

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系自然環境学専攻
生物圏情報学分野

平成 28年度 修士論文
市民が管理する都市近郊里山における
木質バイオマスの持続的な利用に関する研究
A study of sustainable woody biomass utilization
in peri-urban satoyama maintained by citizen groups

2017 年 1 月 19 日提出

2016 年度 3 月修了

指導教員 山本博一 教授

47-156611 小林昂太

目次

第1章 研究背景と目的	3
1.1 里山の荒廃と再評価	3
1.2 市民による里山管理活動の台頭	5
1.3 木質バイオマス利用による里山再生	7
1.4 バイオマス利用や里山の持続可能性	9
1.5 既存研究の整理と研究目的	10
第2章 研究の方法	11
2.1 研究の対象	11
2.2 調査対象団体の概要	12
2.3 切株調査に基づくバイオマス発生量の推定方法	14
2.4 バイオマス発生量の経年変化推定	17
2.5 市民による里山管理の特徴把握	18
第3章 結果と考察	19
3.1 切株調査に基づくバイオマス発生量の推定値	19
3.2 バイオマス発生量の経年変化	20
3.3 haあたりバイオマス発生量	23
3.4 林分情報と切株・立木胸高直径階分布の比較	25
3.4 伐採樹木の地理的な特徴把握	32
第4章 結論および展望	35
4.1 研究の結論	35
4.2 木質バイオマス利用の方向性と市民による里山管理への提案	36
4.3 今後の課題	39
謝辞	40
引用文献	41

第1章 研究背景と目的

1.1 里山の荒廃と再評価

近年、里山の有する機能が再評価され、その保全対策が社会的課題となっている。2010年に開催された第10回生物多様性条約締約国会議（COP10）では、里山のような人為の影響を受けた二次的自然環境における生物多様性の保全と、持続可能な利用の促進に向けた取組である「SATOYAMA イニシアティブ」を日本から世界に向けて提唱しており（環境省、2010）、里山の再生は日本だけではなく、世界各国の重要事項として位置づけられている。日本国内においても、生物多様性条約に基づき「生物多様性国家戦略」がこれまで4回制定されているが、いずれにおいても国内で進行している危機の1つに里山の荒廃を挙げており、保全の必要性を国家スケールで訴えている。

里山は、森林生態学者の四手井綱英が1960年代頃から学術的に初めて用いた言葉で、「炭や落ち葉、さらには山野草の採集の場として人々に利用されてきた農用林すなわち里山」と定義している（四手井、1972）。現代において里山は多義性をもった言葉であり、人によって解釈が異なるが、いずれにおいても雑木林やマツ林などの二次林、つまり、かつての薪炭林や農用林が含まれている（武内、2001）。そのため本研究では、四手井が定義した、薪炭林や農用林として用いられていた森林を里山として扱う。

かつて里山は薪や木炭といった人々のエネルギー源として利用されており、人による中規模な攪乱が加え続けられていた。その結果、遷移の進行が抑制され、若く明るい状態の森林が保たれており、持続的に里山の恩恵を享受出来る状態が維持されていた（広木、2002）。しかしながら、1960年代から燃料革命が始まり、エネルギーの利用形態が化石燃料や化学肥料に変化していった結果、人と里山との関わりは希薄になり、里山の管理放棄が進行した。それに伴い里山は過密で不健全なものが目立つようになり、里山の高齢化による病虫害リスクの増加、ササ類の侵入やゴミ投棄による自然環境の荒廃、遷移の進行による里山特有の生物種の減少といった問題が生じている（環境省、2007 図1-1）。

そのような中、科学的な研究の蓄積により、適切に管理された里山は多様な生態系サービスを有することが近年明らかにされており、環境保全の面から注目されている（奥、2013）。例えば、絶滅危惧種の数は一時的な自然地域よりも里山地域の方が多く生息しているとの報告がある（環境省、2007）。また、水源涵養や大気浄化に加え、防音・防火といった機能も存在し、人々の快適な生活環境の形成に寄与している（日本林業技術協会、2000）。さらには、豊かな景観や都市住民の環境教育、レクリエーションの場などの文化的価値も里山に付随するサービスとして認められている（小寺、2008）。里山は国土面積の2割を占めると言われており（恒川、2001）、生態学的・社会的にもその保全意義は高いと言える。



図 1-1 管理放棄された里山（上）と管理された里山（下）
（千葉県柏市内で筆者撮影）

1.2 市民による里山管理活動の台頭

1990 年前後から環境問題への関心の高まりにより、市民による里山管理活動が全国でみられるようになった（越田、2015 図 1-2）。1992 年にブラジルで行われた「地球サミット」において森林や自然の「持続的な利用」や「生物多様性の保障」という考え方が提唱されたのを契機に、人々の環境への意識が高まり、それと比例して荒廃した里山に関心が向くようになった（新田、2004）。さらに、阪神淡路大震災におけるボランティア活動の社会的役割の認知もあり、行政や市民の間で里山保全活動が全国で次々と発生し始めた（熊谷、2014）。実際に、森づくりフォーラム（2016）によると、森林の整備・里山保全活動を実施しているボランティア団体数は、平成 9 年度 277 団体から、平成 27 年度には、3,005 団体へと増加している（図 1-3）。

このような活動は都市近郊を中心に多く見られるが、その背景には都市緑地の減少に伴う、都市住民の自然への欲求の高まりが関係している（中川、2001）。里山や都市近郊林の居住地近くに広がる森林は、「子供たちが自然体験をする場としての役割」や「地域住民が活用できる身近な自然の役割」として期待されている（内閣府、2011 図 1-4）。そのため、市民による里山管理活動は、林業としての木材生産ではなく、森づくりを通してレクリエーションや環境教育の場としての価値を見出しつつ、人々との交流を通じて活動を楽しむのが主な目的になっている（倉本、2001）。

燃料革命の影響により経済的価値を損失した里山は、従来の担い手である農林業者では保全が困難な状況であるため、都市住民による里山管理活動は里山の再生に向けて重要な役割を担っている。しかしながら、市民が管理している里山面積は狭く、里山管理活動が活発に行われている地域においても、管理されているのは放置里山面積の約 1%程度と見積もられている（中川、2001）さらに近年においては、森林ボランティアにおける団体数の増加数も停滞傾向にある（図 1-3）。そのため、より多くの里山を保全するためには、市民による里山管理活動の活性化を図る必要がある。



図 1-2 里山で活動を行う市民
(柏市内で筆者撮影)

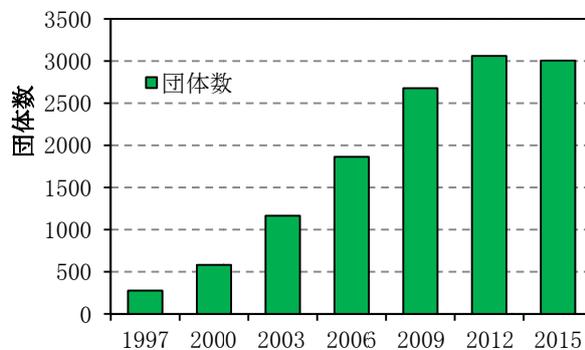


図 1-3 森林ボランティア団体数の推移
(森づくりフォーラム（2016）より引用)

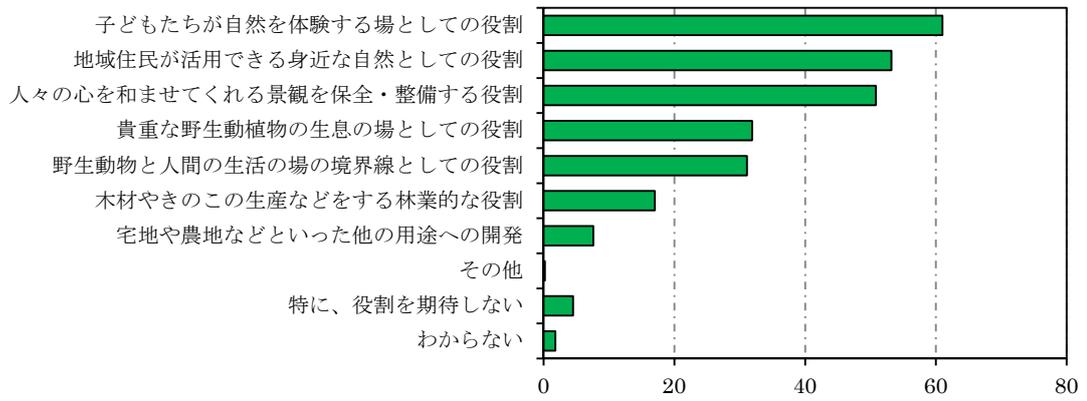


図 1-4 里山林等の利用のあり方（内閣府（2011）より引用）

1.3 木質バイオマス利用による里山再生

一方で、里山の再生に向けて木質バイオマスのエネルギー利用が注目されている。「生物多様性国家戦略 2012-2020」では、里山再生の目指す方向性の1つとして、バイオマスの積極的な利用を通じて、里山の維持管理を継続することを挙げている（環境省、2012）。木質バイオマスは再生可能な資源であると同時に、その利活用によって地球温暖化の防止や地域の復興に寄与するため、その利用拡大が期待されている（林野庁、2015）。

木質バイオマスの利用は国を挙げて推進されており、2002年に誕生した「バイオマス・ニッポン総合戦略」を嚆矢に、木質バイオマスに関する様々な法政策が制定されている（諸橋、2014）。近年では、2012年から再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）が開始され、これによって、中山間地域を中心に木質バイオマスの需要が急増している（梶山、2013）。2011年に発生した東日本大震災の影響もあり、原子力に代わるエネルギーとして、再生可能な自然資源である木質バイオマスは、重要なエネルギーとして位置づけられ始めている（宮浦、2015）。

このように、バイオマスの利用は盛んに行われつつあるが、都市近郊においてはマテリアル利用程度に止まっており、未だ事例が少ないのが現状である。都市近郊里山では市民による里山管理活動が展開されているが、里山を長期的に保全するためには、バイオマスの利用推進が課題となっている。市民による管理に伴って発生した伐採木は園路やテーブル、ベンチなどのマテリアルとして利用しているが、多くは処理しきれず、林内に放置されたままとなっている（図 1-5、図 1-6）。これは、景観の悪化、病虫害の温床化を引き起こす原因となり、市民による里山管理の制限要因となっている（中川ら、2004）。今後は発生した伐採木の、森から社会への出口を創出する必要がある。また、里山を継続的に管理するインセンティブの創出も市民による里山管理の課題として挙げられる（大住ら、2001）。里山は人による攪乱が与え続けられることによって成立し、効能を発揮する生態系である。里山を持続的に保全するためには、単に公共事業などによる一時的な処置ではなく、住民自身が里山に対して継続的に関与し続けなければならない。そのためには里山に何らかの経済的価値を見出し、里山管理をより積極的にさせるインセンティブが必要となる。

こうした問題に対して、管理に伴って発生した資源を木質バイオマスとして利用することが有効な解決策と考えられる。都市圏においても、薪ストーブやペレットストーブなどの需要を創出し、伐採木を燃料源として利用することで、伐採木の林内放置の解消、さらには里山管理の新たな動機づけや活性源となるだろう。さらには、小中学校や公共施設で木材利用を行うことで自然への理解を深め、環境問題に対する意識の醸成にも繋がる（黒田、2010）。しかしそのためにはまず、市民による都市近郊里山の管理によって発生する木質バイオマス量を把握し、有効な利用手法や適切な利用規模を検討する必要がある。



