱い種が多く全般的に移動分散能力が低い、③移 動能力・増殖率・季節性・微環境の選好性などが種ごとに多様である、④寿命が1〜数年 と短い、といった性質をもつ (Lövei and Sunderland 1996)。さらに、地表・土壌環境の 変化を伴う様々な環境攪乱(農薬・化学肥料の使用、重金属汚染、放牧、森林施業、火災、 風倒害、水害など)や生態系・景観構造の変化(植生遷移、生息地の分断化など)に対応 して個体群や群集の特性(生息量、多様度、種組成、機能群組成など)が敏感に変化する ことが知られている (Koivula 2011)。このため、様々な生態系・景観 (森林、草原、湿地、 河川敷、農地、里山、都市緑地など)において、各種の攪乱の生態系影響を指標する生物 群として研究・利用されている(Kromp 1999、Rainio and Niemelä 2003、Pearce and Venier 2006、Niemelä et al. 2007、石谷 2010、Koivula 2011)。また、地表徘徊性甲虫の 採集方法として一般に用いられているピットフォールトラップ法(3.1 参照)は、少ない 労力・コストでしかも採集者の技量によらない一定の質のデータを得ることができるため、 多地点・長期のモニタリング調査に適している(Morecroft *et al.* 2009、石谷 2010、 Hoekman et al. 2017)

直接人為的攪乱の影響の及びにくい自然度の高い森林も、気候変動、異常気象、風水害、大規模な病虫害、シカの密度増加による植生変化など、短期的・長期的な様々な環境変化に晒される恐れがある。地表徘徊性甲虫の個体数、種数、バイオマス、種組成等をモニタリングすることで、森林生態系の特に林床の環境や分解系の生物群集の短期的な変化を、敏感に察知できる可能性がある(図 1-2)。一方、広域・長期・漸進的な環境変動は、甲虫の種ごとの分布域の変化から捉えられる可能性がある。

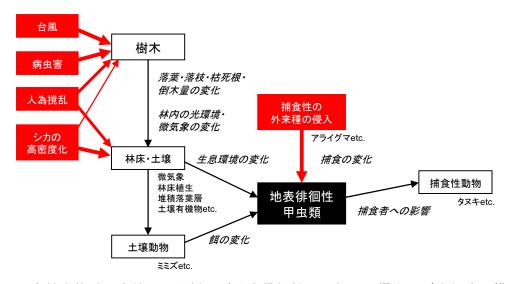


図 1-2 森林生態系の自然・人為撹乱が地表徘徊性甲虫類に影響を及ぼす経路の模式図

#### (3)鳥類

移動能力が高く、森林内の林床から林冠までを広く利用し、猛禽類から昆虫食鳥類、種子食鳥類まで、依存している餌資源が多様なため、様々な生態系変化の影響を受けやすい点で、モニタリング対象として優れている(Furness and Greenwood 1993)。個体の生息範囲が、樹木や甲虫類と比べ各段に大きいので、対象としているサイトを越えて広域の環境変化の影響を見ることができ、1年中同じ場所にいる留鳥や国内を移動する漂鳥、国外へと渡る夏鳥や冬鳥といった種による生態の違いからその影響を検討することができる。また、全国に調査員が多く存在するため、広域での調査が可能である。

鳥類調査はコアサイト、準コアサイト及び一般サイトの全てのサイトで実施している。コア・準コアサイトは人為的影響が少ない場所のため、地球温暖化等の変化を各種鳥類の分布状況やギルド、個体数の変化を通して見ることができると考えられる。一方、一般サイトでは人為的な影響もあるサイトでの調査なので、人間活動がもたらす危機(第1の危機)や人が利用しなくなったことによる危機(第2の危機)が生態系に与える影響を生息鳥類の変化等を通してモニタリングできることが期待される。

#### 引用文献

- Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J. & Velichko, A.A. (2007) Ecosystems, their properties, goods, and services. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp.211–272.
- Furness, R.W. & Greenwood, J.J.D. (1993) Birds as Monitors of Environmental Change. Chapman & Hall, London.
- Hoekman, D., Levan, K. E., Ball, G. E., Browne, R. A., Davidson, R. L., Erwin, T. L., Knisley, C. B., Labonte, J. R., Lundgren, J., Maddison, D. R., Moore, W., Niemelä, J., Ober, K. A., Pearson, D. L., Spence, J, R., Will, K., & Work, T. (2017) Design for ground beetle abundance and diversity sampling within the National Ecological Observatory Network. Ecoshere 8: e01744.
- 石谷 正宇 (2010) 地表性甲虫類を指標とした環境影響評価の現状. 環動昆 21:78-83.
- Koike, S., Morimoto, H., Goto, Y., Kozakai, C. & Yamazaki, K. 2012. Insectivory by five sympatric carnivores in cool-temperate deciduous forests. Mammal Study 37: 73–83.
- Koivula, M. (2011) Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) reflecting environmental conditions. ZooKeys 100: 287–317.
- Kromp, B. (1999) Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agriculture, Ecosystems & Environment 74: 187–228.
- Lövei, L. & Sunderland, K. D. (1996) Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). Annual Reviews of Entomology 41: 231–256.
- Morecroft, M. D., Bealey, C. E., Beaumont, D. A., Benham, S., Brooks, D. R., Burt, T. P., Critchley, C. N. R., Dick, J., Littlewood, N. A., Monteith, D. T., Scott, W. A., Smith, R. I., Walmsey, C. & Watson, H. (2009) The UK Environmental Change Network: Emerging trends in the composition of plant and animal communities and the physical environment. Biological Conservation 142: 2814–2832.
- Niemelä, J., Koivula, M. & Kotze, D. J. (2007) The effects of forestry on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in boreal forests. Journal of Insect Conservation 11:5-18.
- Okuzaki, Y., Tayasu, I., Okuda, N., & Sota, T. (2009) Vertical heterogeneity of a forest floor invertebrate food web as indicated by stable isotope analysis. Ecological Research 24: 1351–1359.
- Pearce, J. L. & Venier, L. A. (2006) The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: A review.

- Ecological Indicators 6: 780-793.
- Rainio, J. & Niemelä, J. (2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity and Conservation 12: 487–506.
- Vanbergen, A. J., Woodcock, B. A., Koivula, M., Niemelä, J., Kotze, D. J., Bolger, T., Golden, V., Dubs, F., Boulanger, G., Serrano, J., Lencina, J. L., Serrano, A., Aguiar, C., Grandchamp, A.-C., Stofer, S., Szél, G., Ivits, E., Adler, P., Markus, J., & Watt, A. D. (2010) Trophic level modulates carabid beetle responses to habitat and landscape structure: a pan-European study. Ecological Entomology 35: 226–235.

# 第2章 サイト配置状況

「毎年すべての項目を調査するコアサイト」、「5年に1度、樹木と鳥類を調査する準コアサイト」、「5年に1度、鳥類と大まかな植生の階層構造のみを調査する一般サイト」を配置している。

#### 2. 1. コアサイト・準コアサイト配置状況

森林生態系のコアサイト、準コアサイトは、「全国各地の代表的な森林生態系に設置され、各地域内の森林生態系の標準的状態が把握できる場所」をサイト選定基準としつつ、他の研究機関等と連携してモニタリングサイトを設置しており、2004年に10サイトから調査が始まった(表 2-1)。天然性の成熟林1を中心に、二次林1や人工林も含めて各地域を代表する森林を網羅するようにサイトを設定し、第1期(2007年)には37サイトとなった(図2-1、表 2-1)。第2期では、コアサイトは2サイトの加入、準コアサイトは10箇所の加入と1箇所の観測中止があり、合計48サイトとなった(表 2-1)。第3期はサイトの増減はなく、48サイトで調査を継続した(表 2-1)。北緯約24~44度、標高約26~1880mにサイトが配置され(図2-2、表 2-2)、日本の代表的な森林タイプ(常緑針葉樹林、針広混交林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林等)2や気候帯(亜高山帯・亜寒帯、冷温帯、暖温帯、亜熱帯)を含むことができた(図2-2、表 2-3)。各コアサイト、準コアサイトに、1箇所以上の固定調査区(通常1ha。以下、調査区またはプロットと呼ぶ)を設定した(表 2-2)。

表 2-1 森林調査のサイト数の推移。

		第	期				第2期					第3期		
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
コア	10	16	16	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
準コア	0	8	14	19	25	29	28	28	28	28	28	28	28	28
計	10	24	30	37	44	49	48	48	48	48	48	48	48	48

\_

 $<sup>^1</sup>$  本報告書では、成熟林とは、林齢が 150 年以上と推定される(150 年前以降の伐採などの撹乱の記録・痕跡がない)森林を指す。高齢二次林とは、林齢が  $100\sim150$  年と推定される森林を指す。二次林とは、林齢が 100 年未満と推定される森林を指す。

<sup>2</sup> 本報告書では、針葉樹林とは、針葉樹の胸高断面積が全樹種の胸高断面積の 60%以上の森林を指す。針広混交林とは、胸高断面積で針葉樹が全樹種の 40%以上、60%未満の森林を指す。落葉広葉樹林とは、胸高断面積で針葉樹が全樹種の胸高断面積の 40%未満、かつ、落葉広葉樹が全広葉樹の 60%以上を占める森林を指す。常緑広葉樹林とは、胸高断面積で針葉樹が全樹種の 40%未満、かつ、常緑広葉樹が全広葉樹の 40%より多くを占める森林を指す。

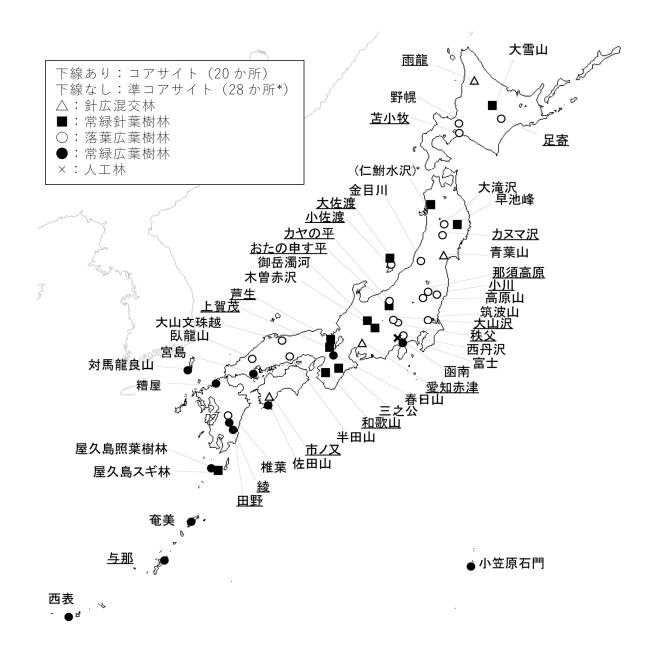


図 2-1 第3期におけるモニタリングサイト 1000森林・草原調査のコアサイト・準コアサイト 複数調査区がある場合は毎年調査している調査区の森林タイプを表示している。コアサイトはサイト名に下線を引いている。

\* 仁鮒水沢は2010年度で調査を終了した。

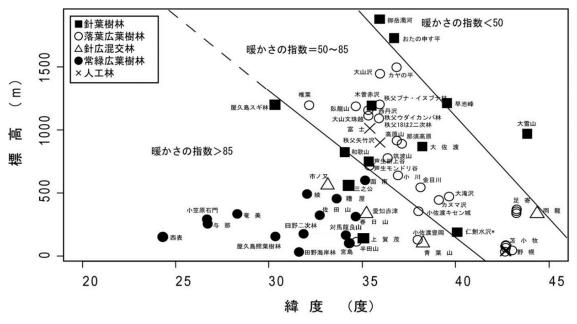


図 2-2 コアサイト・準コアサイトの緯度と標高の関係

暖かさの指数 50℃・月は亜高山帯・亜寒帯常緑針葉樹林と冷温帯落葉広葉樹林の境界、85℃・月は冷温帯落葉広葉樹林と暖温帯・亜熱帯常緑広葉樹林の境界とされている。



図 2-3 コアサイト・準コアサイトの森林の様子

A.針広混交林・雨龍、B.落葉広葉樹林・苫小牧、C.落葉広葉樹林・芦生、D.常緑広葉樹林・奄美、E.落葉広葉樹林・足寄、F.常緑針葉樹林 (スギ林)・屋久島スギ林、G.落葉広葉樹林 (コナラ林)・半田山、H.常緑針葉樹林 (モミ・ツガ林)・和歌山、I.常緑広葉樹林・与那、J.常緑広葉樹林・糟屋。

表2一.	2	グサイト	モニタリングサイト1000 森林・草原調査	周査 コア・		サイト・準コアサイト	11-1									
No	サイト名	サイトタイプ	プロット名	プロットID	森林タイプ®	経度*	緯度*	標高(m)	森林履歴	毎木調査 間隔	面積(ha)	毎木	落葉落枝· 落下種子	地表徘徊 性甲虫	鳥類	開始年
-	雨龍	17	1	UR-BC1	BC	142.28	44.37	335	成熟林	毎年	1.05	0	0	0	0	2005
2		7⊏	足寄拓北	AS-DB1	DB	143.51	43.32	360	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2005
က	上 日 日	JΓ	足寄美盛	AS-DB2	DB	143.51	43.26	340	二次林	5年毎	-	*O	*0	ı	ı	2005
4		J.	足寄花輪	AS-DB3	BO	143.50	43.29	380	二次林	5年毎	9.0	**O	-	-	ı	2005
2		7	苫小牧成熟林	TM-DB1	DB	141.57	42.71	80	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2004
9		7⊏	苫小牧二次林404林班	TM-DB2	DB	141.59	42.69	64	二次林	5年毎	1.2	0	-	0	-	2004
7		ıΤ	苫小牧二次林308林班	TM-DB3	BO	141.63	42.67	33	二次林	5年毎	0.81	0	-	0	-	2004
∞	苫小牧	J.	苫小牧二次林208林班	TM-DB4	BO	141.57	42.70	85	学》二次林	5年毎	0.45	0	-	0	1	2004
6		7	苫小牧アカエゾマツ人工林	TM-AT1	AT	141.61	42.68	43	料工丫	5年毎	0.2	0	-	0	-	2004
10		7	苫小牧カラマツ人工林	TM-AT2	AT	141.59	42.67	36	料工丫	5年毎	0.2	0	-	0	-	2004
11		J.	苫小牧トドマツ人工林	TM-AT3	AT	141.58	42.71	50	料工丫	5年毎	0.225	0	-	0	-	2004
12	+ 1 1	7.	カヌマ沢渓畔林	KM-DB1	BO	140.86	39.11	435	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2004
13		JΓ	カヌマ沢ブナ林	KM-DB2	DB	140.85	39.11	445	成熟林	1	1	-	1	1	1	2004
14	大佐渡	7⊏	I	0S-EC1	EC	138.44	38.21	870	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2004
15	小什弟	J.	小佐渡豊岡	KS-DB1	DB	138.52	37.98	125	二次林	毎年	0.25	0	#0	#0	0	2004
16		J	小佐渡キセン城	KS-DB2	DB	138.48	38.01	350	二次林	5年毎	0.25	_	-	#0	1	2004
17	那須高原	ΔΕ	I	NS-DB1	DB	140.01	37.12	900	高齢二次林?	5年毎	0.3	0	ı	ı	0	2009
18	11/11	コア	1	OG-DB1	DB	140.59	36.94	635	成熟林	毎年	1.2	0	0	0	0	2004
19	カヤの平	ΔΕ	1	KY-DB1	DB	138.50	36.84	1495	成熟林	毎年	-	0	0	0	0	2005
20	おたの申す平	ПЛ	1	OT-EC1	EC	138.50	36.70	1730	成熟林	毎年	-	0	0	0	0	2005
21	大山沢	T L	I	0Y-DB1	DB	138.76	35.96	1425	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2008
(数)	林タイプ BC:針広混	交林、DB	@森林タイプ BC:針広混交林、DB:落葉広葉樹林、EC:常緑針葉樹林、EB	葉樹林、日	· · ·	常綠広葉樹林、AT:人工林	人工林									

\*世界測地系(WGS84).# 自主調査による実施: +2013年で調査終了.

表2-2	-2 つづき															
Š	サイト名	サイトタイプ	プロット名	プロットID	森林タイプ®	経度*	緯度*	標高(m)	森林履歴	毎木調査 間隔	面積(ha)	年 木	落葉落枝• 落下種子	地表徘徊 性甲虫	鳥類	開始年
22		7⊏	株父ブナ・イヌブナ林	CC-DB1	DB	138.80	35.94	1200	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2004
23	\$ <del>1</del>	ΠL	秩父ウダイカンバ林	CC-DB2	DB	138.82	35.91	1090	二次林	5年毎	0.12	0	1	-	-	2004
24	Υ Υ	⊐7	秩父18は1二次林	CC-DB3	DB	138.82	35.91	1090	二次林	5年毎	0.1	0	-	-	_	2004
25		7⊏	秩父矢竹沢	CC-AT1	AT	138.82	35.94	006		5年毎	10.88	0	1	-	-	2004
26	# # #	7⊏	芦生枡上谷	AU-EC1	EC	135.74	35.35	750	成熟林	毎年	1	0	0	0	C	2007
27	H L	コア	芦生モンドリ谷	AU-DB1	DB	135.74	35.35	720	成熟林	5年毎	1	0	-	-	0	2007
28	愛知赤津	7⊏	-	AI-BC1	BC	137.17	35.22	335	二次林	毎年	1	0	0	0	0	2004
29	上賀茂	7	ı	KG-EC1	EC	135.77	35.07	140	二次林	毎年	0.64	0	0	0	0	2007
30	和歌山	7⊏	_	WK-EC1	EC	135.53	34.07	825	高齢二次林	每年	1	0	0	0	0	2005
31	市/又	7⊏	_	IC-BC1	BC	132.92	33.15	260	成熟林	每年	0.95	0	0	0	0	2005
32	綾	コア	_	AY-EB1	EB	131.19	32.05	490	成熟林	毎年	1	0	0	0	0	2004
33	<b>温</b>	ПЛ	田野二次林	TN-EB1	EB	131.30	31.86	175	二次林	毎年	1	0	0	0	0	2004
34	H	ıΓ	田野海岸林	TN-EB2	EB	131.26	31.38	26	二次林	_	0.1	1	ı	-	_	2004
35	与那	コア	_	YN-EB1	EB	128.23	26.74	250	高齢二次林	毎年	1	0	0	0	0	2004
36	大雪山	準コア	I	TA-EC1	EC	143.10	43.66	975	成熟林	4年每	1	0	ı	ı	0	2008
37	野幌	準コア	_	NP-DB1	DB	141.53	43.06	42	成熟林	5年毎	1.04	0	ı	ı	_	2005
38	仁鮒水沢§	準コア	-	NB-EC1	EC	140.25	40.08	190	成熟林	1	1	ı	ı	1	_	2006 (2010終了)
39	大滝沢	準コア	-	0Z-DB1	DB	140.89	39.64	460	成熟林	5年毎	-	0	1	1	0	2008
40	早池峰	準コア	_	HY-EC1	EC	141.50	39.54	1215	成熟林	5年毎	1	0	1	1	_	2005
41	青葉山	準コア	_	AO-BC1	BC	140.85	38.25	120	成熟林	5年毎	1	0	0	0	_	2006
42	金目川	準コア		KK-DB1	DB	139.84	38.15	543	成熟林	5年毎	-	0	ı	ı	1	2002
43	高原山	準コア	ı	TK-DB1	DB	139.80	36.88	925	成熟林	5年毎	-	0	ı	I	0	2008
@ 禁	*タイプ BC:針広混3	交林、DB:	@森林タイプ BC: 針広混交林、DB: 落葉広葉樹林、EC: 常線針葉樹林、EB	<b>计莱樹林、</b> EE		常綠広葉樹林、AT: 人工林	人工林									

\*世界測地系(WGS84))# 自主調査による実施。 § 2010年で調査終了

表2-	-2 つづき															
No	サイト名	サイトタイプ	プロット名	プロットID	森林タイプ®	経度*	緯度*	標高 (m)	森林履歴	毎木調査 間隔	面積(ha)	毎木	落葉落枝. 落下種子	地表徘徊 性甲虫	鳥類	開始年
44	筑波山	準コア	ı	TB-DB1	80	140.10	36.23	780	成熟林	5年毎	1	0	1	-	0	2009
45	御岳濁河	準コア	ı	NG-EC1	ЭЭ	137.46	35.93	1880	成熟林	5年毎	1	0	ı	-	-	2005
46	木曽赤沢	準コア	ı	KI-EC1	ЭЭ	137.63	35.72	1175	成熟林	5年毎	1	0	ı	-	0	2008
47	西丹沢	準コア	ı	TZ-DB1	80	138.99	35.47	1150	成熟林	5年毎	1	0	ı	-	0	2008
48	<b>+</b>	準コア	I	FJ-AT1	AT	138.87	35.41	1015	人工林	5年毎	計0.5	0	1	ı	1	2004
49	大山文珠越	準コア	ı	DI-DB1	80	133.55	35.36	1110	成熟林	5年毎	1	0	ı	-	1	2006
20	函南	準コア	-	KN-EB1	EB	139.01	35.16	009	成熟林	5年毎	1	0	-	-	-	2005
51	中田未	準コア	-	HD-DB1	80	133.92	34.70	110	二次林	5年毎	1	0	-	-	0	2007
52	臥龍山	準コア	ı	GR-DB1	80	132.19	34.69	1150	成熟林	5年毎	1	0	-	-	-	2008
53	中日星	準コア	ı	KA-EB1	83	135.86	34.68	310	成熟林	5年毎	1	0	ı	ı	ı	2006
54	宮島	準コア	1	MY-EB1	EB	132.33	34.30	100	成熟林/高齢二 次林?	5年毎	-	0	-	-	_	2009
22	三之公	準コア	ı	SN-EC1	ЭЭ	136.07	34.26	260	成熟林	5年毎	1	0	-	-	-	2007
26	対馬龍良山	準コア	ı	TT-EB1	83	129.22	34.15	160	成熟林	5年毎	1	0	ı	-	0	2007
22	糧屋	準コア	ı	KJ-EB1	EB	130.55	33.65	450	高齢二次林	5年毎	1	0	ı	-	ı	2006
28	佐田山	準コア	_	SD-EB1	EB	133.00	32.74	320	成熟林	5年毎	0.98	0	ı	*O	0	2007
29	椎葉	準コア	_	SI-DB1	DB	131.10	32.38	1190	高齢二次林	5年毎	1	0	ı	1	_	2009
09	屋久島照葉樹林	準コア	_	YK-EB1	EB	130.39	30.37	150	成熟林	5年毎	1	0	ı	1	_	2006
61	屋久島スギ林	準コア	_	YS-EC1	EC	130.57	30.31	1200	成熟林	5年毎	1	0	1	1	0	2007
62	奄美	準コア	_	AM-EB1	EB	129.45	28.33	330	高齢二次林	5年毎	1	0	0	0	0	2005
63	小笠原石門	準コア	_	OW-EB1	EB	142.16	26.68	290	成熟林	5年毎	1	0	ı	ı	_	2005
64	西表	準コア	_	IR-EB1 (仮)	EB(仮)	123.90	24.35	140	成熟林	4年毎	1	ı	ı	-	_	2009
@森本	@森林タイプ BC:針広混3	交林、DB:	BC: 針広混交林、DB: 落葉広葉樹林、EC: 常綠針葉樹林、EB: 常緑広葉樹林、AT: 人工林	<b>叶莱樹林、</b> E	B: 常綠広葉	{樹林、AT:、	人工林									

12

\*世界測地系(WGS84). # 自主調査による実施.

表 2-3 コアサイト・準コアサイトの国土区分3と気候帯別配置

	<u> </u>	<u> </u>		ᄼᄁᆘᄔ		1
生物多様性保全 のための 国土 10 区分	亜高山帯∙ 亜寒帯	冷温帯	暖温帯	亜熱帯	二次林等*	人工林
(1)北海道東部	■大雪山	△雨龍	該当なし	該当なし	(〇足寄)	
区域		○足寄				
(2)北海道西部		 <u>〇苫小牧</u>	該当なし	該当なし	(〇苫小牧)	<u>(×苫小牧)</u>
区域		○野幌				
	■御岳濁河	<u>O小川</u>		該当なし	(〇秩父)	(×秩父)
		<u>〇秩父</u>				×富士
		<u>〇大山沢</u>				
(3)本州中北部		〇高原山				
太平洋側区域		○那須高原				
		△青葉山				
		■木曽赤沢				
	■おたの申す平	<u>○カヌマ沢</u>	該当少ない	該当なし		
	■早池峰	△大滝沢				
(4)本州中北部 日本海側区域		■仁鮒水沢**				
口本海侧区域		〇金目川				
		<u>〇カヤの平</u>				
	該当少ない	■大佐渡	■上賀茂	該当なし	<u>〇小佐渡</u>	
(5)北陸•山陰		〇大山文殊越				
区域		〇臥龍山				
		<u>■芦生</u>				
(6)本州中部		〇西丹沢	●函南	該当なし	△愛知赤津	
太平洋側区域		〇筑波山	●春日山			
(7)瀬戸内海 周辺区域	該当なし	該当少ない	●宮島	該当なし	〇半田山	
		〇椎葉	■和歌山	該当なし		
			△市ノ又			
			■三之公			
			●田野			
(8)紀伊半島·四			<u>●綾</u>			
国•九州区域			●対馬龍良			
			●佐田山			
			●糟屋			
			●屋久島照葉樹			
			林 ■屋久島スギ林			
	該当なし	該当なし	該当少ない	●与那		
(9)奄美•琉球	m 1.40	m 1.40	m - 1 9 '6 0 '	● ● を美		
諸島区域				●西表		
(10)小笠原諸島	 該 当なし	 該 当なし	該当少ない	●小笠原石門		
区域			2 22 12:302 2			
表中の日例け図	2-1 と同じ。また、	母 郡 聿キけって、	サイトの 海 粉 ちスき	脚本区のらた一耳	切が該 当せる惧.	$\triangle$

表中の凡例は図 2-1 と同じ。また、括弧書きはコアサイトの複数ある調査区のうち一部が該当する場合。 表中の「該当なし」又は「該当少ない」は、日本において、そこに該当する森林が「ない」又は「少ない」ことを表す。 \* ここではコナラやカンバ類などの陽樹が優占するなど、種類組成が人為による影響を大きく受けた森林を指す。 \*\* 仁鮒水沢は 2010 年度で調査を終了した。

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> 日本列島の地史的成立の経緯、気温や年間降水量等、日本の生物相を規定している要素をもとに、環境省が 1997 年「生物多様性保全のための国土区分」として日本全国を 10 地域に区分したものを用いた。

# 2.2 一般サイト配置状況

一般サイトは、なるべく全国に均一な配置となるように配置した(図2-4、表2-4)。サイト数は第1期の森林253サイト、草原53サイトから、第2期には森林345サイト、草原74サイトとサイト数を増やした。そのうち第3期に解析可能なデータが取得できたサイト数は森林319サイト、草原70サイトであった(表2-5)

概ね均等に配置され、様々な植生 が含まれている。各調査地は5年に 1回のモニタリングを行った。

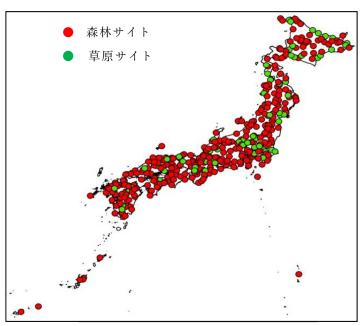


図 2-4 一般サイト配置状況

主 り_/	伽 ++ ノ	卜配置状況
<i>3</i> ▽ / <sup>-</sup> 4	— mo ') /	

森林サイト											
標高帯 \ 国土10区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	総計
2250m			1								1
2000m				2							2
1750m	1			5				1			7
1500m			4	4		1		2			11
1250m			9	1	2	2		6			20
1000m	2		7	9	7	4	3	9			41
750m	2	2	3	10	6	4	7	10			44
500m	7	7	7	14	13	6	16	13	2		85
250m	11	15	11	15	17	21	10	29	4	1	134
総計	23	24	42	60	45	38	36	70	6	1	345

草原サイト											
標高帯 🔪	-1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
国土10区分	•		י	*	י	٥	•	0	ס	10	総計
1750m			1	1				2			4
1500m				3							3
1250m				1				1			2
1000m			2	2	2		1	1			8
750m				2	1			3			6
500m			1	1	1		1	1			5
250m	11	8	6	5	1	9	3	3			46
総計	11	8	10	15	5	9	5	11	0	0	74

- 1:北海道東部区域、2:北海道西部区域、3:本州中北部太平洋側区域、4:本州中北部日本海側区域、
- 5: 北陸·山陰区域、6: 本州中部太平洋側区域、7: 瀬戸内海周辺区域、8: 紀伊半島·四国·九州区域、
- 9:奄美·琉球諸島区域、10小笠原諸島区域





図 2-5 森林調査地の一例(北海道西岡水源地)

図 2-6 草原調査地の一例 (徳島県三嶺)

表 2-5 一般サイトデータ取得状況

繁殖期												
森林/草原	標高帯/ 国土10区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	総計
	2250m			1								1
	2000m				2				1			3
森	1750m	1		1	6		1					9
林	1500m			3	1	1	1		2			8
サ	1250m			5	4	1	1		4			15
イ	1000m			9	8	7	4	6	8			42
1 +	750m	2		3	9	7	4	4	8			37
Г	500m	7	4	3	10	12	5	16	12	2		71
	250m	11	18	11	15	14	22	9	28	4	1	133
	総計	21	22	36	55	42	38	35	63	6	1	319
	2000m								1			1
	1750m			1	1				1			3
草	1500m				3							3
原	1250m								1			1
サ	1000m			2	2	1		1	1			7
1	750m				2	1			2			5
1 	500m			1	1	1		1	1			5
	250m	11	7	6	5	1	9	3	3			45
	総計	11	7	10	14	4	9	5	10	ol	0	70

越冬期												
森林/草原	標高帯/ 国土10区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	総計
森	1250m			4					2			6
林林	1000m			8	2		3	4	7			24
M   サ	750m			3	3	2	3	3	6			20
	500m	2	1	3	1	4	4	14	8	1		38
1 1	250m	4	13	11	7	8	20	8	23	3	1	98
	総計	6	14	29	13	14	30	29	46	4	1	186
#	1250m								1			1
草 原	1000m			1	1				1			3
l 原 サ	750m				1				2			3
"/	500m			1		1		1	1			4
1	250m	5	3	3	2	1	9	3	2			28
	総計	5	3	5	4	2	9	4	7	0	0	39

<sup>1:</sup>北海道東部区域、2:北海道西部区域、3:本州中北部太平洋側区域、4:本州中北部日本海側区域、

<sup>5:</sup>北陸·山陰区域 6:本州中部太平洋側区域、7:瀬戸内海周辺区域、8:紀伊半島·四国·九州区域、

<sup>9:</sup>奄美·琉球諸島区域、10 小笠原諸島区域

# 第3章 調査方法

#### 3. 1. コアサイト・準コアサイト調査方法

コアサイト・準コアサイトでは、毎木調査、落葉落枝・落下種子調査、地表徘徊性甲虫調査、鳥類調査を行っている。コアサイトでは上記4つの調査を毎年行い、準コアサイトでは、毎木調査及び鳥類調査を5年間に1回の頻度で行っている。

毎木調査では、1 ha の調査区内の胸高周囲長415cm 以上の全ての樹木を対象とし、その樹種を記録し、胸高周囲長を測定した(図 3-1B)5。

落葉落枝・落下種子調査では、上記の毎木調査を実施した調査区内にリタートラップを 25 個設置して、落葉量、落枝量、繁殖器官(種子・果実・花など)及びその他(樹皮やこけ、昆虫の糞など)の量を調べた(図 3·1C)5。

地表徘徊性甲虫調査では、ピットフォールトラップ法を用いて甲虫類を採集した 5。調査区内に 5 箇所の固定サブプロット(5 m四方)を設け、各サブプロットに 4 個の落とし穴状のトラップ(口径 90mm、深さ 120mm、ベイト(餌)は使用しない)を 72 時間設置し(図 3-1D)、その間に落下した甲虫類の個体数、バイオマス(乾燥重量)、種数を調べた。甲虫類が活発に活動する 4 月下旬~11 月上旬に、年 4 回の調査を実施した(4~6 月、5~7 月、8~10 月、9~11 月)。得られた甲虫類の大半を占める、オサムシ科、シデムシ科、ハネカクシ科の大型地表性種、センチコガネ科の甲虫は、分散能力が低く、生息範囲が限定され、環境変化の影響を指標しやすい分類群と考えられるため、種までの同定を行った。本報告書では以上の分類群を解析対象とした。

本調査では同一地点で長期間に渡って採集を行うため、調査労力、調査による攪乱、採集による個体群への影響を低く抑える必要があり、採集圧を弱く(トラップ数・採集日数・採集頻度を少なく)設定している。そのため、低密度種の生息状況の評価に適しているとはいえない。また、ピットフォールトラップによる捕獲個体数は、生息密度だけでなく採集時の活動性も反映する。採集を行う期間が限られているため、採集日の気象条件(天候、気温など)や、活動の季節性(ピーク時期など)の年による違いも、その年の総捕獲個体数に大きな影響を及ぼす可能性がある。このように、年々の捕獲個体数には様々な要因によるばらつきが含まれると考えられ、解釈には慎重を要するが、その長期的な変化傾向は生息密度の変化傾向を反映するものと期待できる。従って、優占する分類群の長期的な変化傾向に注目して結果を解釈することが妥当であると考えられる。

また、各調査時に、サブプロット内の林床植生(5 m四方、高さ 60cm 以下)の被度を目視で測定した5。さらに、各サブプロットにおいて、堆積落葉層(25cm 四方)の乾燥重量、炭素・窒素濃度の測定(通常年1回、 $6\sim8$ 月)、表層土壌(20cm2、深さ $0\sim5$ cm)

<sup>4</sup> 地上高 1.3m の幹の周囲長

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> 詳細は調査マニュアルに記載している。 (http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/index.html)

の炭素・窒素濃度の測定(2005、2010、2013、2016 年度)、堆積落葉層中及び表層土壌中におけるセルロース紙(5 cm 四方)の分解速度の測定(2004~2008、2012、2015 年度)を行った 5。

地表徘徊性甲虫調査に関して、本報告書では以下のデータを解析から除外した。

- ・2004年度のデータ (調査の時期や手法が他の年度と異なる場合が多い)
- ・各調査区において、調査日が当該調査区の平均的調査日と 20 日以上異なる年度の データ

さらに、5.1では二次林・人工林の調査区及びサイト代表者へのアンケート調査においてシカによる林床植物全体のバイオマス減少が「やや顕著」もしくは「顕著」に生じているとされた調査区(表 3-1)を解析から除外した。甲虫データの年変動の解析においては、当該分類群の全年度を通じた捕獲個体数が 20 個体未満の調査区を除外した。とくに断りがない限り、各統計モデルの応答変数は正規分布に従うと仮定し、係数の有意性は尤度比検定(有意水準5%)によって検定した。

解析に用いた気象データは、調査区の平年値を示す場合には、メッシュ平年値(統計期間  $1981\sim2010$ 年の平年値 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html) を、調査年それぞれ



図 3-1 (A) 対馬・龍良山サイトの様子、(B) 幹の太さを測る毎末調査、(C) リタートラップ に落ちた葉、枝、種子、果実などを回収、(D) 地表徘徊性甲虫を捕獲するためのピットフォールトラップ、(E) 地表徘徊性甲虫の標本

の気象データについては、調査区の最寄りのアメダス地点の値を用いた。気温については、 メッシュ平年値、アメダス地点観測値のそれぞれのデータに、メッシュの平均標高または 観測地点の標高と調査区の標高との違いに基づく補正を加えた値を用いた。

表 3-1 第3期に地表徘徊性甲虫調査を実施した29調査区のタイプ分け

衣り あらお	几个地名伊伯比于苏明且已	天心した 23 初且とのメイ	2 /3 1 / ·					
森林タイプ	シカによる林床植物のバイオマス減少*							
林がダイノ	なし	わずか	やや顕著・顕著					
落葉広葉樹 林	カヤの平 小川 カヌマ沢渓畔林 (小佐渡豊岡**) (小佐渡キセン城**)	苫小牧成熟林 (苫小牧二次林 404 林班) (苫小牧二次林 308 班) (苫小牧二次林 208 林班)	足寄拓北 大山沢 秩父ブナ・イヌブナ林					
常緑広葉樹林	佐田山 奄美 与那 (田野二次林)		綾					
針広混交林	雨龍 青葉山 (愛知赤津)	市ノ又						
針葉樹林	おたの申す平 大佐渡	和歌山 (上賀茂) (苫小牧アカエゾマツ人エ 林) (苫小牧カラマツ人エ林) (苫小牧トドマツ人エ林)	芦生枡上谷					

<sup>\*</sup> サイトへのアンケート調査に基づく(5.2.(2)1)参照)。

鳥類調査は、繁殖期と越冬期の年2回、スポットセンサス法により実施した。各調査サイトに5つの定点を設定し(森林プロットの中もしくはできるだけ近くに1点を設定)、定点より50m以内の調査範囲内に出現する鳥類の種と数、位置を記録した。また、調査範囲外に出現した種も併せて記録した。調査頻度は、1回の調査を10分間とし、繁殖期と越冬期にコースをそれぞれ4回実施(2回×2日)し、調査時期としては、繁殖期の調査は、繁殖期前半に1日と繁殖期の最盛期に1日の計2日間、越冬期の調査は2週間以上空けて2日間行った(図3-2)。ただし、多雪地域での越冬期調査は行っていない。調査の時間帯としては、繁殖期には、鳥類は早朝に活発でよくさえずり、時間とともにさえずらなくなるので(植田ほか2012)、日の出時刻から概ね8時までに調査を終えることとし、越冬期では、繁殖期に比べて調査時間帯による鳥類の記録への影響は少ないことから、午前中に調査を実施するものとした。

<sup>\*\* 2013</sup> 年度のみ調査実施。

<sup>()</sup>内は二次林(過去 100 年以内に大規模な自然撹乱や伐採を受けた森林)・人工林の調査区。

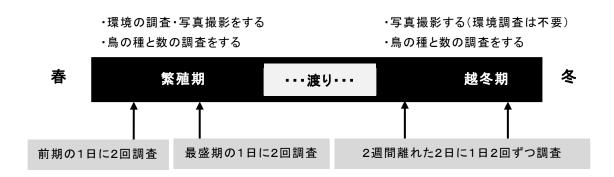


図 3-2 コア・準コアサイト鳥類調査のスケジュール

#### 3.2 一般サイト調査方法

一般サイトでは、1つのサイトについて概ね5年に1回、繁殖期( $4\sim7$ 月上旬)と越冬期(12月中旬~2月中旬)に調査することとしている。ただし、多雪地域や高標高のサイトにおいて、越冬期の調査が困難な場合は、繁殖期のみの調査でも可としている。

鳥類調査は、第2期調査に引き続きスポットセンサス法で実施した。各サイトにおいて、延長 1 km の調査コースに 100 m以上の間隔を置いて 5 つの定点( $A \sim E$ )を設けた。繁殖期には、繁殖期前半の 1 日に各定点 2 回ずつ(調査路の往復)、繁殖最盛期にも同様に 1 日に各定点 2 回ずつ、合計で各定点 4 回の調査を行った。往路の調査終了後、復路の調査開始までには 15 分以上の間隔をあけた。越冬期にも同様に、2 週間以上間隔をあけた 2 目間で、各定点合計 4 回の調査を行った。 1 回の調査は、各定点で 10 分間、半径 50 m以内の範囲とそれ以上の範囲に分けて、目視あるいは鳴き声を確認した鳥類の種類と個体数を記録した。記録は 10 分間を 2 分ごとの 5 回に分けて行った。調査時間帯は、繁殖期は 4:00 から 9:00 まで、越冬期は  $8:00 \sim 11:00$  の間に設定している。雨天と強風の時には調査を行わなかった。

個体数については、各定点の 50m の範囲内で 2 分毎に得られたデータのなかで種毎の最大値をその地点の個体数とし、 5 つの定点の合計個体数を調査サイトの個体数とした。また、出現種類については、範囲外も含めた確認種を解析に用いた。

またサイト内の植生については、繁殖期に植物に詳しい調査者でなくとも実施可能な簡便な方法により、その概況を調査した。森林サイトの場合は、鳥類のスポットセンサスを行った各定点で約25m四方の調査区を設定し、階層別に植物の被度を記録した。階層は林床(へそ高以下)、低木層(身長の倍程度まで)、亜高木層(10m程度まで)、高木層(林冠)、高高木層(突出木)の5層に分けた。各層の植物の被度は、6階級(0=植生なし、1=1~10%、2=10~25%、3=25~50%、4=50~75%、5=75%以上)に分けて記録した。併せて、各層の植生をササ、草、落葉広葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、落葉針葉樹、タケの7タイプに分け、各階層内で面積の広い順に順位をつけた。

草原サイトの場合は、鳥類のスポットセンサスを行った各定点で約 50m四方の調査区を

設定し、草原環境については草丈によって、ひざ下の草、へそ下の草、背丈程度、背丈以上の4区分、また草原以外の環境については耕作地、樹木、裸地、水域の4区分(合計8区分)に分けた。各環境の植物の被度は、6階級(0=植生なし、 $1=1\sim10\%$ 、 $2=10\sim25\%$ 、 $3=25\sim50\%$ 、 $4=50\sim75\%$ 、5=75%以上)に分けて記録した。また、草本の丈ごとに、優先する植生タイプとしてヨシ、単子葉、双子葉、ツル性、水田、畑地の6タイプに分け、面積の広い順に順位をつけた。

# 引用文献

植田睦之・黒沢令子・斎藤馨(2012)森林音のライブ配信から聞き取った森林性鳥類のさえずり頻度のデータ. Bird Research 8: R1-R4.

#### ■コラム3−1:国際長期生態学研究ネットワーク(ILTER)の取り組み

柴田 英昭(北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)

多種多様な生物群集を包含する生態系の構造や機能は外部要因による影響を受けてさまざまな時間スケールで変化し、その変化パターンは周辺環境の違いによって異なる。したがって、長期的な視野に立った生態系・生物多様性の観測研究を行い、多地点での研究成果を比較し、統合的に理解をすることが有用である。

国際長期生態学研究ネットワーク(International Long-Term Ecological Research Network: ILTER)は 1993 年に発足したグローバルなネットワークで、現在では 44  $\tau$  国、700 サイト以上が登録されている(図 1; https://www.ilter.network/)。生態学、環境科学、生物多様性、社会生態学などに関連した研究について、拠点となる研究サイトを基盤として長期モニタリングや現地実験等を通じた研究活動が実施されている(Mitrl et al. 2018)。また、各サイトで得られた調査観測データベースを公開し、さまざまな比較研究やメタ解析等に利用されている。

LTER 研究は 1980 年代に米国科学財団 (US-NSF) の支援を受け、米国内でのネットワーク化が行われ、数多くの傑出した研究成果が輩出されている。それらの LTER サイトでの観測は 1960 年代から現在も長期的に継続されているものも含まれており、環境変動に対する生態系の長期的な応答やフィードバックを理解するための重要な科学的基盤となっている (Groffman et al. 2018 ほか)。 US-LTER の成功に刺激を受け、世界の研究者によるボトムアップ型のネットワークとして ILTER が発足した。発足当時には US-NSF による支援を一部受けたものの、現在では ILTER として独立した国際ネットワークとして成長を続けている。各サイトの維持資金はそれぞれで調達し、各国からの拠出金によってネットワークレベルでの活動がサポートされている。

LTER は特定の項目をモニタリングするだけの事業ではなく、長期モニタリングを基盤としつつ、多角的な調査観測、野外実験、モデリング等を通じてさまざまな研究プロジェクトを実行できる研究プラットフォームとしての性格を有している。国有地等に政府系の研究機関がサイトを設定している場合や、大学研究林や臨界臨海実験所が所有・管理しているサイトを LTER サイトとしている場合もある。研究活動の事例として、生態系の機能や有機物循環の指標であるリター分解に着目した研究では、市販のティーバッグを現地でのリター分解試験の共通試料として用い、ILTERを含む世界の研究サイトでの一斉比較観測が実施され、環境傾度に沿ったリター分解の特性等が明らかにされている(Djukic et al. 2018)。また、エネルギーや食料問題に関連した環境への窒素汚染が生態系の養分循環や環境保全機能に及ぼす影響について、ILTER サイトでの研究を基礎とした国際共同研究や次世代研究者養成の取り組み等も行われている(Shibata et al. 2015)。ILTER は Global Research Infrastructure(GRI)として、GEO(The intergovernmental Group on Earth Observations)等の政府間国際プログラムとの連携も深めており、国連環境計画に関連している INMS(International Nitrogen Management System

: http://www.inms.international/) 等の国際共同研究プロジェクトへの貢献も続けている。

日本長期生態学ネットワーク(Japan Long-Term Ecological Research Network: JaLTER)は ILTER の正式メンバーとして加盟しており、各研究イニシアチブへの参画、東アジア太平洋地域ネットワーク等を通じて主導的な役割の一部を担っている。2019 年 9 月初旬にドイツの Leipzig にて第 2 回 ILTER Open Science Meeting (http://www.ilter-2019-leipzig.de/) が開催される予定であり、JaLTER を含む世界各地の LTER サイトにおける最新の研究成果が報告されるであろう。

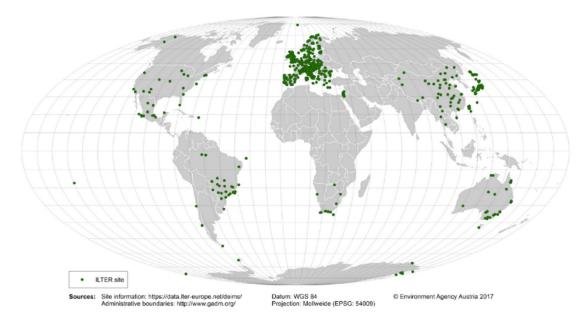


図 ILTER サイトの分布 (Mirtl et al. 2018 より転載)

#### 参考文献

Mirtl M et al. (2018) Genesis, goals and achievements of Long-Term Ecological Research at the global scale: A critical review of ILTER and future directions. Science of the Total Environment 626:1439-1462

Djukic I et al. (2018) Early stage litter decomposition across biomes. Science of The Total Environment 628-629: 1369-1394

Groffman P et al. (2018) Nitrogen oligotrophication in northern hardwood forests. Biogeochemistry 141:523-539

Shibata H et al. (2015) Consequence of altered nitrogen cycles in the coupled human and ecological system under changing climate: The need for long-term and site-based research. Ambio 44:178-193

# 第4章 森林・草原生態系の現状と課題と解析の方向性

# 4. 1. 事業の目的とモニタリングの必要性

#### (1) 事業の目的

- 2002年に策定された新・生物多様性国家戦略において、国土レベルで生態系や生物 多様性の劣化その他の問題点を早期に把握し、適切な対策を講じていくためには、 できるだけ多くの固定された地点で長期間にわたって、継続的に監視(モニタリン グ)を行うことが必要であるため、概ね10年間で1,000か所を目標に定点(モニタ リングサイト)を設定することが示され、本事業が開始された。
- また本事業は、生物多様性条約第10回締約国会議で採択された愛知目標達成の進捗 評価、気候変動の影響への適応計画(2015年11月閣議決定)、及び生物多様性国家 戦略2012-2020(2012年9月閣議決定)の推進に資するデータを提供することが求 められている。

### (2) 統一的な手法による長期・広域・多地点観測の必要性

- 本事業が目的とする保全施策の推進に資する質の高いデータを継続的に収集する ために、統一的な手法により長期・広域・多地点で観測を行う理由について以下に 示す。
  - ➤ 長期観測の必要性:森林を構成する樹木の寿命は人間よりも長いものがあり、四季に応じて毎年一定の季節に落葉や開花・結実が起こる。森林は本来、変化の緩やかな安定した生態系である。一方で、日本では数年に一度は台風によって倒木や根返りが生じたり、ごく稀に大雨や地震による斜面崩壊や地滑りが生じたり、病害虫が発生して枯死木が一時的に増えたりといった、サイズ、頻度、強度の異なる様々な攪乱が起こる。また数年周期で結実に豊凶がある場合もあり、年ごとの気象条件によって開花や落葉の時期にズレが生じる。そのため、短期の調査では、観察した現象が一時的なものか、より長期に継続する傾向であるのかを判断できない。森林生態系がどのような状態にあるのかを正しく理解するためには長期に観測を行う必要がある。
  - ▶ 広域観測の必要性:森林の樹木には優占種と呼ばれ、数や量が多く、どこにでも分布する樹種がある一方で、ごく少数でまれにしか見られない樹種が多い。また尾根や谷等の特定の地形条件の場所に偏って分布する樹種も多い。さらに極相に近い自然林であっても様々な自然攪乱によって生じる林冠ギャップが不規則に分布し、各々のギャップが稚樹や被圧木の成長によって更新される多様な発達段階の途上にあるため、林齢の異なる林分がパッチ状に組み合わさって

- いる。そのため、森林の構造を理解するためには小面積の調査では困難で、広い面積を対象とした調査が必要である。
- ➤ 多地点観測の必要性:日本の国土は南北にも長く、亜熱帯から亜寒帯まで異なる気候帯にまたがり、降水量や降水、積雪の季節変化の傾向も地域によって様々である。さらに多数の山地を抱えており低山帯から高山帯まで標高に従った気象の変化も顕著である。各地域には主にその地域の気候に対応した常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、針葉樹林等、様々なタイプの森林が分布している。加えて、地史的な成立の経緯も森林の構成種に影響している。そのため、日本の森林の状況を把握するためには、各地域の代表的な森林タイプを網羅するように調査地を設置する必要がある。さらに一つの調査地で特定の変化が観察された場合に、その地域特有の現象であるのか、近隣地域でも同じように観察されるものか、あるいは全国に共通する変化傾向であるのか判断を要する場合もある。このような地域的現象と広域的現象の区別を行うには、少数の調査地の観察データでは困難なため、全国に多数の調査地を設けることが必要である。
- ▶ 調査手法の統一の必要性:大面積を調査するための労力は大きく、作業を複数の調査者で分担する場合が多い。また一人の調査者が調査に参加できる年数は限られるため、モニタリングの年数が長くなれば調査を後継者に委ねる必要が生じる。もし、調査者や調査実施年で手法が異なれば、得られたデータを解析しても、サイト内や経年的なデータの変化が、生態系の変化であるのか、手法の差による違いであるのか判断ができない。またサイト間を比較する場合にも、同一の手法で得られたデータであれば、手法や精度の違いをそれほど考慮せずにデータを比較して、サイト間の違いを明らかにすることができる。そのため、長期・広域・多地点モニタリングの実施には、統一のマニュアルを共有し、それに従った調査の経験を積めば誰もが実施可能な調査手法を複数の調査者の間で共有し、それを継承することが不可欠となる。

## 4. 2. 森林・草原生態系の現状と生物多様性の4つの危機

## (1) 森林・草原生態系の現状

- 現代の日本は国土の 67%を森林で覆われ (2017 年現在、林野庁統計情報より引用)、森林率は世界の 234 か国中の 21 位であって (2015 年時点、FAO 2015)、日本は森林に恵まれた国と言える。
- しかし、「生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書」によると、森林生態系の状態は、1950年代後半から現在において損なわれており、長期的には悪化する傾向で推移していると評価された(環境省生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会2016)。
- 一方、日本における草原の面積は 1910 年代には国土のおよそ 10%を占めていた (小椋 2010)。自然に対する人間の働きかけの縮小撤退により、1990 年代までに 1%程度にまで減少し、現在も同程度で推移している(農林水産省 2016)。

## (2) 森林・草原生態系における生物多様性の4つの危機

- 生物多様性国家戦略 2012-2020 では、現在の生物多様性の危機をその原因及び結果から、次の4つに類別している。
- ここでは4つの危機毎に、国内の森林・草原生態系について歴史的な経緯と現状の概要を述べる。

## 1)「第1の危機」人の利用による森林・草原の変化

- 第1の危機は、開発や乱獲など人が引き起こす負の影響要因による生物多様性へ の影響である。
- 日本列島は、少なくとも後期旧石器時代以降、継続して人の生活の場となっており、現在見られる大部分の自然が人間活動の影響を強く受けている(湯本 2011)。 人は燃料や建築材、道具を作るための材料とする木材、牛馬の飼料とする下草、 農地の肥料とする柴草、食糧となる鳥獣や山菜、堅果類、キノコ類等を得るため 森林を利用してきた(辻野 2011)。
- Totman (1989) によると、明治期以前の日本において深刻な森林消失が見られた時期が2回あったとされる。古代の律令国家が成立した時期(西暦 600~850 年頃)には、宮廷や寺院、神社等の建設ブームが巻き起こり、畿内盆地に隣接した山地にあってアクセスできる原生の高齢林は全て伐採された。また戦国時代末期には、大規模な城郭、城下町、寺社等の建設とその維持、また増大する人口を賄うため大量の木材が必要となり、九州から本州北部にかけて大規模な森林消失が

広がり、全国的な木材の枯渇を招いた。この近世の森林荒廃を契機として利用制限を始めとする森林管理及び育成林業が盛んになり、森林の荒廃は緩和された。

- 明治から第二次世界大戦までは、針葉樹人工林を造成して育成林業を目指すという森林資源政策が全国に普及していった時代である。明治に入り幕藩体制が崩壊する過程で、全国的に森林の濫伐が発生するが、明治中期までには新政府による森林の所有と管理に関わる制度の整備が進み、明治 30 年代から針葉樹を主体とした人工林の造成が加速した(大住 2018)。
- 第二次世界大戦戦時下には過剰な伐採と再造林の遅れにより、国内の森林資源の保続性は大きく損なわれた。戦後は敗戦により海外領土とその森林資源を失い、外貨の乏しい敗戦国の経済では輸入もままならず、戦後の復興にあたって木材は大いに不足した(大住 2018)。
- このような局面に際して、国内の木材生産力基盤を強化するため、いわゆる「拡大造林」を開始され、主に奥地天然林や里山等を対象として大規模な伐採と人工造林が進んだ(大住 2018)。
- 最近、50年間の土地利用の推移をみると、陸域の約6割を占める森林全体の面積 は維持されているが、1943年から1980年代にかけて自然性の高い森林、草原、 農地等が減少し、他方で都市が拡大し、人工林が増加した(環境省生物多様性及 び生態系サービスの総合評価に関する検討会2016)。現在、人工林は陸域の3割 を占める(林野庁2017)。
- 20 世紀後半の高度経済成長期には、宅地面積が急激に増加し、1960 年代から 2000 年代にかけて宅地も含めた都市が約 2 倍に拡大した(環境省 2012)。また、 1980 年代後半のバブル経済期には森林から農地、宅地、工場、レジャー施設への 転用が進んだ(環境省 生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会 2016)。さらに石灰石の国内生産量は最近まで継続して増加しており、その鉱山開発は植生や表土を剥がして石灰岩を露出させて採掘を行うことから、一定規模の 自然破壊を伴った(松木・上田 2015)。
- また、高度経済成長期には、湖沼や河川の岸辺や海岸についても干拓や埋立て、 あるいは防災上の観点から土地整備が進み、移行帯の植生や生物多様性は大きく 失われた(環境省 2012)。
- 人間活動によるもう一つの影響として、森林生態系の連続性の低下がある。森林 の分断化・孤立にともない、そこに生息する個体群も分断化・孤立するため、生 物多様性への影響が懸念される。(環境省\_生物多様性及び生態系サービスの総合 評価に関する検討会 2016)。

#### 2)「第2の危機」自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による森林・草原の変化

• 第1の危機とは逆に、人の生活様式や産業構造の変化によって、自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することにより森林・草原が受ける影響である。

- 「第1の危機」で述べたとおり、現在見られる自然の大部分が人間活動の影響を受けており、里地里山の薪炭林や農用林などの里山林、採草地や放牧地などの半自然草原は、人間の生活や経済活動に必要なものとして利用されることで維持されてきた(環境省 2012)。
- 日本列島では数千年前から火を使った半自然草原の管理が行われていたと考えられている(高原 2009)。江戸時代には田畑の肥やしや秣(まぐさ)、屋根葺き用の萱(カヤ)取得のために広大な面積の草原的植生(半自然草原)が存在していた(小椋 2009)。これらの環境は自然林等の原生的な自然とは異なり、中規模の人為的攪乱を継続的に受ける生物多様性の高い生態系となっていた(須賀 2012)。
- しかし、第二次世界大戦後から 1970 年代にかけて、エネルギー源として薪炭が利用されなくなり、化学肥料の生産量が急激に増加するなど、農村地域における薪やたい肥などの生物由来の資源の利用が低下した結果、萌芽更新や火入れなど人為的な管理により維持されてきた里山林や野草地の放棄が急激に進んだ(環境省2012)。
- その結果、かつてコナラやミズナラ、アカマツの優占した里山林は遷移が進んで大径木の多い成熟林となり、次第に閉鎖した林内でも生育可能な常緑広葉樹が増え、樹種交代が生じている。里山林の密生化や常緑広葉樹の繁茂は林内を薄暗くし、明るい林内を好む草本や落葉低木は生育が難しくなり、またこれらを食草とする昆虫、野生鳥獣も数を減らしている(重松 1998)。
- 半自然草原もまた開発や放棄後の遷移の進行などで面積規模は縮小し、樹林化が進行して、群落の構造が変化している。半自然草原の減少、変化は多くの草原性の草本植物の減少を招いており、生息地や餌資源の供給場所として利用する小動物の減少も招き、特定種の絶滅危惧のみならず、生態系全体への影響も危惧される(大窪・土田 1998)。
- 放棄された里山林では 1970 年代以降にマツ材線虫病によるマツ枯れが増大した。 また 1980 年代以降、東北地方から九州地方までの広い範囲で発生したナラ枯れ は、比較的高齢で大径木の多い広葉樹二次林(旧薪炭林)で発生することが多く (高畑 2008)、里山林の管理放棄と深く関わっていると考えられる。
- 1980 年代以降に、狩猟者の減少、農林業の衰退と中山間地域の過疎化と老齢化が進む中で、ニホンジカ(以下、シカという)の分布が急速に拡大し、深刻な農林業被害や生態系への影響が発生している(常田 2006)。ただし、後述のようにシカの増加は気候の変化とも関係があると考えられている。

## ■コラム4-1:半自然草原の歴史と草原性生物の危機

須賀 丈(長野県環境保全研究所)

日本は「森の国」であると思われることが多い。実際、比較的温暖で湿潤な気候のため、ほとんどの場所で植生は放っておくと森林へと遷移する。また植林地を含めると、現在国土の7割近くを森林が占めている。これに対し自然草原は高山や海岸、河畔などに分布が限られている。しかし、かつては半自然草原が大きく広がっていた。半自然草原とは、火入れ・放牧・採草で維持されてきた草原である。この半自然草原には、氷期に大陸

の温帯草原から広がったとされる植物やチョウが多い。歴史的に長く火入れの続いた草原には、黒ボク土という黒い土壌が生成されている。その生成のはじまりは、縄文時代にさかのぼる場所が多い。黒ボク土は、国土の約17%を占めている。けれども半自然草原は明治以降に大きく減少し、現在では国土の約1%を占めるにすぎない。

その結果、今では半自然草原を生息場所とする 野生動植物に絶滅のおそれのあるものも少なくない。植物ではムラサキ・アツモリソウ・オキナグ サ・キキョウ、鳥ではコジュリン・オオジシギ、 チョウではチャマダラセセリ・オオルリシジミ・ コヒョウモンモドキなどがそうした種の例であ る。環境省のレッドデータブック(2000)による と、維管束植物の絶滅危惧要因として、「自然遷 移」が全国地域メッシュ数の15%を占めており、 これは「園芸採取」の24%に次いで多い。また 「草地開発」も5%を占めている。

この歴史をよく物語るのが、コヒョウモンモドキを対象とした DNA の研究である (Nakahama et al. 2018)。このチョウは半自然草原に生えるクガイソウを食草とする。研究によると、コヒョウモンモドキは約7万年前(15~2万年前)に日本列島とロシアの個体群が分かれ、6000~3000年前に日本列島の個体数が大きく増加し、過去30年にその個体数と遺伝的多様性が大きく減少したという。ロシアの個体群と分かれたとされるのは、おおむね最終氷期にあたる時期である。個体数が大きく増えたのは、火入れにより半自然草原が拡大した



写真1 草原への火入れ



写真2 キキョウの花



写真 3 クガイソウに訪花した コヒョウモンモドキ

縄文時代である。過去30年の個体数と遺伝的多様性の減少は、半自然草原の減少を映し出している。

半自然草原が近年減少した最大の原因は、草を資源とする生活の衰退である。かつて草は田畑の肥料や牛馬の餌、屋根のカヤなどに使われた。草原の花は、秋の七草など和歌に詠われ、盆花や生け花に使われ、浮世絵にも描かれた。それは人里の身近な景観であり、日本文化の源泉のひとつであった。これが変化したのは、農耕社会が産業社会に移行し、地球規模の資源利用に依存するようになったためである。このような背景もあって、今では各地で草原の保全や再生の活動がおこなわれている。草原性の動植物の生息状況は、こうした生活の変化にともなう生態系の変化の指標としての意味ももっている。

#### 引用文献

Nakahama, N., Uchida, K., Ushimaru, A. and Isagi, Y. (2018) Historical changes in grassland area determined the demography of semi-natural grassland butterflies in Japan. Heredity DOI:10.1038/s41437-018-0057-2

• シカの密度増加と分布拡大に伴い、全国のシカの捕獲数は 1960 年代には1万頭前後、1980 年代初頭には約2万頭であったが(環境庁 1984)、その後継続して増加して2015年には60万頭以上に達した(図4-1)。一方で狩猟者は1970年代半ばから急激に減少していることから、シカ捕獲数の増加はその個体数の著しい増加を示唆していると考えられる(常田 2006)。

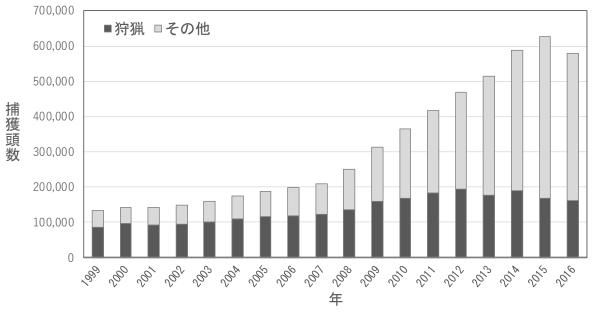


図 4-1 ニホンジカの捕獲頭数の推移

「その他」には、鳥獣捕獲許可の中の「被害の防止」、鳥獣管理計画に基づく鳥獣の数の調整、指定管理鳥獣捕獲等事業による捕獲が含まれる。出典:平成 11~28 年度鳥獣関係統計

(https://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs2.html)

- シカの影響は最初に、嗜好性の高い植物の成長阻害や減少・消失、嗜好性の低い植物や不嗜好性植物の増加等に現れる。本事業の第2期とりまとめでもシカの多い調査区では、シカの少ないあるいはいない調査区と比べて樹木の新規加入率が低く、シカが好んで樹皮を剥ぐ樹種は死亡率が高かった(環境省 2015)。
- シカの密度が高い地域では、ネズミ類(Suda et al. 2003)、チョウ類(中村 2016)、 地表性節足動物(上田ほか 2009、岸本 2012)、地表徘徊性甲虫類(環境省 2015)、 ウグイス類などの主に森林下層を利用する鳥類(奥田ほか 2013、環境省 2015)、 ニホンカモシカ (Koganezawa 1999、落合 2016)の個体数が減少した例が報告 されている。

## 3)「第3の危機」外来種など人により持ち込まれたものによる森林・草原の変化

- 第3の危機は、外来種や化学物質など人間が近代的な生活を送るようになったことにより持ち込まれたものによる危機である。
- 外来種は競争、捕食、交雑、寄生虫・疾病の伝搬、あるいは生息環境の改変を通じて、侵入先で在来種の絶滅の危険を増大させる(一般財団法人自然環境研究センター 2019)。外来種が生物多様性に与える影響は不可逆的であり、長期的に見れば生息場所の破壊より深刻であることが例証されつつある(鷲谷・村上 2002)。
- 外来種の樹木が自然林内へ侵入して大きな影響が生じた例は多くない。しかし、特に外来種の影響を受けやすい島嶼である小笠原諸島では一部の森林にアカギやモクマオウが侵入して高木層を占め(田中 2009、環境省 2015)、キバンジロウが低木層で繁茂している例がある(財団法人自然環境研究センター 2012)。また、本事業のサイトの中でも、屋久島照葉樹林サイトでアブラギリが、沖縄本島の与那サイトではタイワンハンノキがそれぞれ侵入している(環境省 2015)。
- 森林性の鳥類では、ソウシチョウとガビチョウが 1980 年代前半以降に分布を拡大している(環境省 2004)。ガビチョウは東北地方南部、関東から中部、九州北部の3地域に分布しており 1998 年から 2012 年まで東北と関東で分布の拡大が大きかった。ソウシチョウは 2002 年時点で既に九州に広く分布し、近畿、中部、関東にも点々と分布しており、2012 年までその周囲と飛び火的な分布の拡大を見せた(環境省 2015)。
- アライグマ、フイリマングース、グリーンアノールなど捕食能力の高い外来種も 各地の森林に侵入している(環境省 2015)。
- さらに本事業サイト周辺でも発生している大規模な樹木病虫害には、外来種のマツノザイセンチュウ、タイハンハムシ及び国内外来種のカラマツハラアカハバチが原因となっている場合も見られた(環境省 2015)。

### 4)「第4の危機」地球温暖化など、気候の変化による森林・草原の変化

- 第4の危機は、地球温暖化など地球環境の変化による生物多様性への影響である。
- 気候変動に関する政府間パネルの第5次評価報告書によると、地球上の気候システムの温暖化には疑う余地がなく、1950年代以降、観察された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものであり、大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇し、温室効果ガスの濃度は増加している(IPCC 2013)。
- 陸域の生態系及び生物多様性は進行する気候変動、並びに気象及び気候の極端現象に対して脆弱であり、食料安全保障及び陸域生態系に悪い影響を及ぼし、多くの地域において砂漠化及び土地劣化に寄与してきた(IPCC 2019)。
- 主にヨーロッパや北米大陸では 2000 年代から氷河の縮小、永久凍土の溶解、雪解けの早期化、湖沼や河川の水温上昇等が観察されており、生物側の反応として春のイベント (開花、季節移動、繁殖) 時期の変化、種の分布域、群集構造の変化が観察されている (Rosenzweig et al. 2008)。また、気候変動適応計画 (2018年 11月 27日閣議決定) によると、国内の森林では、不確定な要素が多いものの、気温の上昇や融雪時期の早期化等によって高山帯・亜高山帯の植生の衰退、落葉広葉樹の常緑広葉樹への置き換わり、病害虫の被害地域が拡大している可能性が報告されている。
- 種の喪失及び絶滅を含む、生物多様性及び生態系に対するこれらの影響は、 $2^{\circ}$ に比べて  $1.5^{\circ}$ の地球温暖化においての方が低く抑えられると予測されている (IPCC 2018)。

#### ① 既に観測された気候の変化

気象庁によると、世界の年平均気温は 100 年あたり 0.73℃の割合で上昇し、日本においては 100 年あたり 1.19℃の割合で上昇している (図 4-2) (気象庁 2018)。

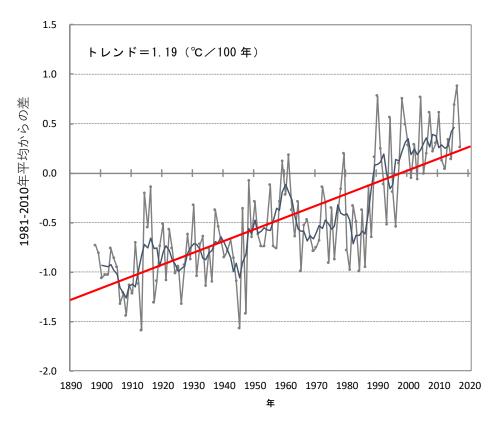


図 4-2 日本の年平均気温の偏差の経年変化(1898~2017年)

細線(黒):各年の平均気温の基準値からの偏差、太線(青):偏差の 5 年移動平均、直線(赤):長期的な変化傾向。基準値は  $1981\sim2010$  年の 30 年平均値。出典:気象庁ホームページ「日本の年平均気温」 (http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\_jpn.html)

• 全国的に大雨や短時間強雨の発生頻度は増加している。気象庁では現在、全国約1,300 地点の地域気象観測所 (アメダス) において、降水量の観測を行っており、1時間降水量 50mm 以上及び 80mm 以上の短時間強雨の年間発生回数はともに増加している (図 4·3)。その一方で、日降水量 1.0mm 以上の日数は減少しており、大雨の頻度が増える反面、弱い降水を含めた降水の日数は減少している (気象庁 2018)。

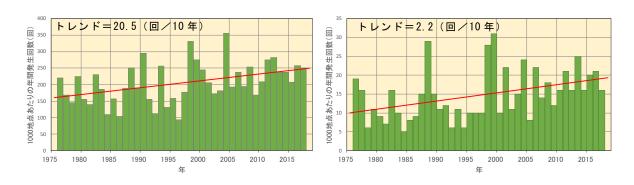


図 4-3 1 時間降水量 50mm 以上 (左図) 及び 80mm 以上 (右図) の年間発生回数の 経年変化 (1976~2017 年)

棒グラフ(緑)は各年の年間発生回数を示す(全国のアメダスによる観測値を 1000 地点あたりに換算した値)、直線(赤)は長期変化傾向(この期間の平均的な変化傾向)を示す。出典:気象庁ホームページ「大雨や猛暑日など (極端現象)のこれまでの変化」(http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme\_p.html)

- 積雪量について、年最深積雪の基準値に対する比(1981~2010年平均値に対する比、%で表す)は1962年以降に日本海側の観測地点で減少傾向が見られ、10年あたりの減少率は北日本日本海側で3.3%、東日本日本海側で12.3%、西日本日本海側で13.8%であった(気象庁2018)。
- 台風について、発生数の長期変化傾向、及び「強い」以上の勢力となった台風 の発生数に変化は見られていない(気象庁 2018)。
- ただし、1949年以降、世界で台風を含む熱帯低気圧の移動速度が低下しており、 日本のある北西太平洋地域においては 30%遅くなった証拠がある(Kossin 2018)。台風の進路にあたる地域では、その影響を受ける時間が長くなり、降水量や強風による攪乱強度が増加した可能性がある。
- また、20世紀中に日本海沿岸の大陸東岸地域で台風によって森林の攪乱を受ける地域が高緯度方向へ広がったことを示す長期的な変化傾向が示されており (Altman et al. 2018)、過去 100 年で日本周辺において強い勢力の台風が高緯度地域まで北上しやすくなった可能性がある。

#### ② 現在生じている森林・草原生態系への影響

- 生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書によると、「気候変動による生物の分布の変化や生態系への影響」が起きている確度は高いと評価された(環境省生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会 2016)。
- 気候変動による影響の評価結果では、自然林・二次林の現在の状況を以下のようにまとめられている(中央環境審議会地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会 2015)。
  - ▶ 気候変動に伴う自然林・二次林の分布適域の移動や拡大の現状について、

現時点で確認された研究事例は限定的である。

- ▶ 気温の上昇の影響によって、過去から現在にかけて落葉広葉樹が常緑広葉 樹に置き換わった可能性が高いと考えられている箇所がある。
- 八甲田山のオオシラビソ個体群は最近 30 年間で分布の下限標高で減少し、上限付近では逆に増加しており、分布の高標高域への移動が明らかであった(田中ほか 2014)。
- 本事業で得られたデータを解析した結果、国内に森林において常緑広葉樹の寒冷な側の分布境界付近で常緑広葉樹の増加と落葉広葉樹の減少が生じ、また落葉広葉樹の寒冷な側の分布境界付近で落葉広葉樹の増加と寒帯性針葉樹の減少が生じていた。このような気温傾斜沿った指向性のある変化は、気候変動との関係が疑われる(Suzuki et al. 2015)。
- 昆虫の分布域の変化については、クマゼミや蝶類のナガサキアゲハとツマグロヒョウモンなど、分布の北限が高緯度に広がるなど、気候変動による気温の上昇の影響と考えれば説明可能な分布域の変化、ライフサイクル等の変化の事例が確認されている。ただし、気候変動以外の様々な要因も関わっているものと考えられ、どこまでが気候変動の影響かを示すことは難しい(中央環境審議会地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会 2015)。
- 日光地域では、冬季の積雪深の減少により越冬地で利用可能なエサ資源が増加したことによって、シカの密度増加と拡大が生じると考えられた(Li et al 2001)。 全国的なシカの増加は、前述した狩猟による捕獲圧低下、土地利用の変化に加え、気候変動による積雪深の減少も影響しており、複合的な要因が指摘されている(中央環境審議会地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会 2015)。
- 生物季節への影響としては、国内のサクラの開花日は 1953 年以降、10 年あたりで 1.0 日の変化率で早くなっている。また、カエデの紅(黄) 葉日は、10 年あたり 2.8 日の変化率で遅くなっている (気象庁 2018)。
- 新潟市の海岸近くの飛砂防備林ではコムクドリの産卵開始日は年々有意に早まる傾向があり、28年間で15.3日早くなった(小池・樋口2006)。

#### ③ 将来予測される影響について

- 「日本における気候変動による影響に関する評価報告書」では、自然林・二次 林の将来予測される影響が以下のとおりまとめられている(中央環境審議会地 球環境部会・気候変動影響評価等小委員会 2015)。
  - 冷温帯林の構成種の多くは、分布適域がより高緯度、高標高域へと移動し、 分布適地の減少が予想されている。特に、ブナ林は21世紀末に分布適域の 面積が現在に比べて減少することが示されている。
  - ▶ 暖温帯林の構成種の多くは、分布適域が高緯度、高標高域へと移動し、分布 適域の拡大が予想されている
  - ▶ ただし、実際の分布については、地形要因や土地利用、分布拡大の制限など

により縮小するという予測もあり、不確定要素が大きい。

• また同報告書では、気候変動によって、生物の分布域の変化やライフサイクル 等の変化が起こるほか、種の移動・局地的な消滅による種間相互作用の変化が さらに悪影響を引き起こし、生育地の分断化により気候変動に追随した分布の 移動ができないなどにより、条件によっては3割以上の種の絶滅を招く可能性 があるとしている。

# 4.3.解析の方向性

- 森林・草原の現状とその動向を把握するため、要因別に予想される森林生態系の変化を抽出し、生物多様性の4つの危機との関係を整理した上で、それぞれの項目について傾向の解析を行った(表4-1)。
- なお、開発や乱獲など人為の影響が要因となる第1の危機については、本事業の調査サイトが人為の影響を多く受けてこなかった場所(大学の演習林、国立研究開発法人森林研究・整備機構の試験地内等)を中心に設定されており、その影響による変化傾向を把握することは現時点では難しいため、第1の危機と関係する解析は行っていない。
- 本報告書の第5章では、まず20世紀初頭から工業化により世界中で進行し、地球上の全ての生物と環境に影響を及ぼす可能性のある気候変動により生じる変化について解析を行った(第4の危機)。次に1960年代に生じた燃料革命とそれに伴う里地里山の管理放棄から、数十年を経て日本の中山間地域で顕在化している人間の自然への働きかけの縮小撤退による変化(第2の危機)について解析した。最後に、近年になって定着して急速に分布を拡大する事例が報告される等、その影響が増大している外来種による変化(第3の危機)を、森林生態系への侵入に着目して解析した。

表 4-1. 生物多様性の 4 つの危機と各解析項目との関係

影響要因	4つの危機と の対応	環境変化	解析項目	解析内容
気候変動 < 5.1 >	第4の危機	気温・降水パタンの変化, 積雪量の変化, 台風 撹乱の変化	(1)動植物分布域の高緯度・高標 高への移動,縮小・拡大	1)樹木の加入率,死亡率および個体数変化と気温との関係
				2)サイトごとの種構成変化
				3)新たに加入した種や消失した種の種数
				4) 地表徘徊性甲虫の広域分布種の個体数 変化と気温との関係
				5) 鳥類の分布域の高緯度・高標高への移動, 縮小・拡大
			(2)生物の成長量, 個体数・種数 の変化	1)樹木の単年あたりの成長量とその年の気温との関係
				2) 地表徘徊性甲虫の個体数変化とリター供給量, 林床環境, 気象との関係
				3) 鳥類の個体数・種数について過去との比較による変化の検出
			(3)炭素循環の変化	1)調査開始時からの地上部バイオマス変化量
				2)リター生産量の年変動と気象との関係
				3) 堆積落葉量の年変動とリター供給量, 気 象要因との関係
				1)落葉ピーク時期の年変動と気温との関係
				2)主要樹種の種子落下時期の年変動と気 温との関係
				3) 鳥類のさえずり頻度の季節変化, 年変動
			(5)種子生産量の変化	1)主要樹種の種子生産量の年変動と同調 性
自然に対する人間の 働きかけの縮小撤退 による生物間相互作 用の変化<5.2>	第2の危機	(1)病虫害の発生状況 の変化	1) コア・準コアサイト及び周辺の森林における大規模な病虫害の発生状況	
			2)病虫害の発生による樹木群 集, 林床植生, 堆積落葉層及び地 表徘徊性甲虫群集への影響	① ナラ枯れ発生サイトの樹木の種構成変化,炭素蓄積量変化
				② マツ枯れ・ナラ枯れ発生サイトの林床植生 被度, 堆積落葉層, 地表徘徊性甲虫群集の 年変動
				③ カラマツハラアカハバチが大発生した苫小 牧カラマツ人工林調査区の堆積落葉層, 地 表徘徊性甲虫群集の年変動
		(2)シカの分布拡大・密度増加	1)シカの分布拡大・密度増加による樹木群集、林床植生、堆積落葉量、地表徘徊性甲虫及び鳥類群集への影響	①樹皮はぎと樹木死亡率の関係とその樹種 間差
				② 林床植生被度, 堆積落葉量, 地表徘徊性 甲虫への影響
				③下層植生と鳥類相の関係
		(3)植生環境の変化	1)鳥類相の顕著な変化の有無と変化内容	
			2)草原の樹林化による鳥類群集の変化	
外来種<5.3>	第3の危機	(1)森林・草原への外来 種の侵入	1)コアサイト・準コアサイト及び周辺の森林への外来種の侵入状況	
			2)一般サイト及び周辺の森林への外来種の侵入状況	

## (1)気候変動 <第4の危機>

#### 1) 動植物分布域の高緯度・高標高への移動、縮小・拡大

• 気温の上昇にともない動植物の分布域が高緯度・高標高へ移動する可能性がある。 特に植生帯の境界付近では種組成の変化が生じたり、種の分布域の南限・北限付近、 あるいは標高下限・上限付近では密度変化が生じたりすることも考えられる。

## <第2期までの成果>

- 群集動態の指標パラメータである死亡率に大きな影響を与えた要素は、気温の変化 よりも、台風等の攪乱であることが確認された。
- 調査開始から 10 年間の樹木の種類組成の変化として、冷温帯(落葉樹林帯)と暖温帯(常緑樹林帯)の境界付近で、相対的に落葉広葉樹が減少し常緑広葉樹が増加する傾向が見られたが、植生遷移の可能性もあり、気温上昇の影響であるか明確でなかった。
- 地表徘徊性甲虫類(以下、甲虫類という)の広域分布種について、各年の気温とその翌年の捕獲数との関係を解析し、今後全国的な気温上昇が起こった際に分布域の変化の兆候が捉えやすい種を探索した結果、分布域中の最も温暖な地域において気温が高い年ほど翌年の捕獲数が少ない傾向を示す種が3種、最も寒冷な地域で気温が高い年ほど翌年の捕獲数が多い1種が確認できた。
- 一般サイトの鳥類調査では、第1期、第2期の繁殖期と越冬期の分布の比較で行ったところ、森林性鳥類では分布の大きな変化は認められなかったが、水辺を主要な生息環境とするミソサザイは越冬期の北海道で記録が増えており、河川の凍結状況の変化による影響の可能性が示唆された。

## <第3期とりまとめの解析方針>

• 樹木の加入率・死亡率の変化と気象要因の関係、各サイトにおける樹木の生活形ご との相対頻度の変化と気温との関係、甲虫類で広域に分布する種の増減と気象要因 の関係、分布を大きく北上させている鳥類の分布の変遷等を解析した。

## 2) 生物の成長量、個体数・種数の変化

• 気温の上昇は、生物の成長量、繁殖率や死亡率を変化させ、個体群の動態を変化させる可能性がある。また極端に集中する降水の頻度増加は、森林内で斜面崩壊や地滑りが生じる頻度や強度を増加させ、森林の更新体制を変える可能性がある。

#### <第2期までの成果>

- 樹木の年間肥大成長と調査区ごとの年平均気温の関係を解析した結果、樹種によっては暖かい地域ほど肥大成長が大きい傾向が確認された。
- 甲虫類の捕獲数の年変化傾向は、林齢や地域によって異なっていたおり、高齢林(成熟林、高齢二次林)では、冷涼な地域で総捕獲数が減少傾向にあったが、温暖な地

域では一定の変化傾向が見られなかった。

• 鳥類については、繁殖期に薮で採食する鳥が減少し、越冬期は樹幹および樹上を利用する鳥が増加していた。ただ、越冬期の個体数は年変動が大きく、経年的な増加を確認するためには、さらなるデータの蓄積が必要であった。

#### <第3期とりまとめの解析方針>

• 第2期に引き続き、樹木の年間直径成長量と気象環境因子の関係、甲虫類全体および優占的な分類群の年捕獲個体数及び林床環境の変化、甲虫類の個体数・種数・均等度・種多様度(H')などの全国的な変化傾向について解析した。鳥についてはコア・準コアサイトの10地点以上で定期的に記録されている種について、種別の増減傾向を解析した。また、一般サイトの結果から第3期に記録された鳥類の種数、及び個体数の変動が大きかった種の増減傾向を検出した。

#### 3) 炭素循環の変化

将来に気温が上昇した場合、単純に冬季の短縮により生育期間の延長が起こるだけでなく、植物の光合成による炭素吸収量と動植物の呼吸や土壌有機物の分解に伴う炭素放出量のバランスが変化し、炭素蓄積量が変化する可能性が考えられる。

#### <第2期までの成果>

- 第2期とりまとめでは、地上部現存量は多くの調査区で調査開始時から現在まで増加する傾向にあったが、各調査区の地上部現存量の年間増加率と年平均気温の年変動の関係を解析した結果、多くの調査区では有意な関係は見られなかった。
- また、多雪地の森林では、冬季の降水量・降雪量が多い年ほど、翌夏の堆積落葉量が多い傾向が見られ、雪解けの遅れによって分解が遅れるためと推察された。

## <第3期とりまとめの解析方針>

• 第2期に引き続き、生存する樹木の地上部現存量の変化量とリター生産量と気温との関係等を解析した他、落葉堆積量・土壌炭素濃度・セルロース分解速度の変化傾向を示し、地域的な傾向の有無や気温・降水量の変動との対応関係を調べた。

#### 4) 生物の季節性・生育期間の変化

• 日本の気候は四季の移り変わりにより1年周期で変化するが、その年の季節の遅れ や進み具合に応じて、植物の開花や紅葉、動物の初見、初鳴き等の時期(生物季節) は年ごとに早くなったり遅くなったりする。そのため、気候変動の影響が大きくな れば、これらの生物季節性も変化することが予測される。

#### <第2期までの成果>

• 第2期までの結果から、温暖化によって落葉樹林では秋季の落葉や種子落下の時期 が遅くなり、常緑樹林では春季の開葉・落葉が早まる可能性が示唆された。

#### <第3期とりまとめの解析方針>

• 各調査区における落葉ピーク時期、及び種子落下時期の年変動と気温との関係を解析した他、鳥類のさえずり時期及び巣立ち時期と気温との関係を調べた。

#### 5) 種子生産量の変化

樹木の開花・結実量や健全種子量は、気象条件・樹木の資源量や状態に影響を受けるため、気候変動などの環境変化により、種子生産量が変化することが予測される。

## <第2期までの成果>

• 種子生産量の年変動の地域間同調性を定性的に把握した結果、アカシデやイヌシデ 等のシデ類、サカキ、ヒサカキ、イタヤカエデにおいて豊凶に調査区間で同調性が 示唆された。

### <第3期とりまとめの解析方針>

• サイト間で共通して分布することが多い樹種について、種子生産量の経年変化にサイト間で同調性が見られるのか定量的な解析を行い検討した。また、同じ調査区内における種子生産量の樹種間の同調性についても解析した。

## (2) 自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による生物間相互作用の変化<第2の危機>

## 1) 病虫害の発生状況の変化

• 日本各地で広範囲に及ぶ樹木の集団枯損が報告されている。樹木の枯死は炭素蓄積 や窒素循環などの森林生態系の機能に影響を与え、樹木以外の生物群にも影響を与 える可能性がある。

#### <第2期までの成果>

- コアサイト・準コアサイト周辺における大規模な森林病虫害の発生状況を整理した ところ、主要な病虫害はマツ枯れとナラ枯れであり、愛知赤津調査区ではモニタリング期間中に両者による大きな被害が現れた。また、苫小牧カラマツ人工林調査地 区ではカラマツハラアカハバチが大発生した。
- 愛知赤津におけるナラ枯れ被害では、コナラの枯死によって幹数が約1/4減少し、 ナラ枯れ発生以前は増加傾向にあった森林全体の地上部現存量も 10%減少するなど、 森林の炭素蓄積機能に影響が生じた。
- 苫小牧カラマツ人工林調査区におけるカラマツハラアカハバチの大発生は、翌年の 堆積落葉量の減少と甲虫類の増加をもたらしたが、その影響は大発生の終息ととも に見られなくなった。

#### <第3期とりまとめの解析方針>

• 第2期と同様にアンケートにより各サイトとその周辺の森林におけるマツ枯れやナラ枯れ、その他の病虫害の発生状況を把握し、大規模な病虫害の発生状況を整理す

るとともに、病害虫が発生した調査区の樹木の地上部現存量及び甲虫の捕獲数の変化等を解析した。

## 2) シカの分布拡大・密度増加

• シカは本来、国内に広く生息する大型草食獣であるが、その密度が著しく増加した場合には、採食圧の増大などにより植生及び動物分布を変化させる。

#### <第2期までの成果>

- シカの密度増加による影響として、森林調査では9つの調査区でシカの樹皮剥ぎが 多く確認されており、シカが多い調査区では樹木の新規加入率がやや低い傾向が確 認された。また、シカの樹皮剥ぎは特定の樹種に集中しており、これらのシカ嗜好 種では幹数が減少していた。
- 周辺でシカの密度増加による林床植生への影響が報告されている広葉樹林調査区の多くでは、調査期間中に林床植生被度の減少傾向が認められたが、堆積落葉量の減少が生じたのは1調査区のみであった。林床植生への影響が顕著とされる3調査区では、甲虫類の総バイオマスが減少傾向にあった。
- 全調査区を通じた解析により、甲虫類のいくつかの種・種群の捕獲個体数は、林床 植生被度の年変動と相関があり、シカによる林床攪乱の指標として有用である可能 性があった。
- 鳥類について、コアサイトでは繁殖期に薮(茂った下層植生)を利用する種の個体数が減少しており、シカの食害が大きい場所では、観察数が少なかったことから、シカの食害がこれらの鳥の生息に影響を及ぼしている可能性が示された。

#### <第3期とりまとめの解析方針>

• 調査協力へのアンケートにてシカの生息状況とその影響について状況を把握し、各サイトの樹皮剥ぎのあった幹の割合、森林動態パラメータとシカ食害の有無との関係、シカが嗜好する樹木の個体数の変化傾向、シカによる林床植生被度、堆積落葉量、甲虫類への影響等を解析した。また、鳥類への影響についてシカによる植生変化が顕著なサイトを対象に、変動の大きかった鳥種について個体数変化を調べた。

#### 3) 植生環境の変化

• 日本各地でシカの分布拡大・密度増加に伴う森林生態系の変化が生じる一方、人が利用しなくなった二次草原は樹木が成長することで樹林化するなど植生の変化が生じており、森林や草原を生活の場とする鳥類をはじめとする動物の生息状況にも影響が及ぶ可能性がある。

#### <第2期までの成果>

• 一般サイトにおいて、人為の減少による草原の樹林化が草原性鳥類に及ぼす影響 を検討したが、認められなかった。ただし、一般サイトの植生調査は第2期から 開始しており、継続的なモニタリングが必要と考えられた。

#### <第3期とりまとめの解析方針>

• 一般サイトの第2期と第3期の植生調査結果を用いて、植生の変動量と鳥類種数の変動量の関係を解析した。また、草原サイトの中から樹林化している地点を抽出し、そこで記録された鳥類の個体数を集計して、草原性及び森林性の鳥類の出現傾向の変化を調べた。

## (3)外来種<第3の危機>

## 1) 森林・草原への外来種の侵入

• 経済・社会のグローバル化を背景に、国内には既に多くの外来種が侵入・定着しており、それらの中には比較的自然度の高い森林・草原へも侵入し、生息・生育の可能な種が含まれている可能性がある。

### <第2期までの成果>

- コアサイト・準コアサイト周辺における主要な外来種を整理した。樹木では小笠原石門サイトでアカギが問題となっている。アライグマ、フイリマングース、グリーンアノールなど捕食性の強い哺乳類・爬虫類の外来種が侵入したサイトもあった。
- 樹木病害虫では、とくにマツノザイセンチュウが全国の森林に甚大な被害を及ぼ しており、7ヶ所のコアサイト・準コアサイト周辺で被害が発生していた。
- 外来鳥のガビチョウ、ソウシチョウの分布拡大は継続しており、同じチメドリ科のヒゲガビチョウも分布拡大の初期段階にあると考えられた。一方、古くから定着しているコジュケイでは横ばい、もしくは分布縮小状態にあった。

## <第3期とりまとめの解析方針>

- コア・準コアサイト及び周辺の森林に侵入している外来種については、第2期と 同様に調査協力者へのアンケート調査で把握した。
- 鳥類については、第2期までに分布の拡大傾向が認められたガビチョウとソウシチョウについて、第1期からのデータ及び過去に行われたその他の調査結果をもとに分布の変化傾向を把握した。また、第2期と第3期に一般サイトで確認された両種の個体数から個体密度の変化を調べた。

# 引用文献

- Altman, J., O. N. Ukhvatkina, A. M. Omelko, M. Macek, T. Plener, V. Pejcha, T. Cerny, P. Petrik, M. Srutek, J.-S. Song, A. A. Zhmerenetsky, A. S. Vozmishcheva, P. V. Krestov, T. Y. Petrenko, K. Treydte & J. Dolezal(2018) Poleward migration of the destructive effects of tropical cyclones during the 20th century. PNAS 115(45): 11543-11548.
- Food and agriculture organization of the United Nations (2015) Global forest resources assessment 2015 Desk reference. 3-8p.
- IPCC (2013) 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定者向け要約 (Summary for Policymaker). 気象庁訳 (2014年7月1日版)
- IPCC (2018) IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C. -Summary for Policymakers-. 10p.
- IPCC (2019) IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. -Summary for Policymakers Approved Draft-. 2-5p.
- 一般財団法人自然環境研究センター編著 (2019) 最新日本の外来生物. 外来生物問題とは. 22-25.
- 環境省(2012)生物多様性国家戦略 2012-2020 ~豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ~.
- 環境省 生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会(2016)生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書.
- 環境省 自然環境局生物多様性センター (2015) 重要生態系監視地域モニタリング推進事業 (モニタリングサイト 1000) 森林・草原調査第2期とりまとめ解析報告書.
- 環境省 自然環境局生物多様性センター (2004) 鳥類繁殖分布調査報告書.
- 環境庁(1984) 鳥獣関係統計 1984.
- 気象庁(2018)気候変動監視レポート 2017.
- 岸本年郎(2012)大台ケ原のシカと昆虫. 昆虫と自然 47(4):12-15.
- Koganezawa, M. (1999) Changes in the population dynamics of Japanese serow and sika deer as a result of competitive interactions in the Ashio Mountains, central Japan. Biosphere conservation 2(1): 35-44.
- 小池重人・樋口広芳(2006)季節変動が同一地域の鳥類、昆虫、植物の生物季節にあたえる影響. 地球環境 11(1):27-34.
- Kossin, J. P. (2018) A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. Nature 558: 104-107.
- Li, Y., N. Maruyama & M. Koganezawa (2001) Factors explaining the extension of the sika deer's range in Nikko, Japan. Biosphere Conservation 3(2): 55-69.