図 1-5 都市近郊里山における伐採木のマテリアル利用例（柏市内にて筆者撮影）



図 1-6 管理地内に放置される伐採木や枝葉（柏市内にて筆者撮影）

1.4 バイオマス利用や里山の持続可能性

バイオマスの利用を検討するに当たって、「持続可能性」への配慮が重要視されている。持続可能性という言葉は、地球規模での環境汚染・環境破壊が進み、自然資源の枯渇が問題視されるようになった1960年代頃から注目されるようになった(丸山、2015)。持続可能性に関しては様々な定義が存在しており、一般的には「将来世代のニーズにこたえる能力を損ねることなく現在世代のニーズを満たす」というものだが(川口、2006)、環境分野においては「自然資本の賦存量が、最小安全水準に基づく決定的な水準自然資本量を下回ってはならないという制約条件の下に、世代内公平に配慮しながら、福祉水準を世代間で少なくとも一定に保つこと」という概念を指している(諸富、2003)。自然資源の過度な収奪を抑制し、安定した生態系サービスを享受していくためには、持続可能性への配慮が必要不可欠である。様々な分野において持続可能性は考慮されるようになり、木質バイオマスを始めとした再生可能な自然エネルギーの循環利用も、石油といった有限資源に対する依存の脱却を促し、持続可能な社会の構築に向けて必要なものとして期待を集めている(日本学術会議、2010)。しかしながら、近年はFIT制度を契機に、木質バイオマスの需要が拡大しており、森林生態系への負の影響や燃料供給の不安定が懸念されている(経済産業省、2015)。バイオマスの利用によって持続可能な社会の実現を目的としているはずだが、実際には本末転倒な事態が発生している。そのため、バイオマスの利用を検討するに当たっては、森林生態系へ十分な配慮をし、持続可能な森林経営との共存を図る必要がある。

この考え方は都市近郊里山においても同様である。里山は人による持続的な攪乱によって形成される生態系であり、かつては薪炭などのエネルギー利用による攪乱と落葉広葉樹の萌芽更新による再生の循環がバランスよく成立していた(森林総合研究所、2010a)。しかしながら、攪乱が里山の環境容量や自然復元力を超える場合、里山が有する生態系サービスの劣化に繋がる。要するに、里山の再生を目指すためには、バイオマス利用による管理へのインセンティブも必要だが、里山の持続性にも配慮しなければ意味がない。都市近郊里山では、市民が中心となって里山の保全が進められているが、地域住民はレクリエーション目的で里山を利用するために、主に景観保全や散策道への利用が整備の目標となっており、里山を森林として持続するための長期的視点や科学的検証が欠けている(黒田、2010)。そのため、木質バイオマス利用による里山再生を目指すためには、里山保全の中心的な役割を担う市民ボランティアにおいて、里山管理の特徴を科学的根拠に基づいて把握し、それによって里山が森林として維持されるのか検証する必要がある。

1.5 既存研究の整理と研究目的

前述の背景を踏まえると、都市近郊里山における持続的な保全を目指すためには、市民の里山管理活動によって発生した木質バイオマスの有効利用が必要であり、一方で里山の林分状態や将来的な持続性を把握しなければならない。そのために必要な調査は、①市民の里山管理による木質バイオマス発生量の推定、②市民による里山管理の特徴の把握が挙げられる。

市民の里山管理による木質バイオマス発生量を推定した研究は、松本ら（2011）、山場ら（2009）の研究が存在する、しかしながらいずれも1団体のみの調査であり、1年分の発生量のみを扱っていることから、団体の多様性やバイオマス発生量の経年変化などが踏まえていない。里山活動団体は木材生産ではなく、レクリエーションが目的で活動を行っているため、バイオマス発生量は少なく、さらには年によってばらつく可能性がある。そのため、より現実的な木質バイオマスの利用計画を策定するためには、1) 量的な問題から複数団体からのバイオマス収集を想定し、2) 経年変化を元にバイオマスの安定的な利用可能性を把握する必要がある。

市民による里山管理の特徴に関する研究は、服部ら（1995）、山瀬ら（2007）があり、高木を維持し、低木類や林床の管理を中心に行う「環境高林」型の管理を提案している。この管理は作業量が少なく、楽に森林の有する環境機能を発揮することができるため、現在市民の里山管理において主流の方法となっている（中川、2001）。しかしながら、これらの研究は里山の管理方針を提案しているにすぎず、管理の実情や影響を明らかにしたものではない。具体的には、伐採樹木の定量的な特徴に関する知見が欠けており、現存する林分の状態と照らし合わせ、市民管理による里山へのインパクトを定量的に把握する必要がある。これは、市民による里山管理が持続的であるかを知る有用な情報となる。

また、伐採される樹木の地理的な条件についても明らかにされていない。都市近郊里山は中山間地域と違い、周りが住宅地に囲まれているため、様々な制約が存在すると考えられる。都市近郊における市民による里山管理の持続的な発展を目指すためには、具体的な制約条件を明らかにし、対策を考案する必要がある。これら2点の知見はバイオマスの持続的な利用に向けて重要なものとなる。

以上の点を踏まえ本研究では、都市近郊で活動する複数の里山管理団体の調査を通じて、市民の里山管理における経年変化を踏まえたバイオマス発生量と、里山管理の特徴を明らかにすることを目的とする。得られた結果から、都市近郊里山におけるバイオマス利用の方向性と、そのための里山管理の方針について、議論を行う。

2.2 調査対象団体の概要

本研究では、カシニワ制度に登録し、地権者との活動協定を締結した計 13 団体のうち、調査への協力が得られた 9 団体を対象として調査を行った。また、団体の活動地の中には、原生林を目標林相とし、攪乱を与えず保護する樹林地も存在するため、実際に伐採活動を行い、今後もバイオマスの発生が見込める場所を調査対象地とした。団体の活動地の分布を図 2-2 に、概要を表 2-1 に示した。A を除く団体は、2006 年から始まった柏市里山ボランティア入門講座の入門講座の卒業生であり、約 1 年ごとに 1 団体が誕生している。多くの団体は会員数 10 人前後であり、比較的小規模に活動している。また、団体の活動には主に定年退職者が参加しているため、全体的に平均年齢が高い。団体は市街化区域もしくはその周辺の里山で拠点を設定して活動しており、約 1ha 程を管理している。団体によって異なるが、年間 40 日程管理活動を行っており、樹木の伐採だけでなく、下草刈りや希少植物の保護、自然観察会など多様な活動を行っている。管理地の植生は主にスギ・ヒノキなどの針葉樹植林地にクヌギ・コナラ・シラカシなどの広葉樹が侵入した針広混交林が多く見られる (図 2-3)。

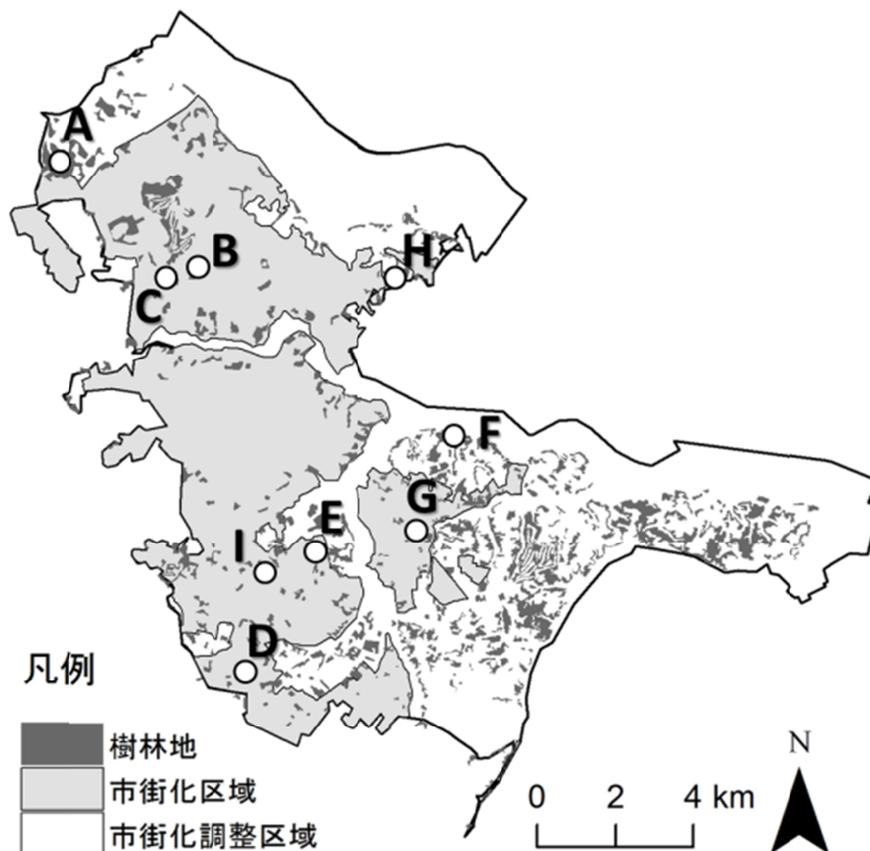


図 2-2 柏市における調査活動団体活動地の分布

表 2-1 調査活動団体の概要

団体	A	B	C	D	E	F	G	H	I
発足年	2004	2007	2008	2008	2010	2011	2013	2014	2015
会員数	44	15	11	12	11	27	11	28	11
平均年齢	65歳	60歳	65歳	70歳	70歳	70歳	67歳	63歳	65歳
調査地面積	19,000㎡	13,360㎡	7,530㎡	9,917㎡	13,347㎡	19,883㎡	5,537㎡	6,537㎡	8,000㎡
区域区分	市街化 調整区域	市街化 区域	市街化 区域	市街化 区域	市街化 区域	市街化 調整区域	市街化 区域	市街化 調整区域	市街化 区域
年間作業回数	32	30	55	24	24	48	40	55	40
植生	広葉樹林 針葉樹林	針広 混交林	針広 混交林	針広 混交林	広葉樹林 針広 混交林	針広 混交林	針広 混交林	針広 混交林	針広 混交林
評価対象年数	2004～15 (12)	2007～15 (9)	2012～15 (4)	2012～15 (4)	2010～15 (6)	2011～15 (5)	2013～15 (3)	2014～15 (2)	2015 (1)



図 2-3 里山活動団体の管理地における典型的な林分景観

2.3 切株調査に基づくバイオマス発生量の推定方法

各団体の管理地からのバイオマス発生量を明らかにするため、「切株調査」と称した調査を行った(図 2-4)。切株調査は、団体の管理地内に存在する切株を立木伐採跡であるとみなし、発生量(立木状態の地上部現存量)推定と伐採木の特徴の解明に資するため、根元直径 3cm 以上のすべての切株について、根元直径、樹種タイプ(広葉樹と針葉樹の別)を記録するものとした。切株には、間伐等の密度管理のために伐採した樹木と、風倒木などの処理のために伐採した樹木が混在していると考えられるが、本研究の立場からは、バイオマスとして利用できる材が発生したことが重要であるため、その点からは両者の区別は必要ないと判断した。また、現存する団体の管理によって発生したバイオマス量を正確に把握するために、団体の代表者に活動開始以前から存在する切株の有無を確認し、存在した場合は腐食が激しい切株を活動以前に伐採された個体と判断し、調査対象から除外した。

まず実測した根元直径を、広葉樹・針葉樹ごとの根元・胸高直径の関係式(日本リサイクル緑化協会、1998)に当てはめ、胸高直径を算定した。

広葉樹における根元・胸高直径の関係式は以下のように与えられる。

$$DBH = 0.735R \quad (1)$$

DBH : 胸高直径、R : 根元直径

針葉樹における根元・胸高直径の関係式は以下のように与えられる

$$DBH = 0.6784R \quad (2)$$

次に、切株から推定した胸高直径を毎木調査によって作成した広葉樹・針葉樹別の樹高曲線式に代入し、樹高を算出した(図 2-5、6)。毎木調査は柏市の植生を代表すると考えられるクスギ・コナラ群集地、スギ・ヒノキ林で 20×20m のプロットを作成し実施した。

広葉樹における樹高曲線式は以下のように与えられる。

$$H = 7.2383\ln(DBH) - 4.9018 \quad (3)$$

H : 樹高

針葉樹における樹高曲線式は以下のように与えられる。

$$H = 6.5597\ln(DBH) - 4.1922 \quad (4)$$

最後に、推定した胸高直径と樹高を、大島(1991)の幹材積推定式に当てはめることで幹材積を算出し、容積密度値とバイオマス拡大係数(温室効果ガスインベントリオフィス、2015 表 2-2)を掛けることで、地上部バイオマスの乾燥重量(dry-t:以下 dt)を算出した。