- 松木佐和子・上田未央子(2015) 現場の要請を受けての研究 28. 石灰石鉱山開発と生物多様性を結びつける取り組み. 森林科学 75:40-43.
- 中村康弘 (2016) シカが生物多様性に及ぼす影響:チョウ類の事例から. 森林野生動物研究会誌 41.73-76.
- 農林水産省(2016)2015年農林業センサス
- 小椋純一(2009)火からみた江戸~明治の森林植生.森林科学55.5-9.
- 小椋純一(2010)日本の草地の歴史を探る. 生物多様性と半自然草地-成立と維持に向けた戦略-. 日本草地学会誌. 56(3): 216-219.
- 奥田 圭・關 義和・小金澤 正昭(2013)栃木県奥日光地域における繁殖期の鳥類群集の変遷―特にニホンジカの高密度化と関連づけて―. 保全生態学研究 18. 121-129.
- 大窪久美子・土田勝義 (1998) 半自然草原の自然保護. 沼田真編 自然保護ハンドブック. pp. 432-476.
- 大住克博(2018)日本列島の森林の歴史的変化-人との関係において-. 中静透・菊沢喜八郎編. 森林科学シリーズ 1 森林の変化と人類. 第2章.
- 落合啓二 (2016) ニホンカモシカ. -行動と生態- 第9章カモシカの保全. pp.230-231.
- Rosenzweig, C., D. Karoly, M. Vicarelli, P. Neofotis, Q. Wu, G. Casassa, A. Menzel, T. L. Root, N. Estrella, B. Seguin, P. Tryjanowski, C. Liu, S. Rawlins & A. Imeson. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. Nature 453, 353–357.
- 林野庁 (2017) 森林・林業統計要覧 2017
- 重松敏則(1998)身近な自然-里山. 沼田真編 自然保護ハンドブック. pp. 255-276.
- Suzuki, S., Ishihara, M. & Hidaka, A. (2015) Regional-scale directional changes in abundance of tree species along temperature gradient in Japan. Global Change Biology 21: 3436-3444.
- Suda, K., R. Araki, and N. Maruyama (2003) Effects of sika deer on forest mice in evergreen broad-leaved forests on the Tsushima Islands, Japan. Biosphere Conservation 5 (2): 63-70.
- 須賀丈・岡本透・丑丸敦史 (2012) 草地と日本人-日本列島草原 1 万年の旅-. pp.19-98. 第1章 日本列島の半自然草原-人が維持した氷期の遺産-. 築地書館
- 高原光(2009)日本列島の最終氷期以降の植生変遷と火事. 森林科学 55. pp.10-13.
- 高畑義啓(2008)ナラ枯れとは何か. 黒田慶子編著. 林業改良普及双書 156-ナラ枯れと里山の健康. pp. 26-44.
- 田中孝尚・嶋崎仁哉・黒川紘子・彦坂幸毅・中静透 (2014) 気候変動が森林動態に与える 影響と将来予測:八甲田山のオオシラビソを例として. 地球環境 19:47-55.
- 田中信行・深澤圭太・大津佳代・野口絵美・小池文人(2009)小笠原におけるアカギの根絶と在来林の再生.地球環境 14(1):73-84.
- 常田邦彦(2006)自然保護公園におけるシカ問題―人とシカのかかわりの歴史を踏まえて

- 一. 湯本貴和・松田裕之編. 世界遺産を鹿が喰う一シカと森の生態学一. pp. 20-39. 文一総合出版.
- Totman, C. (1989) The green archipelago, Forestry in Preindustrial Japan, University of California Press, 邦訳 コンラッド・タットマン著 熊崎実訳 (1998) 日本人はどのように森をつくってきたか. 築地書館.
- 辻野亮(2011) 日本列島での人と自然のかかわりの歴史. 湯本貴和編 シリーズ日本列島 の三万五千年-人と自然の環境史 1. 環境史とは何か. 第2章. pp. 33-51. 文一総合出版.
- 中央環境審議会地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会(2015)日本における気候変動による影響に関する評価報告書. 208p
- 上田明良・日野輝明・伊藤宏樹 (2009) ニホンジカによるミヤコザサの採食とオサムシ科 甲虫の群集構造の関係. 日本森林学会誌 91:111-119.
- 鷲谷いずみ・村上興正(2002)外来種問題はなぜ生じるのか. 日本生態学会編(2002)外来種ハンドブック. pp. 4-5. (株)地人書館.
- 湯本貴和(2011) 日本列島はなぜ生物多様性のホットスポットなのか. 湯本貴和編 シリーズ日本列島の三万五千年一人と自然の環境史 1. 環境史とは何か. 第 1 章. pp.21-32. 文一総合出版.
- 財団法人自然環境研究センター (2012) 平成 23 年度小笠原地域自然再生事業外来ほ乳類 対策調査業務報告書. 271-283.

# 第5章 森林・草原生態系の変化状況

本章では、調査で得られたデータに気温などの気象データと各サイトの調査協力者へのアンケートの結果を加え、"生物多様性の4つの危機"のうち気候変動による影響(第4の危機)、人による自然への働きかけの縮小・撤退による影響(第2の危機)及び外来種による影響(第3の危機)についてそれぞれ解析を行い、日本の森林・草原の現状とその動向について把握した。

## 5. 1. 気候変動

- (1) 動植物分布域の高緯度・高標高への移動、縮小・拡大
- 1) 樹木の新規加入率、死亡率及び個体数変化と気温との関係

#### く背景・目的>

- ▶ 気候変動に伴い、樹木の生育(成長や繁殖など)にとって環境が好適もしくは不適に変化することにより、森林を構成する樹幹の新規加入率(今回の調査時までに成長して調査対象となった新規加入幹の割合)、死亡率(前回の調査時から今回までに死亡した幹の割合)及び幹数が変化するなど、森林の樹木群集の動態に変化が生じる可能性が考えられる。
- ▶ 第2期とりまとめでは、新規加入率や死亡率といった個体数動態を指標するパラメータの変動に台風やナラ枯れといった攪乱が強く影響しており、現時点では直接的な温暖化の影響は現れていないことが示唆された。
- ▶ したがって、第3期のデータを追加することで温暖化の影響の長期トレンドを攪乱 の効果を含めて検討する必要がある。
- ▶ 毎木調査データを用いて、森林を構成する樹木の新規加入率・死亡率・幹数の変化 と気温との関係を調べることで、温暖化に伴う樹木群集動態の変化について検討し た。

## <解析方法>

▶ 各調査区の全幹における死亡率(前回の調査時から今回までに死亡した幹の割合) と、新規加入率(今回までに成長して調査対象木となった幹の割合)を以下の式で 求めた。

新規加入率 (% / 年) =  $\ln (N_T / N_{ST}) / T \times 100$ 死亡率 (% / 年) =  $\ln (N_0 / N_{ST}) / T \times 100$ 

 $N_0$ : 前回調査時の幹数、 $N_T$ : 今回調査時の幹数、 $N_{ST}$ : 前回から今回調査時まで生存していた幹数、T: 前回から今回調査時までの経過年数。

- > 得られた調査期間中の樹木の死亡率・新規加入率・相対変化率(新規加入率-死亡率)・回転率((新規加入率+死亡率)/2)を応答変数として、年平均気温を説明変数とする線形モデルで解析した。
- ▶ さらに、2005~2017年に継続して調査が行われた調査区において、4年毎に3つの期間に分け、それぞれ死亡率・新規加入率を求め、気温変動(調査期間の年平均気温と過去15年間の年平均気温の偏差)との関係を調べた。

#### <結果>

- ▶ 全調査区の全調査期間における森林動態パラメータについて、死亡率は 0.07~ 7.26%、新規加入率は 0.00~8.70%、回転率は 0.00~5.47%であった (図 5-1-1~2)。年によっては与那のように強風の影響で死亡率が大きい時があった。
- ▶ 調査期間中の各調査区の森林動態パラメータと年平均気温には、有意な関係はみられなかった(図 5-1-3~4)。

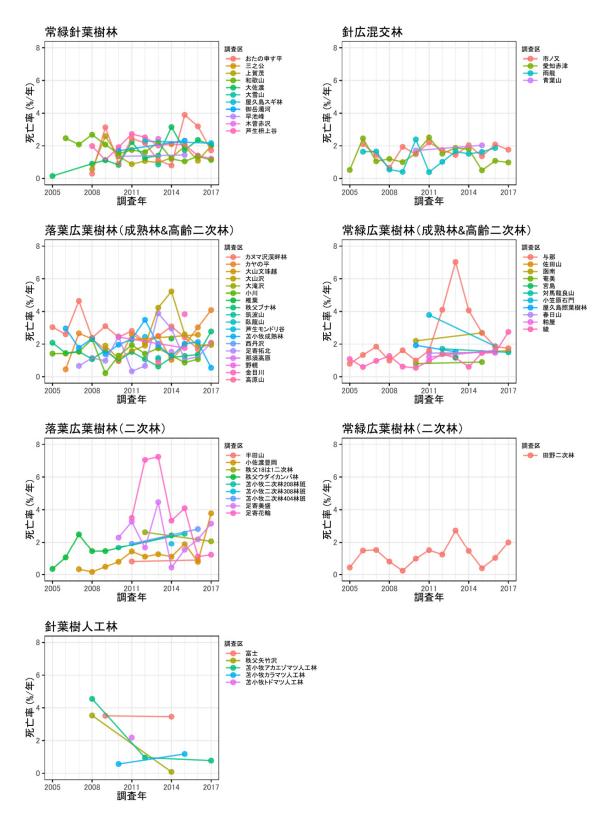


図 5-1-1 調査区における調査期間での死亡率の変化

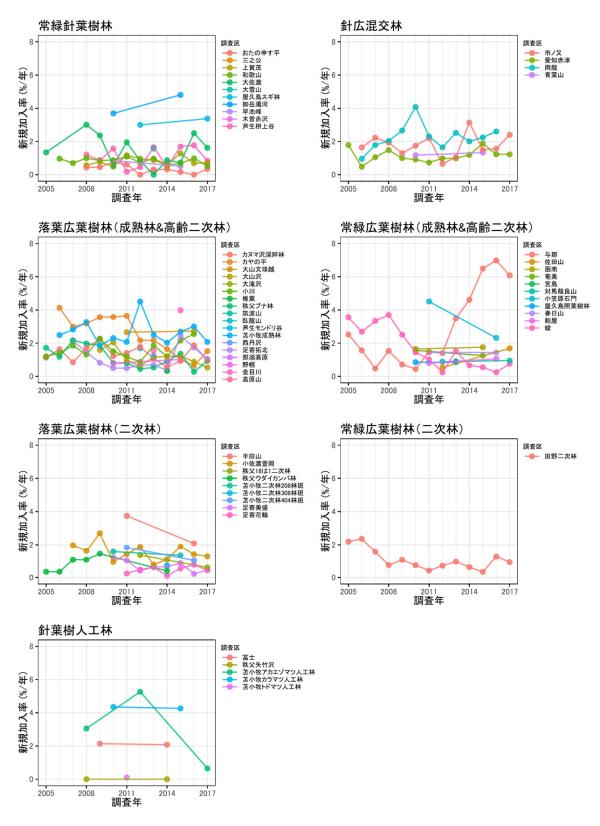


図 5-1-2 調査区における調査期間での新規加入率の変化

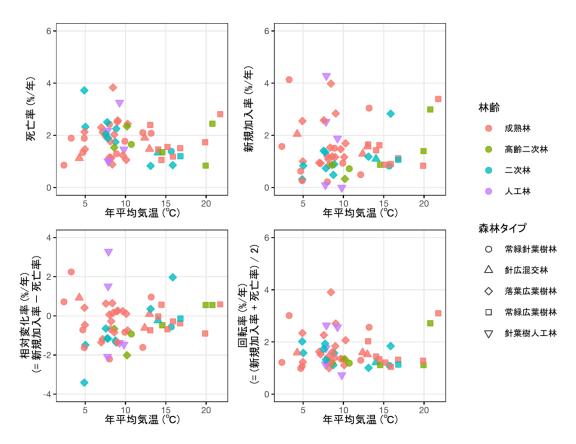


図 5-1-3 調査期間における死亡率・新規加入率・変化率・回転率と年平均気温との関係

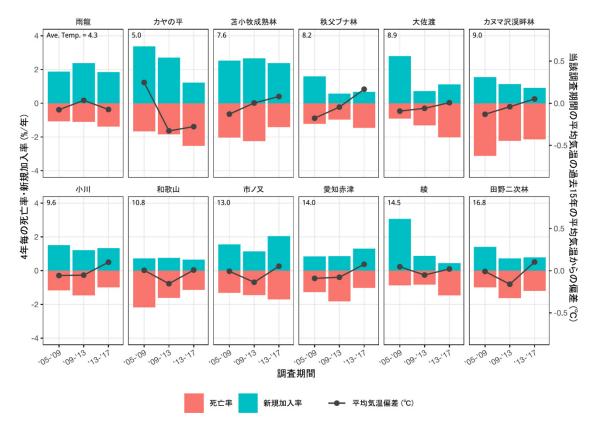


図 5-1-4 4 年毎の死亡率・新規加入率と気温変動の関係

## く考察>

- ▶ 今回得られた結果から、森林動態パラメータに対する気温変動の影響は顕著ではなく、年平均気温よりも台風などの攪乱の方が、その影響が大きいことが示唆された。
- ▶ 台風などの撹乱を受けた森林においては、それぞれの攪乱からの回復過程を今後も モニタリングを続けることで注視していく必要がある。
- ▶ 全国の主要な森林タイプにおいて、攪乱がない時の森林動態パラメータのデータが 蓄積された。今後、攪乱や気候変動による森林への影響が顕れた場合、これまでの 森林動態パラメータを比較することで、その攪乱や気候変動の影響度合いの把握や 森林生態系への将来予測が可能だと考えられる。

## コラム5-1:台風攪乱後の樹木動態

高嶋敦史 (琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター)

与那サイトは、2012年9月29日に襲来した台風17号で大きな被害を受けた。この台風は、接近時の南東からの風と吹き返しの北西からの風が強かったことが特徴で、最大瞬間風速は北西の風50.4m/sであった。与那サイトは沖縄島北部の脊梁部西側に位置し、吹き返しの北西からの風を受けやすい立地になっていた。

この台風攪乱後、試験地内の生立木の胸高断面積合計は大幅に減少した。与那サイトでの樹木調査は毎年 1~3 月に実施されるが、攪乱前の 2011 年度の数値と比べると攪乱半年後の 2012 年度は 5%の減少、同 3 年半後の 2015 年度には 19%の減少となっていた。数年にわたり胸高断面積の減少が拡大する結果となったが、このことは台風によって大きく損傷するもかろうじて葉をつけていた幹や後生枝を発生させていた幹が、徐々に枯死していった現象を捉えている。代表的な高木種について 2011 年度に対する 2015 年度の胸高断面積合計を見てみると、イタジイ(スダジイ)が 34%減、イジュが 12%減、イスノキが 6%減となっており、イタジイの減少が顕著であった。なお、この間にイタジイの胸高断面積優占

度は 46%から 38%に低下しており、今回のような大規模台風攪乱は一時的なイタジイの優占度低下に繋がることも明らかになった。

また、2013年度からは新規加入木の増加 もみられ、与那サイトは南西諸島の亜熱帯 性常緑照葉樹林が台風によって受ける攪 乱とその後の再生を捉えることに成功し ている。このように、数十年に一度程度と 推測される自然現象を記録することは森 林の動態や生態系メカニズムを解明する うえで重要なことである。



写真 2012 年台風 17 号直後の与那サイト

### 2) サイトごとの種構成変化

#### く背景・目的>

- ▶ 日本の森林植生における顕著な特徴として、緯度に沿って、高緯度の亜寒帯から冷温帯の地域にかけて落葉広葉樹や常緑針葉樹が優占、低緯度の亜熱帯から暖温帯にかけて常緑広葉樹が優占し、国土の中でこれらの森林植生タイプが連続的に移行している。かつ、日本列島ではどの温度地域においても、年間を通じて森林の成立に必要な降水量が十分にある。
- ➤ このように連続的に森林植生タイプの移行が生じるのは、落葉広葉樹、常緑広葉樹や針葉樹といったそれぞれの樹木の生活形にとって、森林の成立に適した気温などの気象環境が異なるためである。
- ▶ 地球温暖化に伴って気温が上昇し、森林環境が各樹種にとって好適もしくは不適に変化することで、森林を構成する樹木の種構成に変化が生じる可能性が考えられる。
- ▶ 第2期とりまとめ及びモニタリングサイト1000公開データを解析した論文(Suzuki et al. 2015)では、種構成の変化を検出している。調査開始から2012年までに、針広混交林では針葉樹の割合が減少し、落葉樹と常緑樹が混交する森林では、落葉樹の割合が減少しており、それぞれの森林タイプにおいてより暖かい気候を好む樹種の割合が増加していた。
- ▶ 今回、第3期までに得られたデータを用いて、第2期とりまとめで検出された変化 傾向が引き続き生じているのかを解析した。

#### く解析方法>

- ▶ モニタリング開始時から 2017 年までに各調査区の森林を構成する針葉樹・落葉広葉樹・常緑広葉樹の各生活形樹木の幹数の相対頻度に変化が生じているかどうか、また、その相対頻度の変化と気温及び緯度の間に関係があるかを調べた。
- ▶ 針葉樹はアカエゾマツ、エゾマツ、トドマツ、シラビソ、オオシラビソ、トウヒ、コメツガ、カラマツを含む亜寒帯・亜高山帯性針葉樹と、モミ、ツガ、スギ、ヒノキなどの温帯性針葉樹に分けて解析を行った。
- ▶ 樹種転換が起きていると考えられる気温帯における、亜寒帯・亜高山帯性針葉樹から落葉広葉樹への転換度および、落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換度をグラフ化した。針葉樹から落葉広葉樹への転換度は、それぞれの幹数の変化速度を元に以下の式にて算出した。

亜寒帯・亜高山帯性針葉樹から落葉広葉樹への転換度= (落葉広葉樹の変化速度) - (亜寒帯・亜高山帯性針葉樹の変化速度)

落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換度についても同様の式を元に算出した。

▶ 複数の生活形で構成される調査区について、調査年別に各生活形の相対幹数を算出し、調査期間における経時変化をグラフ化した。

### <結果>

- ▶ 第2期とりまとめで検出された種構成の変化傾向は第3期でも検出され、全国的により暖かい気候を好む樹種の増加傾向が継続していることが明らかとなった。
- ▶ 年平均気温が5℃までの森林(大雪山~おたの申す平)では、落葉広葉樹の割合が増加し、亜寒帯・亜高山帯性針葉樹の割合が減少する傾向にあり、年平均気温が8~13℃の森林(芦生枡上谷~函南)では、常緑広葉樹と温帯性針葉樹の割合が増加し、落葉広葉樹の割合が減少する傾向にあった(図5-1-5)。

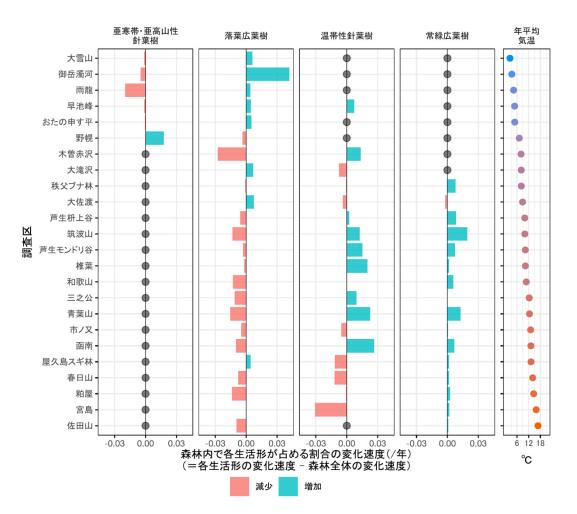


図 5-1-5 複数の生活形で構成される調査区における、各生活形の割合の変化

全体の95%以上をいずれかの生活形が占める調査区を除いた、成熟林および古い二次林の調査区を対象とし、各生活形の幹数の変化速度と、調査区全体の変化速度の差を計算した。亜寒帯・亜高山帯性針葉樹にはアカエゾマツ、エゾマツ、トドマツ、シラビソ、オオシラビソ、トウヒ、コメツガ、カラマツが含まれ、温帯性針葉樹はモミ、ツガ、スギ、ヒノキなどが含まれる。黒丸は該当する生活形の樹種が分布しないことを示す。

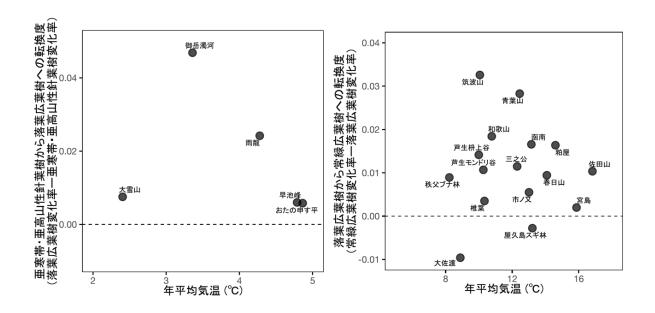


図 5-1-6 生活形の割合の変化が顕著な気温帯における 針葉樹から落葉広葉樹への転換度 (左図)、落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換度 (右図)

- ▶ 針葉樹から落葉広葉樹、あるいは、落葉広葉樹から常緑広葉樹への転換は、それ ぞれ冷温帯林から亜寒帯・亜高山帯林、あるいは、冷温帯林から暖温帯林への移 行帯に位置する地域で特に顕著であった。(図 5-1-6)。
- ► 年変動はあるものの、それぞれの生活形の相対幹数の減少及び増加が、調査開始 年から最終調査年まで連続的に生じていた(図 5-1-7)。

## く考察>

- ▶ このような種構成の変化は、①温暖化の影響、②過去の攪乱からの回復過程の二つのメカニズムで生じていると考えられる。
- ▶ 今後もこのような種構成の変化は続くのか、変化が続く場合の変化速度や速度の変動はあるのかなど、モニタリングによって把握し続ける必要がある。特に、樹種構成の変化度合いが高かったところに共通する特徴を明らかにすることで、気候変動に対して樹種構成の変化が起きやすい森林を抽出できる可能性がある。
- ▶ 一般に樹種構成の変化は、二酸化炭素吸収、栄養塩循環、他の生物へ餌や生息場所を提供する、などの森林生態系の機能に変化もたらすと予測されている。調査結果から得られた樹種構成の変化が、調査区での森林生態系の機能に変化を導いていないかも注視する必要がある。

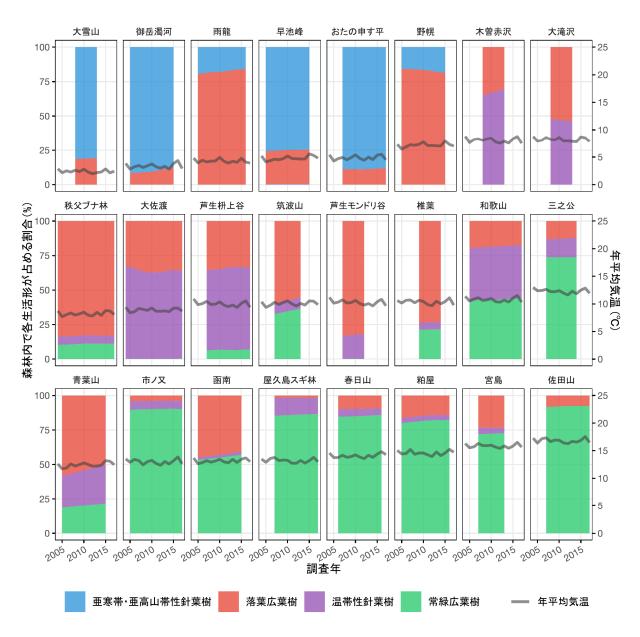


図 5-1-7 複数の生活形で構成される調査区における、各生活形の相対幹数の時系列変化

## 3) 新たに加入した種や消失した種の種数

### く背景・目的>

- ➤ 生態系における種の新規加入(及び侵入)や消失は、種間の相互作用や競争関係に 変化をもたらし、生態系の機能を変化させることがあると考えられている。
- ▶ 種の新規加入や消失は外来種移入のような人為的影響で生じるだけでなく、気温などの生育環境の変化により分布域が移行することでも生じることが指摘されている。
- ➤ そのため、森林生態系において樹種の新規加入及び消失の動向と気象環境因子との 関係を知ることは、今後の気候変動に伴う森林生態系の変化を予測する上で重要で ある。
- ▶ そこで、各調査区でどのような樹種が新規加入あるいは消失しているか、また、どのような森林で樹種の加入や消失が多いのかを検証した。

#### <解析方法>

➤ モニタリング開始時から 2017 年までに3回以上調査を実施している調査区において、新規加入した樹種、消失した樹種の幹数を調べた。

### <結果>

- ▶ 調査開始時から最新調査年までに0~4種が新たに加入し、0~6種が調査区から 消失していた。ただし、消失した種は調査開始時の個体数が10個体以下と少なく、 新規加入した種も個体数が数個体と、いずれも個体数が少なかった。
- ▶ 新規加入種数及び消失種数と気象環境因子の間には顕著な関係は確認されなかった。

#### く考察>

- ▶ 消失や新規加入した種はそれぞれ個体数が少ないため、偶発的に消失や新規加入が 起きていて、気候変動等による影響が検出可能なほどの変化は生じていない。
- ▶ 今後、樹種単位だけでなく、生活形(遷移前期種、遷移後期種、亜高木、林冠に達する高木など)の単位でのデータ蓄積と解析も検討する必要がある。

### 4) 地表徘徊性甲虫の広域分布種の個体数変化と気温の関係

#### く背景・目的>

- ▶ 日本の年平均気温は 1940~1950 年代と 1980~1990 年代に明瞭な上昇傾向を示し、 2000 年代以降の変化は明瞭ではなく顕著な高温の状態が維持されている(環境省・ 文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁 2018)。地表徘徊性甲虫調査の実施 サイトにおける 2005~2017 年の年平均気温は、青葉山で上昇傾向を示した以外に 有意な上昇・低下傾向はみられていないが、春の気温は各地のサイトで上昇傾向が みられている。
- ▶ 全国的な気候の温暖化によって、地表徘徊性甲虫類の各種の分布域が現在より高緯度または高標高の地域へと移動する可能性がある。本調査の地点数では分布の変化そのものを捉えることは困難であるが、広域分布種については、「温暖な地域での捕獲数の減少」または「寒冷な地域での増加」という形で、分布変化の兆候が捉えられる可能性がある。
- ▶ とくに各種の分布域の端では、気温が個体群成長の主な制限要因となっている可能性があり、「高温側の端に近い地域では個体群成長率が気温と負の、低温側の端に近い地域では正の関係を示す」と考えられる。しかし、どの季節の気象条件によって個体群動態が影響を受けやすいかは、種ごとの生態特性(生活史など)によって異なると考えられる。
- ▶ 第2期とりまとめでは、広範囲の森林で優占する種について調査区ごとの増減傾向を調べ、寒冷な地域での捕獲数の増加傾向が1種のみで認められた。また、年ごとの気温の変動と捕獲数の変動の対応関係を解析し、今後温暖化による分布変化の兆候が捉えられやすいと考えられる種を示した。
- ▶ 第3期のデータを追加して同様の解析を行い、各優占種における分布変化の兆候を確認した。さらに、捕獲数の年ごとの変化率と季節別の気温・降水量との対応関係を解析し、各種がどの季節の気象条件の影響を受けやすいかを検討した。

#### <解析方法>

- ➤ 全年度を通じて 20 個体以上捕獲された調査区が、4 か所以上ある種(広域的優占 種、表 5-1-1) を解析対象とした。
- ▶ 分布変化の兆候を確認するため、種・調査区ごとに年捕獲個体数の変化傾向(単調増加/減少傾向)を求め、「温暖な地域(その種の出現サイト中の年平均気温が高いサイト)での減少傾向、あるいは、寒冷な地域(その種の出現サイト中の年平均気温が低いサイト)での増加傾向」を示す種がいるか調べた。
- ➤ 種・調査区ごとに、年捕獲個体数(応答変数)を、年を説明変数、サブプロットを ランダム変数(切片)とする一般化線形混合モデル(GLMM)に当てはめ、推定され た年の係数をもって「年変化傾向」とした。応答変数はポアソン分布に従うと仮定 した。

- ▶ 各種の捕獲数の変動がどの季節の気温・降水量の影響を受けやすいかを検討するため、種・調査区ごとに捕獲個体数の年増加率の変動と季節別の気温・降水量の年変動との対応関係を解析し、「温暖な地域で高温の年ほど減少、あるいは、寒冷な地域で高温の年ほど増加」する、または、「降水量の多い地域で多雨の年ほど減少、あるいは、降水量の少ない地域で多雨の年ほど増加」する傾向が強くみられる季節を探索した。
- ➤ 種・調査区ごとに、各年の繁殖期(※1)から翌年の繁殖期にかけての捕獲個体数変化率(※2)(応答変数)を、その間の各季節(※3)における平均気温(または降水量)を説明変数、サブプロットをランダム変数(切片)とする一般化線形混合モデル(GLMM)に当てはめ、推定された気温(または降水量)の係数をもって「気温(または降水量)への応答性」とした。
  - ※1 春・夏繁殖種:各年の1・2回目の調査時(5~7月)、秋繁殖種:各年の3・4回目の調査時(9~11月)、とする。
  - ※2 log(翌年繁殖期捕獲数)-log(当年繁殖期捕獲数)。
  - ※3 春·夏繁殖種:春(当年3~5月)·夏(当年6~8月)·秋(当年9~11月)·冬(当年12~翌年2月)、 秋繁殖種:秋(当年9~11月)·冬(当年12~翌年2月)·春(翌年3~5月)·夏(翌年6~8月)。

#### <結果>

- ➤ 広範囲の森林で優占する8種の内5種(クロオサムシ、オオクロツヤヒラタゴミムシ、クロツヤヒラタゴミムシ、コクロツヤヒラタゴミムシ、センチコガネ)で「寒冷な地域(雨龍、苫小牧成熟林、カヌマ沢渓畔林、大佐渡、小川など)での増加傾向」がみられ、その内2種(クロオサムシ、コクロツヤヒラタゴミムシ)では「温暖な地域(青葉山)での減少傾向」もみられた(図 5-1-8;青い点)。とくにクロオサムシとクロツヤヒラタゴミムシでこれらの傾向が明瞭であった。調査期間の前半(2005~2011年)と後半(2012~2017年)に分けて同様の解析を行ったところ、上述の傾向の多くは後半の方がより顕著であった。
- ➤ 「温暖な地域で高温の年ほど減少、あるいは、寒冷な地域で高温の年ほど増加」する傾向や、「降水量の多い地域で多雨の年ほど減少、あるいは、降水量の少ない地域で多雨の年ほど増加」する傾向は、クロオサムシ・キタクロナガオサムシ・クロツヤヒラタゴミムシ・コクロツヤヒラタゴミムシ・オオクロツヤヒラタゴミムシでは冬の気温または降水量に関して認められ、この内クロオサムシ・オオクロツヤヒラタゴミムシでは秋の気温に関しても認められた。センチコガネでは春の降水量と夏の気温に関してこれらの傾向が認められたが、ヨリトモナガゴミムシではいずれの季節の気温・降水量にも認められなかった。アカガネオオゴミムシは捕獲数が0で増加率を計算できないケースが多かったため、解析を行わなかった。

表 5-1-1 解析対象とした地表徘徊性甲虫類の広域的優占種の生態特性

	₩ <del>!</del> <del>1</del>	生息地			7	生活史		食	食性	飛翔形質	Ī
	成出体表 (mm)	地理分布†	年平均気温‡ (°C)	環境	化性	繁殖期	越冬態	幼虫	成虫	後翅	飛翔筋
クロオサムシ Carabus (Ohomopterus) albrechti Morawitz, 1862	17–26 <sup>1,2</sup>	<u>北海道、本州(東北·閩東</u> ·中部)、 <u>佐渡島、</u> 栗島、奥尻島 <sup>125</sup>	5.4-13.5 <sup>7</sup> [6.5-12.6]	森林 <sup>2</sup>	1年1化19	春 <sup>2.19</sup>	成虫219	≡= <del>X</del> <sup>2.19</sup>	動物、植物**219	退化28	I
キタクロナガオサムシ Carabus (Leptocarabus) arboreus Lewis, 1882	16-33 <sup>1,2</sup>	北海道、本州(東北・関東・中部・ 近畿(大峰山))、佐渡島、奥尻島、 千島列島、サバリン <sup>128</sup>	-3.2-13.5 <sup>8</sup> [3.8-11.4]	森林、高山帯 <sup>2</sup>	1年1化 (寒冷地では 2年1化) <sup>19.20</sup>	秋 <sup>2.19,20</sup>	幼虫 <sup>2:9.20</sup>	昆虫幼虫2.19	動物、植物**.19	退化²8	I
ヨリトモナガゴミムシ Pterostichus (Lyrothorax) yoritomus Bates, 1873	12-14.5	<u>本州、</u> 九州 <sup>'</sup>	 [6.5–12.5]	森林 <sup>9,10</sup>	1年1化21.22	春 <sup>21,22</sup>	成虫25	I	I	退化1	I
アカガネオオゴミムシ* Myas cuprescens (Motschulsky, 1858)	14-22.51	本州、四国、九州、佐渡島「	[3.8–14.5]	森林、高山帯 9.10.31.32.33	I	I	I	I	I	退化,	I
クロッヤヒラタゴミムシ Symuchus (Symuchus) cycloderus (Bates, 1873)	10.5-14.3 <sup>1,3</sup>	<u>北海道、本州、四国、九州、</u> 済州島、朝鮮半島、中国 <sup>13</sup>	[3.8–15.9]	森林9.11.12.13.14	1年1化 <sup>11,21,23</sup> 秋 <sup>11,21,23</sup>	秋11,21,23	幼虫? <sup>11,21,26</sup>	動物?26	動物***.11.27	発達/退化32329	退化23.29
コクロツヤヒラダゴミムシ Synuchus (Synuchus) melantho (Bates, 1883)	9.5-131.3	北海道、本州、四国、九州、 千島列島、中国(北部) <sup>13</sup>	 [4.2–12.6]	森林 <sup>13,14,15,16,17</sup>	1年1化? <sup>22</sup>	秋?22	I	I	I	発達/退化³	I
オオクロツヤヒラタゴミムシ Synuchus (Synuchus) nitidus (Motschulsky, 1861)	12.5–17 <sup>1.3</sup>	北海道、本州、四国、九州、 薩南諸島、干島列島、朝鮮半島、 中国、台湾「3	 [4.4–15.7]	森林9.11.1213.14	1年1化 <sup>11,21,22</sup>	秋11,21,22	幼虫? <sup>11,21,22,26</sup>	動物? <sup>26</sup>	動物"	発達/やや退化 (鞘翅と同長) 329	退化29
センチコガネ Phelotrupes (Eogeotrupes) laevistriatus (Motschulsky, 1858)	12-224	北海道、本州、四国、九州、佐渡島、 伊豆諸島、対馬、壱岐、五島列島、 屋久島、済州島、朝鮮半島、中国、 サハリン、シベリア(東部) <sup>14</sup>	 [4.2–15.9]	森林 <sup>49,16,17,18</sup>	1年1化?24	I	成虫?²4	I	腐敗動植物質、 獣糞、キノコ、 樹液 <sup>424</sup>	発達30	発達/退化30

# 一 情報不足

<sup>#</sup> キンイロオオゴミムシ (Myas aurescens (Bates, 1883))を含む (Sasakawa 2005)。

<sup>†</sup> 下線は、モニタリングサイト1000で分布が確認されている地域。

<sup>‡ []</sup>内は、モニタリングサイト1000で分布が確認されているサイトの年平均気温。

<sup>\*</sup> ミミズ・カタツムリ・昆虫幼虫など

<sup>\*\*</sup> 果実・花など(主要な餌ではない)

<sup>\*\*\*</sup> 小型節足動物など

<sup>|</sup>上野ら(1985)、<sup>2</sup> 井村・水沢(2013)、<sup>3</sup> Habu (1978)、 1|| 井ら(2005)、 <sup>5</sup> Takami and Ishikawa (1997)、 <sup>6</sup> Ishikawa (1997)、 <sup>7</sup> Sota et al. (2000a)、 <sup>8</sup> Sota et al. (2000b)、 <sup>9</sup> 谷階ら(2005)、 <sup>19</sup> Fujita et al. (2008)、 <sup>11</sup> 石谷(1996)、 12 香川ら(2008)、13 堀(2001)、14 堀(2003)、15 Higashi et al. (1983)、16 Higashi et al. (1984)、17 Katakura and Fukuda (1975)、18 Katakura et al. (1986)、19 曽田(2000)、20 Sota (1996)、21 久保田(1998)、22 佐野(1995)、 23 渋谷 (2017)、24 塚本ら(2017)、25 Yamazaki et al. (2002)、26 Okuzaki et al. (2010)、27 渋谷 (2015)、28 稲泉 (1996)、29 渋谷 (2018)、39 Ohta et al. (2009)、31 上村(1962)、32 Martin et al. (1992)、33 平松 (2011)

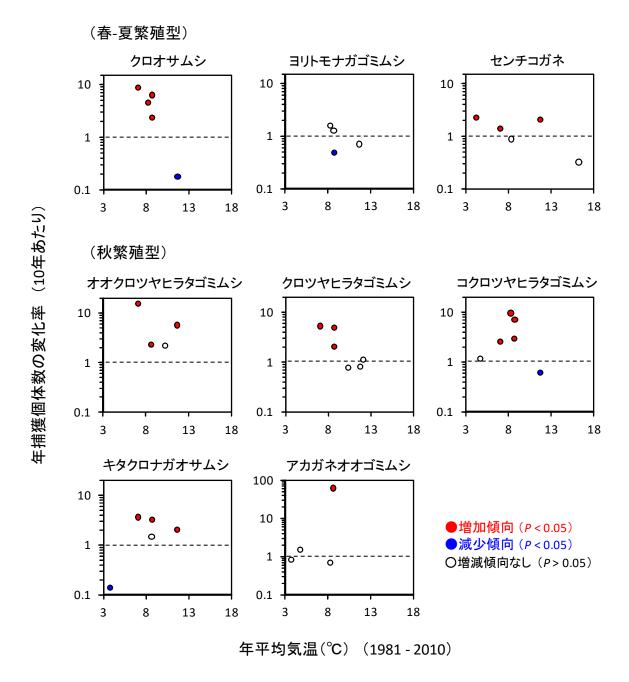


図 5-1-8 地表徘徊性甲虫類の優占種における年捕獲個体数の変化傾向と 調査区の平年気温との関係

▶ 第2期とりまとめの時点よりも多くの種が寒冷な地域で捕獲数が増加傾向にあることが明らかになり、さらに温暖な地域で減少傾向を示す種もみられた。調査期間を通じ各サイトで顕著な高温の状態が継続した結果、生息数の変化がさらに進んだため、あるいは、調査年数が長くなり解析に利用できるデータ数が増えた結果、傾向をより明瞭に捉えられるようになったためと考えられる。一方、これらの傾向が

- みられなかった種は、解析対象種の中では比較的捕獲数が少ない種であるため、サンプルサイズが小さいために傾向が検出されにくかった可能性も考えられる。
- ▶ オオクロツヤヒラタゴミムシは、第2期とりまとめの際の解析結果と同様に、苫小牧などの寒冷なサイトで増加傾向を示した。苫小牧よりも寒冷なサイトでは捕獲数が少なく、苫小牧が分布の低温側の端に比較的近いと考えられる。
- ▶ 青葉山の年平均気温(11.7℃)は、クロオサムシ・コクロツヤヒラタゴミムシの分布する温度帯の高温側の端に比較的近いと考えられ、さらに青葉山では調査期間中に気温が上昇傾向にあることから、気温上昇によって生息数が減少している可能性がある。
- ▶ 秋繁殖型の種を中心に多くの種で冬の気温や降水量が個体数増加率に影響しやすいことが示唆された。休眠・越冬中の死亡率にこれらの条件が影響している可能性が考えられる。
- ➤ 一般に森林性の地表徘徊性甲虫類は飛翔能力を欠くなど移動分散能力が低く、河川・山脈・海峡などの地理的障壁や森林の分断化などによって分散が制限されやすい。解析対象の8種はセンチコガネを除いてほぼ飛翔能力をもたないと考えられるため、高温側での分布の縮小に比べて低温側での分布の拡大は起こりにくいと考えられる。また、センチコガネも東北地方や北海道では飛翔性を欠く個体の割合が高いことが知られているため(0hta et al. 2009)、これらの地域では低温側への分布拡大は比較的起こりにくいと考えられる。
- ➤ 気温上昇による捕獲数の変化は、生息数の増減だけでなく、季節性の変化によって 生じている可能性があることにも留意すべきである。イギリスにおけるオサムシ科 甲虫の長期モニタリング調査では、1994 年からの 18 年間で多くの種で成虫の活動 季節が変化したことが報告されている(Pozsgai et al. 2014)。一般に地表徘徊性 甲虫類の各種の活動季節や活動期間の長さは、緯度や標高の違いに伴う気温の変化 によって変化する。成虫の活動ピークの時期や長さが変化した場合、生息数(個体 群サイズ)に変化がなくても、毎年同時期の調査で捕獲される個体数は変動しうる。
- ▶ 今後も捕獲個体数・出現調査区数の多い優占種の長期的な変化傾向に注目して、モニタリングを続けていく必要がある。さらにデータが増えることで、傾向がより検出されやすくなり、また傾向の解析が可能となる種数・調査区数が増えると期待される。

### 5) 鳥類の分布域の高緯度・高標高への移動・縮小・拡大

① リュウキュウサンショウクイの分布変化

# く背景・目的>

- ▶ 鳥類のなかには分布が大きく北上している鳥がいる。その代表として、サンショウクイの亜種であるリュウキュウサンショウクイがあげられる。
- ▶ 第2期では、それまでの分布域の九州だけでなく、四国でも記録が得られた。ただし、第1期はリュウキュウサンショウクイを亜種として記録していなかったので、情報が十分に収集できているとは言えなかった。
- ➤ そこで、モニタリングサイト 1000 以外の情報も遡って収集することにより、リュウキュウサンショウクイの分布の変化を示した。

### <解析方法>

- ▶ 分布図作成の対象とした情報は、モニタリングサイト1000、全国鳥類繁殖分布調査、 日本野鳥の会の探鳥会、バードリサーチのフィールドノート及びサンショウクイ調査のデータである。これらを地図上に落とし、分布の変化を可視化した。
- ▶ 越冬期の鳥類分布を調べた第3回自然環境保全基礎調査では、亜種サンショウクイと亜種リュウキュウサンショウクイを区別せずに「種サンショウクイ」として記録している。しかし、亜種サンショウクイが夏鳥であり、亜種リュウキュウサンショウクイが留鳥であることから、冬期の記録は亜種リュウキュウサンショウクイと考えられ、これを過去のデータとして分布変化の比較対象として用いた。

- ▶ 1980年代のリュウキュウサンショウクイの分布は九州南部までだったと推測された (図 5-1-9)。
- ▶ 情報源を増やしたことで、すでに第1期の時点で関東での記録があることがわかった。ただし、例数は少なく、第3期では普通に記録されるようになっており、また、 関東以西の広い範囲でも新たに記録されていた(図 5-1-9)。
- ▶ 1970 年代から 1990 年代にかけてサンショウクイの分布が縮小した太平洋側の地域に(図 5-1-10)、リュウキュウサンショウクイの分布は拡大し、定着した。

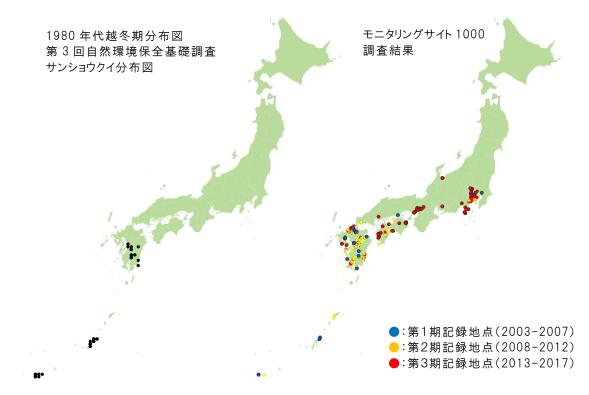


図 5-1-9 亜種リュウキュウサンショウクイの分布の変化

1980 年代の記録は種サンショウクイの記録だが、越冬期の分布のため冬期も日本に生息している亜種リュウキュウサンショウクイの分布を示していると考えられる。

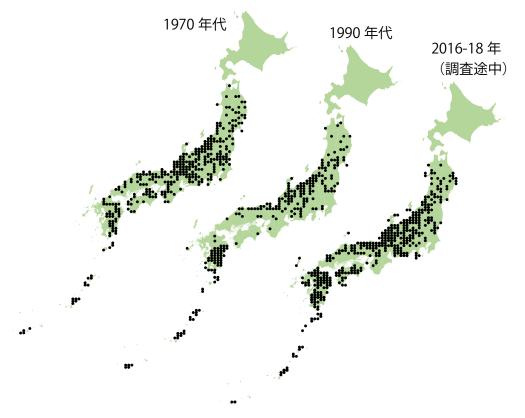


図 5-1-10 全国鳥類繁殖分布調査の結果に基づく過去からの種サンショウクイの分布の変化

- ▶ 亜種リュウキュウサンショウクイの分布が、温暖な太平洋側を北上しており、気候変動の影響である可能性が考えられる。
- ▶ 亜種リュウキュウサンショウクイの分布が拡大した 1990 年代には、太平洋側の亜種サンショウクイの分布が縮小しており(図 5-1-10)、気候変動だけでなく亜種間の関係が分布に影響した可能性も考えられる。
- ② 一般サイトにおける鳥類の分布域の変化