大島(1991)による幹材積推定式は以下のように与えられる。

$$V = 0.05672(DBH^2H)^{0.9506/1000} \quad (5)$$

V : 幹材積

なお、この方法は根元直径のデータのみを実測値とした推定であるため、胸高直径、樹高を実測し、材積量を推定する通常の方法と比較して精度が劣る。しかしながら、測樹を行うにあたり切株以外の手がかりが存在しないことから、考えられる推定方法の中では最も現実的であると考えた。バイオマス発生量の推定フローを図 2-7 に示す。



図 2-4 切株調査の作業風景

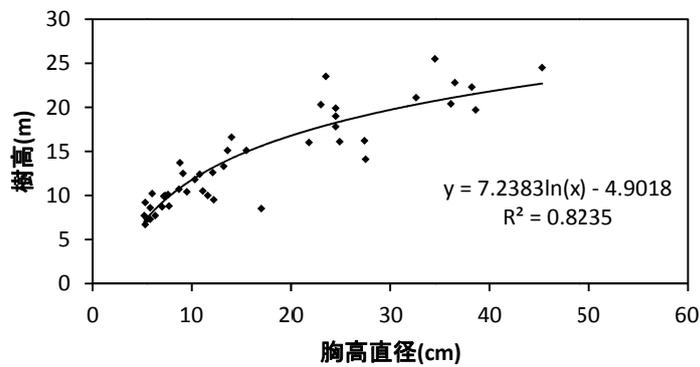


図 2-5 広葉樹における樹高曲線

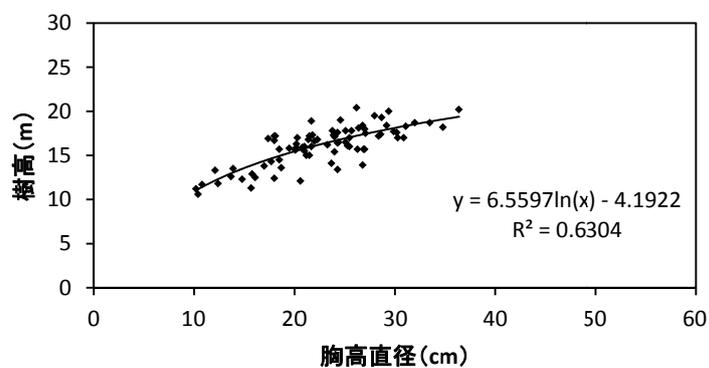


図 2-6 針葉樹における樹高曲線

表 2-2 樹種別容積密度数

		BEF [-]		R	D	CF	備考
		≤20	>20	[-]	[t-d.m/m ³]	[t-C,t-d.m]	
針葉樹	スギ	1.57	1.23	0.25	0.314	0.51	
	ヒノキ	1.55	1.24	0.26	0.407		
	サツラ	1.55	1.24	0.26	0.287		
	アカマツ	1.63	1.23	0.26	0.451		
	クロマツ	1.39	1.36	0.34	0.464		
	ヒバ	2.38	1.41	0.20	0.412		
	カラマツ	1.50	1.15	0.29	0.404		
	モミ	1.40	1.40	0.40	0.423		
	トドマツ	1.88	1.38	0.21	0.318		
	ツガ	1.40	1.40	0.40	0.464		
	エゾマツ	2.18	1.48	0.23	0.357		
	アカエゾマツ	2.17	1.67	0.21	0.362		
	マキ	1.39	1.23	0.20	0.455		
	イチイ	1.39	1.23	0.20	0.454		
	イチヨウ	1.50	1.15	0.20	0.450		
外来針葉樹	1.41	1.41	0.17	0.320			
その他針葉樹	2.55	1.32	0.34	0.352		北海道、青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島、栃木、群馬、埼玉、新潟、富山、山梨、長野、岐阜、静岡に適用	
〃	1.39	1.36	0.34	0.464		沖縄に適用	
〃	1.40	1.40	0.40	0.423		上記以外の都道府県に適用	
広葉樹	ブナ	1.58	1.32	0.26	0.573	0.48	
	カシ	1.52	1.33	0.26	0.646		
	クリ	1.33	1.18	0.26	0.419		
	クスギ	1.36	1.32	0.26	0.668		
	ナラ	1.40	1.26	0.26	0.624		
	ドノロキ	1.33	1.18	0.26	0.291		
	ハンノキ	1.33	1.25	0.26	0.454		
	ヒレ	1.33	1.18	0.26	0.494		
	ケヤキ	1.58	1.28	0.26	0.611		
	カツラ	1.33	1.18	0.26	0.454		
	ホオノキ	1.33	1.18	0.26	0.386		
	カエデ	1.33	1.18	0.26	0.519		
	キハダ	1.33	1.18	0.26	0.344		
	シナノキ	1.33	1.18	0.26	0.369		
	センノキ	1.33	1.18	0.26	0.398		
	キリ	1.33	1.18	0.26	0.234		
	外来広葉樹	1.41	1.41	0.16	0.660		
	カンバ	1.31	1.20	0.26	0.468		
その他広葉樹	1.37	1.37	0.26	0.469		千葉、東京、高知、福岡、長崎、鹿児島、沖縄に適用	
〃	1.52	1.33	0.26	0.646		三重、和歌山、大分、熊本、宮崎、佐賀に適用	
〃	1.40	1.26	0.26	0.624		上記以外の都道府県に適用	

BRF : バイマス拡大係数、R : 地上部に対する地下部の比率、D : 容積密度、CF : 炭素含有率
 (温室効果ガスインベントリオフィス (2015) より引用)

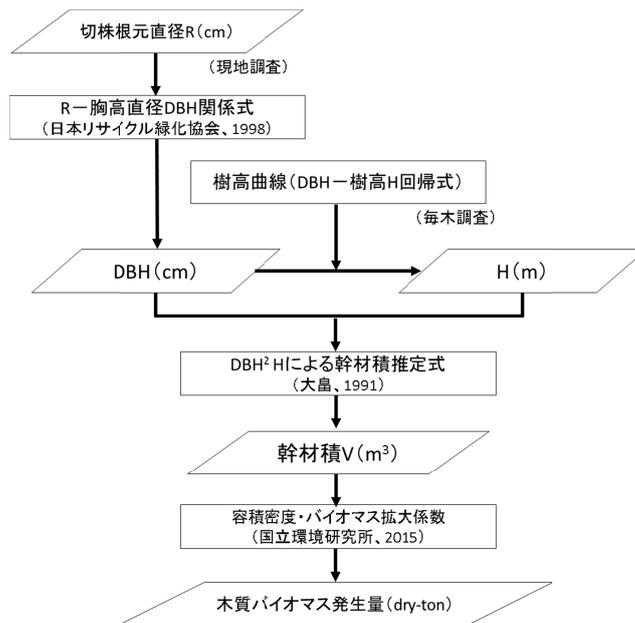


図 2-7 バイオマス発生量の推定フロー

2.4 バイオマス発生量の経年変化推定

続いて、団体ごとのバイオマス発生量の経年変化を、団体が所有する活動記録を参照して推定した。活動記録とは、活動日ごとに、作業員数や作業内容が記録されているものを指すが、団体により整備状況が異なっていたため、その状況に応じて、以下のような方法を採用した。

活動記録が完全な状態で存在する団体（A、B、C、E、F、H、I）については、発足年から2015年度までの伐採作業日の合計と、各年度の伐採作業日数の合計との比を算出し、その値を、それぞれの年度における総伐採日数の相対的な配分比とした。切株調査から推定したバイオマス発生量に対して、その値を乗じることで、年度ごとのバイオマス発生量を推定した。

活動記録が完全な状態で存在する団体（A、B、C、E、F、H、I）の各年度におけるバイオマス発生量の推定式は以下のように与えられる。

$$B_x = B \frac{D_x}{\sum(D_a + D_b + D_c \cdots D_x)} \quad (6)$$

B_x : x年のバイオマス発生量、 B : 団体のバイオマス総発生量、 D_x : x年の伐採作業日数

一方、活動記録に伐採作業の記録が存在しなかった団体（D）に対しては、作業内容に最も詳しい団体メンバーに、年度ごとの伐採程度の割合を設定してもらい、上記と同様の方法でバイオマス発生量を推定した。

活動記録に伐採作業の記録が存在しなかった団体（D）の各年度におけるバイオマス発生量の推定式は以下のように与えられる。

$$B_x = B \frac{P_x}{\sum(P_a + P_b + P_c \cdots P_x)} \quad (7)$$

P_x : x年における団体が設定した伐採割合

また、伐採記録も存在せずメンバーも伐採活動の程度の予測がつかなかった団体（G）に対しては、1年あたりに発生するバイオマス量の平均値を、各年に発生するバイオマス量とした。

これらの手法は、伐採作業日数から経年変化を推定しているが、厳密には、当日集まった人数や会員の技量もバイオマス発生量に影響を及ぼしていると考えられる。しかしながら、団体によっては活動記録の情報が不足している、管理技術の定量化が困難である等の理由から、これらを考慮するのは難しい。そのため、本研究目的に照らしてその傾向把握で十分と判断し、作業日数のみによる年次配分とした。

2.5 市民による里山管理の特徴把握

市民による里山管理の特徴の把握を目的として、以下の2点の調査を行った。

①市民の樹木伐採による里山の林分構造への影響を定量的に明らかにするために、切株の胸高直径（推定値）分布と、各管理地における立木の胸高直径階分布を比較した。切株の胸高直径分布は、切株調査によって得られた切株の根元直径値を、根元-胸高直径関係式（日本リサイクル緑化協会、1998）に代入し、推定された胸高直径値を用いて切株の胸高直径分布を把握した。

立木の胸高直径階分布は、各団体の管理地において毎木調査を実施することで把握した（図2-8）。プロットの形状は、里山の植生が管理地内でも多様であることを踏まえ、5m×80m（園路、広場等と被り設置出来ない場合は5m×40m×2か所）の長方形プロットを設置した。調査対象木は、切株調査における調査対象の最低値となる根元直径3cmを、根元-胸高直径関係式に代入し得られる値が約2cmであることを考慮し、胸高直径2cm以上の立木とし、樹種・胸高直径を記録した。

②伐採される樹木の空間的な制約条件を把握するため、切株調査で実測した切株の位置情報を、地理情報システム（Esri ArcMap 10.2）を用いて空中写真（2013年国土地理院撮影）上に示し、伐採に空間的な偏りがあるか否か調査した。ここで、市民による管理においては、径が大きく、伐採難度の高い樹木の伐採が課題となるため、根元直径40cm以上の樹木を大径木と分類し、その他の樹木とは区別して表した。



図 2-8 毎木調査の作業風景

第3章 結果と考察

3.1 切株調査に基づくバイオマス発生量の推定値

切株調査に基づく9団体におけるバイオマス発生量の推定値を、表3-1に示した。切株の総数は1,137個体であり、これまでの合計で約130dtのバイオマスが発生していたと推定された。切株あたりの発生量の平均値は0.12dtであるため、平均的には、地上部の乾燥重量が120kg程度の樹木を伐採し、バイオマスが発生していることになる。切株あたりの発生量は、団体A～Gにおいては平均値からの偏差は-0.04～0.03と少なく、近年設立された団体HおよびIにおいて大きい。団体への聞き取り調査によれば、団体Hについては、林内に広場的空間を確保するため、樹冠の大きい大径木を優先的に伐採したという経緯があり、このことが、切株あたりの発生量が大きい要因だと考えられる。一方団体Iは、対象団体のうち最も新しい団体であり、現段階では下草刈りを中心とする整備が主であり、樹木の伐採は控えているため、低い値を示したものと考えられる。また、団体ごとの評価対象年数の値を用いて、年平均発生量を算出したところ、0.11～4.76dt（平均2.67dt）となった。

表3-1 団体ごとのバイオマス発生量の概要

団体	切株数	総発生量 (dt)	切株あたり発生量 (dt/切株)	年平均発生量 (dt)	標準偏差
A	128	19.3	0.15	1.61	1.67
B	347	42.7	0.12	4.74	2.01
C	163	16.9	0.10	4.23	1.84
D	87	11.1	0.13	2.78	0.82
E	24	2.4	0.10	0.39	0.44
F	285	23.8	0.08	4.76	1.51
G	81	10.4	0.13	3.47	0.00
H	16	3.9	0.25	1.97	0.30
I	6	0.1	0.02	0.11	0.00
計	1,137	130.4	-	-	-
平均	126	14.5	0.12	2.67	0.97