# く背景・目的>

- ▶ 日本の森林性鳥類の特徴として分布域は比較的安定していると言われている。第2期とりまとめでは、過去に行われた自然環境基礎調査と分布の比較を行ったが顕著な変化は確認されなかった。
- ▶ ただし、越冬期に北海道でミソサザイの確認地点の増加や道東への拡大が認められた。ミソサザイは主に水辺で生息する種であり、河川の凍結の状況変化の影響を受けている可能性も考えらえた。
- ▶ そのため今回は、第3期までに得られた種の確認地点の分布を用いて高緯度への分布の変化について検討した。

### <解析方法>

▶ 越冬期について、第3回自然環境保全基礎調査(鳥類)の結果と本調査の第2期及び第3期データでの越冬期の鳥類確認位置を比較して、高緯度への分布の移動がみられるかを地図上で確認した。

- ▶ 越冬期においては、第2期とりまとめと同様に、ミソサザイの道東への拡大が確認されたほか、ヒヨドリとカワラヒワで分布の拡大が認められた(図 5-1-11)。
- ► ヒヨドリは、日本鳥類目録改定第7版でも留鳥となっており、冬場も北海道に生息 しているが、両期を比較すると道北への拡大が認められた。

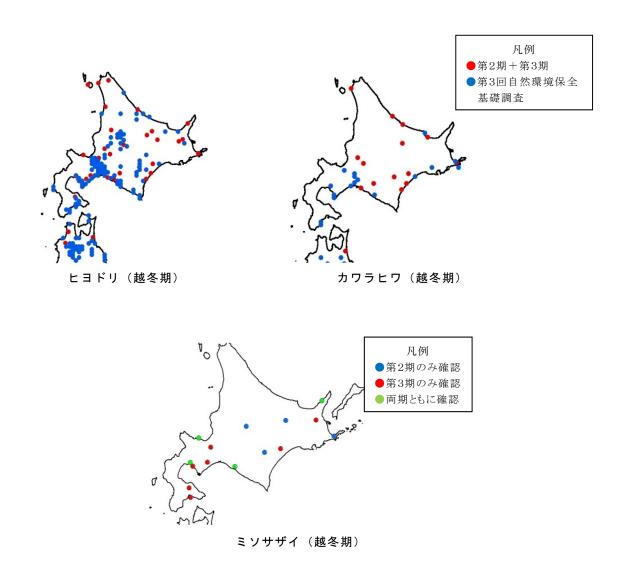


図 5-1-11 高緯度への分布の拡大が認められた種

- ► 日本鳥類目録改定第7版ではカワラヒワは亜種カワラヒワが夏鳥、亜種オオカワラ ヒワが旅鳥となっており、冬鳥としてのオオカワラヒワが記録された可能性もある。
- ▶ メジロのように、北海道では夏鳥であるが、冬季に下北半島北部で確認されている種もあり、今後も調査を継続することで北上を確認できる可能性がある。
- ▶ ミソサザイに関して第2期とりまとめで、道東での越冬分布の拡大について指摘されたが、第3期には内陸部での越冬を確認できなかった。一方で、道東などの海岸部では、引き続き越冬が確認された。

# (2) 生物の成長量、個体数・種数の変化

1) 樹木の単年あたりの成長量とその年の気温との関係

### く背景・目的>

- ➤ 気候変動によって、森林の気温や降水量、日照時間などが変化することで樹木の成長速度が変化する可能性がある
- ▶ 第2期とりまとめにおいて、複数の種で年平均気温と年間肥大成長量面積との間に正、もしくは負の関係が検出されている。つまり、同種において平均気温が高い調査区ほど成長が良くなる、もしくは悪くなる種があることが示唆されている。
- ▶ 今回は、第2期とりまとめにさらに第3期のデータを追加することで、第2期にみられた傾向の再度確認・検証を行った。

### <解析方法>

- ▶ 第2期とりまとめで用いた直径階別の解析を発展させて、個体単位での年間直径成長量と気象環境因子の関係を解析した。
- ▶ 当年の年平均気温と成長との関係を知るために、毎年直径が計測されているコアサイトのデータを解析対象とした。計測されている個体数が 100 個体以上で、なおかつ2調査区以上で計測されている種を解析対象とした。解析対象種は 62 種であった。
- ➤ 直径成長量に与える年平均気温の効果を Canham et al. (2004, 2006)、 Matsushita et al. (2015)の直径成長モデルに年平均気温の効果を加えることで、調査個体のサイズ効果や個体効果を同時に考慮して解析した。モデルでは、樹木個体ごとの成長を以下の式で表した。

### t 年の直径成長 =

ある樹種の潜在最大成長量 × t年の年平均気温効果 × サイズ効果 × 個体効果

この式において年平均気温効果、サイズ効果、個体効果は0から1の値をとる非線 形関数で、それぞれの効果が1であった時にある樹種の潜在最大成長量が実現され ると仮定した。

▶ 個体効果について、個体周辺の土壌環境、樹病の有無、近隣個体との競争など調査で直接計測していない効果を考慮した。この個体効果を考慮することで、個体間のばらつきが全体の推定結果に与える影響を小さくした。近隣個体との競争については、近隣個体の胸高直径とその距離で、推定することは可能だが、今回は個体効果に含めた。

▶ 階層ベイズを用いることで、上記のモデルで示される状態プロセスと、観測プロセスを分けて観測誤差も同時に考慮し、観測誤差が結果に悪影響を与えないように配慮した。

# <結果>

- ▶ 62種のうち51種でベイズ推定が収束し、推定結果が得られた。
- ▶ 得られた推定結果から、種によって直径成長と年平均気温との関係は異なり、年平均気温との関係性がみられない種(25種)、正の関係にある種(14種)、負の関係にある種(4種)、一山型の関係を示した種(8種)があった(図 5-1-12)。

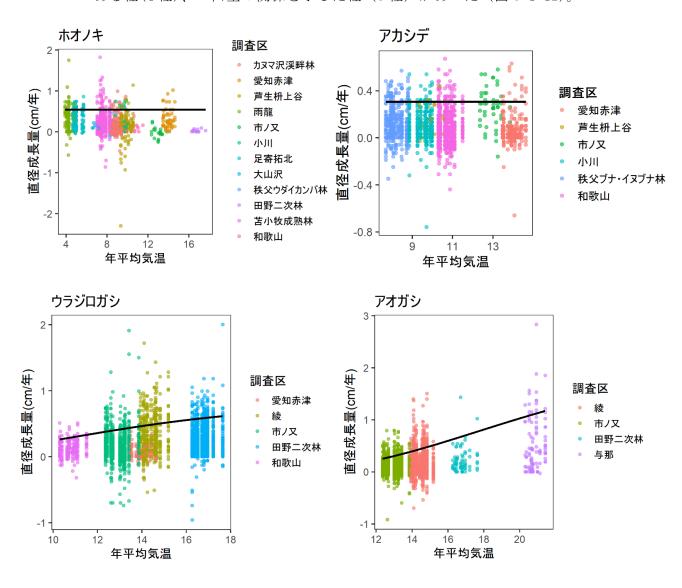


図 5-1-12 主要樹種における直径成長量と年平均気温との関係

各点は調査により観測された成長量を示し、黒の実線はベイズ推定により得られた推定値を示す。推定値は、該当種の全調査区の平均直径サイズでかつ、個体効果による成長量の減少がない(理想的な個体環境)場合における成長量を示す。上右図及び上左図は、成長量と調査年の年平均気温との関係が明瞭でない種、下右図及び下左図は、成長量と調査年の年平均気温との関係が正の関係を示した種。

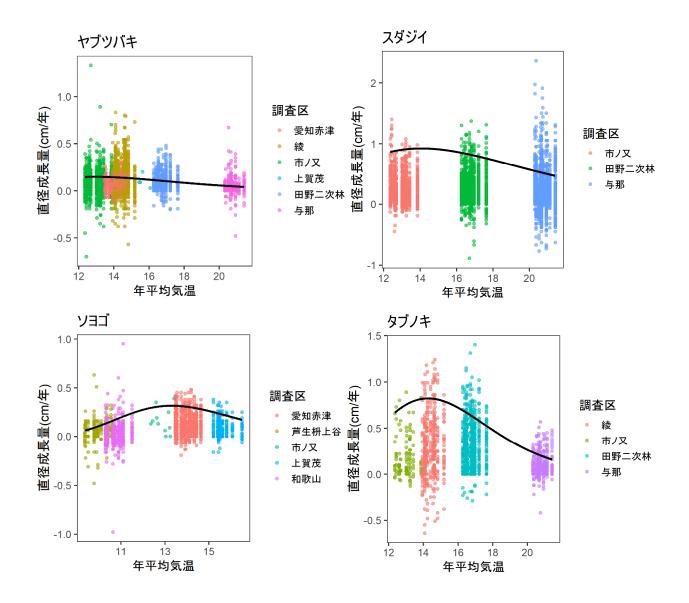


図 5-1-12 主要樹種における直径成長量と年平均気温との関係 (続き)

上右図及び上左図は、成長量と調査年の年平均気温とが負の関係を持つ種、下右図及び下左図は、成 長量と調査年の年平均気温とが一山型の関係を示した種。

# く考察>

- ▶ 直径成長と年平均気温との間に関係がある種がみられたことから、気候変動によって年平均気温が上昇した場合これらの種の直径成長は変化する可能性がある。
- ▶ 種によって年平均気温との関係が異なったことから、同所的に生育する樹木であっても温暖化に対して成長が増加する種や減少する種があることが示唆された。
- ▶ 今後は、それぞれの種の成長(開葉)期の積算気温や、機能的形質などとの関連についても、データの蓄積に合わせて解析を行う。

- ➤ このような樹木個体ごとの解析は、長期に個体ごとにモニタリングされたデータがないと不可能で、改めてモニタリングサイト 1000 の調査結果が気候変動への応答予測に有用であることが示された。
- ▶ 今回得られた成長と年平均気温との関係を、先行研究(Suzuki et al. 2015)により示されている樹種構成の変化と合わせて解析することで、樹種構成の変化が起きているメカニズムを直径成長の減少あるいは増大から明らかにできる可能性がある。

# 2) 地表徘徊性甲虫の個体数変化とリター供給量、林床環境、気象との関係

# く背景・目的>

- ▶ 気候変動は、種ごとの様々な反応を介して、地表徘徊性甲虫類(以下甲虫類という)の生息数、分類群構成、種多様性に影響を及ぼす可能性がある。
- ➤ 第2期とりまとめでは、甲虫類全体及び優占分類群の捕獲個体数、及び林床環境の 全国的な変化傾向を解析し、寒冷な地域の高齢林における甲虫類の減少傾向を示し た。優占分類群の中では、高齢林において、オサムシ属と Pterostichus 属の全国的 な減少傾向と温暖な地域での Synuchus 属の増加傾向とが認められた。
- ▶ 第3期のデータを追加して、第2期までの傾向がさらに進んでいるのか、変化しているのかを検討した。
- ▶ 調査区ごとの種構成の変化を解析し、全国的に気温上昇に伴う種構成の変化が起きているのかを検討した。

### く解析方法>

- ➤ 調査区ごとに、甲虫類全体及びオサムシ科の年捕獲個体数・年捕獲バイオマス(乾燥重量)・種数・均等度・種多様度・平均個体重、優占する属(オサムシ属、Pterostichus属、Synuchus属)・亜属(オオオサムシ亜属、クロナガオサムシ亜属、Rhagadus 亜属)の年捕獲個体数、林床植生被度・堆積落葉量の各年変化傾向(単調増加/減少傾向)を求め、地域的な傾向の有無と、年または季節別の平均気温・降水量の変化傾向との相関関係を調べた。
- ➤ 各測定項目について、調査区ごとに以下のように年変化傾向を推定した。年捕獲個体数・年捕獲バイオマス(対数変換値)・林床植生被度(年平均、逆正弦変換値)・ 堆積落葉量(対数変換値)は、年を説明変数、サブプロットをランダム変数(切片) とする一般化線形混合モデル(GLMM)に当てはめ、推定された年の係数をもって年 変化傾向とした。種数・均等度(Pielouの J')・多様度(Shannon-Wiener の H')・ 平均個体重(総バイオマス/総個体数)はサブプロットをプールして調査区・年ご とに求め、年を説明変数とする一般化線形モデル(GLM)に当てはめた。個体数はポ アソン分布に従うと仮定した。

- ▶ 多変量解析によって調査区・年ごとの甲虫類の種または属構成を座標付けし、各調査区の種・属構成がより温暖な地域の構成に近づくように変化しているかを検討した。
- ▶ サブプロットをプールして調査区・年ごとの種または属構成データ(種または属ごとの年捕獲個体数)を求め、調査区の平年気温を説明変数とする正準対応分析(CCA)によって二次元平面上に座標付けし、種・属構成のばらつきのうち気温によって説明される割合を求めた。さらに各調査区について、第1軸(CCA1。気温傾度を表す)の値を年で回帰し、有意な年変化傾向の有無を確認した。ただし、オサムシ属は生態特性の異なる多数の亜属から構成されていたため、属組成の解析においてオサムシ属のみ亜属別の個体数を用いた。

- ▶ 林床植生被度は、第2期までと同様に寒冷な地域(雨龍、苫小牧成熟林、カヤの平)で増大、温暖な地域(奄美、佐田山、市ノ又)で減少する傾向を示した(ただし、与那は2012年秋の台風撹乱の影響で強い増加傾向を示した)。堆積落葉量の変化傾向には、地域的な特徴はみられなかった。
- ▶ 甲虫類・オサムシ科の種数・均等度・多様度・平均個体重は、有意な変化傾向を示す調査区がわずかで、地域的傾向や林床環境・気温・降水量の変化傾向との相関はみられなかった。
- ▶ 甲虫類・オサムシ科・オサムシ属の各捕獲数または捕獲バイオマスは、増加傾向・減少傾向のいずれかが調査区の多くでみられたが、地域的傾向や林床環境・気温・降水量の変化傾向との相関はみられなかった。
- ➤ Pterostichus 属の捕獲数は減少傾向の調査区が多く、増加傾向の調査区はみられなかった。逆に、Synuchus 属は増加傾向の調査区が多く、減少傾向の調査区はみられなかった(図 5-1-13)。調査期間の前半(2005~2011 年)と後半(2012~2017 年)に分けて同様の解析を行ったところ、これらの傾向は後半の方がより顕著であった。これらの分類群の変化傾向と、林床環境・気温・降水量の変化傾向との相関はみられなかった。
- ➤ CCA による座標付けの結果、全調査区の種、属組成のばらつきの 5.39、9.47%が第 1 軸 (CCA1) によって説明された (図 5-1-14A、C)。また第 2 軸 (CA1) は島の違い に対応し、値が大きいほど本州固有の種構成であることを示すと考えられた。
- ➤ 苫小牧成熟林の CCA1 値は有意な増加傾向を示した(図 5-1-14B、D)。しかし、その他の調査区の CCA1 値は有意な増減傾向を示さなかった。
- ➤ 総個体数や出現サイト数が少ない種または属を除外して解析した場合も、同様の結果が得られた。
- ▶ 苫小牧では、本州にも広く分布する種の多く(オオヒラタシデムシ、オオクロツヤヒラタゴミムシなど)で捕獲個体数が2倍以上に増加したが、より北方に分布し本州にはまったくまたは局所的にしか分布しない種では、ほとんどの種が大きな増加

傾向を示さず、一部の種(エゾマルガタナガゴミムシなど)は 1/2 以下にまで減少した(図 5-1-15)。

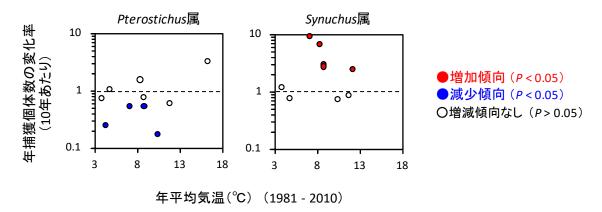


図 5-1-13 Pterostichus 属・Synuchus 属の年捕獲個体数の変化傾向

# 種組成(160種)

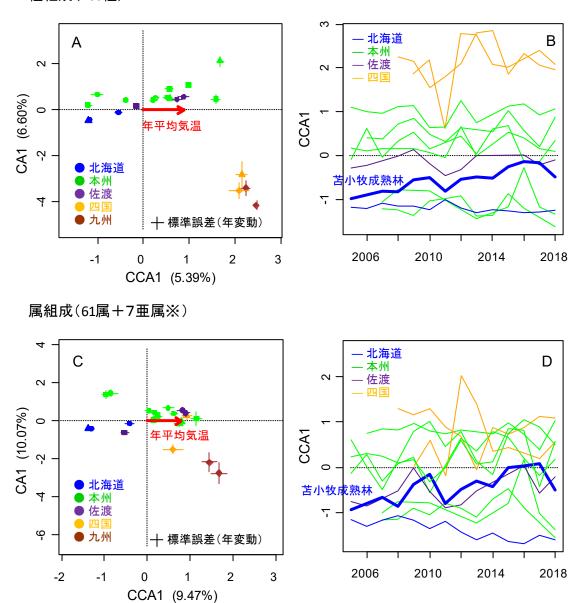


図 5-1-14 各調査区における地表徘徊性甲虫類の群集組成の変化傾向

A、C) 各調査区・年の地表徘徊性甲虫群集の正準対応分析 (CCA) による座標付け (全年度の平均±標準 誤差)。矢印は説明変数 (年平均気温 (1981~2010年の平均値)) を表す。B、D) 各調査区における群集 組成の気温傾度 (CCA1) に沿った経年変化。※オサムシ属のみ亜属別の個体数を用いた。

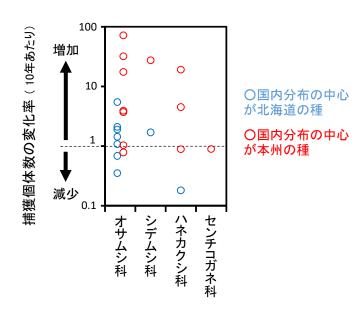


図 5-1-15 苫小牧における地表徘徊性甲虫類の年捕獲個体数の変化傾向

- ➤ 第2期までと同様に、Pterostichus 属の全国的な減少傾向と Synuchus 属の増加傾向が継続していることが確認された。Pterostichus 属は寒冷な調査区で優占度が高く、Synuchus 属は温暖な調査区で優占度が高かったことから、調査期間全体にわたる顕著な高温状態の継続が、寒冷な気候を好む Pterostichus 属の減少と温暖な気候を好む Synuchus 属の増加を引き起こした可能性がある。
- ▶ 一方、多くの調査区において気温傾度に沿った種構成の変化傾向は検出されなかった。甲虫類は移動分散能力が低いため、同じ気候帯の調査区間であっても地域によって種構成に大きな違いがみられる。このように調査区間で共通種が少ないため、気温が上昇した場合でも離れた地域の温暖な調査区と同様の種構成に近づくとは限らない。また近隣の温暖な地域の種が侵入してくるのにも時間がかかる上、その地域に特有の種が直ちに移動・消失するわけではないので、全国の調査区間で比較した場合、種構成の特徴が変化しにくいことが考えられる。
- ▶ しかし、苫小牧ではより温暖な地域の種構成に近づくような変化が進行していることが示された。甲虫類の種構成は本州と北海道とで大きく異なっていたが、苫小牧には本州にも広く分布する種と、国内では主に北海道のみに分布する種とが同程度に共存しているため、気温上昇に伴う種構成の変化が明瞭であったと考えられる。また北海道や本州の他のサイトとの共通種が多かったことも、種構成の変化と温度変化との対応がつきやすかった一因と考えられる。さらに苫小牧は全サイト中でもっとも捕獲個体数が多いため、他のサイトに比べて偶然のばらつきの影響を受けにくく、より傾向が検出されやすかったと考えられる。

➤ 気候変動による甲虫群集の変化を明らかにするためには、種レベルだけでなくある 程度生態特性が共通すると考えられる属や亜属(または機能群)の構成の変化にも 注目しつつ、モニタリングを続けていくことが必要である。

# 3) 鳥類の個体数・種数について過去との比較による変化の検出

① コア・準コアサイトにおける変化

# く背景・目的>

- ▶ 鳥類にはさまざまな分布パターン、採食場所を利用する種がおり、どのような種が 増加しており、どのような種が減少しているかをみることで、生態系の変化につい て推測することが可能である。
- ▶ 第2期とりまとめの解析では、下層植生を利用する鳥類が減少しており、シカによる植生被害の影響が推測された。
- ▶ 今回はシカによる影響については後述の5.2.(2)で詳細に解析することとし、 ここでは第2期以降の全般的な変化について示した。

# <解析方法>

- ➤ 個体数変動の解析は、繁殖期・越冬期にそれぞれ4回行なった調査の各季節の種別の個体数の最大値をもちいて、 Statistics Netherlandsが開発し、Pan-European Common Bird Monitoringの解析に用いられている統計ソフト TRIM を利用し、R と Package 'rtrim'により年変動を解析した。
- ▶ 解析対象とした種は 10 地点以上の調査地で定期的に記録されている種とし、繁殖期については、アオゲラ、アカゲラ、アカハラ、イカル、ウグイス、エナガ、オオアカゲラ、オオルリ、カケス、カワラヒワ、キジバト、キセキレイ、キバシリ、キビタキ、クロツグミ、コガラ、コゲラ、ゴジュウカラ、コルリ、シジュウカラ、センダイムシクイ、ツツドリ、ハシブトガラス、ヒガラ、ヒヨドリ、ホトトギス、ミソサザイ、メジロ、ヤブサメ、ヤマガラの 30 種について、越冬期については、コゲラ、アオゲラ、カケス、ハシブトガラス、ヤマガラ、ヒガラ、シジュウカラ、ヒヨドリ、エナガ、メジロ、ゴジュウカラ、シロハラ、ルリビタキの 13 種を対象とした

- ▶ 繁殖期について、増加傾向にあったのは、ヤマガラとキビタキであった。また、減少傾向にあったのは、ウグイス、エナガ、ツツドリで、ホトトギスも減少傾向にあった(図 5-1-16)。
- ▶ 第2期の段階では減少傾向にあったコルリは有意な減少傾向は認められなくなった。ただし、後述(5.2.(2)1)③下層植生と鳥類相の関係)するように、シカの影響が確認されている調査地では減少していた。

▶ 越冬期については年変動が大きく、多くの種では有意な増減はなかったが、ルリビタキは減少傾向にあった。

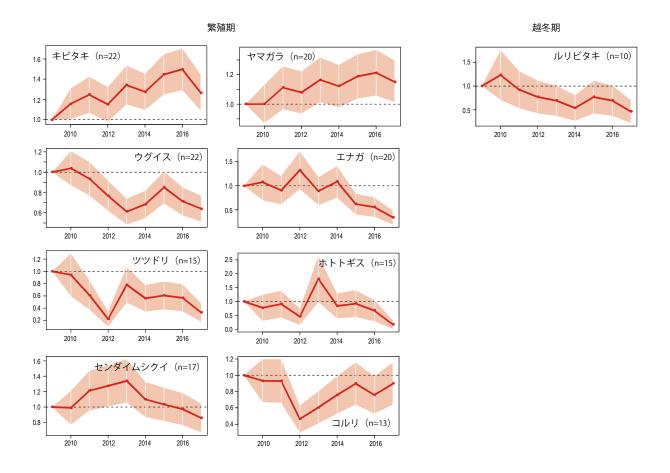


図 5-1-16 繁殖期と越冬期に増加・減少傾向にある種とそれ以外の特徴的な種 2009 年の個体数を1とした相対的な個体数指数。線が推定値,網掛けが信頼区間。

# く考察>

- ➤ 繁殖期に増加傾向のあったヤマガラとキビタキは、全国鳥類繁殖分布調査 (2016~2020) でも分布の拡大が示されており、分布、個体数共に増加していると考えられる。キビタキを含めた夏鳥の分布の拡大が全国鳥類繁殖分布調査では示されており、第2期では有意に減少していた夏鳥のコルリに有意な減少がみられなくなったのもシカによる負の影響と夏鳥としての正の影響と両方が関係している可能性がある。
- ▶ 減少していたウグイスとエナガは藪を利用する鳥で、シカが下層植生を摂食し藪が減ったことの影響を受けている可能性がある。
- ▶ ツツドリとホトトギスはシカの影響で托卵相手(宿主)が減少し、その影響を受けている可能性がある。たとえばホトトギスの宿主はウグイスであり、その減少により、ホトトギスも減少している可能性がある。またツツドリはセンダイムシクイなどのムシクイ類を宿主としている。センダイムシクイは有意ではないものの、減少

傾向にあり、また、図 5-1-16 で示したが、同様に宿主であるエゾムシクイとともに、シカの影響での減少が示唆された。

▶ 越冬期については、年変動が大きいこともあり、長期にわたって変動をみつつ把握 していく必要がある。

### ② 一般サイトにおける変化

# く背景・目的>

- ▶ 鳥類は他の生物同様に、時間とともに各種の個体数が変動している。環境の変化や 人為的な影響により、絶滅の危機に瀕することもあれば、逆に増加することもあり 得る。
- ▶ ここでは、第3期において記録された鳥類のうち変動が大きかった鳥種について、 種数と各種の個体数の変化の検出を試みた。

### <解析方法>

- ▶ 対象とした情報は、第2期と3期の解析可能なデータが得られた一般サイトのデータである。第1期では調査方法が異なり、かつ期の途中より開始されたため比較ができなかったが、第2期以降はポイントセンサス法による調査に統一されており、同一の調査方法を行った第2、3期での比較が可能となったため、両者の比較を実施した。
- ➤ 種数の変化の解析は、上記のサイトを対象として、第2期と第3期の出現種数を、 各サイトをランダム要因として扱う一般化線形混合モデル(GLMM)を用いて、誤差分 布にポアソン分布を用いて解析した。
- ▶ 対象サイト数のうちどれだけのサイト数で出現したかの指標として、各種の出現率 を求め、出現率の変動が大きかった上位 10 種、下位 10 種を各期で求めた。
- ▶ 個体数の変化の解析は、変動の大きかった種を対象とした。これは第2期における 出現率を基準として、第3期での出現率の変動がもっとも激しかった上位 10種、 下位 10種である。これらの種のうち、二つの期のどちらかにおいて 20サイト以上 で記録があった種を統計的な解析可能な対象とみなし、その個体数の変化を統計的 に検討し示した。(表 5-1-2~9)
- ▶ 解析には、各サイトをランダム要因として扱う一般化線形混合モデル(GLMM)を用いて、誤差分布にポアソン分布を用いて解析した。
- ▶ コアサイトで増減の検出された種について、一般サイトでの増減についてチェックを行った。(Wilcoxon の符号付順位和検定)

- ▶ 種数の変化は、森林、草原、繁殖期、越冬期いずれにおいても検出されなかった。 解析の対象としたサンプル数(サイト数)は表 5-1-2~9の通りである。第2期と比較して、第3期の種数が増減したとはいえず、大きな変化は起きていないと考えられた。
- ➤ 各種の個体数の変化については、一部の種において、増減の傾向が検出された(表 5-1-2~9、図 5-1-17)。各年の解析においても増加傾向が認められていたキビタキ やソウシチョウは、5年を1期とした本解析においても増加傾向が認められた。第 2期とりまとめ時に減少が検出されたオオアカゲラは、今回は増加として検出された。加えて、第 2 期とりまとめでは検出されていなかった複数の種の増減が有意に 検出された(50 音順:アトリ、イカル、ウグイス、カケス、カワラヒワ、キクイタ ダキ、キジバト、キセキレイ、シメ、ツツドリ、ノスリ、ハシブトガラス、ハシボ ソガラス、ホオジロ、ホトトギス、マヒワ、メジロ、モズ、ヤマガラ。なおこれら には増減の上位 10 種以下の種も含む)。

表 5-1-2 森林・繁殖期における増加が大きかった上位 10 種 (N=319 サイト)

	出現率の変	動順位と変動量		個体数の	 増減
キビタキ	1	+10.66%	増加	P<0.05*	N=250
アオバト	2	+6.58%	_	P=0.06	N=132
ソウシチョウ	3	+5.96%	増加	P<0.01*	N=118
アカゲラ	4	+5.33%	_	P=0.86	N=139
センダイムシクイ	5	+5.33%	_	P=0.95	N=176
オオアカゲラ	6	+4.08%	増加	P<0.01*	N=41
カケス	7	+4.08%	増加	P<0.01*	N=204
ツツドリ	8	+3.76%	増加	P<0.01*	N=126
キジバト	9	+3.13%	_	P=0.85	N=250
サンコウチョウ	10	+3.13%		P=0.96	N=103

<sup>※ \*</sup>は個体数に有意な差が検出された種。表 5-1-3~9も同様。

表 5-1-3 森林・繁殖期における減少が大きかった上位 10 種 (N=319 サイト)

種名	出現率の変	動順位と変動量		個体数の均	曽減
ホオジロ	1	-5.96%	減少	P<0.01*	N=201
ホトトギス	2	-5.64%	減少	P<0.01*	N=179
メジロ	3	-4.39%	減少	P<0.05*	N=234
モズ	4	-4.08%	減少	P<0.05*	N=52
ミソサザイ	5	-3.15%	_	P=0.06	N=124
ハシブトガラ	6	-3.15%	減少	P<0.01*	N=28
ハシボソガラス	7	-2.82%	_	P=0.07	N=146
ゴジュウカラ	8	-2.82%	_	P=0.35	N=96
メボソムシクイ	9	-2.51%	_	P=0.19	N=39
ハクセキレイ	10	-2.19%	_	P=0.19	N=33

注) ハシボソガラスでは、大きな群れが確認された。

表 5-1-4 森林・越冬期における増加が大きかった上位 10 種 (N=186 サイト)

種名	出現率の変動	加順位と変動量		個体数の均	増減
ジョウビタキ	1	+7.88%	_	P=0.16	N=96
シメ	2	+5.86%	増加	P<0.01*	N=40
マヒワ	3	+5.82%	増加	P<0.01*	N=63
アトリ	4	+5.31%	増加	P<0.01*	N=45
カワラヒワ	5	+5.16%	増加	P<0.01*	N=105
ミソサザイ	6	+4.16%	_	P=0.08	N=80
シジュウカラ	7	+3.31%	_	P=0.20	N=175
イカル	8	+3.13%	減少	P<0.01*	N=58
ゴジュウカラ	9	+3.12%	_	P=0.30	N=55
ヤマガラ	10	+2.80%	増加	P<0.01*	N=166

注)アトリ、イカル、マヒワでは大きな群れが確認された。

表 5-1-5 森林・越冬期における減少が大きかった種 (N=186 サイト)

種名	出現率の変動	動順位と変動量		個体数の増	曽減
ノスリ	1	-9.76%	減少	P<0.01*	N=31
ウグイス	2	-8.93%	_	P<0.05	N=123
キクイタダキ	3	-4.94%	減少	P<0.01*	N=46
ハシボソガラス	4	-4.00%	減少	P<0.01*	N=102
アオゲラ	5	-3.39%	_	P=0.31	N=85
キセキレイ	6	-3.31%	減少	P<0.01*	N=46
エナガ	7	-3.08%	_	P=0.53	N=156
シロハラ	8	-2.98%	_	P=0.53	N=123

注)ハシボソガラスでは、大きな群れが確認された。

表 5-1-6 草原・繁殖期における増加が大きかった種(N=70 サイト)

種名	出現率の変動	動順位と変動量		個体数の均	曽減
ハシブトガラス	1	+11.43%	増加	P<0.01*	N=59
コゲラ	2	+10.00%	_	P=0.08	N=20
シジュウカラ	2	+10.00%	_	P=0.81	N=35
ヒヨドリ	2	+10.00%	_	P=0.25	N=48
キジバト	5	+8.57%	減少	P<0.05*	N=58
ホオアカ	5	+8.57%	_	P=0.38	N=34
ウグイス	7	+5.71%	増加	P<0.05*	N=57

表 5-1-7 草原・繁殖期における減少が大きかった種 (N=70 サイト)

種名	出現率の変動	助順位と変動量		個体数の均	曽減
ハクセキレイ	1	-12.86%	_	P=0.20	N=26
ツバメ	2	-8.57%	_	P=0.33	N=40
カッコウ	2	-8.57%	_	P=0.66	N=40
カワラヒワ	6	-5.71%	減少	P<0.01*	N=56
アオジ	10	-4.29%	_	P=1.00	N=31

表 5-1-8 草原・越冬期における増加が大きかった種 (N=39 サイト)

種名	出現率の変	動順位と変動量		個体数の増減
ハシブトガラス	1	+22.32%	_	P=0.14 N=36
キジバト	4	+13.31%	_	P=0.08 N=24

表 5-1-9 草原・越冬期における減少が大きかった上位 10 種 (N=39 サイト)

	出現率の変	動順位と変動量		個体数の増減
カワラヒワ	2	-16.70%	減少	P<0.01* N=32
ハシボソガラス	9	-6.31%	減少	P<0.01* N=29

注)カワラヒワ、ハシボソガラスでは、大きな群れが確認された。

- ▶ 一般サイトにおける森林での繁殖期の増減をみると、キビタキはコアサイトと同様に増加傾向がみられた。一方でヤマガラでは、有意な増加は認められなかった。減少傾向がみられた種はウグイスとホトトギスであった。
- ▶ 増減の地域的な差をみるために、全国を北緯30度~北緯35度、北緯35度~北緯40度、北緯40度以北に分けて、地域的な傾向をみると、キビタキは、北緯40度以南で増加傾向にあり(表5-1-10、図5-1-17)、ウグイスは北緯40度以南で減少傾向にあり、北海道(北緯40度以北)では、有意な増減は認められなかった。また、ホトトギスは、地域を分割すると有意な差は現れなかった。(※ウグイスの変化については5.2(2)1)③にて説明。)

表 5-1-10 森林・繁殖期で増加のみられた種

	全国	N30-N35	N35-N40	N40以北
キビタキ	P<0.01	P<0.05	P<0.01	N.S

# キビタキの増加傾向(緯度別)

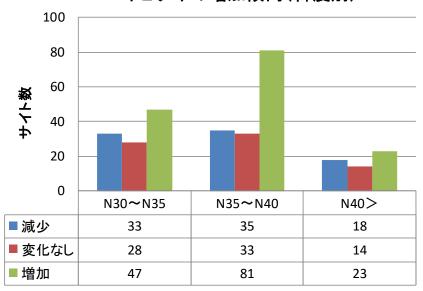


図 5-1-17 森林・繁殖期に個体数の増加が確認されたサイト数の地域比較

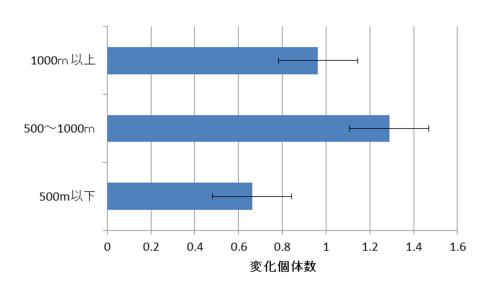


図 5-1-18 標高別にみたキビタキの平均変化個体数

特に増加が確認されたサイトが多かった緯度帯  $(N35\sim N40)$ について、標高別の平均変化個体数を解析。標高  $500\sim 1000$ m、1000m以上のサイトで平均変化個体数が多くなっている。 $N30\sim N35$  の地域には同等の標高を持つ サイトが少ないため、大きな変化があまり確認されなかった可能性がある。

# く考察>

▶ 繁殖期に増加傾向のあったキビタキは、コアサイトでの解析や全国鳥類繁殖分布調査(2016~2020)でも分布の拡大が示されており、分布、個体数共に増加していると考えられる。

- ➤ ソウシチョウは、モニタリングサイト 1000 の各年の解析で分布の拡大傾向が認められている。加えて、今回の解析からは、個体数が第2期と比べて第3期では増加していることが分かり(表 5-1-2)、その傾向が裏付けられた。
- ▶ オオアカゲラは、前回減少として検出されたが、今回は増加として検出された。これは、観察がやや困難で、かつ、体サイズが大きく行動圏が広いゆえに検出が難しく値が変動する傾向にあるキツツキ類の調査精度の影響の結果である可能性がある。これは同様に体サイズが大きく行動圏が広いツツドリ、ホトトギス、ハシボソガラス、ハシブトガラス、キジバトについても同様の問題は含みうる。ただし、ハシボソガラスは繁殖期の森林と草原の両方で減少しており、越冬期においもて草原で減少が認められたことから、ハシボソガラスは減少している可能性がある。
- ➤ ホオジロは、繁殖期の森林で減少率が最も大きかった。ホオジロは草原性の鳥類だが林縁を好む傾向があり森林サイトにおいても多地点で出現している。森林サイトの調査は林道上の調査ポイントからの調査となる場合が多い。従来、林道沿いの下層植生が林縁的な環境提供していたと考えられる。そこで植生遷移が進行した結果、林縁部の開けた環境がより森林寄りに変化し、開空度といった光等の条件が変化した結果である可能性がある。モズの減少についても、開けた環境を好み森林には進出しないことから、同様のことが当てはまる可能性がある。また、メジロの減少も注目に値する。メジロは分布が広く、留鳥であるが渡りを行い、やや明るい林を好むことから、これも森林遷移の影響を受けている可能性がある。
- ▶ このように、繁殖期の森林サイトで減少した種は、共通して開放環境または明るい環境を好む種であった。ただし、植生の被度はこの5年間では微増であった。モニタリングサイト 1000 で採用している被度ランクよりも、より詳細なマイクロハビタットの変化の影響は原因の可能性の一つとして考えられる。
- ▶ 繁殖期の草原では、ウグイスが増加していた。コアサイトではシカの影響により減少が検出されているが、一般サイトでは、森林サイトでは変化の上位ランクに含まれず草原では増加となった。また、越冬期の森林では減少として検出されており、季節と環境が異なるものの逆の傾向が認められ、傾向に一貫性がなかった。
- ▶ 繁殖期の草原で最も増加したハシブトガラスは、越冬期でも増加しており、草原サイトでは増加傾向である可能性がある。ただし、森林環境では減少として検出されており、全体では一貫性に欠けている。また、前述したとおり体サイズに起因した行動圏の広さ(検出率)の影響で、結果が変動しやすい種であるため、結論は避けたい。
- ▶ カワラヒワは草原サイトで繁殖期に減少し、越冬期においても減少していた。一方、森林サイトでは越冬期に増加していたが、本種は農耕地などの開けた環境に生息する種であり、主な生息域は草原サイトであって、森林サイトでの増加は限定的である。

- ▶ 繁殖期の草原サイトでは、ウグイスが増加し、カワラヒワが減少していることから、 開放的な環境が減っている可能性がある。これは、草原サイトにおいても、植生の 遷移が進んでいることが原因である可能性がある。
- ▶ 越冬期については、繁殖期と比較して年変動が大きい傾向がある。森林においては、 多数のアトリ科の鳥種の増加傾向が検出された。アトリやマヒワといった越冬鳥が 北方より多数飛来した可能性がある。前期と比較して、北方の気温が低くかったり 餌量が少なかったりした可能性がある。ただし、カワラヒワについては森林サイト で増加として検出される一方で草原サイトでは減少としており、一貫性が無かった。 ヤマガラについては、各年の解析において一部の年に、一般サイト・コアサイトで も増加傾向が検出されており、ここでも同様に増加傾向が検出された。
- ▶ 越冬期の森林サイトで、減少傾向が検出されたノスリは、体サイズが大きく行動圏が広いことから、検出率上の問題である可能性がある。
- ▶ キジバトは草原サイトでは越冬期だけでなく繁殖期にも増加しており、増加傾向に一貫性が認められた。キジバトは樹木に生息するので、この点からも植生の遷移といった開放的な環境の減少傾向が推察される。これはキセキレイが減少として検出されたことからも補強されるかもしれない。ただし、草原サイトは調査サイト数が特に少ないことから年変動が大きくなっているため、長期にわたって変動をみつつ把握していく必要がある。

# (3) 炭素循環の変化

# 1)調査開始時からの地上部バイオマス変化量

# く背景・目的>

- ▶ 大気中の炭素は樹木の光合成による一次生産によって森林に加入し、樹木の成長に伴って幹や枝へ配分されて蓄積されたり、落葉や落枝によって土壌に供給されたりすることによって、森林に貯留される。
- ▶ 一方、樹木の一次生産速度は気温・光・水・栄養塩といった環境因子に応答するため、気候変動によって炭素加入・蓄積といった森林の炭素循環が変化する可能性がある。
- ➤ そこで、気候変動によって樹木の幹や葉などの森林地上部の炭素蓄積量(以下、「地上部現存量」とする)にどのような変化が生じるかを予測するため、毎木調査のデータを用いて調査区における地上部バイオマスの変化量を解析した。
- ▶ 第2期においては、全国的な特徴として、年平均気温(平年値)と生存幹の肥大成長による地上部現存量の年平均増加率の間には有意な関係は確認されていない。
- ▶ 温暖化の影響をより正確に予測するために、今回、第3期のデータを加えることで 第2期にみられた傾向がモニタリング期間の短さによる一時的なものかを検証し た。

# <解析方法>

- ▶ 地上部現存量の経年変化を調べた。地上部現存量の算出には、アロメトリー式(第 2期とりまとめ解析報告書を参照)を用いて、幹の直径から推定した幹・枝・葉の 乾燥重量の和を地上部現存量とした。
- ▶ 次に、調査開始から最終調査年までの地上部バイオマスの増減量を算出し、全国的な傾向を解明するために、各調査区の地上部現存量の増減量と気象環境因子の関係を調べた。
- ▶ 次に、毎末調査を毎年行なっているコアサイトのデータを用いて、調査区内での増加率と当年及び前年の気象環境因子の関係を解析した。

➤ Kohyama, Kohyama & Sheil (2019)にもとづき、各調査の間の期間に生存していた 幹の肥大成長による地上部現存量の生産量、及び、個体枯死による地上部現存量の 損失量を算出した。

相対生産量 (/ 年) =  $\ln (B_T / B_{S0}) / T$ 相対損失量 (/ 年) =  $\ln (B_0 / B_{S0}) / T$ 

生産量  $(Mg/ha/年) = B_m \times 相対生産量$ 損失量  $(Mg/ha/年) = B_m \times 相対損失量$ 

 $B_0$ : 前回調査時の地上部現存量の総和 (面積あたり)、 $B_T$ : 今回調査時の地上部現存量の総和、 $B_{50}$ : 前回から今回の調査時まで生存した幹の前回調査時点の地上部現存量の総和、 $B_m$ : 地上部現存量の調査期間平均、T: 前回から今回までの経過年数。

- ▶ 地上部現存量の相対生産量、及び、相対損失量の調査区間の差異の要因を調べるため、年平均気温と地上部現存量の期間平均と目的変数とした線形モデルによる解析を行った。
- ▶ 地上部現存量の変化量(生産量-損失量)が、気温変動へ線形応答すると仮定し、変化量を応答変数、調査期間の年平均気温の平年からの偏差を固定効果、調査区をランダム効果の説明変数として加えた線形混合モデルにより解析を行った。
- ▶ さらに、2005~2017年に継続して調査が行われた調査区において、4年毎に3つの期間に分け、地上部現存量の生産量及び損失量を求め、気温変動(調査期間の年平均気温と過去15年間の年平均気温の偏差)との関係を調べた。

- ➤ 全国的な傾向として、地上部現存量は一部の調査区を除き、概ね増加傾向にあった (図 5-1-19)。
- ▶ 地上部現存量の相対生産量・損失量は、いずれも各調査区における地上部現存量と 負の相関を示した(図 5-1-20)。
- ▶ また、この関係は森林タイプよりも温度環境によって変異しており、高温環境のほうが同じ現存量でも相対生産量が高くなっていた。
- ▶ 地上部現存量の変化量と気温変動には有意な関係がみられ、調査期間の年平均気温が高いほど地上部現存量が増加する傾向を示した(図 5-1-21)。
- ➤ 4年毎の生産量は、概ね気温と正の相関を示す傾向がみられたものの、損失量と気温変動の関係は明瞭ではなかった(図 5-1-22)。

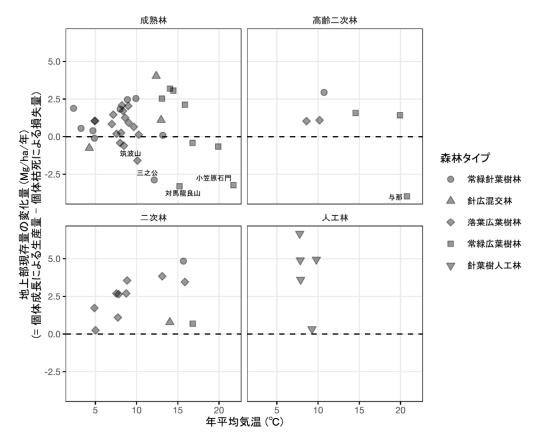


図 5-1-19 調査開始時からの地上部現存量の増減量と年平均気温の関係

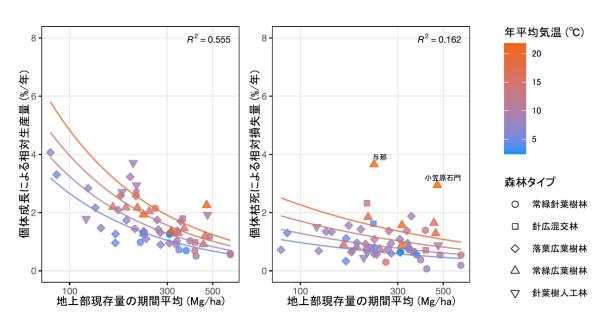


図 5-1-20 各調査区における地上部現存量の相対生産量・損失量と年平均気温、 及び地上部現存量の期間平均との関係。

曲線は、線形モデルの推定値に基づき、年平均気温を5 $^{\circ}$  $^{\circ}$ 、10 $^{\circ}$ 、15 $^{\circ}$ C、20 $^{\circ}$ Cとした場合の、相対生産量・損失量と地上部現存量の期間平均との関係を示す。

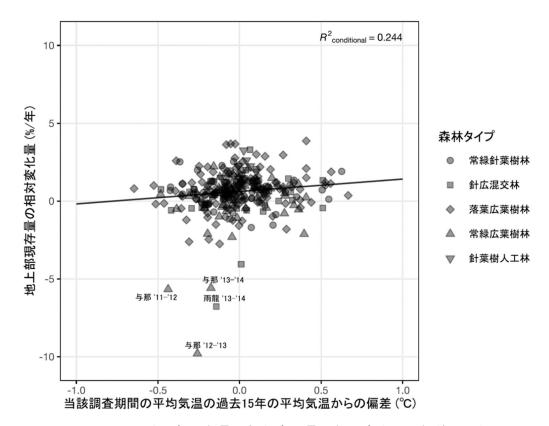


図 5-1-21 地上部現存量の相対変化量と気温変動との偏差の関係

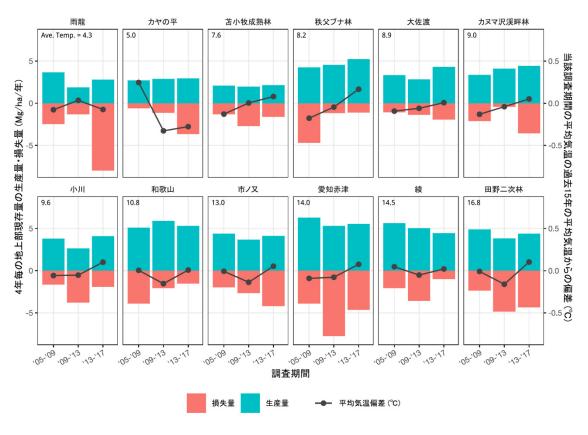


図 5-1-22 4年毎の地上部現存量の生産量・損失量と気温変動の関係

- ▶ 調査開始時からの地上部現存量は概ね増加傾向にあったものの、変化量と年平均気温と間には明瞭な関係がみられなかったことから、温暖化により気温が上昇した場合にどの森林植生タイプで影響が大きいかを単純に予測することは難しく、各森林の種構成や遷移段階、攪乱の履歴などの条件によって異なると予想される。
- ▶ 従って、温暖化が地上部現存量に与える影響を予測するには、それぞれの森林の特徴や攪乱の履歴をモニタリング調査などによって詳細に把握する必要がある。
- ▶ 地上部現存量の相対生産量及び損失量と、地上部現存量の間に負の相関がみられたことは、地上現存量ベースの回転率は若い森林(二次林など)で高く、一方、成熟した森林で低いことが示唆するが、これはより成熟した森林では相対的に葉の現存量が少なくなることで、葉が担う生産量が減少するためと考えられる。
- ▶ 加えて、一般的により高温な環境であるほど地上部現存量ベースの回転率が高いことが示された。
- ▶ 地上部現存量の変化量と気温変動の関係について、調査期間の年平均気温が高いほど地上部現存量が増加する傾向がみられたことから、温暖化が進行した場合、地上部現存量が増加すると予測できる。
- ▶ ただし、この予測は最大でも 14 年間の気温変動の範囲に対応した推定結果による ものであり、観測史上類をみないような異常気象年の場合にも同様の結果が得られ るとは限らない。今後モニタリングを続けることで、例えば、年平均気温が高過ぎ る年は地上部現存量が減少するといった平年時との違いを検出できる可能性があ る。

# コラム5-2:気候変動下における森林動態や生態系機能

黒川紘子(小川サイト:森林総合研究所 森林植生研究領域)・石原正恵(京都大学)

気候変動は既に自然生態系や私たちの社会にさまざまな影響を及ぼしている。近年の気温上昇や猛暑日数の増加のみならず、豪雨のような極端な気象現象の発生頻度も高くなっている。将来的にも温暖化はもはや避けられない状況であることが報告されている(IPCC第5次報告書)。このような中、温暖化の影響をいかに低減するかといった適応策が重要であり、温暖化の主要因である大気中の炭素を固定する森林生態系が果たす役割は大きい。2011年度から5年間で実施された環境省環境研究総合推進費S9-3では、森林の動き(動態)や働き(生態系機能)を捉えるための研究がさまざまに行われ、その中でモニタリングサイト1000の森林サイトで蓄積されてきたデータが大いに活用された。

森林・草原調査のコアサイトでは、毎年の毎木調査により純一次生産量(炭素固定量)を推定している。S9-3 では、この純一次生産量の年変動が、多くのサイトで落葉量の年変動ではなく、樹木の成長量の年変動と対応していることを見出した(図 1)。つまり、気候変動下における純一次生産量の変動を捉えるための指標として、樹木の成長量が有効であることが示唆された。

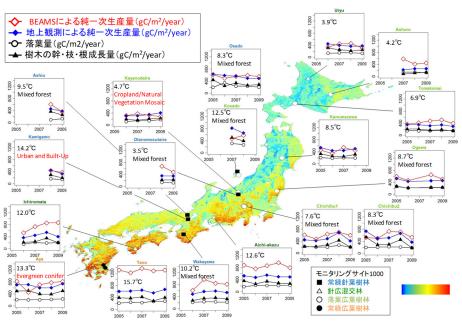


図 1 日本各地の森林の純一次生産量の 2005~2009 年の経年変化と陸域炭素収支モデル BEAMSによる推定値 (Sasai et al. 2012) との比較.

地上観測値は、モニタリングサイト 1000 のデータから求めた年間落葉量と樹木の成長量の和として求めている. 地図は BEAMS による推定値の分布を示す (Sasai et al. 2012). (出典:環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書 S9-3)

一方、このような成長量や死亡率といった樹木の動態パラメータを得るには、長期モニタリングが必要であり、モニタリングを実施していない森林での推定は難しい。そこで、森林サイトのうち、23 サイトに出現する全樹種の主要な形質を測定し、動態パラメータと合わせて解析したところ、全国的には種の材密度や LMA (葉重/葉面積比)が大きいと幹成長率が低く、死亡率も低いことが明らかとなった(図 2)。つまり、比較的容易に取得できる森林構成種の形質データによって、動態パラメータや純一次生産の変動を推定できる可能性がある。

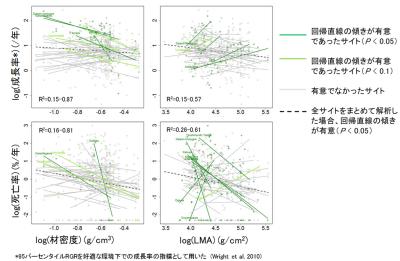


図2 形質と動態パラメータの関係

森林サイト 37 サイトにおいて、樹種特有の形質(材密度や LMA\*)と幹の相対成長率あるいは死亡率との関係を回帰した。ただし、LMA とは葉重/葉面積比を示す。(出典:環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書 S9-3)

さらに、炭素固定量をより広域に把握・評価するモデルやリモートセンシングの地上検証データとしても、モニタリングデータは重要である。S9-3 で行われた解析によると、一部の森林では乖離があるものの、モニタリングで推定された純一次生産量は概ね陸域炭素収支モデル BEAMS (Sasai *et al.* 2012) の推定値と一致していることが示された(図 1)。

S9-3 で開発されたこのような手法は、気候変動の影響への適応計画において、気候変動が生態系機能やサービスに与える影響を把握する際に非常に重要となる。さらに、樹木多様性が森林動態や機能の安定性に貢献することがさまざまな研究から予想されるが、実証された例は少ない。適応策においては、気候変動下で森林動態や生態系機能、ひいては生態系サービスを安定化させるメカニズムの解明は喫緊の課題であり、S9-3 の成果や今後も蓄積されていくモニタリングデータによって、これらが明らかになることが期待される。

### 引用文献

Sasai, T., S. Nakai, Y. Setoyama, K. Ono, S. Kato, M. Mano, K. Murakami, A. Miyata, N. Saigusa, R.R. Nemani, and K.N. Nasahara, (2012) Analysis of the spatial variation in the net ecosystem production of rice paddy fields using the diagnostic biosphere model, BEAMS, Ecological Modelling, 247, 175-189, doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.08.016., 2012.12.

# 2) リター生産量の年次変動と気象との関係

# く背景・目的>

- ➤ 大気・樹木・土壌の間を循環する炭素循環において、土壌へのリター供給は重要な 過程である。
- ▶ 各調査区内での年間落葉量と気温などの気象環境因子の関係を検証することで、気候変動によって、どのような森林植生でどのようにリター生産量が変化するかを予測できる可能性がある。
- ▶ 第2期とりまとめにおいて、各調査区において年間落葉量と年平均気温及び他の気象環境因子との間には、いずれの調査区でも有意な関係は確認されなかった。一方で、台風による強制落葉・落枝は、リター生産量に大きな変動をもたらすことが明らかになっている。
- ▶ 今回、第3期のデータを加えることで、これまで得られた結果が長期に渡り継続しているかを検証した。

# <解析方法>

➤ 各調査区において、1月から 12 月までにリタートラップにより回収されたリター 量にもとづき、1 ha あたりの年間全リター生産量及び年間落葉量を求めた。

- ▶ 各調査区の年間全リター生産量及び年間落葉量と当年の平均気温との関係について、調査区ごとに調査年をランダム効果とする線形混合モデルで解析した。
- ▶ 各調査区の全リター生産量と個体成長による地上部現存量の関係を調べ、これらの 和である純一次生産量と年平均気温の関係について、線形モデルで解析した。

- ➤ 森林植生タイプによって年間落葉量の平均値は大きく異なり、約 2.2~ 4.9 Mg/ha/年までの幅があった(図 5-1-23)。また、調査区によっては年変動が大きく、特に、与那では大型台風が上陸した年には落葉量は平年に比べて約 3 割増加した。
- ▶ 森林植生タイプによって年間全リター生産量の平均値は大きく異なり、約 2.8 ~ 6.8 Mg/ha までの幅があった(図 5-1-24)。また、落葉量に比べて年変動が大きく、最も年変動が大きい与那において最大年では最小年の 3.4 倍の開きがあった。
- ▶ いずれの調査区でも、年間落葉量と全リター生産量の両方で、調査期間の年平均気温との間に有意な関係が確認されなかった。
- ▶ リター生産量と個体成長による地上部現存量の生産量には有意な正の相関がみられ、年平均気温が高いほど純一次生産が高くなる傾向が示された(図 5-1-25)。

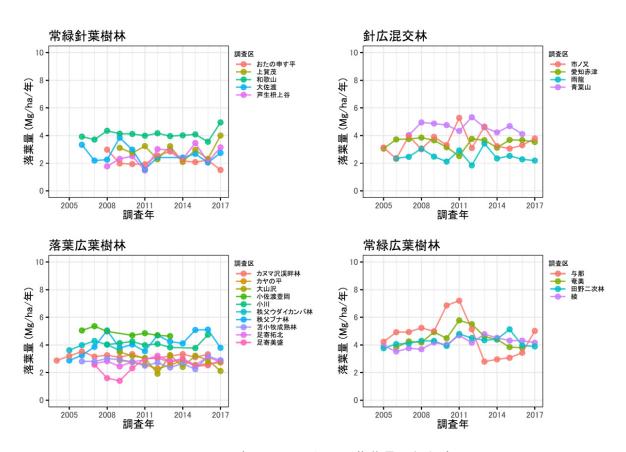


図 5-1-23 各サイトにおける落葉量の経年変化

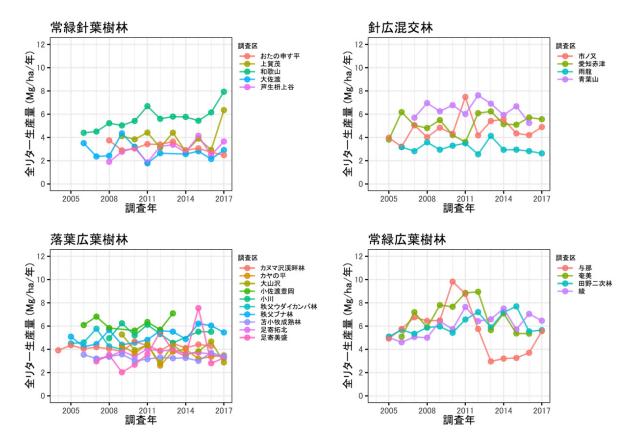


図 5-1-24 各サイトにおける全リター生産量の経年変化

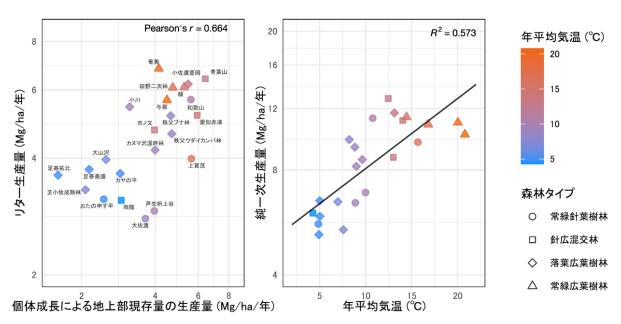


図 5-1-25 各調査区におけるリター生産量と個体成長による地上部現存量の生産量の関係 (左図)、及び、純一次生産量と年平均気温の関係(右図)

- ▶ リター生産量の年変動に対して、短期的には気象要因よりも攪乱の効果がより大きいことが示唆された。
- ▶ 気候変動によって台風攪乱の頻度と強度が増すと予測されていることから、気候変動によって炭素循環がどのように変化するのかを理解し予測するために、今後もリター生産量の変動を長期モニタリングする必要がある。

# 3) 堆積落葉量、土壌炭素濃度、セルロース分解速度の年変動と気象要因との関係

# く背景・目的>

- ▶ 気候変動は、林冠から供給されるリターの質や量、分解者によるリター分解過程に 影響を及ぼすことで、林床の有機物蓄積量を変化させ、森林生態系の炭素動態や林 床に生息する生物に影響を及ぼすことが考えられる。
- ▶ 第2期とりまとめでは、年々の気象条件の変動と堆積落葉量・土壌炭素濃度・セルロース分解速度の変動との対応関係を解析して、気温上昇や降水・降雪パターンの変化が林床の有機物蓄積に及ぼしうる影響について検討した。その結果、多雪地の森林では冬季の降水量・降雪量が多い年ほど翌夏の堆積落葉量が多い傾向を示した。
- ▶ 第1期とりまとめにおいては、温暖な森林ほど堆積落葉量や表層土壌の炭素濃度が小さく、森林の炭素蓄積の内、落葉層と土壌に蓄積される割合が低いことが示されている。気温の上昇によって、分解活性が高く、堆積落葉量や土壌炭素濃度の低い森林へと変化する可能性がある。
- ▶ 今回、新たに第3期のデータを加え、堆積落葉量・土壌炭素濃度・セルロース分解 速度にどのような変化が起こっているかを示し、気象や降水量の変動との対応関係 を検討した。

### <解析方法>

- ▶ 調査区ごとに堆積落葉量・土壌炭素濃度・セルロース分解速度の変化傾向(単調増加/減少傾向)を求め、地域的な傾向の有無と、年または季節別の平均気温・ 降水量の変化傾向との相関関係を調べた。
- ➤ 堆積落葉層の乾重・土壌の炭素濃度・セルロース紙の分解速度定数を応答変数、 年を説明変数、サブプロットをランダム変数(切片)とする一般化線形混合モデ ル (GLMM) に当てはめ、推定された年の係数をもって年変化傾向とした。

# <結果>

- ▶ 堆積落葉量・土壌炭素濃度・セルロース分解速度の変化傾向に、地域的傾向や気温・ 降水量の変化傾向との相関はみられなかった。
- ▶ 堆積落葉量の減少傾向は青葉山と与那で、土壌炭素濃度の減少傾向は与那のみで認められた。
- ➤ 与那では、2012 年秋の大規模な台風撹乱によって樹木の地上部現存量が大きく減少 し、撹乱後に林床植生被度の急増と、堆積落葉量・土壌炭素濃度の減少傾向が認め られた(図 5-1-26)。

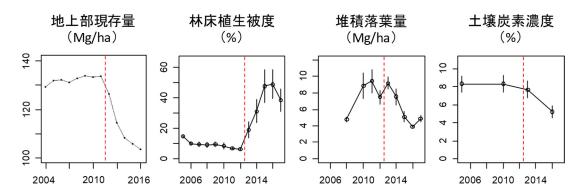


図 5-1-26 与那調査区における地上部現存量、林床植生被度、堆積落葉層の乾燥重量 及び土壌炭素濃度の経年変化

赤点線は大規模な台風撹乱の発生時期を表す。林床植生被度、堆積落葉量、土壌炭素濃度は5サブプロットの 平均±標準誤差を示す。

### く考察>

- ▶ 全体に、堆積落葉量・土壌炭素濃度・セルロース分解速度の変化は小さく、気温・ 降水量の変化傾向との対応は不明瞭であった。しかし、青葉山や与那など大きな変 化を示した調査区もあった。
- ▶ 青葉山は調査期間中に気温が上昇傾向を示しており、分解者の活性が高まって堆積 落葉量が減少した可能性がある。ただし土壌炭素濃度は増加しており、落葉層由来 の有機物の蓄積が進んでいる可能性が考えられる。
- ▶ 温暖な与那サイトでは、元々少なかった落葉層や表土中の炭素蓄積が、台風撹乱後にさらに減少していた。堆積落葉量の減少は、高木層の減少によるリター供給の減少や、地温の上昇による分解の促進、または斜面下方への流出によると考えられる。ただし土壌炭素濃度の減少は非常に急激であるため、リター供給の減少や分解の促進だけでなく、倒木などに伴う土壌の物理的撹乱も影響している可能性がある。今後のモニタリングによって、森林植生の回復に伴う土壌炭素蓄積の回復過程を明らかにすることができると考えられる。

# コラム5-3:ティーバッグを利用した分解活性の世界的調査

鈴木 智之 (秩父サイト:東京大学秩父演習林)

現在、普段みなさんが飲んでいるお茶のティーバッグ(teabag)を地面に埋める、とい う実験が世界中で行われています。これは、地面の中で植物の葉がどの程度分解されるか を調べるためです。植物の葉は、土壌の炭素の主要な供給源であり、それがどれくらいの 時間をかけてどの程度分解されるかが、土壌に蓄積される炭素の量に大きく影響します。 今後、気候変動によって環境が変化した場合に、この植物の葉の分解速度がどのように変 化するかを理解することが、大気中の二酸化炭素の変化を予測するためには重要になって きます。しかし、植物の葉の分解速度は、その質によって大きく異なるため、単純に各地 に生える植物の葉の分解活性を調べて比較しただけでは、その差が葉の質の違いによるも のなのか、場所ごとの環境の違いによるものなのかを明確に区別するのが難しくなります。 そこで、その環境の分解活性自体を評価するために、様々な場所で全く同じ質のもの(標 準物質)を地面に埋めて一定期間後に掘り出し、その分解の速さなどを比較する、という ことが行われます。モニタリングサイト 1000 の森林・草原調査で行われているセルロー ス紙の分解実験もその方法のひとつです。しかし、植物の葉はセルロースだけではなく、 リグニンやタンニンなど様々な化学物質を含み、それらがセルロースなどと化学的な結合 をしているため、純粋なセルロースだけの物質とは分解のされ方が異なるということも指 摘されています。かといって、同じ種類で同質な葉で、多地点に埋めるための試料を用意 するのは非常に労力がかかります。

そこで、オランダを中心とする研究チームが考案したのが、お茶のティーバッグを標準物質として使う方法です(Keuskamp et al. 2013, http://www.teatime4science.org/)。紅茶や日本茶はチャノキ(Camellia sinensis)という植物の葉を乾燥させたものなので、それを地面に埋めれば、実際の植物の葉の分解を調べることができます。また、葉の分解を調べる際には、微生物がアクセスでき、かつ葉が出ていかないようにメッシュ状の袋に入れる必要があるのですが、ティーバッグはすでにメッシュ状の袋に入っている状態で購入可能です。さらに、高精度に商品化されているために、同じ商品を使えば、ほぼ同量で同質の試料が得られることになります。これらの特性から、ティーバッグは葉の分解試験のための非常に優れた標準物質であると言えます。彼らは、マメ科の常緑樹のルイボス(Aspalathus linearis)の葉を使ったルイボスティーのバッグも同時に利用することを考

えました。ルイボスの葉はチャノキに比べて非常に分解が遅く、分解されやすさが大きく異なる2種類(チャノキ(緑茶)とルイボス、写真)の葉を同時に埋めることで、長期的な分解と短期的な分解の活性の指標(Tea Bag Index)を同時に推定することが可能になりました。彼らは世界中の研究者と協力して、世界各地の土壌での植物の葉の分解活性を比較しました。



写真 分解実験に用いられるティーバッグ

彼らの方法や、それを発展させた方法での実験が、その後、各地で行われてきました。現在も世界各地の様々な生態系で同時に3年間ティーバッグを埋める実験が進行中です(https://teacomposition.org/)。日本でも2012年頃から各地で実験が行われ(図)、モニタリングサイト1000の森林・草原調査の一部のサイトもこの世界的研究に参加しています。今後、これらの取り組みによって、世界中の生態系における葉の分解活性が比較可能になり、環境変化に対する分解活性の変化を詳細に予測することが可能になると期待されます。

# 引用文献

Keuskamp, J. A., Dingemans, B. J. J., Lehtinen, T., Sarneel, J. M. and Hefting, M. M. (2013) Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. Methods in Ecology and Evolution 4: 1070-1075.

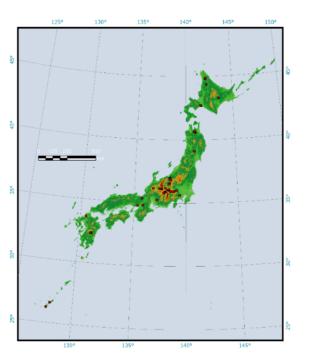


図 日本でこれまでにティーバッグの分解実験 を行った場所(赤点)

ただし実施場所全てが載っているわけではない 背景地図は ALOS World 3D-30m より作成 (JAXA, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm)

# (4) 生物の季節性・生育期間の変化

### 1) 落葉ピーク時期の年変動と気温との関係

### く背景・目的>

- ▶ 落葉時期の変化は、樹木の一次生産や落葉後の分解過程などに関わると考えられ、 森林の生態系機能に影響を与える可能性がある。
- ▶ 第2期とりまとめでは、落葉樹林においては9月の月平均気温、常緑樹林においては3月の月平均気温が落葉ピーク日と有意な相関がみられている。
- ▶ 気候変動による落葉時期の変化をより高精度に予測するために、第3期のデータを 追加し、第2期にみられた傾向の再度確認・検証した。

# <解析方法>

- ▶ 調査区内に設置したリタートラップにより毎月回収した落葉・落枝の量から、落葉量が最も多くなる日(ピーク日)を非線形回帰により推定した。
- ▶ 各調査区における秋および春の落葉ピーク日を応答変数として、9月または3月の 平均気温を固定効果、調査年をランダム効果の説明変数とした線形混合モデルによ り解析した。

### く結果>

- ▶ 第2期と同様に、全国的な傾向として、常緑針葉樹林、針広混交林、落葉広葉樹林の9月の月平均気温と落葉ピーク日の間に正の相関があった(図 5-1-27)。
- ▶ 常緑針葉樹林と常緑広葉樹林においては、3月の月平均気温と春の落葉ピーク日に 負の相関がみられた(図 5-1-28)。
- ▶ 調査区内での秋の落葉ピーク日と9月の平均気温の年変動についても同様の傾向がみられ、9月の平均気温が高いほどその年の秋の落葉ピーク日が遅くなった(図5-1-29)。一方、調査区内での春の落葉ピーク日と3月の平均気温の年変動の関係は明瞭ではなかった。

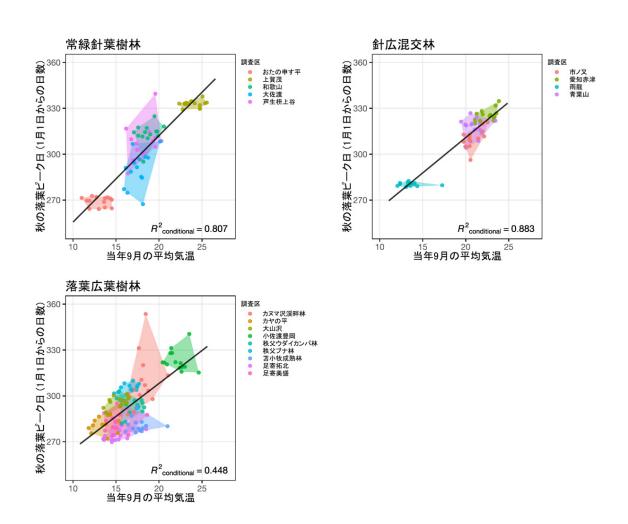


図 5-1-27 常緑針葉樹林 (上左)、針広混交林 (上右)、落葉広葉樹林 (下) における 秋の落葉ピーク日と9月の月平均気温の関係

各点は推定された落葉ピーク目を示し、実線は線形混合モデルで推定された回帰線を示す。

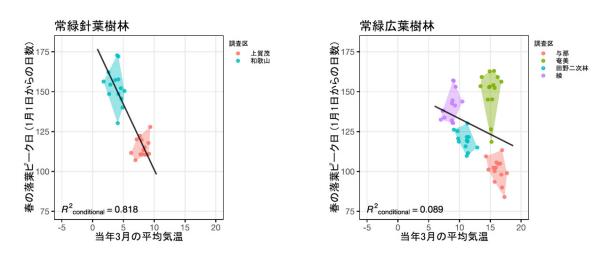


図 5-1-28 常緑針葉樹林 (左図)、常緑広葉樹林 (右図) における 春の落葉ピーク日と3月の平均気温との関係

各点は推定された落葉ピーク日を示し、実線は線形混合モデルで推定された回帰直線を示す。

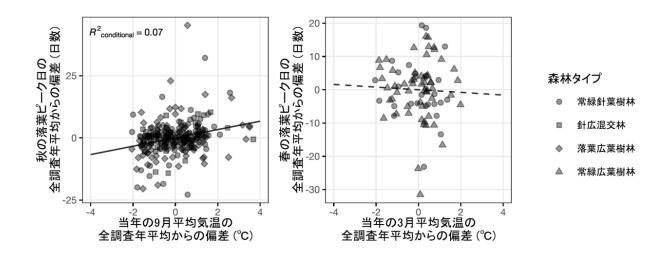


図 5-1-29 秋・春の落葉ピーク日と当年9月・3月の平均気温の年変動の関係

各点は推定された落葉ピーク日を示し、線形混合モデルで気温との有意な関係が検出された場合の回帰線を実線で、有意でなかった場合を破線で示す。

# く考察>

▶ 平均気温と落葉ピーク日に関係性がみられたことから、気温の上昇によって森林群集全体の落葉時期は、常緑針葉樹林、針広混交林、落葉樹林では秋季の落葉時期が遅くなり、常緑針葉樹林と常緑広葉樹林の春の落葉時期が早くなる可能性が高い。

# 2) 主要樹種の種子落下時期の年変動と気温の関係

# く背景・目的>

- ➤ 気候変動によって気温が上昇することで樹木の開花・結実及び種子落下の時期も変化する可能性がある。
- ▶ 樹木の種子生産の季節性が変化すると、種子や果実を食物資源とする生物に影響が 生じるだけでなく、その生物と食物網でつながっている様々な生物に影響が波及す る可能性がある。
- ➤ そこで、種子落下時期と年平均気温との関係を知るために、第2期とりまとめで、 日本各地の森林に分布する主要樹木であるカエデ属、コナラ属、カバノキ属について、種子落下時期の年変動と年平均気温の関係を検証した結果、カエデ属、コナラ属、カバノキ属のいずれもが年平均気温との関係性がみられている。
- ➤ 気候変動による種子落下時期の変化をより高精度に予測するために、第3期のデータを追加し、第2期にみられた傾向を再度確認・検証した。

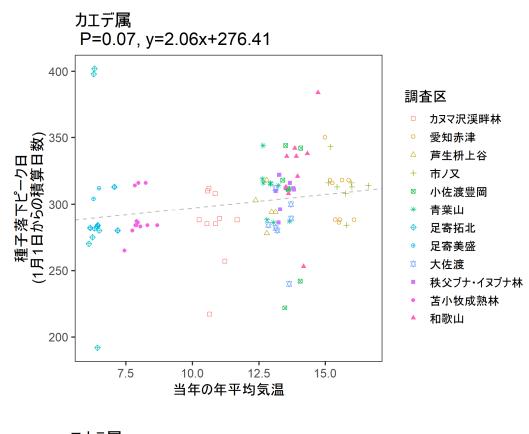
# <解析方法>

- ▶ リタートラップにて回収された健全種子を解析対象とした。
- ▶ カエデ属は北海道・東日本を中心に雨龍から市ノ又までの11調査区、コナラ属は 全国的な広さでカヌマ沢から田野までの10調査区、カバノキ属は北海道・東日本 を中心に苫小牧から和歌山までの9調査区のデータを用いて解析した。
- ▶ 日本各地の調査区における種子落下ピーク日と年平均気温との関係を線形混合モデルにより以下のモデルをもとに解析した。

種子落下ピーク日= 当年の年平均気温 + 調査区 ID (ランダム要因)

# <結果>

▶ 第2期と同様にカエデ属・コナラ属・カバノキ属のいずれも種子落下時期と年平均 気温とに有意な関係がみられた(図 5-1-30)。



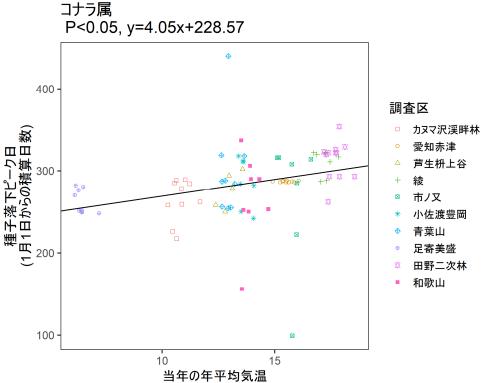
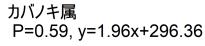


図 5-1-30 カエデ属、コナラ属、カバノキ属の種子落下ピーク日と年平均気温の関係

各点は推定された種子落下ピーク日を示し、線形混合モデルで推定された回帰線を実線(統計学的に有意)と点線(統計学的に有意)で示す。



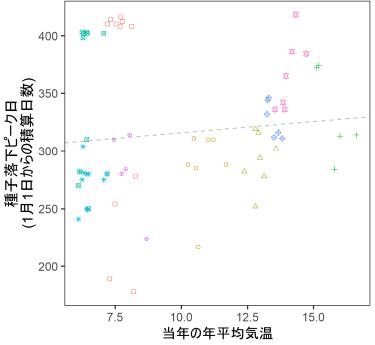


図 5-1-30 カエデ属、コナラ属、カバノキ属の種子落下ピーク日と年平均気温の関係(続き)

調査区

おたの申す平

カヌマ沢渓畔林 芦生枡上谷 市ノ又 足寄拓北 足寄美盛

秩父ブナ・イヌブナ林 苫小牧成熟林 和歌山

# く考察>

- ▶ 平均気温との明瞭な関係がみられたため、カエデ属、コナラ属、カバノキ属については温暖化による落下種子時期への影響を予測できる可能性が高い。
- ▶ 今回は広範囲にみられる種を対象に解析した。長期にモニタリングを続けることでサンプルサイズが増えるため、今後一部の調査区にしか出現しない種も解析対象とすることができる可能性がある。

### 3) 鳥類のさえずり頻度の季節変化、年変動

# く背景・目的>

➤ 気候変動により鳥類の繁殖時期が変化する可能性が国内外で示されている。しかし そうした研究はツバメやカッコウ、コムクドリなどの比較的身近で調査が容易な種 に偏っており、森林の鳥類への影響は明らかでない。そこで IC レコーダや巣箱と 温度ロガー等の機器を使ったモニタリングを実施した。

- ▶ 第2期までは、調査期間が短かったため、年変動は明らかにできなかったものの、 平均気温の違う調査地間で初認時期を比較したところ、暖かい調査地ほど初認が早 いという傾向が認められた。
- ▶ 今回は十分な期間のデータが得られたので、年による気温の変化とさえずり時期や 繁殖時期の関係をみることにより、気候変動が森林性の鳥に与える影響を検討した。

### <解析方法>

- ➤ 調査は2つの方法で実施した。1つは IC レコーダあるいはライブ音の聞き取りによるさえずり頻度の変化と気温との関係の解析で、もう1つは巣箱に設置した温度ロガーをもちいて明らかにした巣立ち時期と気温との関係である。
- ➤ IC レコーダは、足寄、雨龍、苫小牧、カヤの平に設置し、おたの申す平、秩父、山中湖に設置されているライブマイクの聞取りも行なった。IC レコーダはタイマー機能を用いて、日の出前後の3時間の音を毎日記録しており、日の出前後の10分間、日の出50-60分後の10分間の合計20分間を聞き取り、2分毎に各種鳥類のさえずりの有無を記録した。ライブ音の聞き取りは、日の出10分前から日の出1時間後までを1分毎に聞き取り、秩父、山中湖、おたの申す平の順で、3日に1回の聞取りを行なった。
- ▶ 解析は全調査地点で記録されたキビタキを対象とした。キビタキのさえずりは、雨天や寒い日には不活発になるので、そうした影響を小さくするため、前後2日間を合わせた5日の平均をとり、移動平均による平滑化を行った。
- ▶ 次に、調査開始からその移動平均値が最大になる日を解析対象としたプロビット回帰を行い、その50%の日をその年のさえずりの活発さの指標とした(図 5-1-31)。そして、その値と近くのアメダス観測地の4月の平均気温及び4月までの積算気温との相関を解析した。解析にあたってはサイト及び年をランダム効果に、平均気温もしくは積算気温を説明変数としたGLMMモデルをつくり、平均気温もしくは積算気温の効果をパッケージ1me4で解析した。

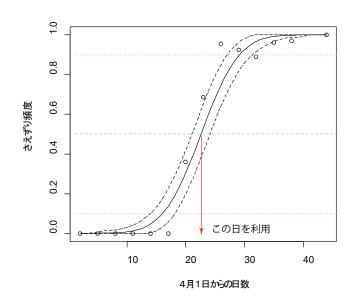


図 5-1-31 さえずりの活発な時期の抽出方法

▶ 巣箱による繁殖時期の調査は秩父で行った。ここでは巣箱をヤマガラが利用しており、巣箱の底に設置した温度ロガーの値と巣箱外の温度ロガーの値の差を取り、その変化をみることでヤマガラの巣立ち日を推定した(植田 2014)。そしてその値と4月までの積算気温との相関を解析した。

### <結果>

- ➤ キビタキのさえずり時期には、山中湖を除きキビタキの渡来時期にあたる4月の平均気温が暖かいとさえずりの活発な時期が早くなるという相関が認められた (P= 0.001、図 5-1-32)。また、北に位置する雨龍と足寄についてはその相関の傾きが小さかった。4月までの積算気温との関係は明確でなかった (P= 0.15)。
- **>** 秩父におけるヤマガラの巣立ち時期と気候の関係は、産卵時期にあたる 4 月の平均 気温 ( $\tau$  =-0.45、 P=0.0005)、4 月末までの積算気温 ( $\tau$  =-0.56、 P=1.272e-05) 共に相関が認められ、4 月末までの積算気温との相関がより高かった(図 5-1-33)。

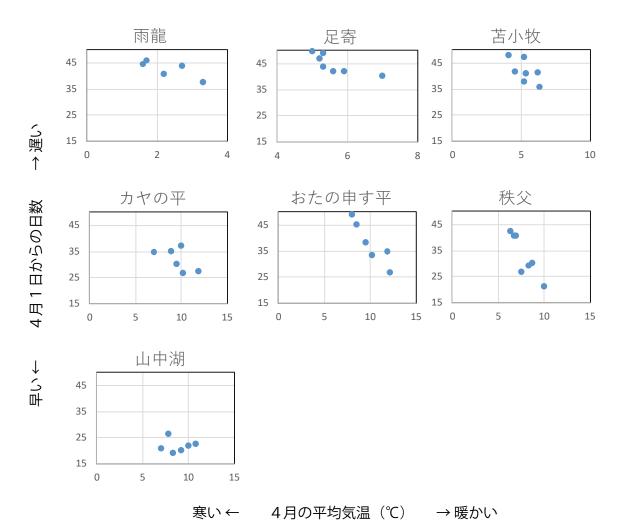


図 5-1-32 キビタキのさえずりの活発な時期と4月の平均気温との関係

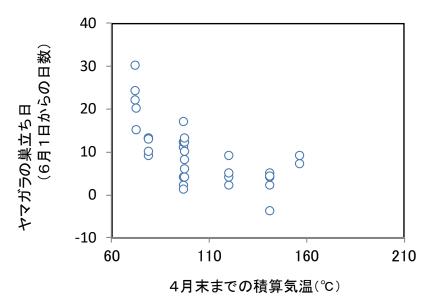


図 5-1-33 ヤマガラの巣立ち時期と4月の平均気温や積算気温との関係

## く考察>

- ➤ 今回得られた結果から、森林性の鳥の繁殖時期も気候変動に応じて、変化すると考えらえた。気候変動に対する反応は留鳥と夏鳥では違っていて、夏鳥では気候変動に応じて変化したとしても食物となる昆虫の発生時期と繁殖時期が異なってしまう可能性が示唆されている (Both et al. 2006)。
- ▶ 昆虫の発生時期と関係が深いと考えられる積算気温との関係をみると留鳥であるヤマガラは相関が高かったが、夏鳥のキビタキは明確な関係が認められなかった。この結果も、留鳥より夏鳥の方が気候変動により、繁殖開始時期が最適な繁殖時期からずれてしまう可能性を示唆している。
- ▶ 今後はより多くの種を対象に解析することでこの可能性を検討していく必要がある。

# (5)種子生産量の変化

# 1) 主要樹種の種子生産量の年変動と同調性

### く背景・目的>

- ▶ 様々な樹種において、年によって結実量・種子生産量が大きく変動する豊凶現象(マスティング)が知られている
- ▶ 豊凶現象が起きる要因の一つとして、気象環境の年変動が関連すると考えられている。
- ▶ 地球温暖化により気象環境が変化した場合には種子生産の豊凶現象に変化が生じる可能性がある。
- ▶ 第2期とりまとめにおいては、種子生産量の年変動の地域間同調性を定性的に把握した。その結果、アカシデやイヌシデのシデ類、サカキ、ヒサカキ、イタヤカエデにおいて、その種子生産量の豊凶に調査区間での同調性が示唆された。
- ▶ 第3期のデータを追加することで、第2期の定性的な解析から更に精度を上げて、 種毎に定量的な解析を実施した。

# <解析方法>

- ▶ ブナ科、カバノキ科、ムクロジ科、アオイ科、カツラ科、モッコク科、ウコギ科、ミズキ科、ヒノキ科に含まれる樹種のうち、複数の調査区で出現し、なおかつ一定量以上の種子・果実が得られた種を主な対象として解析した。
- > 調査区間の同調性を確かめるために、各年の種子・果実生産量を各調査区内で標準 化(各年の種子・果実生産量/全調査期間の標準偏差)し、相関係数を求めた。
- ➤ 得られた相関係数にもとづき樹形図によって調査区の類似(同調)関係を示し、また、Loreau & de Mazancourt (2008)の同調性指数を計算した。
- ▶ 同調性指数の計算にはできるだけ長期のデータを解析するため、5調査区以上で出現する樹種について、同じ年の種子・果実生産量のデータが8年以上揃ったデータセットを用いた。
- ▶ 種内の種子・果実生産量の同調性の地理的傾向を調べるため、調査区間の種子・果実生産量の相関係数と地理的距離の行列を用いてマンテル検定を行った。
- ▶ 樹種間の種子・果実生産量の同調性を調べるため、同じ調査区で樹種の年変動についても相関係数を求め、同様の解析を行った。

### <結果>

▶ 複数の調査区で出現した樹種について、種子・果実生産量の年変動の例を図 5-1-34 に示す。

- ▶ 解析対象とした樹種の多くで、調査区間で種子・果実生産の年変動に明確な同調性がみられ、また、全体的に地理的に近い調査区ほど同調する傾向がみられた(図 5-1-35)。
- ▶ シイ属や、アカシデ、イタヤカエデ、カツラ、ミズキなど数 100~1,000 km の非常 に広い範囲に渡って同調がみられた種もあった。
- ▶ 調査区内の樹種間でも種子・果実生産の年変動に明確な同調性がみられ、ほとんどの調査区で科や属など分類群を超えて、群集レベルで豊凶が同調することが明らかになった(図 5-1-36)。

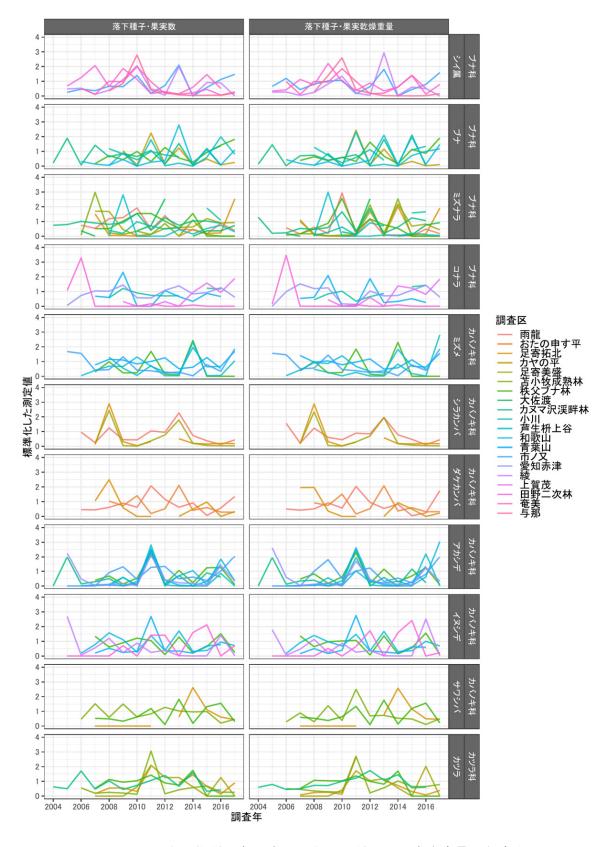


図 5-1-34 主要樹種の各調査区における種子・果実生産量の年変動

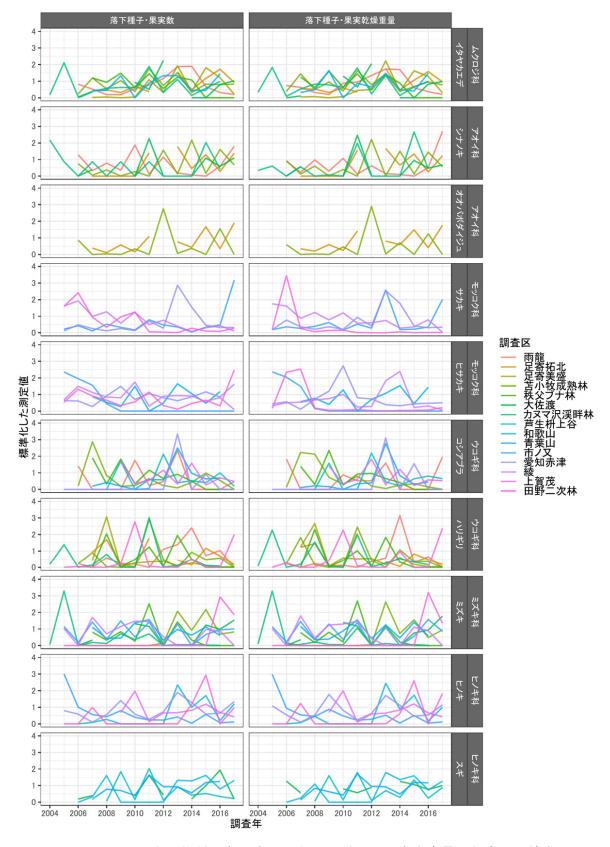


図 5-1-34 主要樹種の各調査区における種子・果実生産量の年変動 (続き)

#### シイ属 1.0 Mantel's r = 0.087奄美 同調性指数 = 0.545 P = 0.002 P = 0.8190.5 相関係数 与那 田野二次林 0.0 綾 -0.5 市ノ又 -1.0 **用射**二形林 1500 0 500 1000 2000 地理的距離 (km) ブナ 1.0 Mantel's r = 0.444芦生枡上谷 同調性指数=0.32 P = 0.182P = 0.1360.5 秩父プナ林 相関係数 カヤの平 0.0 カヌマ沢渓畔林 -0.5 和歌山 -1.0 Ö 500 1000 1500 2000 地理的距離 (km) ミズナラ 1.0 Mantel's r = -0.223雨龍 同調性指数=0.16 P=0.512 P = 0.289カヌマ沢渓畔林 0.5 相関係数 秩父ブナ林 芦生枡上谷 0.0 足寄美盛 苫小牧成熟林 -0.5 TYPE AND THE PARTY AND THE PAR 足寄拓北 W-J/YM -1.0 Ö 500 1000 1500 2000 地理的距離 (km) ミズメ 1.0 Mantel's r = -0.324芦生枡上谷 同調性指数=0.446 P = 0.2910.5 相関係数 秩父プナ林 和歌山 0.0 青葉山 -0.5 市ノ又 -1.0 500 1000 1500 2000 地理的距離(km) 相関係数 -1.0 0.0 0.5

図 5-1-35 各樹種における調査区間での種子・果実生産の年変動の同調性 および地理的距離の関係

左図:調査区間の総当たりの相関係数を色の濃淡で示し、相関係数に基づく調査区間の類似(同調)関係を樹 形図で示す。右図:相関係数と地理的距離の関係。

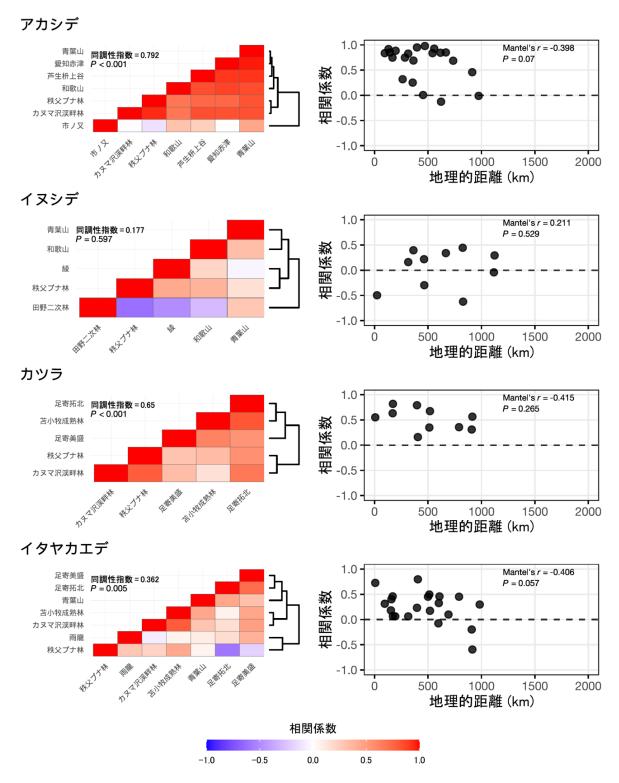


図 5-1-35 各樹種における調査区間での種子・果実生産の年変動の同調性 および地理的距離の関係 (続き)