3.2 バイオマス発生量の経年変化

図 3-1 から図 3-9 には、各団体のバイオマス発生量の経年変化を、図 3-10 には 9 団体のバイオマス発生量を合計した値を示し、図 3-11 はそれらをまとめた図を示した。図 3-1 から図 3-9 をみると、団体ごとのバイオマス発生量は安定しておらず、それぞればらついてきた。団体によって管理地の植生状態や管理方針、技術力は団体によって多様であるため、経年変化に共通の傾向を見出すことは困難と考えられる。この結果から、1 団体だけではバイオマスの供給は安定して行えないことが明らかとなった。

一方で、図 3-10 の 9 団体のバイオマス発生量の合計値の経年変化をみると、2012 年までは団体数の増加とともに発生量も増加しているが、それ以降は 20dt で推移していた。これは、バイオマスの発生が減少傾向に転じている団体がある一方、新たな団体が一定量のバイオマスを生産しており、その増減を相殺しているためと考えられる。新たな団体は今後バイオマス発生が期待されるため、今後数年間、団体数や団体の状態が変化しないという条件下においては、概ね年間 20dt 程度で推移すると予想される。

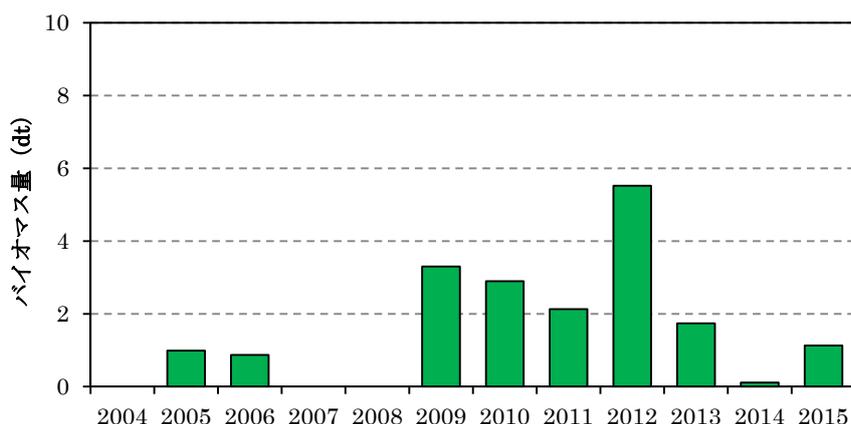


図 3-1 団体 A におけるバイオマス発生量経年変化

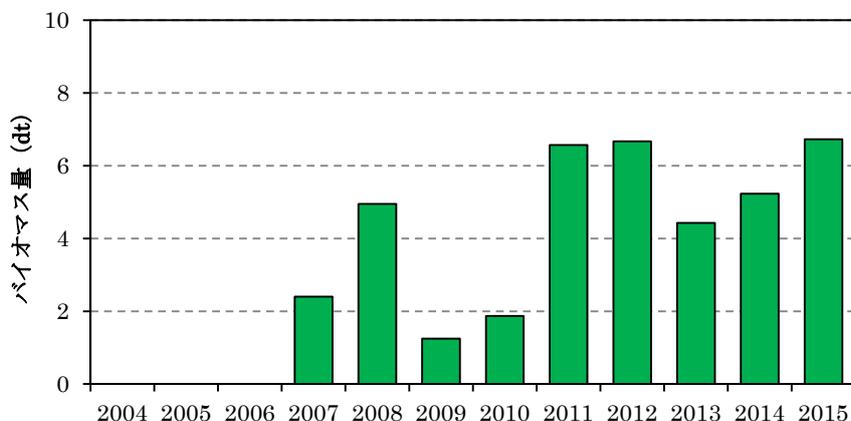


図 3-2 団体 B におけるバイオマス発生量経年変化

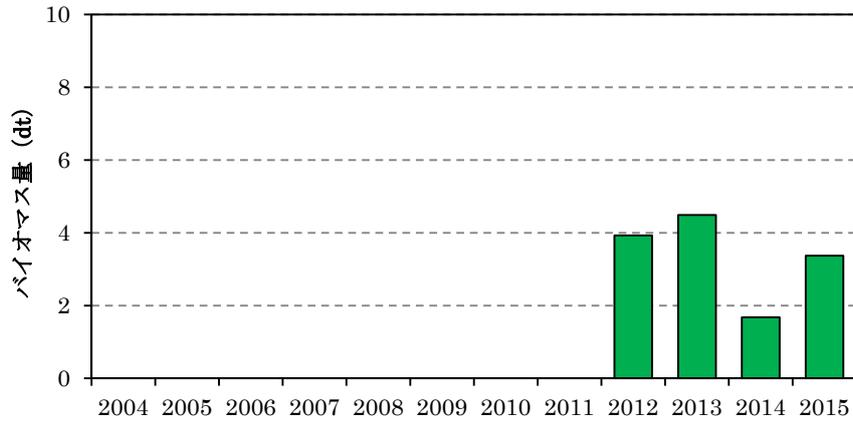


図 3-3 団体 C におけるバイオマス発生量経年変化

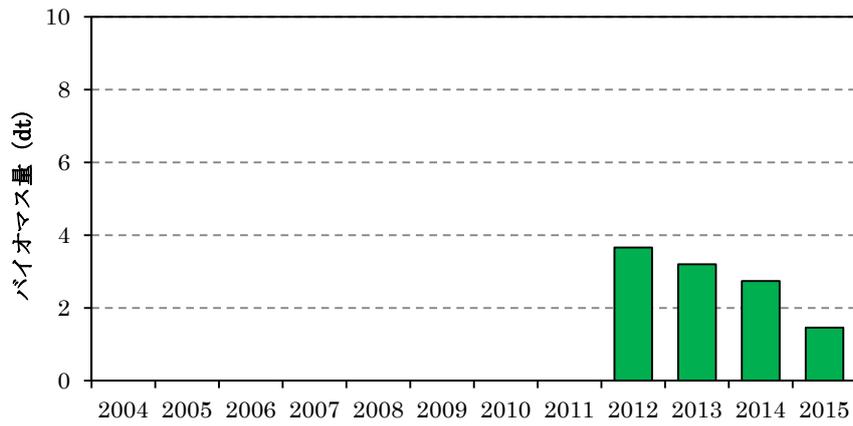


図 3-4 団体 D におけるバイオマス発生量経年変化

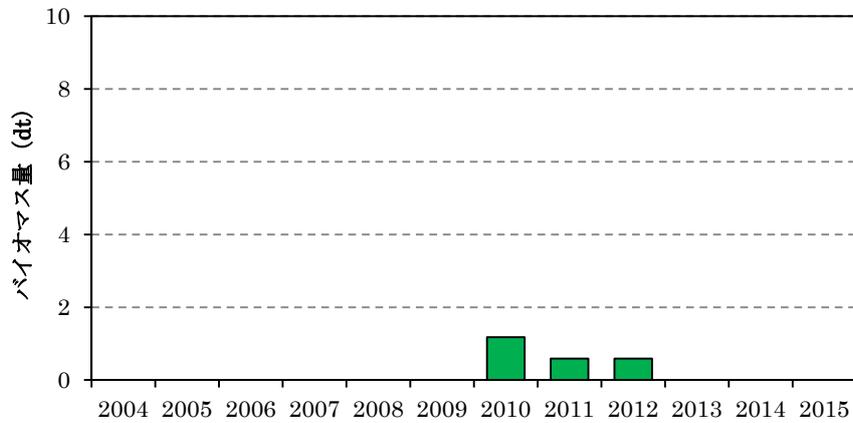


図 3-5 団体 E におけるバイオマス発生量経年変化

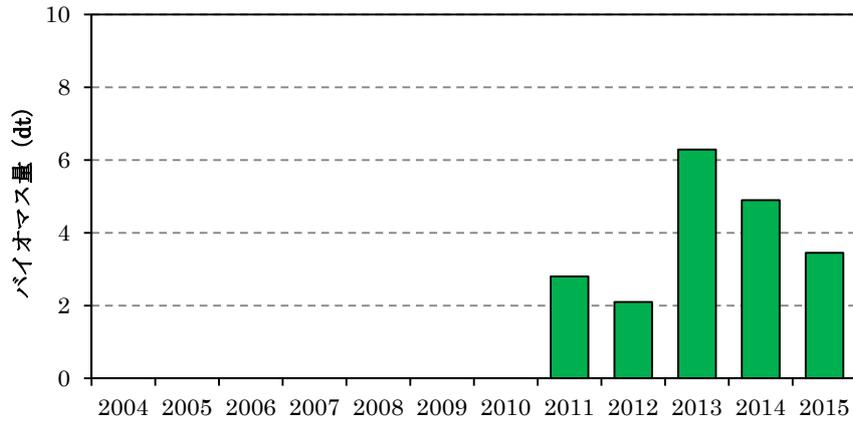


図 3-6 団体 F におけるバイオマス発生量経年変化

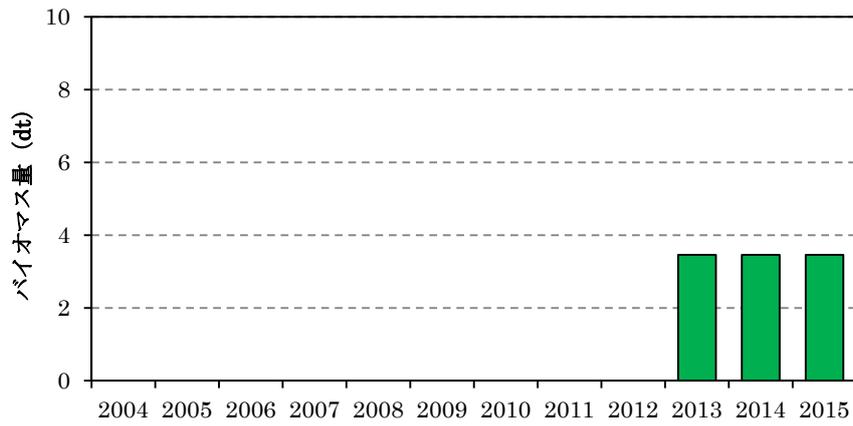


図 3-7 団体 G におけるバイオマス発生量経年変化

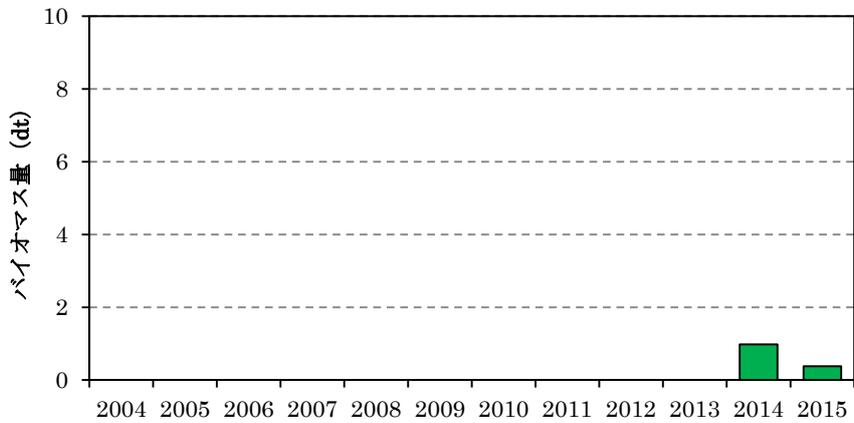


図 3-8 団体 H におけるバイオマス発生量経年変化

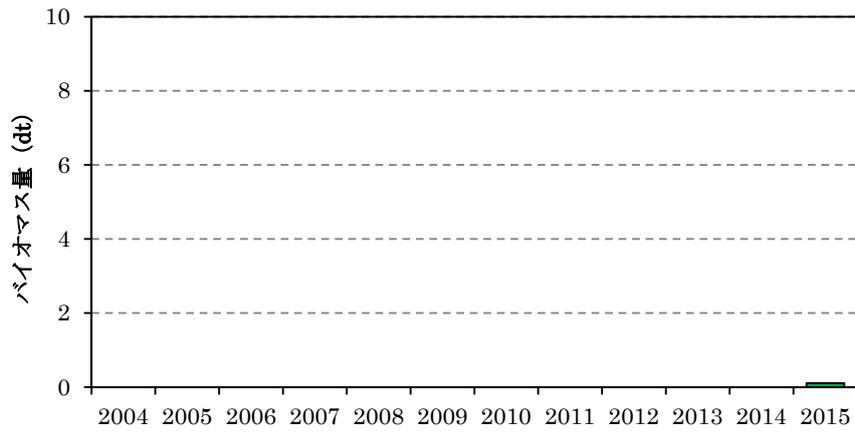


図 3-9 団体 I におけるバイオマス発生量経年変化

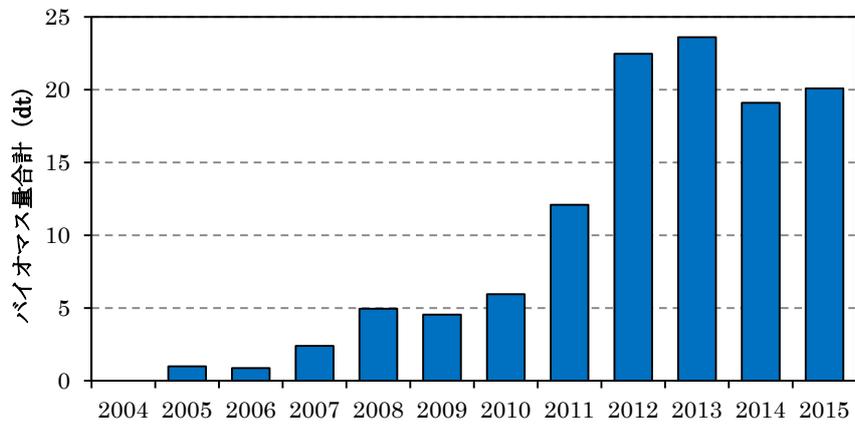


図 3-10 全団体合計のバイオマス発生量経年変化

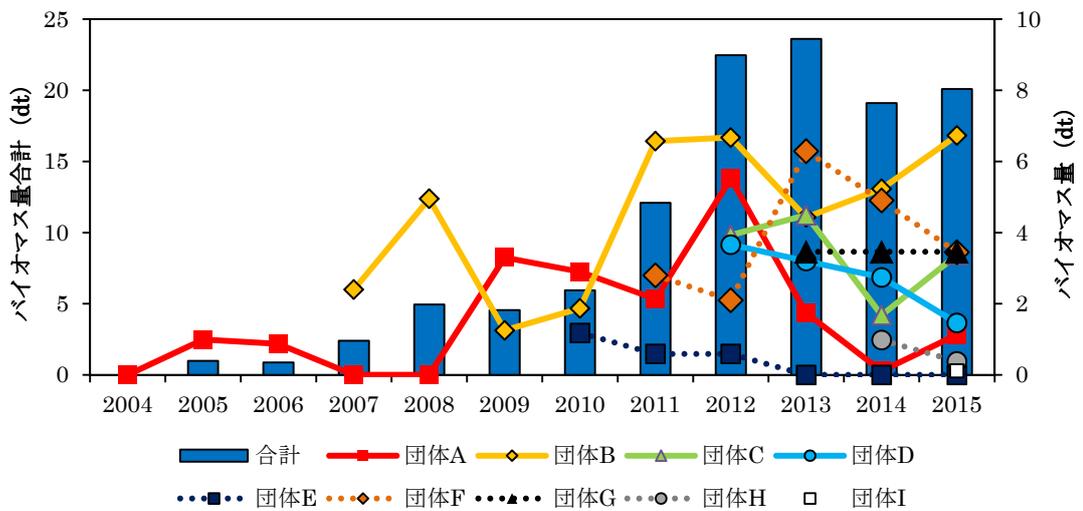


図 3-11 バイオマス発生量の経年変化

3.3 haあたりバイオマス発生量

図3-12の左には、各団体間の比較を行うため、各年におけるバイオマス発生量を単位面積 (ha) あたりの値に換算し、それらの最大値、最小値、平均値を示した^{注)}。その結果、バイオマス発生量は、団体間だけでなく、同一団体の異なる年次におけるばらつきもともに大きく、多様であることが分かった。団体間で管理方針や植生、活動内容は異なっており、団体内でも年度ごとに活動内容が変化するため、このような結果になったと考えられる。