#### ヒサカキ 1.0 Mantel's r = 0.163 青葉山 同調性指数=0.137 P = 0.6430.5 相関係数 绘 市ノ又 0.0 田野二次林 -0.5 愛知赤津 -1.0 500 1000 1500 2000 0 地理的距離 (km) ハリギリ 1.0 Mantel's r = -0.473足寄美盛 同調性指数 = 0.222 P = 0.13 P = 0.091秩父ブナ林 相関係数 0.5 雨龍 田野二次林 0.0 苫小牧成熟林 カヌマ沢渓畔林 -0.5 足寄拓北 接归株旗鄉林 W.J. J.Y. 中海州 -1.0 0 500 1000 1500 2000 地理的距離 (km) ミズキ 1.0 苫小牧成熟林 同調性指数 = 0.223 Mantel's r = -0.257田野二次林 P = 0.166 0.5 相関係数 青葉山 綾 0.0 市ノ又 秩父ブナ林 -0.5 カヌマ沢渓畔林 接川株樹桃林 **用料**一次林 -1.0 Ö 500 1000 1500 2000 地理的距離 (km) ヒノキ 1.0 Mantel's r = 0.119愛知赤津 同調性指数 = 0.397 P = 0.067 P = 0.7860.5 相関係数 和歌山 田野二次林 0.0 市ノ又 -0.5 上賀茂 -1.0 **-**0 500 1000 1500 2000 地理的距離 (km) 相関係数 -1.0 -0.5 0.0 1.0

図 5-1-35 各樹種における調査区間での種子・果実生産の年変動の同調性 および地理的距離の関係(続き)

# 綾

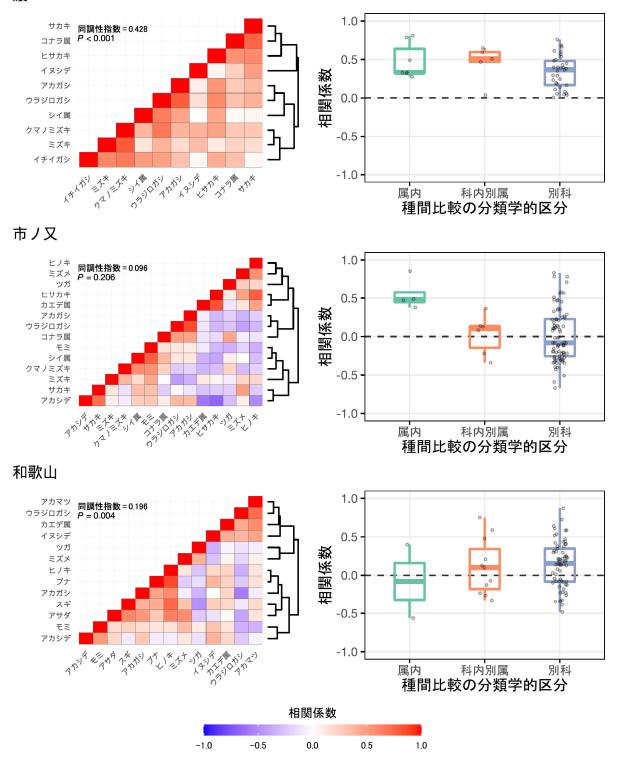


図 5-1-36 各調査区における樹種間の種子・果実生産の年変動の同調性

左図: 樹種間の総当たりの相関係数を色の濃淡で示し、相関係数に基づく調査区間の類似(同調)関係を 樹形図で示す。右図: 種間の分類学的区分毎に相関係数の分布を箱ひげ図で示す。

# 秩父ブナ林

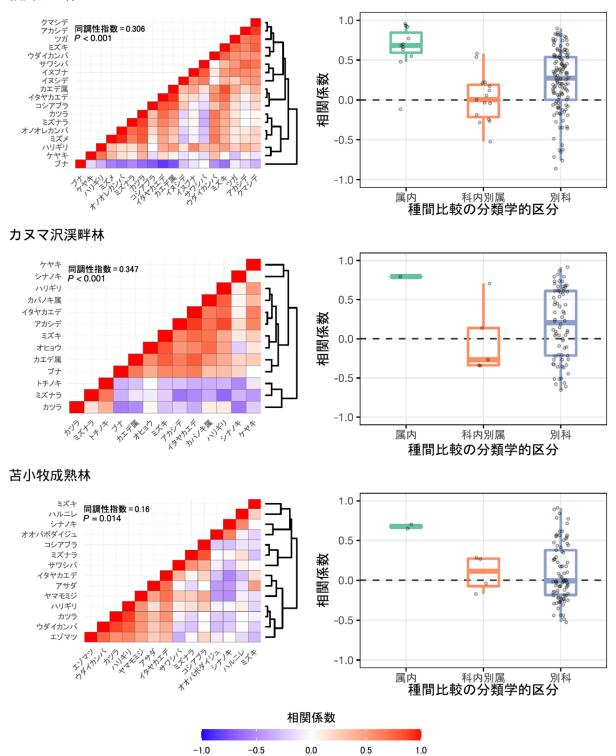


図 5-1-36 各調査区における樹種間の種子・果実生産の年変動の同調性 (続き)

# く考察>

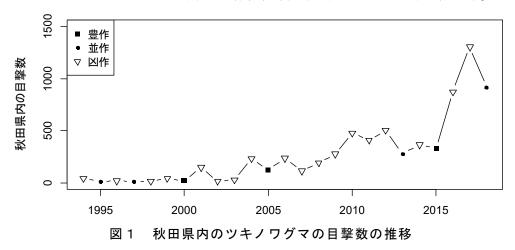
- ▶ 種内―地域間の比較から、多くの樹種で広域に渡って同調性が検出できたことから、 解析対象とした種において広域での豊凶の予測がある程度可能であることが示唆 された。
- ▶ 豊凶現象は数年を一周期とする現象であり、今回の解析対象としたデータではそれ ぞれの種で数回豊作を検出できたに過ぎない。そのため、今回得られた傾向が普遍 的な現象なのか、もしくは最近 15 年間に固有の現象であるのかを検証するために は、より長期間のモニタリングが必要である。
- ▶ 長期のモニタリングによって、回検出された種内―地域間、地域内―種間の同調性が、長期的な気候変動の影響によってどのように変化するかどうかを明らかにすることが可能となる。

# コラム5-4:ツキノワグマの出没件数はブナ科樹木の豊凶でどの程度説明で きるか

星崎和彦 (秋田県立大学生物資源科学部)

21世紀に入り、野生動物とりわけシカ、イノシシ、クマの話題が世間でよく取り上げられています。この中でツキノワグマやヒグマの大量出没・大量捕獲の問題は、1990年代に話題に上ることはほとんどありませんでしたが、2000年代の初頭に、東北地方におけるクマの出没に伴う有害捕獲数とブナ堅果の結実豊凶との関連性、具体的には堅果が凶作のときに出没が増えることが明らかにされ、その後、北陸地方など他の地方でもクマの出没数とブナ科堅果(ブナおよびドングリ類)の豊凶が連動することがわかりました。山奥のブナ林での樹木の営みが、じつは私達の日々の暮らしにも影響していたのです。

近年東北地方では、クマの出没数の経年的な増加傾向が顕著です。とくに秋田県では、 結実量だけで説明できないほどの出没や有害捕獲が記録されています(図1)。



2000 年以降でも、ブナの結実作況が並作以上の年の目撃数は、前年を下回ることが多い. 星崎ほか(2016, 秋田県立大学ウェブジャーナル B)に最新データを加筆して描き直した.

また、秋田県に沿岸部にはブナ林のほとんどない出羽丘陵があり、以前はこの地域にクマは生息していませんでしたが、最近は目撃が珍しくありません(図2)。ブナ林のない地域でのクマの出没数はブナ堅果の豊凶では説明できませんし、ドングリ類などその他のブナ科堅果の結実量が年々増えているわけでもありません。

これらの状況から、野生動物の研究者たちは近年、クマの出没には日本が直面している人口減少や過疎化も関連しているのではないか、つまり狩猟圧の低下や人間の活動域の減少でクマの行動域が広がった結果、クマ出没のベースライン自体が上がってきていると考えるようになりつつあります。それでも、ブナの豊凶と出没数の相関関係は今でも成立することから、現状としては経年的な増加トレンドがある中で、各年の堅果類の豊凶が出没を増減させていると見ることができそうです(図1)。

堅果類の豊凶と社会的要因の両方がクマの出没に影響し、さらに各地でナラ枯れによるドングリ類の減少も懸念される中、今後はブナ以外の樹種、たとえば同じブナ科のコナラ、ミズナラなどドングリ類の結実状況のモニタリングも大きな意義をもっていると言えます。今後、モニタリング 1000 の種子トラップ観測データから価値ある知見が生まれるかもしれません。

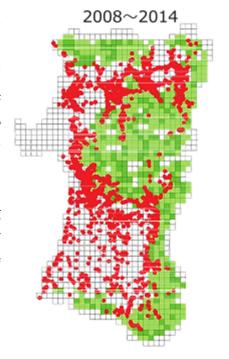


図 2. 2008~2014 年における秋田 県内のツキノワグマ目撃地点

緑色系のセルは当該期間において秋田 県ツキノワグマ保護管理計画で用いられ たツキノワグマ推定生息域を示す. 星崎ほ か(2016, 秋田県立大学ウェブジャーナル B)を改変.

# 5. 2. 自然に対する人間の働きかけの縮小・撤退による生物間相互 作用の変化

### (1) 病虫害の発生状況の変化

1) コア・準コアサイト及び周辺の森林における大規模な病虫害の発生状況

# く背景・目的>

- ▶ 人間による森林利用の変化は、二次林の種構成や齢構成、植生構造を変化させ、病虫害の種類や発生頻度、規模を変化させている(4.2.(2)2)。さらに気候変動も樹木の生理状態、病害虫の活性や分布、台風撹乱の頻度や規模等に影響し、結果として病虫害の発生パターンを変化させる可能性がある。
- ▶ マツ枯れ、ナラ枯れや食葉性昆虫の大発生などの大規模な病虫害は、樹木の集団枯損を引き起こすなどし、生態系に大きな影響を及ぼすと考えられる。
- ▶ 生態系や生物群集は常に変動しているため、大規模病虫害の影響を正確に捉えるためには発生前からの長期データが必要であるが、そのようなデータが利用できる例はまれである。本調査のような長期モニタリングは、大規模な病虫害による生態系への影響の解析に適している。
- ▶ 本調査のモニタリングデータから大規模病虫害の生態系への影響を解析するにあたっては、まず各コア・準コアサイトにおける病虫害の発生状況を把握することが必要であるため、補完的に第2期と同様のアンケート調査を行った。

### <解析方法>

➤ 2016年11月に、各コア・準コアサイト代表者に対し、調査区周辺(半径数 km 以内) での病虫害による樹木の一斉枯死や大規模な食害の発生状況について、アンケート 調査を行った。

# <結果>

- 48 サイト中 40 サイトから回答が得られた。
- ▶ 第3期に新たに報告された病虫害は、苫小牧でのカシワマイマイの大発生(2014~2015)、青葉山でのマツ枯れ及びナラ枯れ、田野でのナラ枯れ(2015~)であった。
- ➤ これまでの情報を総合すると、全体の約4割に当たる20サイトで何らかの大規模病 虫害が認識されており、その大半をマツ枯れとナラ枯れが占めていた(計16サイト) (表5-2-1)。また、「生態系に顕著な影響が生じている」と回答があったのはマツ枯 れ・ナラ枯れの発生サイトのみであった(計11サイト)。
- ▶ 北海道から本州東部にかけての冷温帯のサイトを中心に食葉性昆虫の大発生(計5 サイト)が、本州東部から南西諸島にかけての暖温帯のサイトを中心にマツ枯れ・ナ

ラ枯れの発生(各10サイト)が報告されている。

▶ 調査期間中に毎木調査区内で大規模病虫害が発生したのは、愛知赤津(ナラ枯れ・マツ枯れ)、芦生(ナラ枯れ)、屋久島照葉樹林(ナラ枯れ)、苫小牧(カシワマイマイ・カラマツハラアカハバチ)、金目川(ウエツキブナハムシ)、高原山(ブナハバチ)の6サイトであった。この内、「生態系に顕著な影響が生じている」と回答があったのは、芦生、愛知赤津の2サイトであった。

表 5-2-1 コアサイト・準コアサイト及びその周辺の森林における大規模な病虫害の発生状況 (サイトへのアンケート調査等に基づく)

発生開始年	マツ枯れ	ナラ枯れ	食葉性昆虫の大発生
1970~1989	<u>愛知赤津</u> ** 上賀茂* <u>宮島</u> 糟屋		
1990~2002	<u>小佐渡</u> * <u>筑波山</u>	<u>小佐渡</u> *	
2003~2007 (第1期)		<u>芦生</u> ** 上賀茂 春日山	
2008~2012 (第2期)	奄美	カヌマ沢 金 <u>目川</u> 愛知赤津** 屋久島照葉樹林**	足寄(マイマイガ・カラマツハラアカハバチ) 苫小牧(カラマツハラアカハバチ)** 金目川(ウエツキブナハムシ)** 高原山(ブナハバチ)** 与那(タイワンハムシ)
2013~2016 (第3期)		<u>田野</u>	苫小牧(カシワマイマイ)**
不明	青葉山 佐田山 椎葉	青葉山	

下線: 生態系に顕著な影響が生じていると回答があったサイト。

### く考察>

- ▶ 第3期は、第2期と比べて新たな大規模病虫害の報告はわずかであった。
- ➤ マツ枯れ・ナラ枯れは既に被害のピークを過ぎ、現在は小規模な発生にとどまっているサイトが多い一方、被害が拡大中のサイトもある。春日山サイトでは、常緑ブナ科の林冠木にナラ枯れ被害が広がり枯死木も増加中である。田野サイトでは、2015、2016年にシイ・カシ類の枯損被害が発生した(末吉ら2018)。
- ▶ ナラ枯れ被害は、1980年代末以降全国的に分散・拡大している。コアサイト・準コアサイトには被害を受けやすいコナラ・ミズナラが重要な構成種となっているサイトが多く存在しているため、大規模な被害に至っていないサイトや未発生のサイトでも、今後ナラ枯れの被害が発生する可能性がある。
- ▶ 第2期に調査区内で大規模な病虫害が発生し、森林動態や他の動物群への影響が確認された調査区(愛知赤津、苫小牧カラマツ人工林)については、長期的な影響を解

<sup>\*</sup>調査区内で発生。

<sup>\*\*</sup> 調査期間中に調査区内で発生。

析する必要がある。

- ▶ 気候変動は、高温・乾燥ストレスの変化や台風撹乱の規模・頻度の変化などを介して 樹木個体の生理状態や個体群構造、群集構造を変化させ、さらに病原生物や媒介生物 の分布や活性にも影響を及ぼし、結果として大規模病虫害の地域性・頻度・規模など の発生パターンを変化させる可能性がある。他方、病虫害の発生も、特定種の減少、 高齢個体の減少、林冠ギャップや立ち枯れの増加などを介して、樹木の個体群構造や 群集構造、森林構造を変化させ、結果として森林の気候変動や台風撹乱の影響の受け やすさを変化させるかもしれない。
- ▶ 大規模病虫害の発生パターンの変化やその影響を把握するため、今後もモニタリングを継続し病虫害の発生状況を把握していく必要がある。
- 2) 病虫害の発生による樹木群集、林床植生、堆積落葉層、地表徘徊性甲虫群集への影響
- ① ナラ枯れ発生サイトの樹木の種構成変化、炭素蓄積量の変化

### く背景・目的>

- ▶ 多くの調査区において、調査期間中や調査開始以前にマツ類やナラ類に病害虫による穿孔や枯死が発生している。
- ▶ その中でも、小佐渡、愛知赤津、上賀茂の3サイトのマツ枯れやナラ枯れの被害程度は大規模なものであった。
- ➤ 第2期においては、2010年・2011年に大規模なナラ枯れが生じた愛知赤津を対象に、 地上部バイオマスの経年変化とコナラの優占度を解析している。そして、2004年から 2010年まで増加傾向にあった地上部バイオマスが、2011年から減少に転じ 2012年も減少したままであること、ナラ枯れによるコナラの優占度の減少を明らかにした。
- ▶ 今回、愛知赤津におけるナラ枯れから森林の回復過程を明らかにするため、2013 年 以降のデータを加えて、第2期とりまとめと同様の解析を行った。

### <解析方法>

▶ 愛知赤津における地上部バイオマスとコナラの優占度(全幹本数に占める割合)の経 年変化を解析した。

### <結果>

▶ 2010年度に発生したカシノナガキクイムシによってナラ枯れが生じ、2011年度から 2014年度まで地上部現存量は減少していたが、2015年度に増加に転じて2016年度 まで増加傾向にあり、2017年度は2016年度と同様の値であった(図5-2-1)。 ▶ コナラの優占度はナラ枯れ発生以前から減少傾向であったが、ナラ枯れ後、著しく減少した(図 5-2-2)。

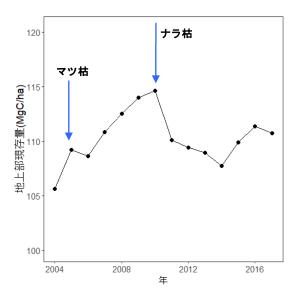


図 5-2-1 愛知赤津における地上部現存量の調査開始時からの変化

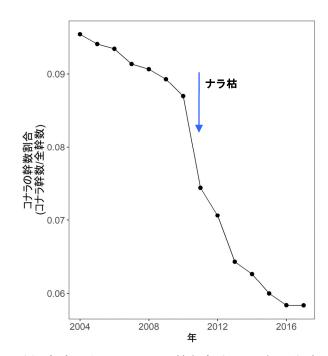


図 5-2-2 愛知赤津におけるコナラ幹数割合の調査開始時からの変化

### く考察>

▶ 愛知赤津では、カシノナガキクイムシの被害にあったコナラの枯死によって地上部 現存量が減少に転じ、森林の炭素蓄積の機能に変化が生じたが、2014年以後、回復 傾向がみられた。同時にコナラの優占度の減少も収束した。そして、2017年時点で は、地上部現存量は回復傾向ではあるが、ナラ枯れが生じる前の状態には回復してい ないことが明らかになった。

- ▶ 全国に幅広くナラ類は分布しており、ナラ枯れの被害によってどのような影響が生じるか、また、ナラ枯れ被害からどれぐらいの時間スケールで森林が回復するかなどを明らかにするためには、モニタリングの継続が必要である。
- ② マツ枯れ・ナラ枯れ発生サイトの林床植生被度、堆積落葉層、地表徘徊性甲虫群集の年 変動

# く背景・目的>

- ▶ マツ枯れやナラ枯れによる樹木の集団枯損は、林床の光環境の好転やリター供給の変化によって、林床の物理環境や分解系に流入する資源の量や質を変化させる結果、 林床や土壌に生息する生物に間接的な影響を及ぼすと考えられる。
- ▶ 第2期とりまとめ報告書では、2011年に大規模なナラ枯れが生じた愛知赤津サイトにおいて、その1年後にあたる2012年までのデータから、林床環境や地表徘徊性甲虫類(以下、甲虫類という)への影響を検討したが、はっきりした影響は認められなかった。しかし、想定される影響は間接的なものであるため、時間を置いて長期的な影響が現れる可能性がある。
- ▶ 第3期とりまとめでは、その後5年間のデータを加え、ナラ枯れの発生前後で林床環境・甲虫類の動態に変化が生じているかを検討した。

### <解析方法>

▶ 愛知赤津サイトの各サブプロットにおけるリター生産量・林床植生被度・堆積落葉量・土壌炭素濃度・甲虫類全体及び主要な分類群の年捕獲数の各経年変化を、ナラ枯れの発生前後で比較した。また、それらとサブプロット周囲での枯死木発生状況との関係を検討した。

## <結果>

- ▶ いずれの値の変動も、サブプロット周囲での枯死木の発生パターンとは対応していなかった。
- ▶ 調査区全体での落枝量は、2006~2011年の平均は1.14 Mg/ha・年であったが、2012 ~2017年の平均は1.41 Mg/ha・年で、約24%増加した。
- ▶ 林床植生被度・堆積落葉量・土壌炭素濃度の変動に、ナラ枯れ前後での目立った変化 は認められなかった。土壌炭素濃度はナラ枯れ前から一貫して増加傾向にあった。
- ▶ 甲虫類全体及び主要な分類群(オサムシ属、Pterostichus 属、Synuchus 属)の年捕獲数は、いずれもナラ枯れ後 4 年間顕著な増加を続け、5 年後にナラ枯れ前の水準に戻った(図 5-2-3)。甲虫類全体の年捕獲数は、2015 年にはナラ枯れ前(2008~2010年)の約 9 倍に達した。分類群間での変化パターンの違いは明確でなく、概ね組成を保ったまま全体的に増加・減少していた。

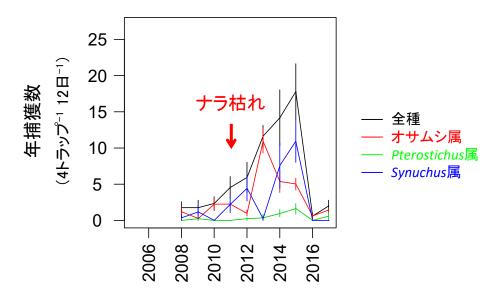


図 5-2-3 愛知赤津調査区における地表徘徊性甲虫類の捕獲数 (5 サブプロットの平均土標準誤差)の経年変化

### く考察>

- ▶ 土壌炭素濃度の増加はナラ枯れ前から一貫していることから、ナラ枯れの影響ではなく、森林の成長に伴って土壌の炭素蓄積が増大しているものと思われた
- ▶ 甲虫類の変動パターンは、何らかの気象要因によってもたらされた可能性も考えられるが、同じ時期に近隣の調査区(上賀茂、和歌山、芦生枡上谷)では甲虫類の捕獲数に同様の変動パターンがみられなかったことから、気象要因が主な原因である可能性は低いと考えられた。
- ▶ サブプロット周囲の枯死木数によらず、林床植生被度にナラ枯れ前後での変化がみられなかったことから、枯死の規模は林床の光環境を大きく変えるほどではなかったと考えられる。
- ➤ それにもかかわらず、甲虫類には長期的に非常に大きな正の効果が及んでいた。ナラ枯れの発生後数年に渡って枝や幹などのリターの供給が増え、それが甲虫類やその餌である土壌動物類の生息場所、越冬場所、餌資源の供給や生息環境の改善をもたらし、時間遅れの長期的な正の影響をもたらしたと考えられる。さらに地下部では多量の根リターも供給されたと考えられる。ただし枯死幹は分解が遅く5年よりも長期にわたって存続すると思われるため、甲虫類の増加には落枝や枯死根の効果の方が大きかった可能性がある。
- ▶ 他の病虫害や気象害などによってある程度まとまった数の立ち枯れが発生した場合にも、同様の波及効果がみられる可能性がある。
- ▶ 樹木の回復傾向はまだ途上である可能性があり、甲虫類の変動がこれで安定するのかはまだ明確ではない。今後も長期的にモニタリングを続ける必要がある。

③ カラマツハラアカハバチが大発生した苫小牧カラマツ人工林調査区の堆積落葉層、地表徘徊性甲虫群集の年変動

### く背景・目的>

- ▶ 食葉性昆虫の大発生は、葉への食害によって林床に供給される落葉の量や質を変化させる一方、大量の糞を林床に供給することによって、林床や土壌に生息する生物に間接的な影響を及ぼすと考えられる。
- ▶ 第2期とりまとめ報告書では、2009年・2010年にカラマツハラアカハバチ(以下、ハバチという)の大発生が生じた苫小牧カラマツ人工林調査区において、発生から3年間の堆積落葉量及び地表徘徊性甲虫類(以下、甲虫類という)の変動の様子を解析した。
- ➤ 大発生から1年遅れで2010年・2011年に堆積落葉量の減少、甲虫類の顕著な増加が 生じた一方、2012年にはいずれも大発生前の水準に戻ったと考えられた。ハバチの 食害によって落葉量が減少したことや、蛹化のために地表に降りたハバチ幼虫が甲 虫類の餌となったことなどが原因と考えられた。
- ▶ ただし、比較的短い期間の変動しかみていないため、甲虫類の変動が確かにハバチの 影響といえるのか、ハバチの影響であった場合その影響は短期間で収束したといえ るのかは、明確でない。
- ▶ 第3期のデータを加えたより長期間の変動を確認し、さらに同サイト内のカラマツ 林以外の調査区での変動パターンとも比較することで、ハバチ大発生の影響につい てより詳しく検討した。

### <解析方法>

▶ 苫小牧カラマツ人工林及び苫小牧サイトの他の調査区における甲虫類の捕獲数の経 年変化を比較した。

### <結果>

- ▶ カラマツ人工林では、大発生の翌年(2010~2011年)に年捕獲数のピークをもつ種が多かったが、とくにヒラタシデムシ(死体食)・ヒメクロオサムシ(昆虫幼虫食)の増加が顕著であった(図 5-2-4)。また 2010~2011年に急激な変化が起きてその後も継続するという種はみられなかった。
- ▶ 他の調査区では、ヒラタシデムシ・ヒメクロオサムシの同様の変動はみられなかった。
- ▶ 一方、ヒメクロオサムシを含む昆虫幼虫食の甲虫種(アオカタビロオサムシ、キタクロナガオサムシなど)は、サイト全体でカシワマイマイが大発生した 2014-2015 年に、カラマツ人工林を含む多くの調査区で顕著なピークを示した(図 5-2-4)。

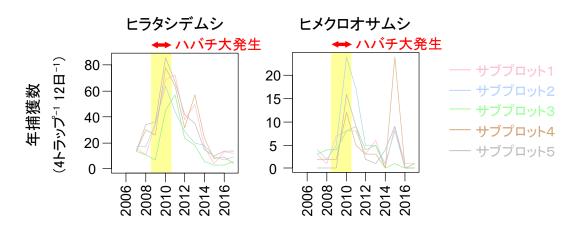


図 5-2-4 苫小牧カラマツ人工林サイトにおけるヒラタシデムシとヒメクロオサムシの 捕獲数の経年変化

### く考察>

- ▶ 複数の調査区での長期動態を比較することで、2010~2011 年の死体食・昆虫幼虫食 甲虫の顕著なピークが、カラマツ人工林に特有の現象であったこと、またそのピーク が大発生終息の翌々年にはほぼ終息していたことが確認された。
- ▶ さらに、他の食葉性昆虫の大発生時にも、同様に顕著で短期的な昆虫幼虫食種のピークがみられることが確認された。
- ▶ 食葉性昆虫の幼虫そのもの、死骸、落下した糞由来の養分によって増加した土壌動物などが甲虫類の餌となり、一時的な個体数の増加をもたらすと考えられる。特に直接生きた幼虫、または死骸を食べる昆虫幼虫食や死体食の種では大発生に対応した明瞭なピークが生じると考えられる。
- ➤ これらの結果から、カラマツ人工林におけるハバチ大発生後の甲虫類の顕著な増加は、ハバチ由来の一時的な餌資源の増加によるものであり、大発生終息の翌々年にはほぼ元の状態に戻るものと考えられる。

# (2) シカの分布拡大・密度増加

- 1) シカの分布拡大・密度増加による樹木群集、林床植生、堆積落葉量、地表徘徊性甲虫及び鳥類群集への影響
- ① 樹皮剥ぎと樹木死亡率の関係とその樹種間差

### く背景・目的>

- ▶ 近年、人間の自然への関わりの変化や、気候変動などの影響と考えられる全国的なシカの分布拡大・密度増加が起きており、全国各地でシカの増加に伴う森林生態系への影響が報告されている(4.2.(2)2、4)。
- ➤ モニタリングサイト 1000 においても、多くの調査区でシカの樹皮剥ぎなどの影響が確認されている。
- ▶ 第2期において、シカが多い調査区では樹木の新規加入率がやや低い傾向にあり、シカの嗜好性が高い種では幹数が減少している。
- ▶ 今回、第3期のデータを追加して第2期と同様の解析をすることで、第2期に確認された傾向が現在も続いているのかを検証した。

### <解析方法>

- ▶ シカの生息状況とその影響の概況について、利用可能な統一的なデータが存在しないため、第2期と同様に各コア・準コアサイトの代表者へのアンケート調査による状況の把握を行った。
- ▶ アンケートにより、調査区周辺でのシカの生息状況、及び調査区内でシカによる生態系への顕著な影響が生じているかを調査した。顕著な影響が生じていると回答があった場合は、シカの影響として、植生変化(林床植物全体のバイオマスの減少、林床植物の優占種の変化、嗜好植物の減少、不嗜好植物の増加、樹木の更新阻害、高木の密度低下)、樹皮剥ぎ、土壌流出の発生状況や程度(「顕著に・やや顕著に・わずかに・ない」の4段階。樹皮剥ぎについては被害樹木のおおよその割合)、及び生態系への影響が見られ始めた年代についても調査した。
- ▶ アンケートにて、シカによる生態系への顕著な影響が生じていると回答したコアサイトを対象に、樹皮剥ぎされた幹とそうでない幹の両方について、枯死、生残の幹本数を計数し、それぞれの全幹本数における割合を算出した。
- ▶ 各調査区における森林動態パラメータ(年・面積あたりの死亡個体数、新規加入個体数、地上部現存量の生産量、損失量)と、年平均気温及びシカによる植生変化の有無(アンケート調査にてシカによる何らかの植生変化があると回答されたか否か)の関係について、線形モデルで解析した。
- ▶ アンケートにて、植生変化などのシカによる生態系への影響が確認された調査区において、シカの嗜好種とされる種(アオガシとリョウブ)の個体数の経年変化を解析

した。

# <結果>

- ▶ アンケートにより、全国各地の調査区でシカが生息しており、また多くのシカが生息している調査区では、何らかの森林への影響がみられていると回答があった(図 5-2-5)。林床植物のバイオマス減少や土壌流出など、樹木以外の生物や物理環境に対しても影響が顕れていることが明らかになった。
- ▶ シカによる生態系への顕著な影響が生じているとされたサイトでは、樹皮剥ぎされた個体の割合や樹皮剥ぎされかつ枯死した個体の割合は、サイトにより大きく異なり、大山沢サイトでは、これらの割合が特に高かった(図 5-2-6)。他のサイトでは、現時点では樹皮剥ぎの影響は顕著ではないものの、シカの高密度状態が長期化することにより被害が拡大する可能性が考えられる。
- ▶ シカによる植生変化の有無と森林動態パラメータとの間に明瞭な関係はなかったものの、シカによる植生変化が有る場合、新規加入個体数は低くなる傾向がみられた(図 5-2-7)
- ▶ 嗜好種の個体数は、シカの増加後に減少し、低いままの調査区がほとんどであった (図 5-2-8~9)。減少した時期や減少スピードは調査区によって異なった。

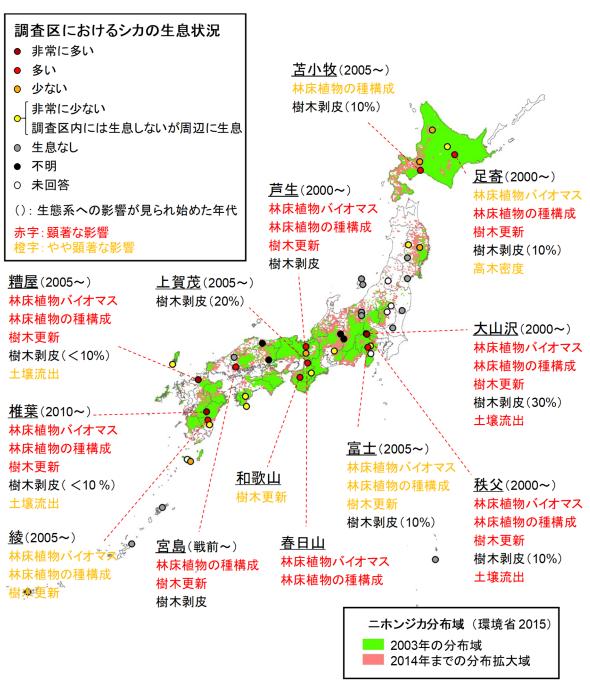


図 5-2-5 コアサイト・準コアサイトの調査区及び周辺の森林におけるシカの生息状況 及び顕著にみられる生態系への影響

ただし、ニホンジカ分布域は環境省(2015)報道発表資料 https://www.env.go.jp/press/files/jp/26915.pdfから引用

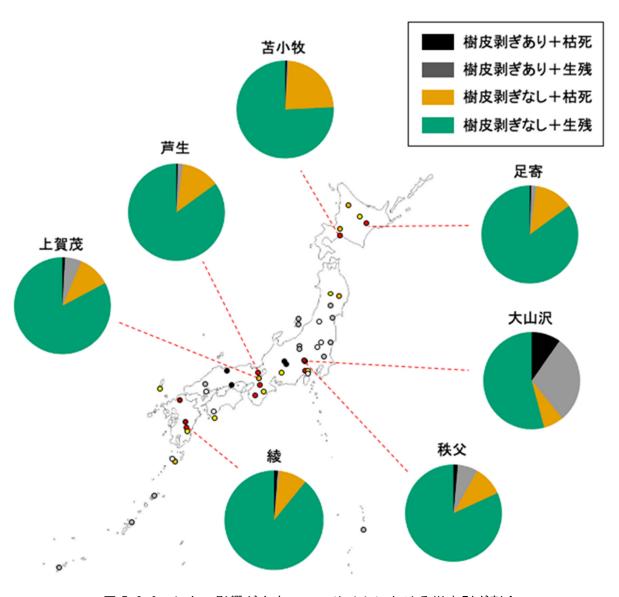


図 5-2-6 シカの影響が大きいコアサイトにおける樹皮剥ぎ割合

アンケートにてシカによる生態系への顕著な影響が生じていると回答したコアサイトを対象に解析した。調査開始から最新調査まで一回でも「樹皮剥ぎあり」と記録された個体を、「樹皮剥ぎあり」とした。

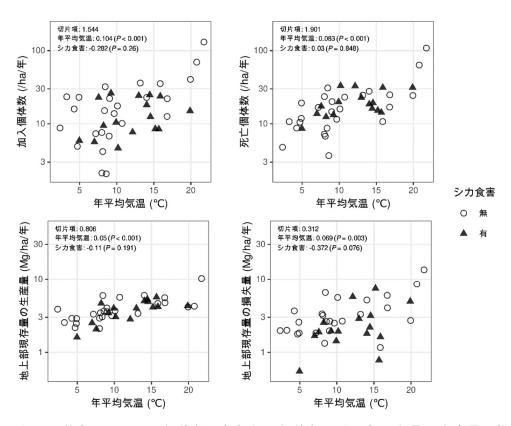


図 5-2-7 年・面積あたりの死亡個体数・新規加入個体数・地上部現存量の生産量・損失量と 年平均気温及びシカによる植生変化の有無の関係

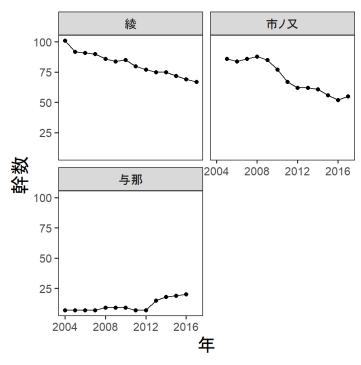


図 5-2-8 シカによる樹皮剥ぎが多いアオガシ(ホソバタブ)の幹数の経年変化

シカによる生態系への影響が確認されている市ノ又と綾は幹数が減少しているが、シカが生息していない与那では 微増している。

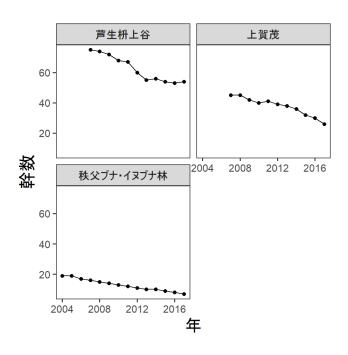


図 5-2-9 シカによる生態系への影響が確認されている調査区における 樹皮剥ぎの記録が多いリョウブの幹数の経年変化

# く考察>

- ▶ シカによる生態系への影響が確認されている調査区では、樹木の新規加入個体数の低下や、樹皮剥ぎの影響が確認されており、特に嗜好性樹種は個体数の減少傾向が続いていることから、シカの影響が現在も持続もしくは拡大していることが示された。
- ▶ 新規加入率及び嗜好性樹種の減少した時期や減少スピードは調査区によって異なったが、これは調査区によってシカが増加した時期やシカの密度が異なるためと考えられる。
- ▶ 現時点でシカによる影響が軽微な調査区についても、今後、シカの分布拡大や高密度 状態の長期化によって、樹木群集への影響が拡大することが考えられる。

② 林床植生被度、堆積落葉量、地表徘徊性甲虫への影響

#### く背景・目的>

- ▶ シカの密度増加が、林床植生の衰退を介して、落葉層や土壌、地表性・土壌性動物へ も影響を及ぼしていることが、報告されている(4.2.(2)2)。
- ▶ 地表徘徊性甲虫調査においても、シカによる顕著な植生変化が起きている調査区が 複数含まれている(表 3-1)。
- ▶ 第2期とりまとめ報告書では、シカによる植生変化が顕著な調査区で地表徘徊性甲虫類(以下、甲虫類という)の捕獲量が減少傾向にあることが示された。
- ▶ 今回、第3期のデータを追加し、第2期に確認された傾向が現在も続いているのか、 種多様性にも影響が及んでいるのかを検証した。

#### <解析方法>

- ➤ 二次林・人工林の調査区と、シカの分布域とは環境が大きく異なる南西諸島の調査区は、解析から除外した。
- ▶ サイト代表者へのアンケート調査において、シカが生息しないまたはシカによる林 床植物全体のバイオマス減少がないもしくはわずかとされた11調査区と、やや顕著 もしくは顕著とされた5調査区の2群の間で、林床環境(林床植生被度・堆積落葉量・ 土壌炭素濃度)、地表徘徊性甲虫群集(年捕獲個体数・年捕獲バイオマス(乾燥重量)・ 種数・種均等度・種多様度・平均個体重)の各年変化傾向が有意に異なるかを検証し た。
- ➤ 甲虫類の年捕獲個体数・年捕獲バイオマス(対数変換値)・林床植生被度(年平均、逆正弦変換値)・堆積落葉量(対数変換値)・土壌炭素濃度は、調査年(連続変数)、シカの影響(シカによる林床植物バイオマスの減少が「ない・わずか」の調査区で 0、「やや顕著・顕著」の調査区で 1 となるダミー変数)とそれらの交互作用を説明変数、サブプロットと調査区をランダム変数(切片)とする一般化線形混合モデル(GLMM)に当てはめ、推定された調査年の係数をもって年変化傾向とした。種数・均等度(Pielouの J')・多様度(Shannon-Wiener の H')・平均個体重(総バイオマス/総個体数)はサブプロットをプールして調査区・調査年ごとに求め、調査年、シカの影響とそれらの交互作用を説明変数、調査区をランダム変数とする一般化線形混合モデルに当てはめた。個体数はポアソン分布に従うと仮定した。

#### <結果>

- ▶ シカによる林床植物バイオマスの減少が「やや顕著・顕著」とされた調査区では、「ない・わずか」とされた調査区に比べて、林床植生被度、堆積落葉量、甲虫類の捕獲個体数・バイオマス・種数・種多様度の各年変化傾向が有意に異なり、いずれもより減少傾向が強まっていた(調査年とシカ影響の負の交互作用が有意にみられた)(図 5-2-10)。
- 林床植生被度と甲虫類の捕獲バイオマス・種数・種多様度は、シカによる林床植物バ

イオマスの減少が「ない・わずか」の調査区では全体として有意な経年的増減傾向を示さなかったが(調査年の有意な影響がみられなかった)、「やや顕著・顕著」の調査区では、「ない・わずか」の調査区と年変化傾向が有意に異なり、経年的な減少傾向を示した(調査年とシカ影響の負の交互作用が有意にみられた)(図 5-2-10)。

- ▶ 堆積落葉量と甲虫類の捕獲個体数は、シカによる林床植物バイオマスの減少が「ない・わずか」の調査区では全体として経年的な増加傾向を示したが(調査年の正の影響が有意にみられた)、「やや顕著・顕著」の調査区では、「ない・わずか」の調査区と年変化傾向が有意に異なり、逆に経年的な減少傾向を示した(調査年とシカ影響の負の交互作用が有意に見られた)(図 5-2-10)。
- ➤ 土壌炭素濃度と甲虫類の種均等度・平均個体重は、シカによる林床植物バイオマスの減少が「ない・わずか」の調査区で全体として有意な経年的増減傾向を示さず(調査年の影響が有意にみられなかった)、さらに「やや顕著・顕著」の調査区との間でも年変化傾向の違いが認められなかった(調査年とシカ影響の交互作用が有意に見られなかった)。

# シカによる林床植物バイオマスの減少

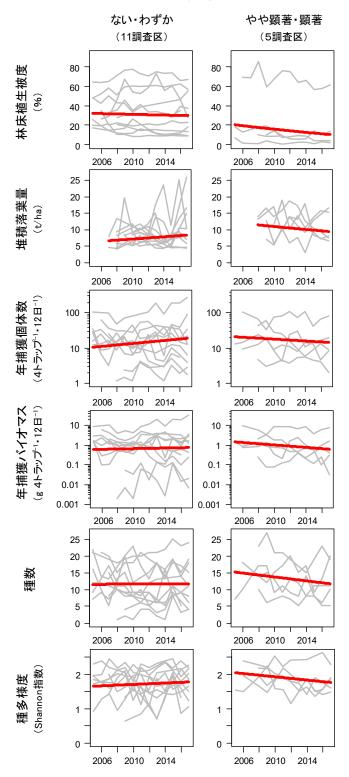


図 5-2-10 シカによる林床植物バイオマスの減少の程度の異なる調査区間での林床環境及び地 表徘徊性甲虫群集の年変化傾向の違い

灰色線は各調査区の年変動を、赤線は全調査区の平均的増減傾向を示す。シカによる林床植物バイオマスの減少の程度によって増減傾向が有意に異なっていた測定項目のみ示す。シカによる林床植物バイオマスの減少の程度は、サイト代表者へのアンケート調査に基づく。

## く考察>

- ▶ シカによる林床植物バイオマスの減少が顕著もしくはやや顕著に確認されている調査区では、甲虫類の個体数・バイオマスだけでなく種多様性も低下する傾向にあることが分かった。
- ➤ シカによる林床植生の衰退は、被覆の減少による地表の微気象の変化(古澤ら 2006)、 落葉層や表層土壌の流出(古澤ら 2003、若原ら 2008)、土壌の硬化(柳ら 2008)、地 表性動物にとっての住み場所や隠れ場所の減少などの環境改変をもたらし、さらに 林床植生からのリター供給量の減少(古澤ら 2011)による餌資源の減少を通じて、 地表性・土壌性動物全般に負の影響を及ぼしうる(須田ら 2003、田中ら 2006、伊藤 ら 2007、Saitoh et al. 2008、Suzuki and Ito 2014、Katagiri and Hijii 2017)。
- ▶ しかし、その影響は種の生態特性によって一様ではなく、比較的開放的で乾燥した環境を好む種は増加する場合もある(Stewart 2001)。シカが高密度に生息する森林では、シカの影響によって地表徘徊性甲虫の大型種は減少しやすい一方、小型種の一部が増加する結果、総個体数には変化が出ないという報告も多い(高桑ら 2007、上田ら 2009、岡田・須田 2012、Yamada and Takatsuki 2015、佐藤ら 2018)。さらに、シカの糞を餌資源とする糞食性の甲虫類は増加することが報告されている(Seki and Koganezawa 2013、Iida et al. 2016, 2018)。
- ▶ 本調査でも、シカによる林床植物バイオマスの減少に対する甲虫群集の反応は森林によって様々であったが、全体としては負の影響が強いことが示された。特にシカによる林床植物バイオマスの減少が顕著もしくはやや顕著に確認されている5調査区の内、大山沢・秩父・足寄拓北では体サイズによらず多くの種が減少傾向を示し、増加傾向の種はいないかわずかだった。一方、綾では増加・減少・傾向なしの種が同数ずつで、芦生枡上谷ではほとんどの種が増減傾向を示さず総個体数にも変化がなかった。また、糞食性種も減少する場合が多く、増加傾向を示した種はなかった。
- ▶ また、足寄拓北と芦生枡上谷では堆積落葉量が強い減少傾向を示した。とくに傾斜地の森林では、ササなどの林床植生が衰退すると落葉層や表層土壌の支えがなくなり、また雨滴からも保護されなくなるため、流出や浸食が起こりやすくなる(古澤ら2003、若原ら2008)。
- ▶ 森林では純一次生産の大部分が最終的に落葉落枝等の植物リターとして地表に供給され、長い年月をかけて有機物の豊富な土壌が生成されると同時に、栄養塩が再循環することで持続的な生産が可能となっている。とくに表層土壌には栄養塩や有機物が高い濃度で集積しているため、落葉層や表層土壌の流出・侵食は長期的な森林の生産性に悪影響を及ぼす恐れもある。また、一度失われた表土を回復するには相当な年月を要すると考えられる。さらに土壌の流出は渓流水質への影響を通じて河川の生物相にも影響を及ぼす可能性がある(Sakai et al. 2012, 2013)。
- ▶ ただし、シカによる林床植物バイオマスの減少が「やや顕著・顕著」とされているサイトの多くでは、本調査の開始時点で既にシカによる植生の変化が進んでいたこと

にも留意すべきである。例えば芦生サイトや大山沢サイトでは 2008 年の本調査開始 に先立ち、1990 年代後半から 2000 年代前半に急激に林床植生が衰退した(井上ら 2008、崎尾ら 2013)。シカが高密度化する以前を基準とした変化は、調査期間中にみられた変化よりも大きかった可能性がある。