また、図3-12の右に全団体の各年における単位面積当たりバイオマス発生量(n=46)のデータを、箱ひげ図の形で整理したところ、平均値は 2.21dt/ha・yr となったが、標準偏差を計算すると 1.97 となり、ばらつきが大きかった。ただし、この値は市民の里山管理によって発生し得るバイオマス量の規模を把握する上で参考になるだろう。

これらの結果から、市民の里山管理によるバイオマス発生量は団体毎、年度毎に多様であるため、発生量に関する共通の傾向を見出すことは困難と考えられる。

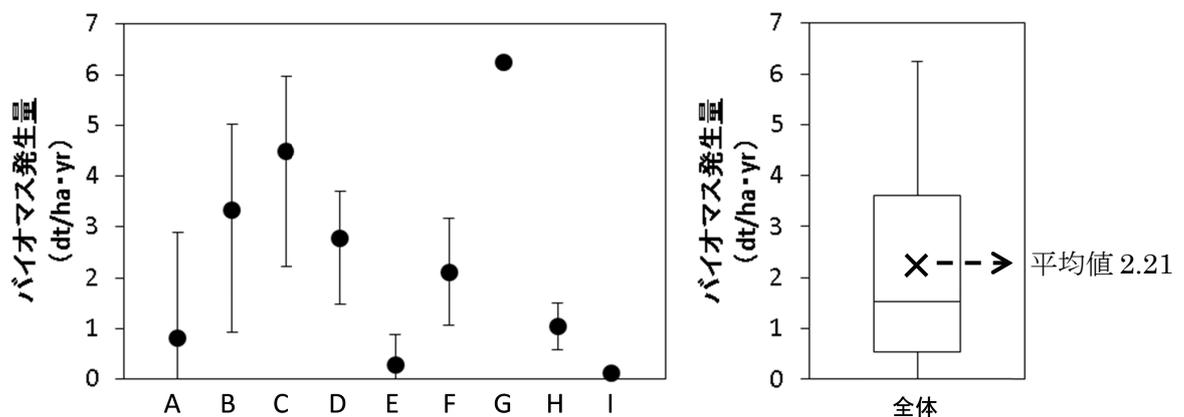


図 3-12 団体別 ha 当たりバイオマス発生量(右)と、全団体の全評価年における発生量(左)

注) 団体 G は 1 年あたりに発生するバイオマス量の平均値を各年に発生するバイオマス量としており、団体 I は評価年数が 1 年のみであるため、両団体は図中に平均値のみ表示した。

3.4 林分情報と切株・立木胸高直径階分布の比較

図 3-13 と図 3-14 には、管理が進行した団体 A、B、C、D、E、F における切株と立木の胸高直径分布を、表 3-2 から表 3-10 には各管理地の林内風景（表内左上）、林分基礎情報（樹種構成・立木密度（ha 換算）・平均胸高直径・調査面積当たり胸高断面積合計・相対優占度）（表内右上）、切株胸高直径階分布（表内左下）、立木直径階分布（表内右下）を示した。各団体の林分は、針葉樹植林のスギ・ヒノキが相対優占度で約 3 割を占めており、その中に落葉広葉樹のクヌギ・コナラ・イヌシデ、または常緑広葉樹のシラカシが高木層として構成されていた。低木層はヒサカキ・アオキ・シロダモといった常緑低木類が占めており、新たに発足した団体ほどその本数は多く見られた。

管理が進行した団体の切株・立木胸高直径分布に注目すると、伐採は全体の約 70%が胸高直径 5~20cm 程度の小・中径木に偏っており、立木の直径階分布も胸高直径 5~20cm で本数が減少していた。各団体へのヒアリングによれば、体力や技術的な問題から大径木の伐採が困難であり、さらには樹冠を構成している大径木を残したいという意向から、伐採は小・中径木中心になることが分かった。これは、服部（1995）、山瀬（2007）が指摘する市民の里山管理でよく行われる環境高林型^{注)}の管理と一致する。しかしながら団体 C、D、F のように、小・中径木よりも大径木の方が多く存在し、将来の後継樹が不足していると考えられる団体が見られた。これは、小・中径木の集中的な伐採だけでなく、高木の林冠閉鎖による光環境の悪化によって、後継樹が成育しにくい環境にあることが原因と考えられる。もしこの大径木を残し、小・中径木を中心に伐採をする環境高林型の管理が過度に行われるのであれば、里山の高齢化・高木化を加速させ、病虫害や倒木の危険性を高める恐れがある。具体的な例として、1980 年代頃から日本各地で被害を及ぼしているナラ枯れは、高齢で大径木の多い広葉樹二次林で発生しやすいことが明らかにされている（森林総合研究所、2010b）。

以上から、過度な環境高林型の管理は後継樹不足だけではなく、里山の健全性を低くする可能性があり、森林の継続性や持続的なバイオマスの生産を損なう要因となるだろう。

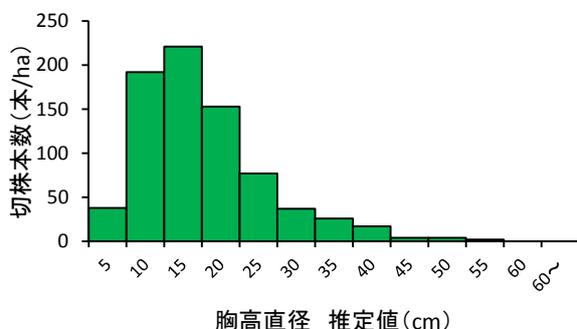


図 3-13 管理が進行した 6 団体の切株胸高直径分布

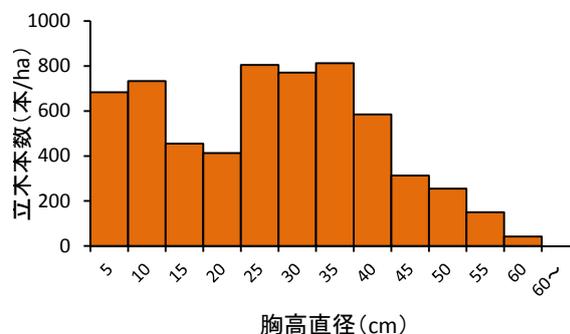


図 3-14 管理が進行した 6 団体の立木胸高直径分布

注) 高木を維持し、低木類を中心に伐採を行う管理のこと。管理の労力が少なく、楽に森林の有する環境保全機能を発揮できることから、近年市民の里山管理で主流の方法となっている。