▶ 一方で、現時点ではシカによる林床植物バイオマスの減少が「わずか」とされている 調査区でも今後影響が拡大する可能性がある。例えば苫小牧サイトでは、甲虫調査の 調査区ではまだ顕著な植生の変化は認められていないが、サイト内の他の地点では 林床のササの衰退や藪を利用する鳥種の減少が確認されている(次項参照)。そのよ うなサイトで今後林床環境や甲虫群集にどのような影響が出てくるか、注意深くモ ニタリングしていく必要がある。

### ③ 下層植生と鳥類相の関係

#### く背景・目的>

- ▶ シカの増加とその摂食により森林の下層植生が減少している(4.2.(2)2)。
- ▶ 第2期では、毎年調査を実施しているコアサイト及び一部の準コアサイトのデータを解析したところ、全国的に下層植生を利用する鳥類が減少しており、特にシカによる植生被害が顕著に確認されているサイトではその傾向も大きいことが認められた。
- ▶ 今回はシカによる植生への被害が顕著なサイトを対象に、その後の鳥類相の変化を示した。
- ▶ 一般サイトにおいて、第3期に記録された鳥類のうち、変動が大きかった鳥種について、個体数変化の検出を試みた。

#### <解析方法>

- ▶ 個体数変動の解析は、苫小牧と大山沢(コアサイト)の繁殖期のデータについて行なった。秩父及び芦生もシカの影響の大きい調査地だが、調査開始時点ですでに下層植生を使う鳥が記録されなくなっていたので、今回の調査の対象とはしなかった。準コアサイトについては、顕著なシカの影響が報告されている椎葉、丹沢を対象とした。
- ➤ 繁殖期に4回行なう調査の各定点の個体数の合計値を1サンプルとし、苫小牧と大山沢については、Statistics Netherlands が開発し、Pan-European Common Bird Monitoring の解析に用いられている統計ソフト TRIM を利用し、R と Package 'rtrim' により年変動を解析した。
- ▶ 第3期の一般サイトで記録され、変動が大きかった鳥類のうち、シカの影響を受ける可能性があるウグイスについて、緯度別の減少傾向を解析した。

## <結果>

- ▶ 大山沢では、下層植生を採食場所、営巣場所として利用するウグイス、コルリ、コマドリ、ソウシチョウは調査開始後に減少し、2017年には調査範囲内での記録はなくなった(図 5-2-11)。
- ➤ 下層植生を営巣場所として利用するエゾムシクイとセンダイムシクイは 2017 年時点で記録はあるものの、有意に減少していた。それ以外の種については、アオバト、ミソサザイ、オオルリが有意な増加傾向にあり、ヒガラ、シジュウカラ、ゴジュウカラ、コゲラ、カケス、ツツドリについては、有意な増減傾向は認められなかった。
- ➤ 苫小牧ではウグイスが有意に減少しており、コルリは 2017 年に生息が記録されたため、有意ではなかったものの 2015 年と 2016 年には記録されず、減少傾向にあった。アカゲラ、コゲラは有意な増加傾向にあり、そのほかの種には有意な増減は認められなかった(図 5-2-12)。
- ▶ シカによる林床植物全体のバイオマス減少が「ない・わずか」のサイトにおいては上 記鳥類ではこうした傾向は認められなかった(図 5-2-13:コマドリは顕著なシカの 影響が報告されているサイトにしか生息していないために示されていない)。
- ▶ 増減の地域的な差をみるために、全国を北緯30度~北緯35度、北緯35度~北緯40度、北緯40度以北に分けて、地域的な傾向をみると、ウグイスは北緯40度以南で減少傾向がみられた(表5-2-2、図5-2-14)。

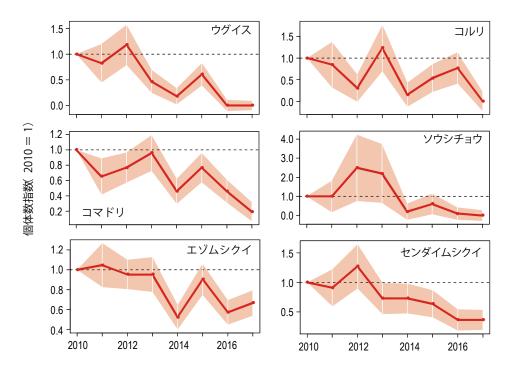


図 5-2-11 大山沢で減少している下層植生を利用する鳥類

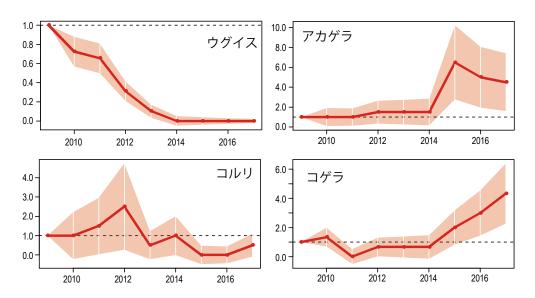


図 5-2-12 苫小牧で減少している下層植生を利用する鳥と増加しているキツツキ類

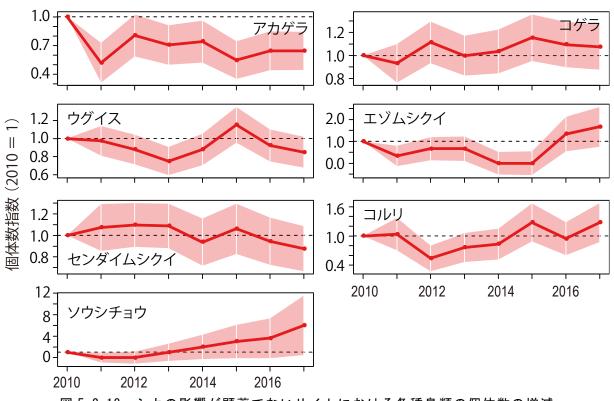


図 5-2-13 シカの影響が顕著でないサイトにおける各種鳥類の個体数の増減

表 5-2-2 森林・繁殖期で減少のみられた種

	全国	N30-N35	N35-N40	N40以北
ウグイス	P<0.01	P<0.05	P<0.05	N.S

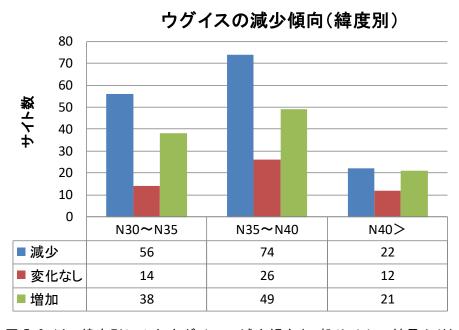


図 5-2-14 緯度別にみたウグイスの減少傾向(一般サイトの結果より)

## く考察>

- ▶ 今回の結果は、シカの摂食により下層植生が減った場所では、下層植生を利用する鳥が減っており、さらにそのことが下層植生を利用する鳥に托卵する種にも影響を与えていることが示唆された。
- ➤ スズタケ等は消失したが、シカが忌避するアセビが下層植生として回復しつつある場所もあり、それが今後鳥類にどのような影響を与えるのかなど調査していく必要がある。
- ▶ コア・準コアサイトでシカの影響を受けて減少傾向にある鳥類のうち、一部の種については、一般サイトでも減少傾向が確認されており、今後どういった変化が現れるかコア・準コアサイトと一般サイトの間で連携しながら解析する必要がある。

# コラム5-5:120年ぶり?スズタケの開花

新山 馨·黒川 紘子·柴田銃江(小川試験地:森林総合研究所 森林植生研究領域)

日本の森林では、林床に密生するササ類が樹木の更新を阻害していることが数多く報告されている。日本海側・多雪域のブナ林ではチシマザサが、太平洋側・少雪域のブナ林ではスズタケが更新を阻害する要因となっている。同様に木曽のヒノキ林ではチマキザサやクマイザサが樹木の更新を難しくしている。その理由は、ササ類が地下茎による栄養繁殖で大面積のクローンを形成し、きわめて密な葉群を形成するからである。しかしササ類は、60 年あるいは120 年周期で開花結実し(宇田川 1965)、稈が一

斉に枯死して林床の光環境が好転し、樹木の更新にまたとないチャンスが巡ってくることが知られている。ササ類は一回繁殖型の生活史を持つ植物で、窒素やリンなど地下茎に蓄えた栄養塩をすべて種子に投資して開花・枯死する性質がある。チシマザサの開花とブナの更新との関係については、長野県戸隠山系や青森県八甲田山系でいくつかの研究例がある

(Nakashizuka 1988; Abe 2005)。われわれがモニタリングを続けている茨城県北部の小川試験地やその周辺では、いくつもの大きなスズダケ群落が 2017年に一斉開花した。5月の下旬にはほぼ満開となり(写真 1)、8月には 6-7 mm ほどの黒い米粒のような種子を観察することができた(写真 2)。



写真1 スズタケの開花 (2017年5月撮影)



写真 2 2017 年 8 月採取のスズ タケの種子

上段:落下種子、

中段:包穎を除去した種子、

下段:切断した種子

スズタケも稲と同じイネ科の植物だけあって、中身は純白のデンプン質で美味しそうに見える。実際、江戸時代や明治時代、昭和の初期まで、ササの実は山里の農民にとって貴重な食料として利用されていた。一方でササの実を食べたネズミが増殖して、様々な農業被害が発生するなど、人間にとって都合のいいことばかりではないことが知られている。ネズミが著しく増加すれば、稚樹が食害を受けて枯死したり、ネズミを補食するヘビや鳥類が増えるなど、森林生態系への様々な影響が予想される。小川試験地で 2017 年に開花結実した 0.3 ヘクタールほどのスズタケ群落では、ほぼすべての稈が枯れて緑葉はなくなり、翌 2018 年には枯れ稈を残すのみとなった。この枯れ稈だけの明るくなった林床には、少数ながらスズタケの実生が観察された(写真 3)。そしてササ薮を好むウグイスとソウシチョウはこの開花跡地では見られなくなった。愛知県や岐阜県などでも小川試験地と同時

期にスズタケの一斉開花が観察され、地元の古文書の記述などから 120 年周期でスズタケが開花したのではと言われている。モニタリングを続けているおかげで 120 年ぶりといわれるスズタケの開花に幸運にも巡り会えたので、さらにモニタリングを続け、スズタケ群落は実生から更新するのか、スズタケ群落の回復にどのくらいの時間がかかるのか、その間に樹木の更新がはたして成功するのかなど、森林生態系の動態に関わる様々な問いに答えを見いだしていきたいと思っている。

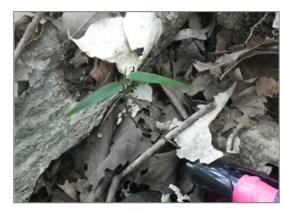


写真3 翌 2018年10月、スズタケの実生

# 引用文献

Abe, M. · Miguchi, H. · Honda, A. · Makita, A. · Nakashizuka, T. (2005) Short-term changes affecting regeneration of Fagus crenata after the simultaneous death of Sasa kurilensis. Journal of vegetation Science, 16, 49-56.

Nakashizuka, T. (1988) Regeneration of beech (Fagus crenata) after the simultaneous death of undergrowing dwarf bamboo (Sasa kurilensis). Ecological Research, 3, 21-35. 宇田川 竜男(1965) ネズミー恐るべき害と生態 (中公新書)

## (3) 植生環境の変化

#### 1) 鳥類相の顕著な変化の有無と変化内容

#### く背景・目的>

- ▶ 日本全国で人為的に維持されてきた里山林の管理放棄、国産材の利用の減少よる人工林の高齢化、シカの分布拡大・密度増加に伴う森林生態系への影響が報告されており、植生環境にも変化が生じている(4.2.(2)2)。
- ▶ 植生の構成は、そこに生息する鳥類に影響を及ぼすことが知られている。これは、鳥種によって選好する植生環境が異なるからである。そして植生の被度の変化による森林の明るさなども、生息鳥種に影響を与えうる。植生の遷移の進行や、病虫害の発生による植生状況の変化が起これば、それに鳥類群集が応答する可能性がある。しかしながら、植生環境に変化が起こったとき、日本産の鳥類群集がどのような応答をするかの情報は乏しく、その影響は明らかではない。
- ▶ 森林サイトでは5つの階層、草原サイトでは8つの区分で、植生環境を記録している。
- ▶ そこで、植生の被度データと鳥類のデータの関連性を検討し、第2期から第3期への植生環境の変化が、そこに生息する鳥類の種数にどのような影響を与えるのかを検討した。具体的には、植生環境の変化が大きかったサイトにおいて、どのような鳥種数の変動が起こるかに注力して検討した。
- ➤ これに加え、森林と草原それぞれのもっとも変動が大きかった種(森林にて1位であったキビタキ(表 5-1-2)、草原で1位であったハシブトガラス(表 5-1-6))を対象として、環境の変動とこれら代表種の出現傾向の関係を検討した。

#### <解析方法>

- ▶ 対象とした情報は、本事業の一般サイトのうち、第2期と3期の両方で調査結果が得られたサイトのデータである。第2期以降、調査方法がポイントセンサス法による調査に統一されたため、第2期と3期のデータ間で比較が可能である。
- ➤ ここでは、第2期から第3期への種数の変化について、サイト毎に植生被度の変化と対応させて検討した。具体的には、鳥種数の変動量(各サイトにおける第3期の種数と同一サイトにおける第2期の種数の差)を、植生の変動量との相関関係を、単回帰分析にて検討した。
- ▶ 各サイトの植生の変動量は、第2期と第3期の植生の変動量を各植生階層で求め、その合計を階層数で除算することで各サイトの平均的な植生変動量を求めた。
- ▶ たとえば、森林サイトであれば林床、低木層、亜高木層、高木層、高高木層の5層があるので、それぞれを階層1、2、3、4、5とみなし、これを階層iと表す。このとき、階層数 j=5 となる。なお、草原では階層でなく環境区分となるが、方法は同様である。

$$\frac{\sum_{k=1}^{i}(C_{3i}-C_{2i})}{j}$$

i: 植生の階層番号、j: 植生の階層数、C2i: 第2期の i 階層における被度、C3i: 第3期の i 階層における被度、第3期における被度。注)草原サイトではいずれも階層でなく環境区分の番号

▶ さらに、第2期から第3期にかけての上記の環境変動が、森林と草原の結果の代表種であるキビタキとハシブトガラスの出現傾向に影響を与えているかについては、多項ロジットモデルで解析した。

## <結果>

- ➤ 植生の変動量と種数の変動量の間の関係は、森林サイトにて無相関だった(図 5-2-15, N.S., n=295 サイト)。植生の被度変動量が大きい場合でも、種数が増加したサイトや減少したサイト、ほぼ変化しなかったサイトが同程度存在し、両者の関係に傾向が見いだせない様子が見て取れる。
- ▶ 草原サイトでは緩やかな正の相関が検出され(図 5-2-16, P < 0.05, 調整済 r = 0.26, n = 69 サイト)、弱いながらも環境スコアの変動に伴い鳥種数が正の相関を示して増減する傾向がみられた。
- 森林サイトにおけるキビタキは、2期と3期の出現傾向の違いによる、植生環境の変動の違いは認められなかった(図 5-2-17 左)。草原サイトにおけるハシブトガラスも同様に環境変動との関係は有意ではなかった(図 5-2-17 右)。ただし、ハシブトガラスの P 値は有意ではないが、検討が必要な弱い結果(P=0.08 と P=0.05)であった。

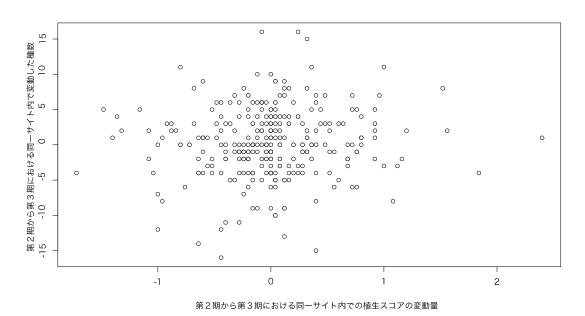


図 5-2-15 植生の被度変動量と出現種数の関係 (森林)

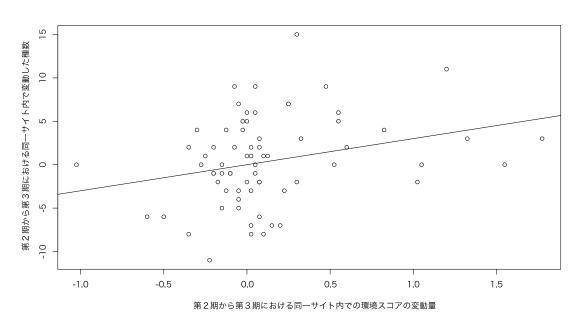


図 5-2-16 環境の被度変動量と出現種数の関係(草原)

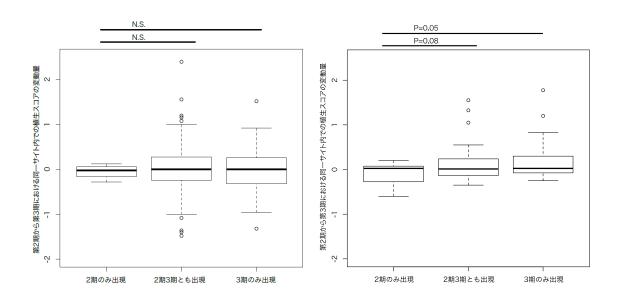


図 5-2-17 第 2 期と第 3 期の出現傾向の違いと、出現が確認されたサイトの環境変動 左:森林サイトにおけるキビタキ(左)、右:草原サイトにおけるハシブトガラス

## く考察>

- ▶ 今回得られた結果から、森林サイトにおいては、第2期から第3期までの植生被度の変化量が、鳥種数を変化させるほどではなかった可能性が考えられた。各サイトでは植生遷移の進行が起こっていると考えられるが、5年という期間では、森林における植生景観の変化は一見感じられない程度であるため、森林性の鳥種数を変化させるほどのインパクトは起こっていないのかもしれない。
- ▶ 森林サイトにおいてもっとも変化が大きかったキビタキを代表例として、その出現傾向と森林の植生被度の変化の関係を検討したが、出現傾向と植生環境変動の違いが検出されなかった。この結果は上記を支持する。
- ▶ 他方、草原サイトにおいては、緩やかながら、環境の変動量と種数の間に正の相関が確認された。2期から3期にかけて環境変動が大きいサイトほど、種数の変動が大きいと考えられた。
- ▶ 草本によって構成されている草原サイトにおける植生遷移は、主に樹木によって構成されている森林サイトよりも、その速度が格段に早いことが一般的である。森林サイトよりもサンプル数(地点数)が少ないにも関わらず、その傾向が認められたのは、このような背景があると考えられる。
- ▶ 他方、特定の種が環境の変動に応じて全サイトで共通の傾向をもっているわけではなく、サイトごとに種の応答が異なるが、全体を総合的にみると種数が増加する傾向があるようである。これは以下の結果に基づく。
- ➤ 草原サイトにおいてもっとも変化が大きくサンプル数が確保できる種であるハシブトガラスを代表例として、その出現傾向と草原サイトの環境変動の関係を検討したところ、統計的には有意でないものの、P=0.08 と P=0.05 という有意水準境界付近の値が検出された。このことから、両者の関係がないとはいえない。これは前述の草原サイトにおける結果を否定するものでない。
- ▶ 将来の本モニタリングサイト 1000 において、今回の5年スパンでなく10年20年といった長期の時間スケールで解析したときに、植生遷移の速度が遅いことが特長である森林サイトにおいても、傾向が検出されるようになるかもしれない。加えて、もし、病虫害などにより、壊滅的な植生被度の変化が起これば、その植生変化の激しさゆえに鳥種数が影響を受ける可能性は考えられる。それゆえ将来においては、継続的なモニタリングの継続と、大きな植生環境の変化に着目することが重要となる。
- ▶ 今回は、初めて異なる期の間で直接比較が可能となったことから、植生の変動幅と鳥種数の応答性の可能性を絞り込むことができたといえよう。それゆえ、次は、現在は検出されていない、より大きな変化時に何が起こるかという視点へ注視する必要が有るだろう。

# 2) 草原の樹林化による鳥類群集の変化

# く背景・目的>

- ▶ 日本の草原では、かつてそこに生える草本類が飼料や燃料、茅葺きなど様々な用途で人に利用され、それが遷移を押しとどめ草地として維持されてきた。しかしながら近年、人による管理が低下し、樹木の侵入と樹林化が進行しつつある(4.2.(2)2)。
- ▶ 草原サイトでの植生調査は第2期から開始したため、第2期のとりまとめでは比較可能なデータがなく、経年的な変化の検討が行えなかった。
- ▶ 今回は、第2期と第3期の結果を用いて草原性鳥類の変化について検討した。

### <解析方法>

- ▶ 草原サイトの中から樹林化が認められる地点として、樹木の被度ランクが2階級以上アップした調査ポイントを抽出し、その地点から50m以内で記録した種について集計を行った。
- ➤ 出現した全種について、JAVIAN Database20121010版を用いて、繁殖期の生息環境を草原、草原と森林、森林のみ、水辺に分け個体数を集計した。なお、草原サイトは様々なサイトがあることから、農耕地、草地・裸地を生息環境とする種を草原とした。

# <結果>

- ▶ 図 5-2-18 に示すように、旧北上川下流のA地点以外は、草原性鳥類の種の占める割合が若干低くなっていた。各地の状況をみると、確認できなくなった草原性の種としては、ハクセキレイ、ホオアカ、セッカ、ヒバリがあげられる。
- ▶ 一方、新たに確認した森林性鳥類としてはシジュウカラ、ヒョドリ、コゲラ、ヤマガラがあげられた。

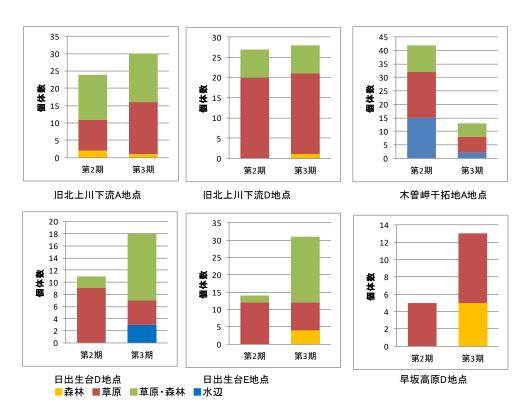


図 5-2-18 樹林化の進行と鳥類相の変化

# く考察>

- ▶ 日出生台ではD地点とE地点ともに、草原性の種の個体数が減少し、草原と森林のどちらも利用する種の個体数が増加している、連続した2地点で樹林化が進行していることが伺える。
- ▶ 一方、旧北上川下流でも、A地点とD地点の2地点で樹林化がおきているが、出現種の状況に明確な変化はみられない。これは2地点の間の地点では樹林化はおきていないことによる可能性がある。樹木の侵入による鳥類相への影響は、樹林化が面的な状態になってはじめて影響が現れる可能性が考えられる。

# 5.3.外来種

## (1) 森林・草原への外来種の侵入

1) コア・準コアサイト及び周辺の森林への外来種の侵入状況(脊椎動物、樹木、病害虫)

## く背景・目的>

- ▶ 日本各地の森林で、既に様々な外来種である動植物種の侵入が報告されている(4. 2.(2)3)。そうした外来種の侵入や動態を監視すると同時に、それらによる在 来種や生態系への影響を明らかにする必要がある。
- ▶ 各コア・準コアサイトにおける外来種の侵入状況を把握するために、サイト代表者 へのアンケート調査を行った。

# <解析方法>

- ➤ 2016年11月に、各コア・準コアサイト代表者に対し、調査区周辺(半径数 km 以内) での外来種の侵入状況について、アンケート調査を行った。
- ▶ 病虫害のアンケート結果(5.2(1)1)参照)より、コア・準コアサイトで大規模な森林病虫害を引き起こしている外来種の樹木病害生物を確認した。
- ▶ コア・準コアサイトにおける毎末調査・地表徘徊性甲虫調査データより、外来種の 樹木・甲虫種を確認した。

#### く結果>

- ▶ 48 サイト中 40 サイトから回答が得られた。
- 外来種が侵入していると回答したサイトは、全サイトの約3割(14サイト)であった
- ▶ 哺乳類では、アライグマ(北海道~九州の5サイト)、ハクビシン(本州の4サイト)が多く、南西諸島・小笠原諸島ではクマネズミ(3サイト)・フイリマングース(2サイト)・ノネコ(2サイト)が挙げられた(表 5-3-1)。
- ▶ 鳥類では、ソウシチョウ(本州の3サイト)、ガビチョウ(本州の2サイト)が多く、 小笠原石門でメジロが挙げられた(表 5-3-1)。
- ▶ 両生類・爬虫類の外来種(オオヒキガエル、グリーンアノールなど)を挙げたサイトはなかった。
- ▶ 樹木は、北海道~九州では春日山サイトの2種のみであったが、南西諸島・小笠原諸島の2サイトからは5種が挙げられた(表 5-3-1)。
- ▶ 「生態系への顕著な影響が生じている」と回答があったのは、林縁部にモウソウチ クが侵入している佐田山と、哺乳類や樹木など多くの外来種が挙げられた与那・小 笠原石門の3サイトであった(表 5-3-1)。具体的な影響としては、在来種の捕食、

種子食害、在来樹種の動態への影響が挙げられた。

- ▶ ただし、奄美・与那サイトでは周辺でのフイリマングースの駆除が非常に進み、奄美サイトでは在来種(アマミノクロウサギ、ケナガネズミ、アマミヤマシギ、カエル類など)の回復も確認されつつある(環境省那覇自然環境事務所・一般財団法人自然環境研究センター 2018、環境省那覇自然環境事務所・株式会社南西環境研究所 2018))。また、奄美サイトのクマネズミは、2010年ごろから低密度状態が続いており、スダジイなどの種子や実生の生残率には変化が出ている可能性がある(石田健 私信)。
- ▶ 大規模な森林病虫害を引き起こしている外来種の樹木病害生物としては、第2期までと同様に、マツノザイセンチュウ(本州~九州の10サイトにて、マツ枯れ被害を発生させている。北米から侵入し、北海道を除く全国に拡大)、カラマツハラアカハバチ(北海道の2サイトにて、本州から北海道へ導入されたニホンカラマツを大規模に食害。本州から北海道へ侵入)、タイワンハムシ(与那サイトにて、台湾から移入されたとされるタイワンハンノキへの大規模な食害が第2期に発生。台湾から沖縄へ侵入)が確認されている。
- ▶ 調査データからは、第2期までと同様に、小笠原石門サイトで調査区内へのアカギの侵入と、苫小牧サイトの二次林と人工林の一部の調査区へのチョウセンゴョウの侵入が認められた。小笠原石門サイトではアカギの駆除が進められ、本数が第2期の5分の1程度にまで減少した。同サイトでは第2期にパパイア1個体が認められたが、その後枯死した。一方、全てのサイトにおいて、地表徘徊性甲虫の外来種は認められなかった。

表 5-3-1 コアサイト・準コアサイト及びその周辺の森林における外来種の侵入状況 (サイトへのアンケート調査に基づく)

サイト	哺乳類	鳥類	樹木	その他
雨龍	アライグマ			
足寄				イネ科草本
				ユウゼンギク
				ネバリノギク
				マツヨイセンノウ
苫小牧	アライグマ			オオハンゴンソウ
				セイヨウオオマルハナバチ
青葉山	ハクビシン	ガビチョウ		オオハンゴンソウ
小川		ソウシチョウ		ヨウシュウヤマゴボウ
筑波山		ソウシチョウ		
秩父	ハクビシン	ガビチョウ		
		ソウシチョウ		
富士	アライグマ			
	ハクビシン			
春日山	アライグマ		ナンキンハゼ	
	ハクビシン		ナギ	
佐田山*				モウソウチク
糟屋	アライグマ			
奄美	フイリマングース			
	ノネコ			
	クマネズミ			
与那*	フイリマングース		ギンネム	7.11t 7 f 7
	クマネズミ		モクマオウ	アメリカハマグルマ
小笠原石門*	ノネコ クマネズミ	メジロ	アカギ	
			シマグワ	
			ガジュマル	

<sup>\*</sup> 生態系に顕著な影響が生じていると回答があったサイト。

# く考察>

- ▶ コアサイト・準コアサイトは主に天然生の森林であるため、樹木の外来種が侵入しているサイトは少ないが、アライグマ・ハクビシンなどの哺乳類、ソウシチョウ・ガビチョウなどの鳥類は既に多くのサイトに侵入している。
- ▶ 亜熱帯の島嶼部(南西諸島・小笠原諸島)のサイトでは、樹木を含む多くの外来種が侵入しており、しかも生態系に深刻な影響を及ぼしている。その一方で、駆除などの対策も進んでおり、在来種の回復も確認されつつある。
- ▶ 今後のモニタリングを通じて、各サイトにおける外来種の侵入の拡大あるいは駆除などによる減少に伴う在来種や生態系の回復過程など、長期的な変動を明らかにする必要がある。

## 2) 一般サイト及び周辺の森林への外来種の侵入状況

## く背景・目的>

- ▶ 日本で定着している外来鳥類にはドバト、コジュケイ、ホンセイインコなどがいるが、森林環境では、現在チメドリ類の定着と分布拡大、個体数の増加が顕著である。
- ▶ 第2期とりまとめでは、ガビチョウ、ソウシチョウについて解析した結果、分布の 拡大傾向が認められるとの結果が得られた。
- ▶ そのため今回は、第3期までに得られた情報をもとにした分布の変化および一般サイトの結果を用いた個体数の変化について検討した。

## <解析方法>

- ▶ 分布図作成の対象とした情報は2017年度までの、モニタリングサイト1000、全国鳥類繁殖分布調査、日本野鳥の会の探鳥会、バードリサーチのフィールドノート及び外来鳥ウォッチのデータである。これらを地図上に落とし、分布の変化を可視化した。
- ▶ 一般サイトで確認された、ソウシチョウ、ガビチョウについては、1 サイトあたりの 平均個体数の変化を算出した。
- ▶ コジュケイについて、サイトの配置のほぼ終了した第2期調査と第3期調査について、繁殖期、越冬期をとおして、時系列に沿って出現サイト数を図化した。

## <結果>

- ▶ ガビチョウは南東北、関東/中部、九州の3か所に生息し、それぞれで、第1期以前、 第1期、第2期と分布を徐々に拡大させていた。第3期にはいるとさらに分布が拡 大し、南東北と関東/中部の分布域は繋がり、九州では大分方面へ分布が大きく拡が った(図5-3-1、左図)。
- ▶ ガビチョウの分布は積雪深の少ないところを中心に拡がっている。ガビチョウは留鳥性が高く、冬季に生息が困難な積雪の深いところでは生息しにくいことが考えられるが、第3期には積雪深の深い場所でも確認されるようになっていた。これらの地域では、冬期にはガビチョウが観察されておらず、漂鳥的な動きをすることで分布が拡大している可能性があり、このような動きについても情報収集をする必要がある(図 5-3-2)。
- ▶ ソウシチョウは全体的に分布が拡がったが、特に中四国地域、南東北で分布の拡大 が顕著であった(図 5-3-1、右図)。
- ➤ ソウシチョウ、ガビチョウの確認サイト数は増加傾向にあり、各サイトの平均個体数もまた若干増加傾向にあった(図 5-3-3、図 5-3-4)。
- ▶ 過去には、各地で狩猟対象として放鳥されていたコジュケイは、第2期と同程度の確認状況であった(図 5-3-5)。

▶ その他、チメドリ科ではカオグロガビチョウが東京都で、ヒゲガビチョウが四国で 記録された。また、沖縄県のインドクジャク、シマキンパラは継続して確認された。

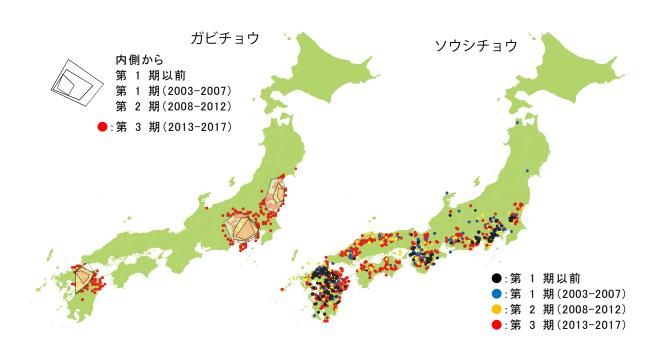


図 5-3-1 ガビチョウとソウシチョウの分布の変化

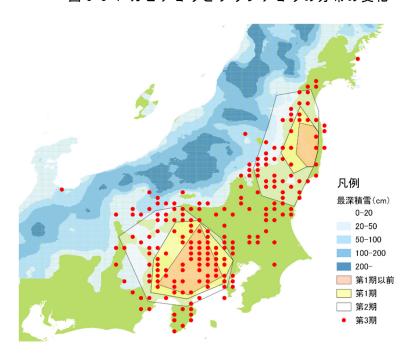


図 5-3-2 ガビチョウの分布と積雪深との関係

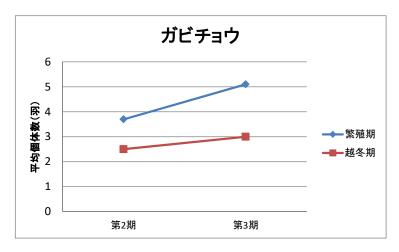


図 5-3-3 ガビチョウの平均個体数の変化

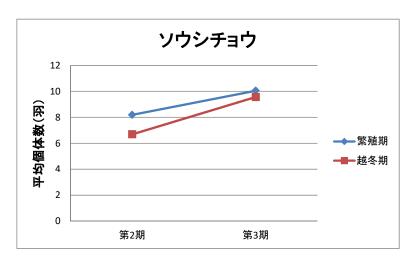


図 5-3-4 ソウシチョウの平均個体数の変化

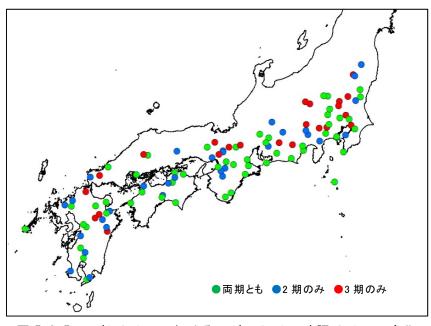


図 5-3-5 一般サイトにおけるコジュケイの確認サイトの変化

## く考察>

- ▶ ガビチョウとソウシチョウでは分布の拡大のパターンが異なっており、ガビチョウは徐々に既存の分布を連続的に拡げているが、ソウシチョウは連続的に分布を拡大するのではなく、離散的に分布を拡げていた。通常、ガビチョウの留鳥性が強いのに対し、ソウシチョウは季節移動をするため、このようなパターンの違いが出てくるものと考えられる。
- ▶ ガビチョウとソウシチョウは分布を拡げるとともに、サイトにおける個体数も増加 傾向にあり、各地で定着しつつあることが確認された。

# コラム5-6:なぜモニタリングが重要か?奄美大島マングース防除事業の事 例に学ぶ初期対応の重要性

諸澤崇裕 (一般財団法人自然環境研究センター)

外来種は侵入初期に検出し、防除を行った場合には根絶が達成しやすいが、ひとたび分布を拡大し、個体数が増加してしまうと管理や根絶には多大な労力と予算がかかることになる。奄美大島においては、ハブによる人身被害やクマネズミによる農業被害対策につながると期待され、1979 年にマングース 30 頭が放獣された。マングースが放獣された当初は固有種のアマミノクロウサギやアマミトゲネズミ、ケナガネズミなどへの影響を懸念する声も一部であったものの、島民の多くはハブが減ることを期待していた。しかし、予想に反してハブは減少せず、マングースのみが増加を続けていった。マングースが増加を続ける中、在来生態系への影響がより懸念されるようになり、奄美哺乳類研究会が調査したところ、1989 年頃には在来生態系への影響が甚大であることが徐々に明らかとなっていった。このことから、日本哺乳類学会により、環境庁(当時)や鹿児島県に「移入哺乳類への緊急対策を求める要望」が決議され、要望書が提出された。このような状況を受け、2000年より本格的な捕獲事業が始まり、捕獲事業自体はモデル事業、報奨金制度事業、奄美マングースバスターズによる捕獲と変遷を遂げながら現在に至っている。

現在、わな設置密度が高い地域では尾根に 50m 間隔で捕殺式のわなが設置され、その設置基数は奄美大島全域で約 30,000 基にも及ぶ。奄美マングースバスターズは日々わなの 点検を行い、近年は年間約 260 万わな日 (1 基のわなを 1 回点検すると有効期間は 8 日間、つまり 8 わな日として算出) 程度の努力量が投じられている (図 1)。

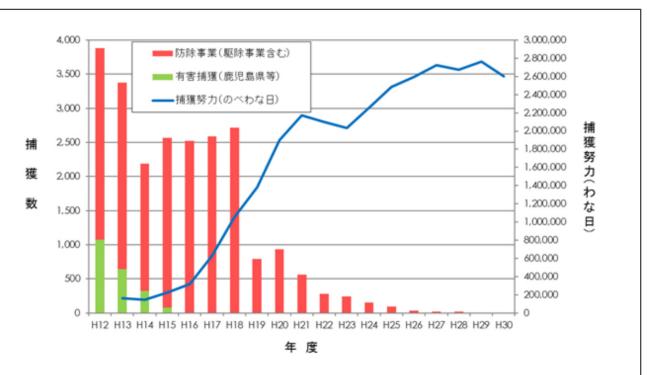


図1 マングース捕獲数と捕獲努力量の経年変化

環境省那覇自然環境事務所 HPより引用(http://kyushu.env.go.jp/okinawa/pre\_2019/post\_84.html)

また、2009年からはマングース探索犬も導入され、残存個体の検出や捕獲および糞の探索による根絶確認と多岐にわたって活躍しており、現在生体探索犬が11頭、糞探索犬が2頭運用されている。以上のようなわなや探索犬による防除が行われてきた結果、2018年度には捕獲数が1頭まで減少し、根絶まであと一歩のところまで来ているが、奄美マングースバスターズが組織的な捕獲を2005年から開始して15年が過ぎようとしている。仮に今後捕獲数が0頭になったとしても、それで根絶とは言えない。712平方キロメートルという広大な島のどこかに細々とマングースが残存している可能性もあるのである。このため、捕獲がなくなった後も継続的にモニタリングを実施し、本当に根絶できたと言える日までモニタリングを続けなければならない。加えて、沖縄島等からの再侵入防止の観点から、港や空港等でも継続的な監視が必要である。このように、一度定着し、数が増えてしまった外来種を根絶するためには、根絶するまでだけでなく、根絶後にも多大な労力がかかることとなる。こういったことを防ぐためにも、未然の侵入防止および侵入初期における検出ができるモニタリング体制を構築することが必要不可欠である。

# 引用文献

- 赤羽俊亮・日野貴文・吉田剛司(2014)エゾシカの高密度化が食糞性コガネムシ群集に与える影響.日本応用動物昆虫学会誌 58(3): 269-274.
- Both C, Bouwhuis S, Lessells CM & Visser ME (2006) Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. Nature 441: 81-82.
- Canham, C. D., P. T. LePage & K. D. Coates (2004) A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. Canadian Journal of Forest Research 34(4): 778–787.
- Canham, C. D. & M. Uriarte (2006) Analysis of neighborhood dynamics of forest ecosystems using likelihood methods and modeling. Ecological Applications 16(1): 62–73.
- Fujita, A., Maeto, K., Kagawa, Y. & Ito, N. (2008) Effects of forest fragmentation on species richness of ground beetles (Coleoptera: Carabidae and Brachinidae) in urban landscapes. Entomological Science 11: 39–48.
- 古澤仁美・宮西裕美・金子真司・日野輝明(2003)ニホンジカの採食によって林床植生の 劣化した針広混交林でのリターおよび土壌の移動. 日本林学会誌 85:318-325.
- 古澤仁美・日野輝明・金子真司・荒木誠(2006)大台ケ原においてニホンジカとミヤコザ サが表層土壌の温度・水分状態に及ぼす影響. 森林立地 48:91-98,
- Furusawa, H., Hino, T., Kaneko, S. & Araki, M. (2011) The effects of understory grazing by deer on aboveground N input to soil and soil N mineralization in a forest on Mt. Ohdaigahara in Japan. 森林立地 53: 1–8.
- Habu, A. (1978) Fauna Japonica, Carabidae: Platynini (Insecta: Coleoptera). Keigaku publishing.
- Higashi, S., Fukuda, H., Haruki, M. & Ito, K. (1983) Faunal makeup and distribution of ground beetles in a dairy area Bekkai, northern Japan. 環境科学: 北海道大学大学院環境科学研究科紀要 6: 15–26.
- Higashi, S., Fukuda, H., Haruki, M. & Ito, K. (1984) Faunal makeup and distribution of ground beetle in Kushiro city and its vicinity, northern Japan. 環境科学: 北海道大学大学院環境科学研究科紀要 7: 95–107.
- 平松新一(2011) 高山帯雪田環境における地表性ゴミムシ類(オサムシ科)の出現状況. 昆蟲(ニューシリーズ) 14:281-289.
- 堀繁久(2001) オサムシ科甲虫群集からみた森林のエッジ効果. 北海道開拓記念館研究紀要 29:51-58.
- 堀 繁久 (2003) 孤立林のオサムシ科甲虫群集の特性. 北海道開拓記念館研究紀要 31:15-28.
- Iida, T., Soga, M., Hiura, T. & Koike, S. (2016) Life history traits predict insect species responses to large herbivore overabundance: a multitaxonomic approach. Journal of

- Insect Conservation 20: 295-304.
- Iida, T., Soga, M. & Koike, S. (2018) Large herbivores affect forest ecosystem functions by altering the structure of dung beetle communities. Acta Oecologica 88: 65–70.
- 井村有希・水沢清行(2013)日本産オサムシ図説. 昆虫文献 六本脚.
- 稲泉三丸(1966)日本産オサムシ亜科の後翅の形態に関する研究. 昆蟲 34:248-265.
- 井上みずき・合田禄・阪口翔太・藤木大介・山崎理正・高柳敦・藤崎憲治(2008)「ニホンジカの森林生態系へのインパクト-芦生研究林」企画趣旨. 森林研究 77: 1-4.
- Ishikawa, R. (1992) Taxonomic studies on *Leptocarabus* (*Adelocarabus*) arboreus (Lewis) (Coleoptera, Carabidae). Tokyo Metropolitan University Bulletin of Natural History 1: 1–40.
- 石谷正宇(1996)環境指標としてのゴミムシ類(甲虫目:オサムシ科,ホソクビゴミムシ科)に関する生態学的研究. 比和科学博物館研究報告 34:1-110.
- 伊藤雅道・辰田秀幸・尾崎泰哉 (2007) 丹沢山地におけるシカによる環境変化が土壌動物 群集へ及ぼす影響. 丹沢大山総合調査団編 - 丹沢大山総合調査学術報告書. pp.353-356.
- 香川理威・伊藤昇・前藤薫(2008) 小スケールのモザイク植生で構成される農地景観における歩行虫類の種構成. 昆蟲 (ニューシリーズ) 11:75-84.
- 環境省那覇自然環境事務所・一般財団法人自然環境研究センター(2018) 平成 29 年度奄美大島におけるフイリマングース防除事業報告書.
- 環境省那覇自然環境事務所・株式会社南西環境研究所(2018)沖縄島北部地域マングース 防除事業報告書.
- Katagiri, N. & Hijii, N. (2017) Effects of sika deer browsing on soil mesofauna in a thinned Japanese cypress plantation. Journal of Forest Reserch, 22: 169–176.
- Katakura, H., Sonoda, M. & Yoshida, N. (1986) Carrion beetle (Coleoptera, Silphidae) fauna of Hokkaido University Tomakomai Experimental Forest, northern Japan, with a note on the habitat preference of a Geotrupine species, *Geotrupes laevistriatus* (Coleoptera, Scarabaeidae). 北海道大学農学部演習林研究報告 43: 43–55.
- Katakura, H. & Fukuda, H. (1975) Faunal makeup of ground and carrion beetles in Kamiotoineppu, Hokkaido University Nakagawa Experimental Forest, northern Japan, with some notes on related problems. 北海道大学農学部演習林研究報告 32: 75–92.
- 川井信矢・堀繁久・河原正和・稲垣政志(2005)日本産コガネムシ上科図説(第1巻食糞群). 昆虫文献 六本脚.
- Kohyama, T. S, T. I. Kohyama & D. Sheil (2019) Estimating net biomass production and loss from repeated measurements of trees in forests and woodlands: Formulae, biases and recommendations. Forest Ecology and Management 433: 729–740.
- Koike, S., Soga, M., Nemoto, Y. & Kozakai, C. (2014) How are dung beetle species affected by deer population increases in a cool temperate forest ecosystem? Journal of Zoology 293: 227–233.