表 3-2 団体 A における林分情報と切株・立木直径階分布

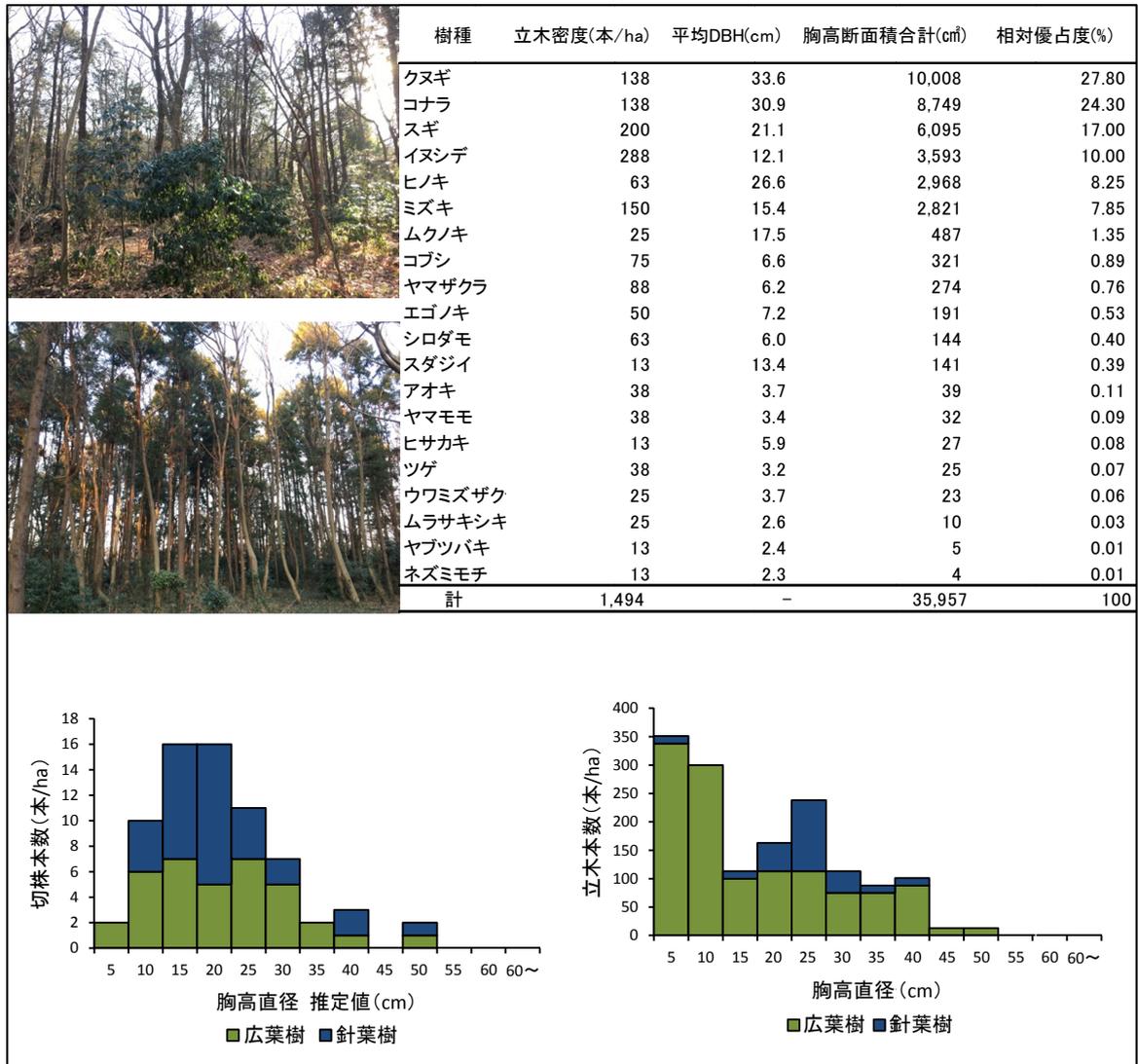


表 3-3 団体 B における林分情報と切株・立木直径階分布

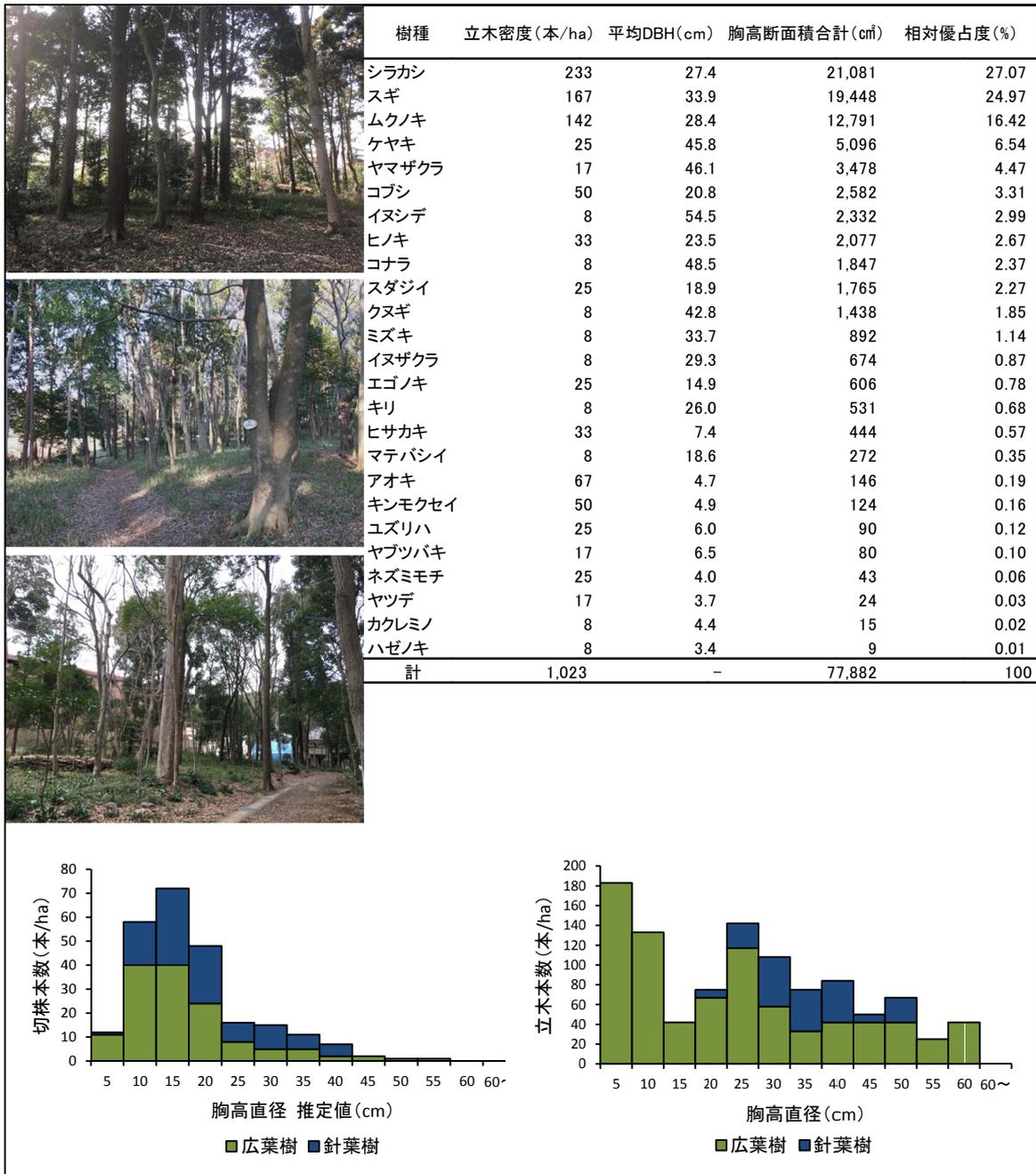


表 3-4 団体 C における林分情報と切株・立木直径階分布

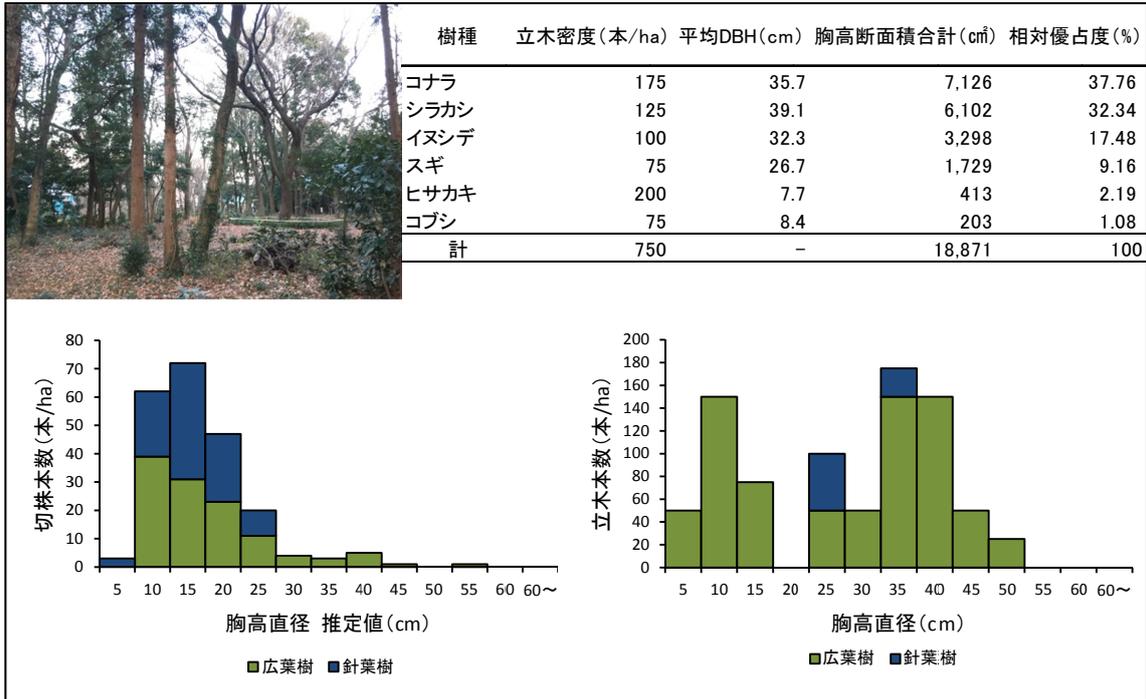


表 3-5 団体 D における林分情報と切株・立木直径階分布

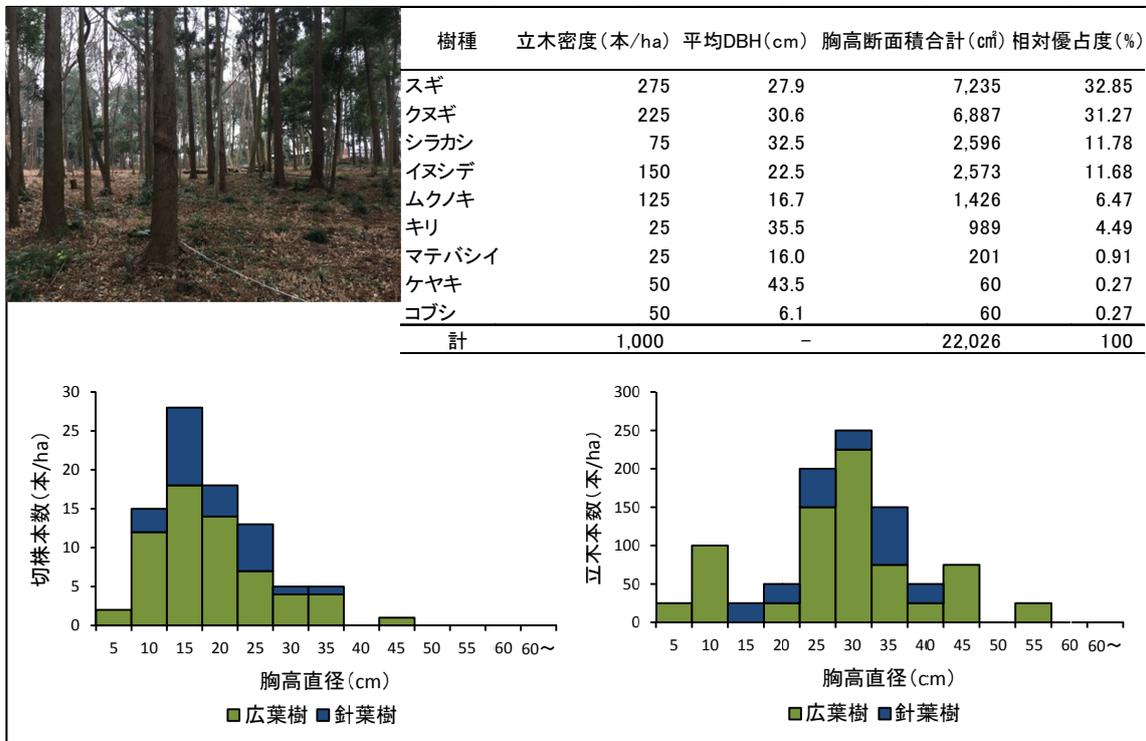


表 3-6 団体 E における林分情報と切株・立木直径階分布

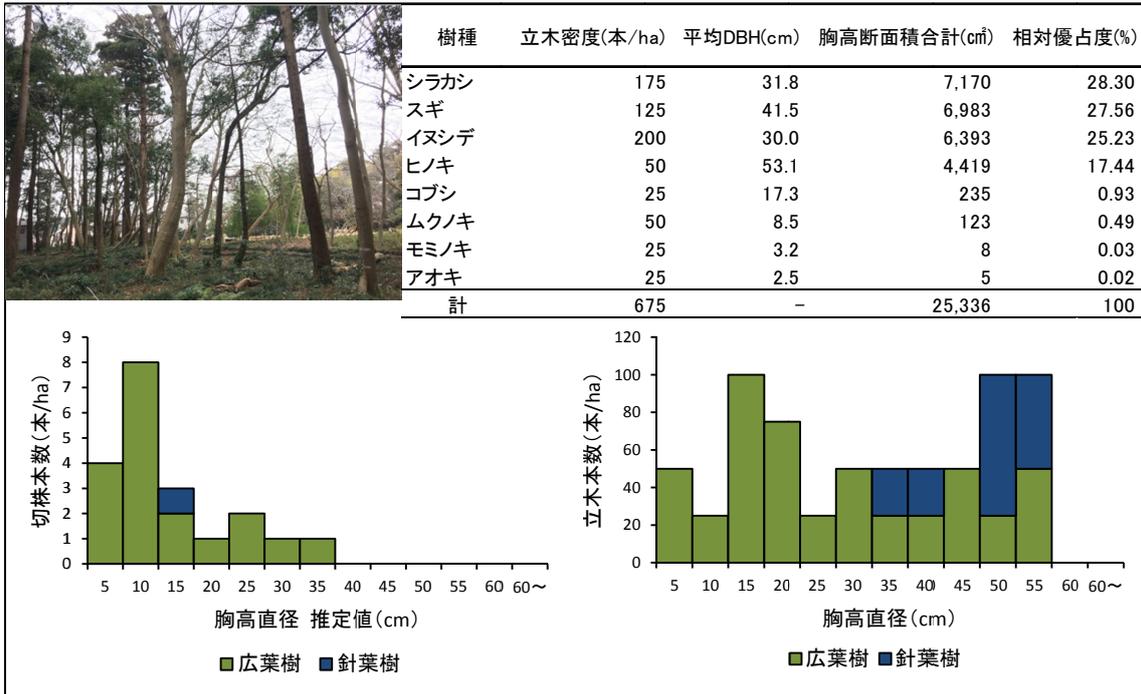


表 3-7 団体 F における林分情報と切株・立木直径階分布

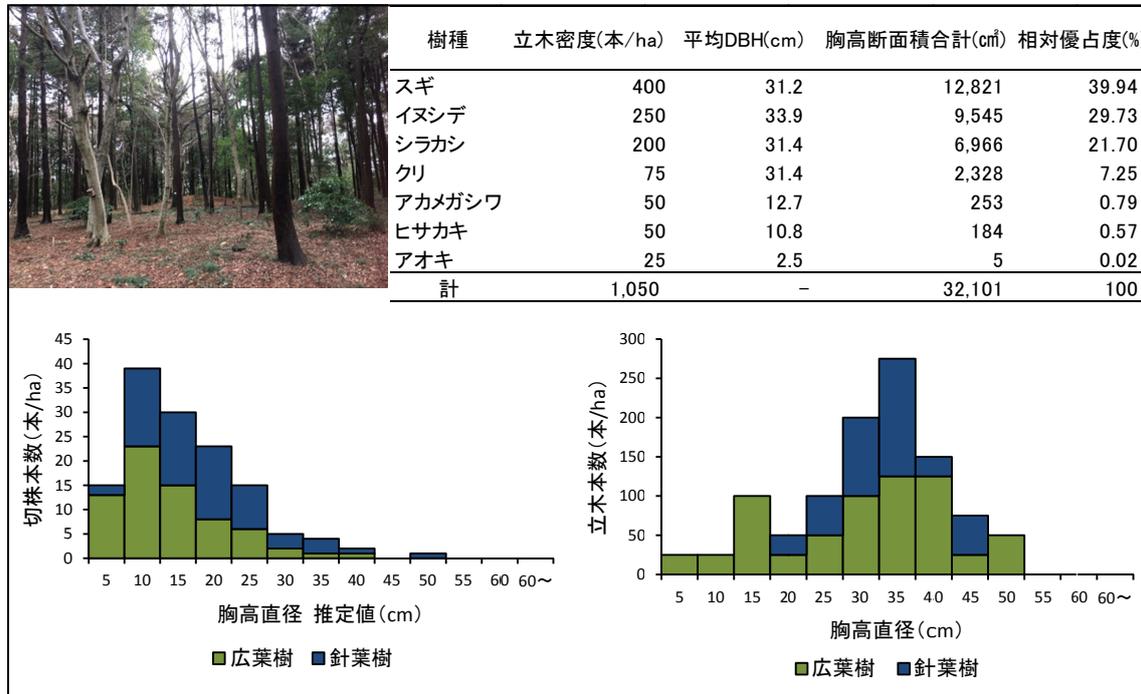


表 3-8 団体 G における林分情報と切株・立木直径階分布

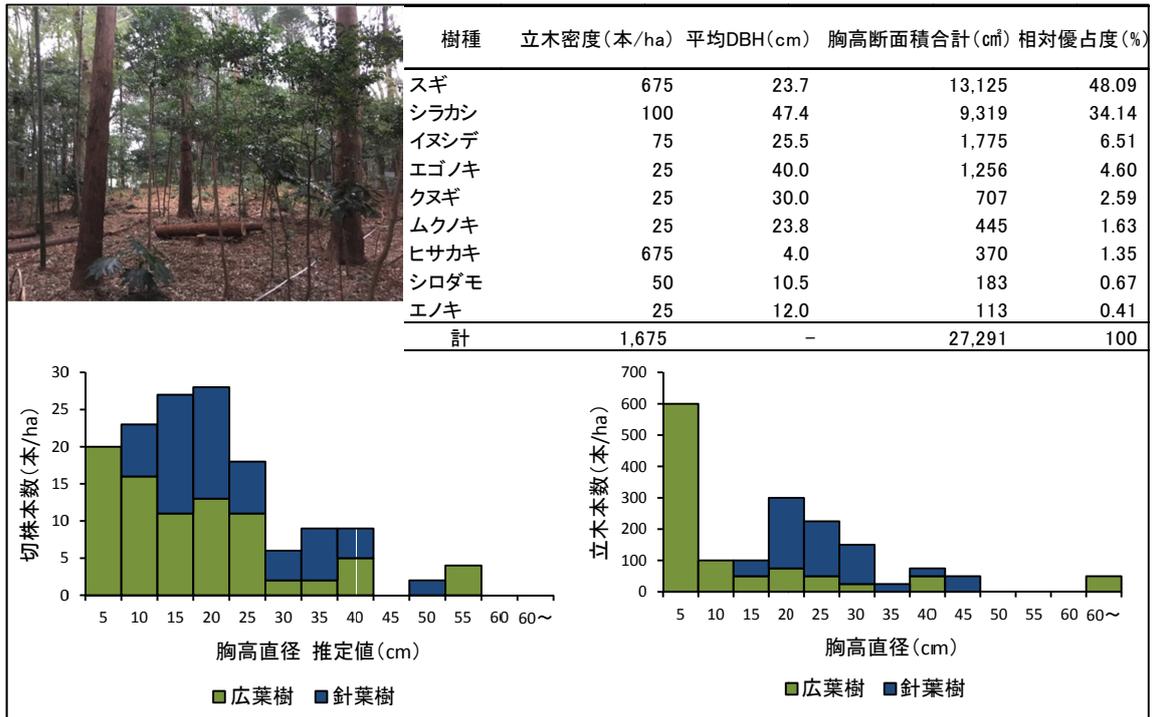


表 3-9 団体 H における林分情報と切株・立木直径階分布

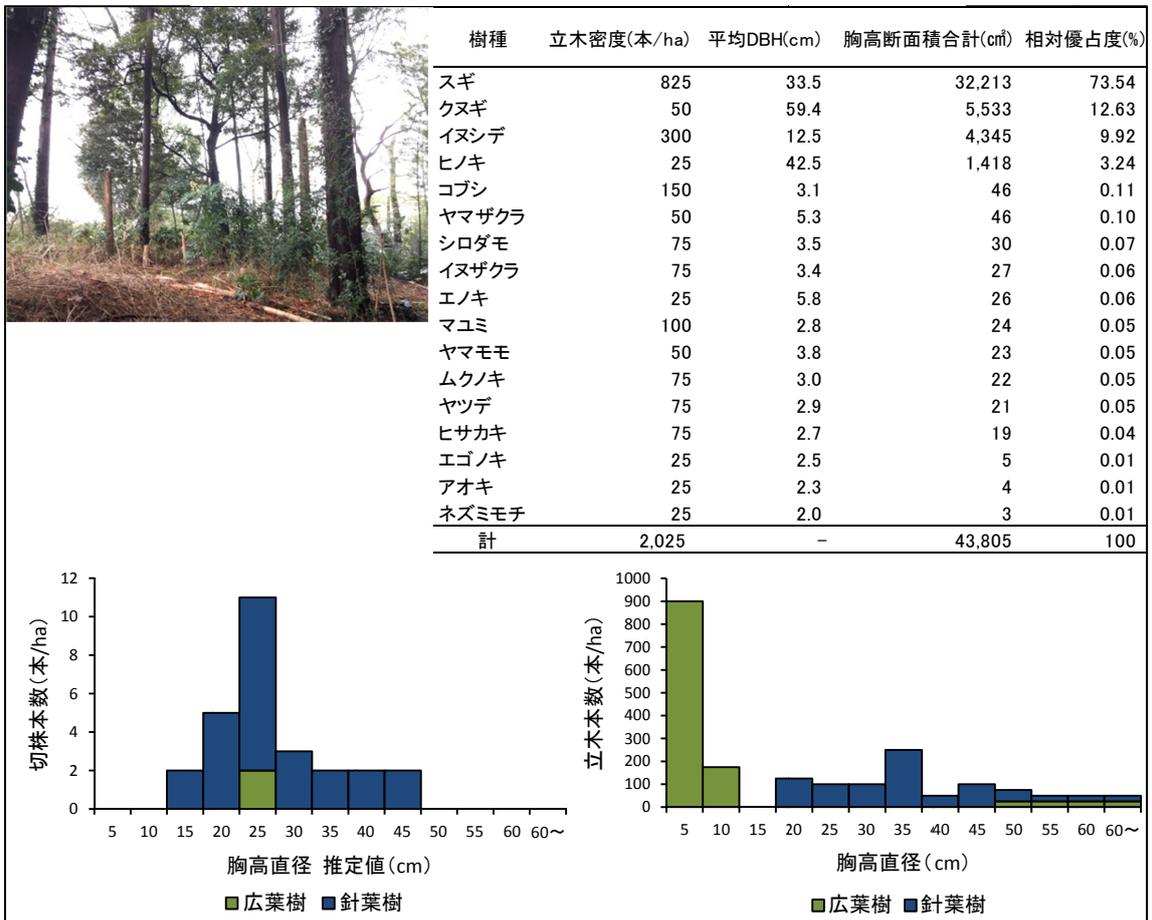
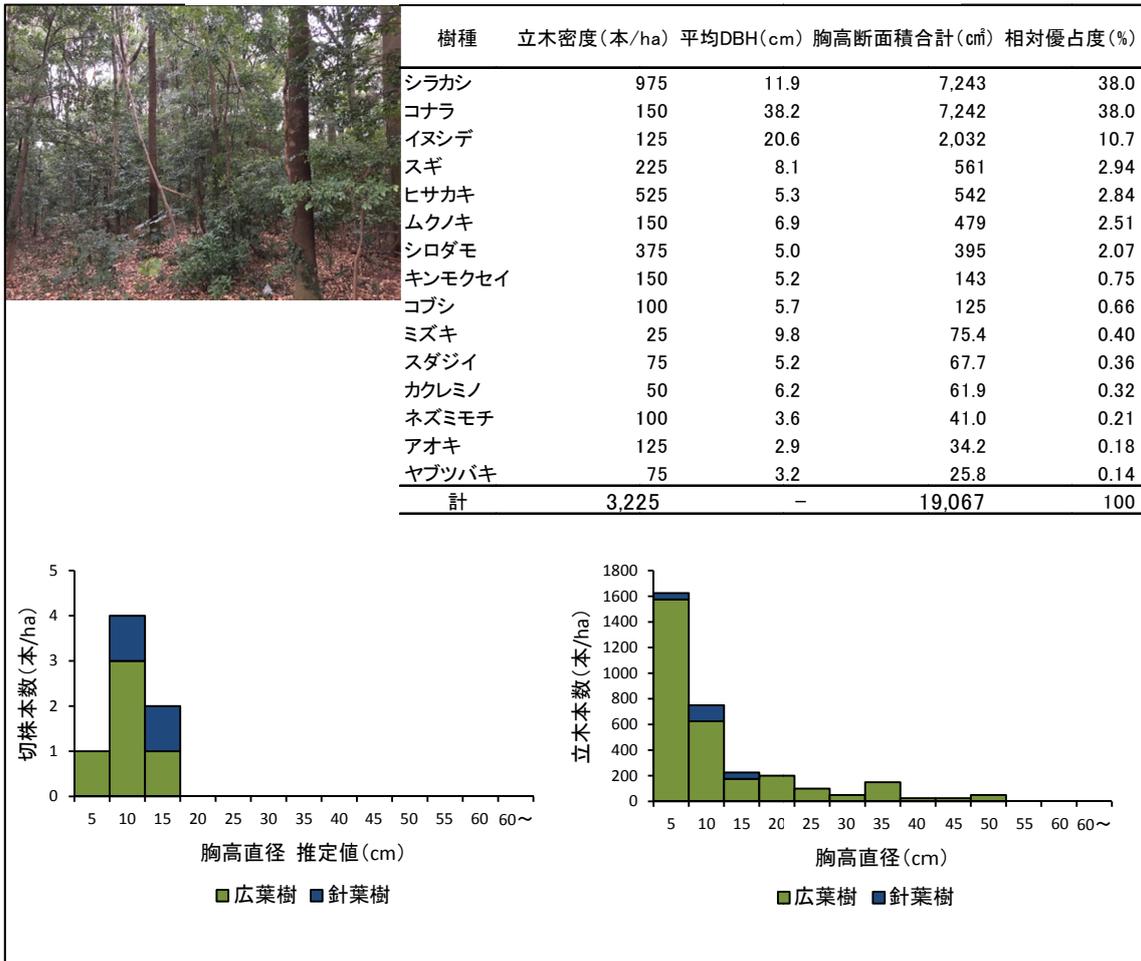
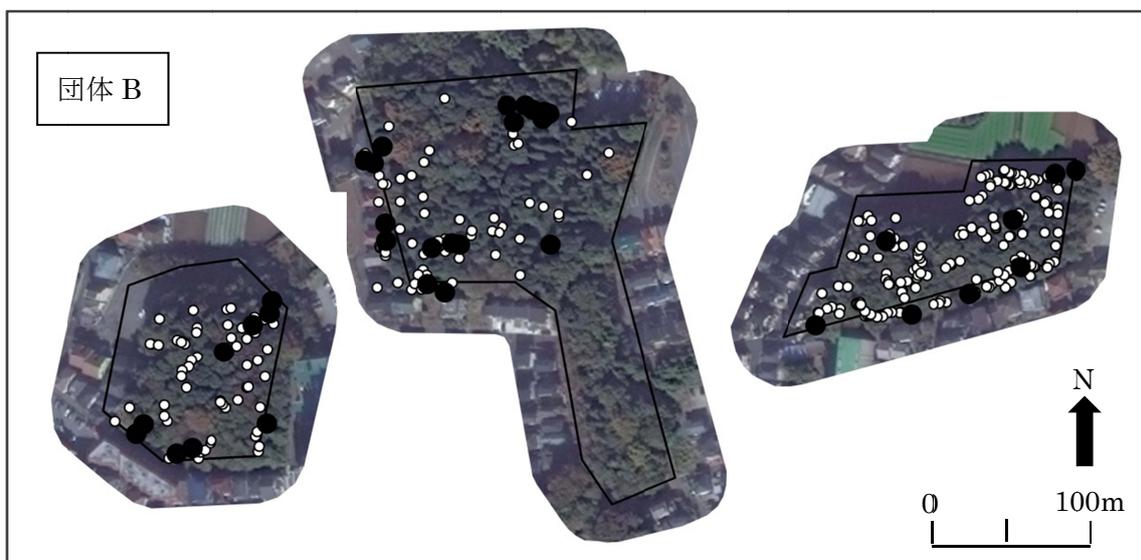
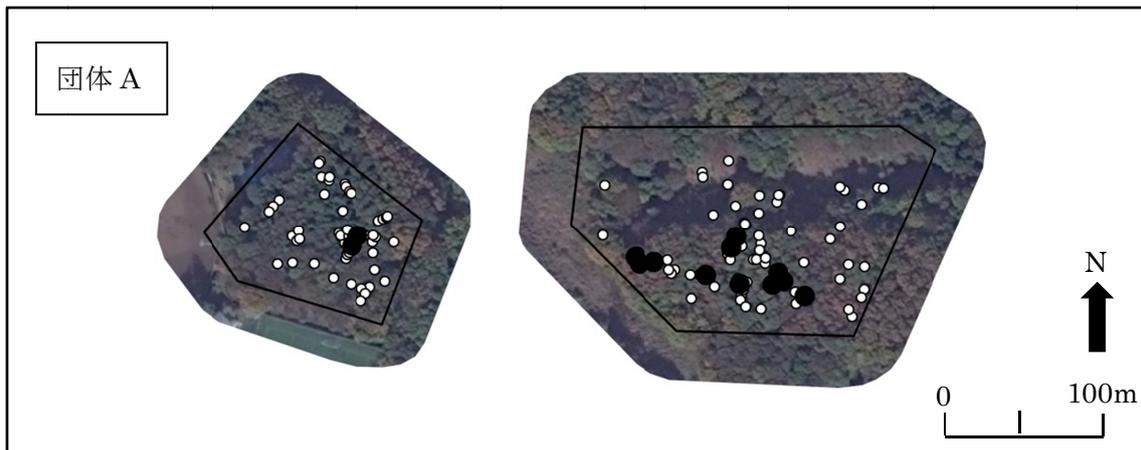


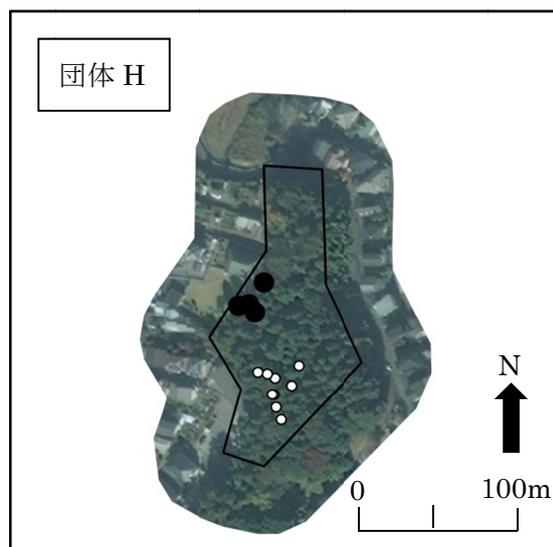