- 久保田耕平 (1998) 東京大学演習林田無試験地におけるオサムシ科昆虫 (Carabidae) の活動性の季節変動-特に繁殖季節について-. 東京大学農学部演習林報告 100: 1-11.
- Loreau, M. & C. de Mazancourt (2008) Species synchrony and its drivers: neutral and nonneutral community dynamics in fluctuating environments. The American Naturalist 172: 48–66.
- Matsushita, M., Takata, K., Hitsuma, G., Yagihashi, T., Noguchi, M., Shibata, M. & Masaki, T. (2015), A novel growth model evaluating age-size effect on long term trends in tree growth. Functional Ecology 29: 1250-1259.
- Martin, S. J. (1992) Seasonal and altitudinal distribution of ground beetles (Coleoptera) in the Southern Alps of Japan. 昆蟲 60: 26–38.
- Ohta, Y., Kobayashi, N., Suzuki, S., Kato, T., Hori, S., Yamauchi, S. & Katakura, H. (2009) Evolution of flight-muscle polymorphism in the dung beetle *Phelotrupes laevistriatus* (Coleoptera: Geotrupidae): a phylogeographic analysis. Annals of the Entomological Society of America 102: 826–834.
- 岡田拓也・須田知樹(2012)栃木県奥日光における林床環境の違いがオサムシ科甲虫の群集構造に与える影響.地球環境研究 14:1-6.
- Okuzaki, Y., Tayasu, I., Okuda, N. & Sota, T. (2010) Stable isotope analysis indicates trophic differences among forest floor carabids in Japan. Entomologia Experimentalis et Applicata 135: 263–270.
- Pozsgai, G. & N. A. Littlewood (2014) Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) population declines and phenological changes: Is there a connection? Ecological Indicators 41: 15–24.
- Saitoh, S., Mizuta, H., Hishi, T., Tsukamoto, J., Kaneko, N. & Takeda, H. (2008) Impacts of deer overabundance on soil macro-invertebrates in a cool temperate forest in Japan: a long-term study. 森林研究 77: 63–75.
- Sakai, M., Natuhara, Y., Imanishi, A., Imai, K & Kato, M. (2012) Indirect effects of excessive deer browsing through understory vegetation on stream insect assemblages. Population Ecology 54: 65–74.
- Sakai, M., Natuhara, Y., Fukushima, K., Naito, R., Miyashita, H., Kato, M. & Gomi, T. (2013) Responses of macroinvertebrate communities to 4 years of deer exclusion in first- and second-order streams. Freshwater Science 32: 563–575.
- 崎尾均・久保満佐子・川西基博・比嘉基紀 (2013) 秩父山地におけるニホンジカの採食が 林床植生に与える影響. 日本緑化工学会誌 39(2): 226-231.
- 佐野宏昭(1995)金沢市内における地表性歩行虫の種類相と生活史.金沢大学理学部付属植物園年報 18:23-32.
- 佐藤司郎・鈴木牧・谷脇徹・田村淳(2018) 丹沢山地におけるシカの増加がオサムシ科甲 虫に及ぼす間接的影響. 日本森林学会誌 100:141-148.
- Seki, Y. & Koganezawa, M. (2013) Does sika deer overabundance exert cascading effects

- on the raccoon dog population? Journal of Forest Research 18: 121-127.
- 渋谷園実・桐谷圭治・村上健・深谷緑・森廣信子・矢島民夫・福田健二(2015)解剖によるクロツヤヒラタゴミムシの食性調査. 昆蟲(ニューシリーズ) 18:95-103.
- 渋谷園実・桐谷圭治・福田健二(2017)クロツヤヒラタゴミムシの生態-成虫の季節消長, 繁殖様式,飛翔能力. 昆蟲(ニューシリーズ) 20:19-31.
- 渋谷園実・桐谷圭治・福田健二(2018)地表徘徊性甲虫類(オサムシ科、クビホソゴミムシ科)の後翅-形態と後翅長および各亜科の特徴.日本生態学会誌 68:19-41.
- Sota, T., Takami, Y., Kubota, K., Ujiie, M. & Ishikawa, R. (2000a. Interspecific body size differentiation in species assemblages of the carabid subgenus *Ohomopterus* in Japan. Population Ecology 42: 279–291.
- Sota, T., Takami, Y., Kubota, K. & Ishikawa, R. (2000b. Geographic variation in the body size of some Japanese *Leptocarabus* species (Coleoptera, Carabidae): the "toppled-domino pattern" in species along a geographic cline. Entomological Science 3: 309–320.
- Sota, T. (1996) Altitudinal variation in life cycles of carabid beetles: life-cycle strategy and colonization in alpine zones. Arctic and Alpine Research 28: 441–447.
- 曽田貞滋(2000)オサムシの春夏秋冬-生活史の進化と種多様性.京都大学学術出版会.
- Stewart, A. J. A. (2001) The impact of deer on lowland woodland invertebrates: a review of the evidence and priorities for future research. Forestry 74: 259–270.
- Suda, K., Araki, R. & Maruyama, N. (2003) Effects of sika deer on forest mice in evergreen broad-leaved forests on the Tsushima Islands, Japan. Biosphere Conservation 5: 63-70.
- 末吉智秀・田代健二・今岡成紹・平山知宏・平田令子・伊藤哲(2018)宮崎県のスダジイ・ ツブラジイ優占林におけるブナ科樹木萎凋病被害. 日本林学会誌 100:224-228.
- Suzuki, M. & Ito, E. (2014) Combined effects of gap creation and deer exclusion on restoration of belowground systems of secondary woodlands: A field experiment in warm-temperate monsoon Asia. Forest Ecology and Management 329: 227–236.
- Suzuki, S.N., M. I. Ishihara & A. Hidaka (2015) Regional-scale directional changes in abundance of tree species along a temperature gradient in Japan. Global Change Biology 21: 3436–3444.
- 高桑正敏・深田晋一・藤田裕(2007) 丹沢三ッ峰における植生保護柵内外の昆虫調査. 丹沢大山総合調査団編 丹沢大山総合調査学術報告書. pp.227-231.
- Takami, Y. & Ishikawa, R. (1997) Subspeciation and distribution pattern of *Carabus albrechti* Morawitz in Japan (Coleoptera, Carabidae). TMU Bulletin of Natural History 3: 55–99.
- 田中美江・斉藤麻衣子・大井圭志・福田秀志・柴田叡弌(2006)大台ヶ原におけるササの 繁殖とネズミ類の生息状況:特に防鹿柵の設置と関連づけて.日本森林学会誌 88:348-353.

- 谷脇徹・久野春子・岸洋一(2005)都市近郊林の林床管理区および短期・長期放置区における地表性甲虫相の比較. 日本緑化工学会誌 31:260-268.
- 塚本珪一・稲垣政志・河原正和・森正人(2017)日本のセンチコガネとその仲間.むし社.
- 上村清・中根猛彦・小山長雄(1962)日本アルプス常念岳における歩行虫類の分布(高山の昆虫の研究II).京都府立大学学術報告(理学及び家政学) 3:197-210.
- 上田明良・日野輝明・伊東宏樹(2009a)ニホンジカによるミヤコザサの採食とオサムシ科 甲虫の群集構造との関係. 日本林学会誌 91:111-119.
- 上野俊一・黒澤良彦・佐藤正孝 (1985) 原色日本甲虫図鑑 (Ⅱ). 保育社.
- 植田睦之(2014)温度ロガーをもちいたヤマガラの繁殖時期のモニタリング. Bird Research 10: F21-F25.
- 若原妙子・石川芳治・白木克繁・戸田浩人・宮貴大・片岡史子・鈴木雅一・内山佳美(2008) ブナ林の林床植生衰退地におけるリター堆積量と土壌侵食量の季節変化—丹沢山地堂平 地区のシカによる影響—. 日本森林学会誌 90:378-385.
- Yamada, H. & Takatsuki, S. (2015) Effects of deer grazing on vegetation and ground-dwelling insects in a larch forest in Okutama, Western Tokyo. International Journal of Forest Research 2015, Article ID 687506.
- Yamazaki, K., Sugiura, S. & Kawamura, K. (2002) Environmental factors affecting the overwintering distribution of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on a forest floor in central Japan. Entomological Science 5: 125–130.
- 柳洋介・高田まゆら・宮下直 (2008) ニホンジカによる森林土壌の物理環境の改変: 房総 半島における広域調査と野外実験. 保全生態学研究 13: 65-74.

# 第6章 第4期に向けた課題と方針

本章では、森林・草原調査におけるこれまでの取組みや、第2期とりまとめで整理した第3期調査の課題と展望を踏まえ、第3期(2013~2017)における本事業の成果、および第4期(2018~2022)に向けた課題と今後の進め方について、「サイト配置及び調査手法の改善」、「持続可能な調査体制」、「情報の共有・管理及び発信」、「結果の保全施策への活用」、「国際的枠組みとの連携」の5つの項目に沿って整理した。

# (1) サイト配置及び調査手法の改善

### <目標>

• 生態系変化をより高精度かつ効率的に把握するためのサイト配置を行い、調査・解析・ 評価の手法を改善する。

#### <第3期の状況>

- 森林・草原調査では第1期から第2期にかけて、日本の代表的な森林タイプや気候帯 を網羅し、かつ「生物多様性保全のための国土10区分」を踏まえた全国各地へのサイ ト配置(第2章参照)が完了し、樹木、地表徘徊性甲虫及び鳥類を指標生物群の選定 (第1章参照)、各指標生物の調査手法がほぼ確立し(第3章参照)、第3期まで継続 的に調査を実施している。
- 一方、第2期から第3期にかけて、生態系変化を効率的に把握するための調査手法上 の改善策として、以下の課題について検討を進めた。
  - ▶ 簡潔で効果的な調査手法の開発や、調査マニュアル改定・新規作成等の技術的支援
  - ▶ 現状の調査プロトコルではデータを取得していない林床環境への対応

#### <第3期の成果>

#### ○調査サイトの配置

- コアサイト 20 か所、準コアサイト 28 か所、一般サイト 419 か所(森林 347、草原 72) であり、第 2 期に設置が完了した調査サイト数を維持している。一方、一般サイトは 第 2 期までに 419 か所(森林 345、草原 74)に設置し、そのうち第 3 期に解析可能な データが得られたのは 389 か所(森林 319、草原 70)である。
- 草原サイトは当初よりサイト数が少ないことから、第4期調査に向けて森林サイトの 一般サイトを近傍のサイトで植生や標高帯が類似しているサイトに統合することによ って、草原サイトを6サイト増やした。なお、選定した草原サイトは草原サイトの少 なかった、日本海側、九州、中国地方にそれぞれ2サイトずつ設置した。

# ○調査手法の改善

- 第2期とりまとめで挙げられた調査手法上の課題について対応を検討し、可能なものから順次、改善に取り組んだ。
- 落下種子調査では、各サイトが種子の健全性の判別に時間を要していることが明らかとなった。また、種子の仕分け・判別方法等について他のサイトとの情報交換や精度のすり合わせ等を望む意見もあった。
  - ▶ 種子の回収時期・場所、未同定や同定が不確かなサンプルの情報を記録に残すと ともに、サンプルを保管することを追記して落葉落枝・落下種子調査マニュアル を改定した。
  - ▶ ケーススタディーとして九州・沖縄地区の常緑広葉樹林サイトを対象に、仕分け作業の実務担当者を交えた落葉落枝・落下種子の仕分け講習会を実施。仕分け手法の工夫等の情報交換、課題の共有と改善案について意見交換を行った。
- 調査マニュアルに基づく現地調査ではデータが得られない、シカの分布拡大・密度増加、病虫害(マツ枯れ・ナラ枯れ等)の発生状況、外来種の侵入状況について、各サイトへのアンケート調査によって情報を収集した。
- 気候変動による紅葉時期や樹種構成の変化、シカの増加に伴う林床植生の衰退、病虫 害による樹木の集団枯死等、森林景観の変化を定性的に記録するため、定点写真の撮 影方法を検討し、毎木調査マニュアルを改定した。

## <第4期に向けた課題と展望>

#### ○調査サイトの配置

- 一方で、遠隔地の調査サイト等では、調査予算や調査体制の面から、これまで調査未 実施のサイト(西表:準コア)や、継続が困難になる可能性のあるサイト(小笠原石 門:準コア)、一部の調査項目を中止したサイト(小佐渡:コア)も生じている。
  - ▶ 国立公園や世界自然遺産登録地等、調査の継続が特に重要と考えられるサイトもあることから、調査の実施・継続に向けた検討が必要である。
- 一般サイトでは台風等で被災した林道等が復旧されないため、アクセスできないサイトがあった。このような状況は今後も継続して発生する可能性があるため、植生や標高帯に留意しつつ、近傍にサイトを変更する等の対応が必要となってくる。
  - ▶ サイトを変更する場合には、その変更履歴等を確実に残すとともに、解析にあたっては、同一地点として扱えるかの検討が必要。今後、変更を必要とする調査サイトの実例を元に、基準の検討を行う。

### ○調査手法の改善

- 落葉落枝・落下種子調査では、仕分け手法やサイト間の仕分け精度のすり合わせに必要な支援ツール(例:仕分け対象種リスト、仕分け作業フロー、判別のポイント図等)を整理し、サイト間で共有していく重要性が、仕分け講習会において明かになった。今後引き続き、九州・沖縄地方の常緑広葉樹林サイトを試行対象に、支援ツール作成とホームページ上の共有を進める。
- 九州・沖縄地区の常緑広葉樹林サイトを対象に実施した講習会参加者へのアンケート

で、講習会開催の有効性が挙げられており、今後は他の地域・森林タイプのサイトへの展開も検討する。

• 種子がごく小さく、かつ数の多い種については、一定数のサンプル中の不稔種子の割合から、全体の不稔種子指数を換算する方法等も引き続き検討する。

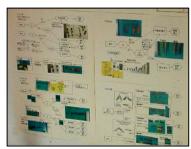
# コラム6-1:仕分け講習会をやってみて分かったこと

桐原 崇(一般財団法人自然環境研究センター)

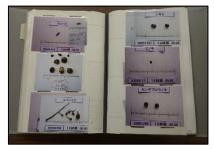
落葉落枝・落下種子調査においてリター・シードトラップの内容物を仕分ける作業は、経験と技術が必要で、熟練した担当者が担っているサイトが多い。担当者が十分に技能を継承する前に退職すると、調査精度の維持が困難になることが課題となっていた。また、仕分け、判別方法等について他のサイトとの情報交換を望む声があった。そこで、平成29年度に九州・沖縄の常緑広葉樹林サイトを対象に、仕分け担当者向けの講習会を開催し、各サイトが行っている工夫の紹介や課題の共有、改善に向けた意見交換を行った。

講習会では、種子の同定方法、成熟具合(充実、未熟)や健全性(しいな)の判定基準にサイト間でバラつきがあることが課題として挙げられた他、作業そのものの効率化を求める意見が出た。また、各サイトでは、独自に仕分け対象種のリストや種同定のポイントをまとめた資料、仕分け手順のフローチャートを作成する等の工夫が行われていた。

一方、各サイトにおける工夫や資料は、あくまで独自の取り組みとしてサイト内で活用されており、種同定の基準や精度の均一化を図っていくためには、各サイトの工夫や資料を整理し、サイト間で共有することと、共有のための仕組み作りが必要であることが明かとなった。今後、各サイトからの情報収集や情報共有の方法について検討を進めていく。







写真、各サイトで作成した効率的に仕分けるための資料の例

左:種別の判定手順を示すフローチャート例(北海道大学苫小牧研究林作成)、

中央:種同定のための資料例(森林総合研究所九州支所作成)、

右:種同定のための資料例(宮崎大学農学部附属フィールド科学教育研究センター作成)

# (2) 持続可能な調査体制

#### <目標>

• 調査を 100 年継続することを目指して、持続可能な調査体制を構築する。

## <第3期の状況>

- 第3期は、第2期までに構築した調査体制をほぼ維持している。
- コア・準コアサイトでは、大学演習林や森林総合研究所の試験地を中心に、個々の研究者が設置した調査区も含み、研究者主体、あるいは、研究者と地元 NPO の協働で現地調査を実施し、北海道大学苫小牧研究林内に設置したネットワークセンターが調査の支援とデータの整理を実施する体制が構築されている。
- コア・準コアサイトの鳥類調査と一般サイト(陸生鳥類調査)では、日本野鳥の会の 各支部の会員を中心に研修会等で養成された調査員による調査体制が構築されている。
- 一方、事業開始から第3期で15年が経過し、調査関係者の異動や定年退職、高齢化による引退等に際しての指導者や熟練した調査員等の後継者不在、調査経費等の面から、調査の計画的な実施が難しいサイトが生じつつある。
- 今後、長期モニタリングの継続に当たって、上述の調査体制をいかに持続可能なものとするかが課題であり、第3期では具体的な対応について検討や対策の試行を進めた。
- また、第4期に向けた持続可能な調査体制について関係者にアンケートを行い、各サイトが抱える課題の抽出を行った。

# <第3期の成果>

#### ○調査サイトの維持と調査の継続

- コア・準コアサイトでは、調査人員が不足するサイトに対して、ネットワークセンターが現地調査の支援を行った。
- サイト代表者の後継者不在や調査員等の減少等で、調査を計画通りに実施することが 難しいサイトが生じつつある。今後運営困難なサイトが生じた場合の調査支援体制や、 余力のあるサイト代表者への譲渡・移管、新たなサイト代表者の公募等、現段階で取 り得る対応の検討を開始した。
  - ▶ 調査人員の不足等が生じた場合には、サイトの調査予定や調査補助者の募集情報をメーリングリストで共有し、サイト代表者から若手研究者に情報提供する等の方向性が考えられた。
- 地表徘徊性甲虫調査では、ピットフォールトラップの回収間隔・頻度の高さ(設置・回収まで3日間隔を4回/年実施)から調査継続が困難になりつつあるサイトがあった。
  - ▶ 調査間隔を年4回から3回に変更した場合に同等の成果が期待されるか、過去の データセットをもとに検証した。
  - ▶ 今後も従来の調査頻度で継続するが、それが困難なサイトが生じた場合には、調

査頻度を減らす適切な時期等、調査を継続しやすい方向性を示すことができた。 ○新たな調査の担い手(調査員等)の確保

- 新たな調査の担い手の確保方法として、第3期には以下の取組みが成された。
  - ▶ 教育機関との連携の可能性を検討するため、平成 28 年度より、カヌマ沢サイト (コア/岩手県)を対象に、自然環境系専門学校のインターンシップ導入を試験 的に実施し、その効果や体制・運営上の課題等を検証している。
  - ▶ NGO (アースウォッチ・ジャパン) による研究支援プログラムに関する基礎情報 を収集整理した。
  - ➤ 奄美サイト(準コア/鹿児島県)では自主事業として、モニタリングサイト 1000 事業及び奄美サイトの紹介動画を作成し、Youtube 上で公開している。
  - ▶ 一般サイト及びコア・準コアサイトの鳥類調査では、全国各地でのべ19回の調査研修会を開催した。第3期には大学の野鳥関連サークル等にも研修対象を拡大し、準コアサイトの野幌サイト(北海道)は酪農学園大学野生動物生態研究会、青葉山サイト(宮城県)は東北大学野鳥の会が、毎年調査を実施する体制が構築された。

### ○調査員等の能力向上

落葉落枝・落下種子調査では、ケーススタディーとして九州・沖縄地区の常緑広葉樹林サイトを対象に、落葉落枝・落下種子の仕分け講習会を実施。仕分け手法の工夫等の情報交換、課題の共有と改善案について意見交換を行った(前項(1)参照)。

#### ○調査手法の細部にかかる情報共有等

- モニタリングの長期継続にあたって、調査責任者や担当者の交代等が生じた場合、調査マニュアルでは触れられていない調査手法の細部について、各サイトや担当者が個別の事情で対応すると、将来的に調査手法やデータ精度の統一が難しくなることも懸念された。ホームページ上で作業上の細部の問題や対処方法等の情報を記録し、サイト間で情報共有するシステムを検討した。
  - ▶ (例)種子の健全性の判別方法等、各サイトで判定基準が不明瞭なケース等。
- 今回検討した、Pukiwiki を用いたホームページ上の情報共有システムは、情報の入力 方法に一定程度の習熟を要することから、各サイトの調査担当者が使いこなすには敷 居が高いと考えられた。
- 平成29年度に実施した講習会(前項の(1)を参照)で、落葉落枝・落下種子の仕分け講習会を実施。仕分け手法の工夫等の情報交換、課題の共有と改善案について意見交換を行った。担当者同士が直接情報交換することの有効性や、作業上の参考資料等が共有可能なWebページの必要性等の意見が挙げられた。
  - ▶ 落葉落枝・落下種子の仕分け講習会のような人的交流・情報交換の場の構築と、それらを通して必要と考えられた共有資料をホームページ上で提供する仕組みの、 2本立てで支援する方が効果的と考えられた。

#### ○調査員の調査意欲の維持

• 第2期とりまとめでは、調査員のモチベーション維持、新たな調査の担い手確保において、モニタリングサイト 1000 事業の調査成果や事業の認知度不足も、調査関係者

から指摘されていた。

- 第3期には、研究者を主な対象に下記の学会での集会やシンポジウム、ワークショップ等を開催し、モニタリングサイト 1000 の成果や調査結果活用の普及啓発を実施した。
  - ▶ 第62回日本生態学会大会(2015年3月、鹿児島)で企画集会「モニタリングサイト1000の10年の成果から分かったこと」を開催。モニタリングサイト1000森林・草原調査第2期とりまとめ報告書概要版を配布。
  - ➤ 大山沢サイト (コア:埼玉県) でシンポジウムを開催 (2016年:原生の森の成り 立ちとニホンジカの影響-環境省モニタリングサイト 1000 の調査結果から)
- 陸生鳥類調査では、第3期にはそれまで各地で行ってきた鳥類調査の研修会で、結果報告や調査方法の講習だけでなく調査員が交流をすることで、調査意欲の維持向上を図れるように調査や活動の発表の場を設けた。

## ○調査サイトの環境に配慮した調査手法

- 地表徘徊性甲虫調査では、調査実施頻度による負担(3日間隔でトラップ設置・回収を年4回実施)が懸念された。また、トラップを設置したサブプロットへの立ち入り頻度が高いため、土壌の踏み固め、下層植生や堆積落葉層の攪乱等の影響が懸念された。
- 調査上の環境配慮事項を調査マニュアルに明記したことで、林床環境への影響を最小限に抑えながらの調査継続が今後も可能になった。
  - ▶ 調査を簡略化(年4回を年3回に変更)した際の調査精度を、過去データから検証 した。回収頻度を年3回に変更した際に、従来と同程度の効果が期待できる回収 時期が明かとなった。
  - ▶ 踏圧対策として、サブプロットをロープ等で囲い、調査時以外は内側に立ち入らない。調査で立ち入る際も、歩く場所を毎回同じにする等の環境配慮事項を記載した調査マニュアルに改定した。

#### <第4期に向けた課題と展望>

- 本事業開始から15年が経過し、各調査サイトを担当する専門家(サイト代表者/調査 員等)の高齢化も進み、次代を担う後継者確保の必要がある。
- 100 年を目標として生態系の長期観測を行う本事業では、各サイトを長期的に維持し、 調査員の適切な確保と世代交代を図ることが、持続的な調査体制として重要である。
- 第3期には、調査手法の改善(調査頻度の見直し、調査手法の簡略化)、調査員等の能力やモチベーション向上(講習会の開催)、サイト間の情報共有システム、調査員等確保の新たな仕組み(教育機関のインターンシップ導入試行)等が、具体的に検討された。
  - ➤ これらの取組みは、計画通りの調査実施が困難なサイトが生じた場合の調査負担 軽減案や、支援策として試行検討中のものであり、第4期も引き続き検討が必要 である。

- なお、コアサイトと準コアサイトでは今後、諸事情により調査を中断せざる得ないサイトが生じる可能性もあるため、調査再開時にプロットの範囲を復元できるように全プロットの立木位置図や樹冠断面図を整備してはどうかとの指摘がある。
  - ➤ 各プロットの四隅の位置は GPS で測定し緯度経度を記録しているが、プロットの 復元のために十分な精度かを検討する。
- 環境省生物多様性センターのモニタリングサイト 1000 ウェブサイトを通じた調査成果の公表や、研究者によるモニタリングサイト 1000 データを含む研究成果の発表が進められているが(次項(3)参照)、調査成果や事業の認知度の不足も調査関係者から指摘されている。
  - ➤ 第3期には、学会等の研究者が多く集まる場で、集会やシンポジウム等を開催し、 モニタリングサイト 1000 の成果を発表する広報活動を通じて、多くの研究者の方 に森林・草原調査に関心を持っていだけるよう努めた。
  - ▶ 他の生態系と併せ全国的な講習会の実施や出前調査などの実施を検討する。
- 一方で、ウェブサイトや SNS 等を活用した情報発信の充実、調査への継続的な参画による事業への貢献等に対する表彰制度等、調査の知名度の向上を含めた普及活動は、第2期から引き続きの課題である。
- 陸生鳥類調査 (コア・準コアの鳥類、一般サイト) では、日本野鳥の会の各支部の会員を中心に研修会で養成された調査員が調査の担い手となっているが、その高齢化も進んでいる。
  - ▶ 引き続き、研修会を通じてモニタリングサイト 1000 の成果を報告すると同時に、 参加者が必要とする情報や研修効果の把握に努める。
  - ▶ また、鳥類調査について同様の調査手法・体制で実施しているモニタリングサイト 1000 里地調査と連携して地方交流会を開催する等を通じて調査に対する市民の関心を高め、新たな調査員を育成していく必要がある。
  - ▶ ガンカモ類調査、シギ・チドリ類調査などのモニタリングサイト 1000 の他の鳥類調査と併せ市民調査員による調査体制の維持及び強化のための全国的な講習会の実施を検討する。
  - ▶ 日本野鳥の会の各支部が行った調査結果は個別に支部に還元し、地域の保護活動や環境教育、レッドリスト改定等のために活用可能な資料となることで、調査継続のモチベーションが維持される。

## コラム6-2:インターンシップの実施

吉村 妙子(一般財団法人自然環境研究センター)

モニタリングサイト 1000 森林・草原調査は長期的なモニタリングを予定していることから、調査の継続性を担保するために新たな調査スタッフの確保が課題の一つとなっている。第2期には新たな調査員確保・養成の方法として教育機関との連携を模索する必要性も考えられた。そこで、2017 年度と 2018 年度に学校法人東京環境工科専門学校のインターンシップ制度を活用して学生にコアサイトの現地調査に参加いただいた。詳細は以下のとおり。なお、調査前に専門学校内でテレビ会議を用いたサイト代表者によるガイダンスを実施している。

#### ○2017 年度 カヌマ沢サイト

9月11日(月)~15日(金)の日程で4年生1名が参加した。学生はサイト代表者とペアになり適宜指導を受けながら毎木調査の他、サイト内の実生調査を行った。

#### ○2018 年度 小川サイト

9月18日(火)~21日(金)の日程で、4年生4名が参加した。初日に室内講義と現地での毎末調査実技を計3時間程度行い、2日目から毎末調査及びリター・シードトラップ回収を行った。

事後に両サイトのスタッフから、学生は調査員として十分戦力になる、前向きな姿勢を 持っており教え甲斐がある等、高い評価が得られた。また学生からも、手厚く指導いただ いた上に先進的な調査に参加できるやりがいを感じたなど、好評な感想が聞かれた。

今回インターンシップ制度活用の有効性が確認され、今後の他のサイトへの展開も期待される。その一方で、十分な人数の継続的な確保、関心のある学生に届く広報の工夫が課題だろう。また内容については学校側の単位認定制度に合わせて、モニタリングサイト1000以外の調査を含めるなど、より多彩なプログラムを検討してもよい。実施時期や交通費・宿泊費などは、サイト個別の事情に応じて可能な範囲で調整が可能であろう。

今後も、より効果的・安定的な調査員の確保のため、改善を加えつつインターンシップを継続していく予定である。加えて、インターンシップを通じてモニタリングサイト 1000 事業が持つ学生への教育上の価値も表現できればと思う次第である。



写真 1 カヌマ沢サイトの学生による毎木調査



写真2 小川サイトの室内講義風景

## (3)情報の共有・管理及び発信

#### <目標>

情報の共有、管理及び発信のための情報管理体制を構築し、保全や研究のために効果 的に情報を発信する。

#### <第3期の状況>

- モニタリングサイト 1000 は、生態系の異変をいち早く捉え、自然環境保全施策に貢献することを目的としている事業である。そのため、本事業で得られた調査成果を適切に管理・発信し、行政機関が利用するだけでなく、より幅広い主体に対して成果を共有していくことが重要な目標の1つである。
- 調査データの帰属や取り扱いと管理体制や標本(落葉落枝・落下種子、地表徘徊性甲虫)の保管は、第2期までにほぼ整備され、第3期はそれらを適切に運用してきた。
- 第3期は、ウェブサイトによるデータ公開や、論文・学会発表等の情報発信が進んだ。
- また、第3期には、国内の教育・研究機関や地方自治体等からの問い合わせ(助言の 依頼)に対応している。

#### <第3期の成果>

#### ○調査結果の公開

- 環境省生物多様性センターのモニタリングサイト 1000 のウェブサイトで下記を公開 しており、誰でも自由にダウンロードして利用することが可能である。
  - ▶ 調査マニュアル:各調査項目別の調査手法等を解説。
  - ▶ 報告書:毎年の調査結果をまとめた「調査報告書」。5年毎の「とりまとめ報告書」 とその概要版。
  - ▶ 速報:調査結果を一般向けに分かりやすく伝えるためのトピック的なまとめ。
  - ▶ 調査結果のデータファイル:測定した種名や数値を整理したデータベースファイル
    - ✓ なお、鳥類については、国内希少野生動植物種およびレッドリストの絶滅危惧 I 類および写真撮影等で繁殖に影響が懸念されている種については種名を伏せての公開としている。2017年にオオタカが国内希少野生動植物の指定の解除が行われたが、写真撮影等の影響が懸念される種として種名は継続して非公開としている。
- 第2期とりまとめ報告書は、概要版を作成・印刷(2000部)し、環境省内及び管轄施設(ビジターセンター等)、都道府県の試験研究機関等に配布した。
- 同一の地点・調査方法・調査制度により、動植物の生息・生育状況を継続的に収集したデータベースとして、生物多様性保全施策、環境アセスメント、環境教育等に利用されている。ウェブサイト閲覧数は平成 29 年度実績で約 10 万ページビューである。
- 平成25(2013)年に運用開始した環境省生物多様性センターの「いきものログ」への

データ登録が進められている。

#### ○学術論文や学会発表等による発信

- 調査データは国内外の研究者を対象に、生態学会の英文誌 Ecological Research のデータペーパーとして公開されている。
  - 第2期に公開した毎木データ(Ishihara et al., 2011)と落葉落枝・落下種子データ(Suzuki et al., 2012)に加え、第3期には地表徘徊性甲虫データ(Niwa et al., 2016)が公開された。
- 第3期(2013~2017年)の期間中に、調査関係者によって多くの論文や学会発表等が おこなわれた。
  - ▶ 論文:49件(第1期~2期は31件)、学会発表:90件(第1期~2期は31件)
  - ▶ 第62回日本生態学会大会で企画集会を開催(前述)。調査成果や活用事例の紹介と、今後の長期生態系モニタリングの進め方やデータの活用について議論した。
- このほか、調査関係者によって、大学等の講義や一般向けの講演会・公開講座等で、本事業の概要や調査結果等を含んだ話題提供が行われている。

## ○教育・研究機関や地方自治体等からの問い合わせ対応

- 各機関や自治体が実施している/計画している調査やデータの活用等について、モニタリングサイト 1000 の調査方法やデータに関する問い合わせ(助言等の依頼)に対応している(下記事例)。
  - ▶ 地表徘徊性甲虫調査の調査手法等(宮城県大崎市、伊豆沼・内沼環境保全財団、北 杜市オオムラサキセンター、九州大学、鳥取大学等)
  - 落葉落枝・落下種子調査の調査手法、データの活用等(埼玉県寄居林業事務所、帯 広市等)

## <第4期に向けた課題と展望>

- 広く一般に向けた情報発信(ウェブサイト等)や専門家等を主な対象とした情報発信 (論文・学会発表等)が進んだのに対し、モニタリングサイト 1000 事業内(生態系間)の情報共有や、調査結果の効果的な活用の観点から、第4期に向けた課題として以下が考えられた。
  - ▶ 複数の生態系に共通する課題(例:シカ増加による生態系への影響等)に対する、 モニタリングサイト 1000 事業の異なる生態系間の連携(情報交換や共同のデータ 解析等)。
  - ▶ 本事業の調査結果が、国(特に環境省)や地方自治体の保全施策に効果的に活用されるための、事業の知名度向上と調査結果の発信・情報提供。
    - ✓ ウェブサイト公開の生データではなく、保全施策を考える上で、生態系や生物 多様性の状態の変化とその影響要因の関係を分かりやすくまとめる。
    - ✓ 各都道府県に対し、生物多様性センターセンターで作成した成果物や調査予 定をメールで情報提供する取組みを継続する。
    - ✓ 成果の活用事例について、ホームページなどでの公表を検討する。

## (4) 結果の保全施策への活用

#### <目標>

調査結果が、国や地方自治体の生物多様性保全施策に効果的に活用される。

## <第3期の状況>

- モニタリングサイト 1000 は、生態系の異変をいち早く検出し、適切な生物多様性保 全施策に資することを目標の1つとしている。
- 第1期で長期モニタリングのためのベースラインデータが整備され、第2期以降、第 3期も引き続き、具体的な生物多様性保全施策に貢献するため、異変があった場合の 検出や調査・解析結果の提供を迅速に行う事が課題であった。

## <第3期の成果>

• モニタリングサイト 1000 事業の成果は、生物多様性センターに集約され、環境省、地方自治体、民間企業等のさまざまな主体によって活用されている。

#### ■ 環境省

- ① 各種計画策定への寄与(生物多様性国家戦略、生物多様性総合評価、生物多様性条約に基づく国別報告書、気候変動影響評価報告書等)
  - ✓ 「日本における気候変動による影響に関する評価報告書」の中で、自然生態系分野の生物季節の変化において、樹木の開葉・落葉時期の変化の結果が引用された。
- ② 保護地域の指定・見直し (ラムサール湿地、国指定鳥獣保護区、国立公園)
  - ✓ 大山鳥獣保護区の更新(平成29年度)等に、陸生鳥類調査の結果が活用された。
- ③ 世界自然遺産地域の管理
  - ✓ 白神山地では、ブナ林の動植物の多様性保全状況の把握に、陸生鳥類調査のデータが活用されている。
  - ✓ 小笠原諸島では、保全状況の主要指標として、森林草原調査、海鳥調査が活用されている。
- ④ 野生動植物の保全管理
  - ✓ 沖縄のやんばる地域では、ケナガネズミ、オキナワトゲネズミ等の固有種・絶滅 危惧種保全のための生息場所(餌環境)の評価に、森林・草原調査の成果が活用 されている。
- ⑤ 環境省の環境研究総合推進費による研究との連携
  - ✓ アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究(S9-3:平成 23~27 年度): 植物機能形質の解析等に、落葉落枝・落下種子調査のデータを 活用。
  - ✓ 奄美・琉球における森林地帯の絶滅危惧種・生物多様性保全に関する研究(4-1503:平成27~29年度):毎木調査及び落葉落枝・落下種子調査のデータを、

南西諸島の亜熱帯性常緑照葉樹林の特徴を取りまとめる際に活用。

## ■ 地方自治体

- ① 野生動植物の保全管理
  - ✓ シカ食害の影響把握による個体数管理、防鹿柵の設置や研究に、森林・草原調査 の成果が活用されている(京都:芦生サイト、埼玉:秩父大山沢サイトなど)。

### ■ 企業

- ① 環境アセスメント
  - ✓ 環境アセスメントにおいて注目される事が多い渡り鳥や希少鳥類等のデータ (陸生鳥類調査ほか)を、環境省 EADAS (環境アセスメントデータベース) に提供し、アセスメント手続きの迅速化・効率化に寄与している。

### <第4期に向けた課題と展望>

- 第3期とりまとめでは、過去15年にわたって取得したデータを用いて(各生態系について)「生物多様性の4つの危機」に沿った整理・解析を実施しており、今後、環境省や地方自治体による各種計画の策定・改訂において活用が期待される。
- 気候変動適応法に基づく影響評価や計画に対し、国立環境研究所等の関係機関とも連携を図りつつ、生物の種数や分布、生物季節の変化等、気候変動影響の把握・評価に 必要なデータを引き続き整備・提供していく。
- 地方自治体におけるモニタリングサイト 1000 事業の成果の利活用を促進するため、 得られた新知見やトピックス等の成果物を、地方自治体関係部局に提供していく。
- 環境省生物多様性センターが事務局を努める NORNAC (自然系調査研究機関連絡会議) における情報共有等を通じ、相互の成果利活用や連携を強化していく。
- 調査結果がどのようにまとめられていると使いやすいか等、地方自治体側のニーズを 把握する。
- FSC等の森林認証を取得した場合、生物多様性に関する情報の提出を求められるため、サイトの近くに認証林を持つ法人やこれから認証を取得する企業に対して、データの活用を働きかけるなど、民間企業との連携の可能性を模索する。
- シカの増加による森林の更新阻害や組成の偏向、地表徘徊性甲虫類の個体数への影響、 また、病虫害による樹木の枯死等の影響の継続的な把握は、森林生態系の保全管理に おいても重要な課題である。
  - ▶ 毎末調査マニュアルの改定で、第4期以降は定点写真の撮影による経年変化の定性的な比較や、分かりやすい広報資料への活用が期待される(前項の(1)を参照)が、定量的で詳細な解析には活用しにくいという限界もある。
  - ▶ そのため、林野庁や都道府県、地方自治体等の関係行政機関に対してモニタリングサイト 1000 のデータや成果の提供を進めるとともに、これらが実施している保護林モニタリング調査や特定鳥獣保護管理、病虫害対策等から集積されているデータを活用する等の関係を構築していく必要がある。
  - ▶ また、モニタリングサイト 1000 の結果で明かになった重要課題に対し、本事業に

参加している研究者のネットワークを活用して、環境省の環境研究総合推進費に 対する新規研究課題として応募していくこと等が考えられる。

- 全国各地で保護活動を行っている方や環境アセスメントのために資料を求めている方がモニタリングサイト 1000 の成果を活用しやすくなるように、A-PLAT (気候変動適応情報プラットフォーム) や EADAS (環境アセスメントデータベース) に各プロットの位置を登録できないか検討する。
- 成果の活用実績は、モニタリングサイト 1000 事業が評価される指標であるとともに、 行政ニーズを適切に把握し本調査に反映していくことが、本調査の必要性や調査体制 の維持につながることから、情報収集を強化する。
  - ▶ 成果提供する都道府県に対しては、成果を活用した場合には生物多様性センター に連絡するよう依頼。
  - ▶ 調査協力者に対しては、年に1度、活用実績の聞取り調査を実施する。
  - ▶ ホームページでは、成果物の活用した場合に効果的に情報を収集できるよう検討する。
  - ▶ 集めた情報は生物多様性センターで一括管理し、ホームページや成果物の中に入れ込み、調査協力者にも還元できるようにする。

## コラム6-3:保全施策への活用事例

高嶋 敦史 (琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター)

琉球弧は、島の成り立ちを反映した独自の生物進化を背景とし、生物多様性が高く、島ごとに固有の生態系が発達している。なかでも、奄美大島、徳之島、沖縄島北部、西表島の4地域は、森林面積や森林率、森林の連続性等を踏まえた科学的視点からの検討の結果、世界自然遺産に推薦され、2020年の登録を目指している。そのような中、与那サイトは沖縄島北部の世界自然遺産推薦地内に設定された森林・草原調査コアサイトとして、日本国内の亜熱帯林を代表する貴重なデータを記録し続けている。

沖縄島北部の森林には、ケナガネズミやオキナワトゲネズミといった絶滅危惧種が生息しており、これらはイタジイ(スダジイ)の堅果などを採餌することが知られている。しかしながら、ケナガネズミやオキナワトゲネズミは目撃数の年変動幅が大きく、生態に関する知見も限られていた。そのような中、モニタリングサイト 1000 のリタートラップ調査で得られたデータを環境省やんばる野生生物保護センターと共有することで、イタジイの堅果生産量とケナガネズミの出現に関係性がみられることを突き止めた。2010 年前後は、ケナガネズミのロードキル(交通事故死)などが大きな問題となっていたが、データの共有をはじめた 2012 年以降はイタジイの堅果生産量からケナガネズミの出現を予想できるようになり、これらの問題に対するケナガネズミの保全策の検討に寄与している。また、ケナガネズミよりも生息域が狭く絶滅リスクも高いとされるオキナワトゲネズミについて

も、今後の生息域拡大や保護増殖に向けてイ タジイ堅果生産量のデータが有効活用される ことが期待されている。

与那サイトを含む森林が世界自然遺産に推薦されことで、与那サイトは今後推薦地の森林を代表するモニタリングサイトとしての役割も求められる。リタートラップ調査のみならず、毎木調査、地上徘徊性甲虫調査、鳥類調査などで得られたデータが推薦地の管理に活用されるよう、行政や地域との連携を密にすることが必要である。



写真 樹上のケナガネズミ

## (5) 国際的枠組みとの連携

#### <目標>

• 地球規模の生物多様性モニタリング推進のため、既存の国際的な枠組みと連携すると ともに、生物多様性モニタリングの協力体制を構築する。

#### <現状>

- 生物多様性の保全は国際的課題であり、地球規模での生物多様性モニタリングやデータベース整備等の取り組みが進められている。
- 森林・草原調査では、第1期の調査設計時から、JaLTER を通じて国際的な枠組み(例: ILTER等)との連携を図り、国際的に広く用いられ比較可能な調査手法の採用を図っている。
- 第3期は、調査担当者等の国際学会や国際ワークショップ参加や、海外からの視察の 受け入れに対応するなど、人的連携が進んでいる。
- 東アジアでの陸生鳥類のモニタリングを進めるためのワークショップが、日本、中国、 韓国、ロシアをメンバーとして行われた際、モニタリングサイト 1000 の手法が共有 されており、今後実施に向けての検討が行われる予定である。
- 一方で、第2期とりまとめ時に挙げられた課題や展望への対応はあまり進んでおらず、 第4期以降も引き続き課題である。

#### <第3期の成果>

- ネットワークセンター職員や鳥類調査担当者が、国際学会や国際ワークショップに参加し、モニタリングサイト 1000 森林・草原調査の概要や成果報告を行うとともに、国際的な調査研究の動向や課題等の情報収集・共有を行っている。
  - ▶ 国際土壤動物学会(2016年、奈良)、国際鳥学会(2014年)
  - ▶ 森林調査プロット国際ワークショップ (森林総研主催、2015年、東京)。
  - ▶ ILTER シンポジウムでのモニタリングサイト 1000 紹介(2016年:ILTER Updates and Nitrogen Cycle Research in Ecosystems; 札幌)
  - ➤ 北東アジア地域の森林長期生態学研究に関する国際ワークショップ(ILTER 主催、 2017年、札幌。苫小牧現地視察。)
  - ➤ JaLTER 国際ワークショップ (2017 年:北東アジア地域の森林長期生態学研究 (LTER)から得られた知見と課題に関する 2017 年国際研究集会,札幌)
- JICA 研修や海外の大学・試験研究機関等が、生態系の長期モニタリングの先新事例として、モニタリングサイト 1000 森林・草原調査の視察を行い、ネットワークセンターのある苫小牧サイト(北大苫小牧研究林)で受け入れに対応している。
  - ➤ JICA 集団研修「生物多様性保全のための GIS リモートセンシングを利用した情報システム及び住民参加型保全実習」において、環境省生物多様性センターでモニタリングサイト 1000 の概要や成果の座学、苫小牧サイト (北大苫小牧研究林)

で実際の調査やネットワークセンターの活動等の視察を受け入れ。

▶ フィリピン大学、韓国国立生態院、ブラジルの国立アマゾン研究所等が、当該国内の長期生態系モニタリング設計や調査区設定、データの解析・活用等について、先新事例として視察。

## <第4期に向けた課題と展望>

- 第2期とりまとめで、第3期の課題と展望に挙げられていた以下の事項は特に進展がなく、第4期以降も引き続き課題と考えられる。
  - ➤ GEOBON (地球観測グループ生物多様性観測ネットワーク)、GEOSS (全球地球 観測システム)、IPBES (生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学・政策 プラットフォーム) との連携。
  - ▶ 英語版の、モニタリングサイト 1000 事業のウェブサイトや調査マニュアルの作成。
  - ➤ 生物多様性条約締約国会議 (COP) でのモニタリングサイト 1000 事業概要や成果 のアピール (例:英語版パンフレットの作成・配布等)。

## 引用文献

- Ishihara, M. I., S. N. Suzuki, M. Nakamura, T. Enoki, A. Fujiwara, T. Hiura, K. Homma,
  D. Hoshino, K. Hoshizaki, H. Ida, K. Ishida, A. Itoh, T. Kaneko, K. Kubota, K. Kuraji,
  S. Kuramoto, A. Makita, T. Masaki, K. Namikawa, K. Niiyama, M. Noguchi, H. Nomiya, T. Ohkubo, S. Saito, T. Sakai, M. Sakimoto, H. Sakio, H. Shibano, H. Sugita,
  M. Suzuki, A. Takashima, N. Tanaka, N. Tashiro, N. Tokuchi, T. Yoshida, Y. Yoshida
  (2011) Forest stand structure, composition, and dynamics in 34 sites over Japan.
  Ecological Rsearch. 26 (6): 1007-1008.
- Suzuki, S. N., M. I. Ishihara, M. Nakamura, S. Abe, T. Hiura, K. Homma, M. Higa, D. Hoshino, K. Hoshizaki, H. Ida, K. Ishida, M. Kawanishi, K. Kobayashi, K. Kuraji, S. Kuramoto, T. Masaki, K. Niiyama, M. Noguchi, H. Nomiya, S. Saito, T. Sakai, M. Sakimoto, H. Sakio, T. Sato, H. Shibano, M. Shibata, M. Suzuki, A. Takashima, H. Tanaka, M. Takagi, N. Tashiro, N. Tokuchi, T. Yoshida, Y. Yoshida (2012) Nation-wide litter fall data from 21 forests of the Monitoring Sites 1000 Project in Japan. Ecological Rsearch. 27(6):989-999.
- Niwa S., A. Toyota, T. Kishimoto, K. Sasakawa, S. Abe, T. Chishima, M. Higa, T. Hiura, K. Homma, D. Hoshino, H. Ida, N. Kamata, Y. Kaneko, M. Kawanishi, K. Kobayashi, K. Kubota, K. Kuraji, T. Masaki, K. Niiyama, M. Noguchi, H. Nomiya, S. Saito, M. Sakimoto, H. Sakio, S. Sato, M. Shibata, A. Takashima, H. Tanaka, N. Tashiro, N. Tokuchi, H. Torikai, T. Yoshida (2016) Monitoring of the ground-dwelling beetle community and forest floor environment in 22 temperate forests across Japan. Ecological Rsearch. 31(5):607-608..

# モニタリングサイト 1000 森林・草原調査 2004-2017 年度とりまとめ報告書

令和2 (2020) 年3月 環境省自然環境局 生物多様性センター 〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾 5597-1 電話:0555-72-6033 FAX:0555-72-6035

業務名 重要生態系監視地域モニタリング推進事業 (森林・草原調査)

請負者 一般財団法人 自然環境研究センター 〒130-8606 東京都墨田区江東橋 3-3-7