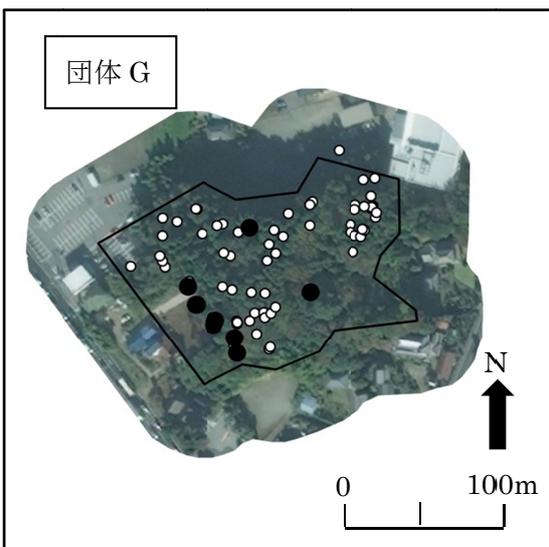
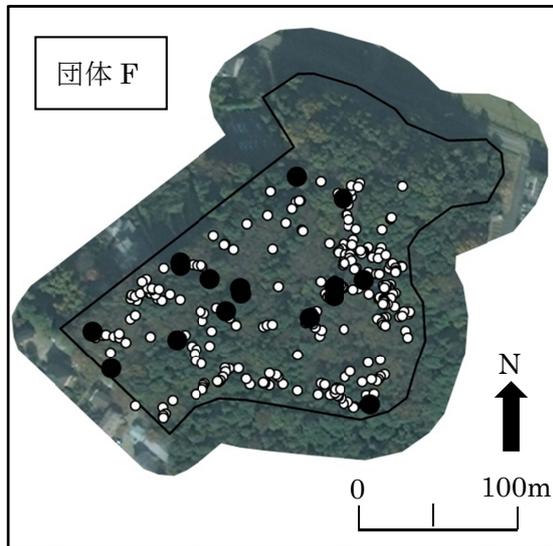
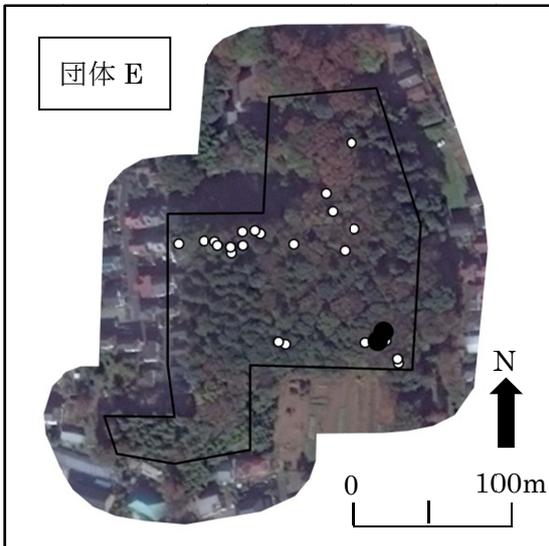
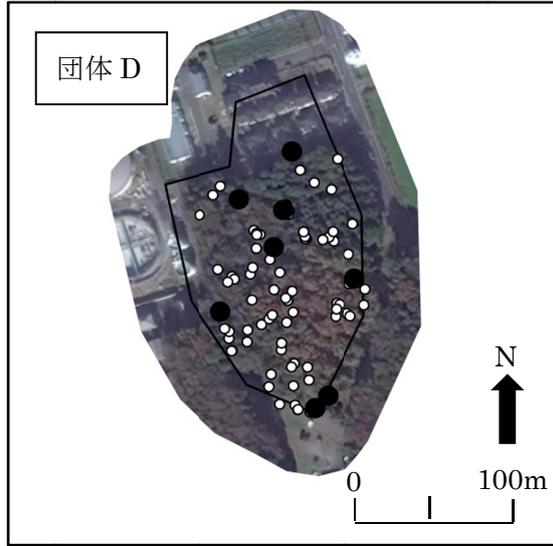
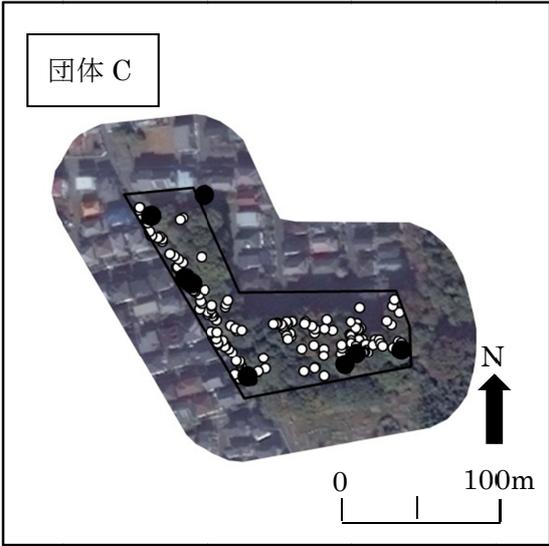
表 3-10 団体 I における林分情報と切株・立木直径階分布



3.4 伐採樹木の空間的な特徴把握

図 3-14 は各団体の管理地における切株位置図であり、根元直径 40cm 以上の切株を黒色で、それ以外の切株を白色で示した。管理地が住宅に囲まれていない団体 A、D、E、F、また、管理が進んでいない団体 I においては、切株の位置に傾向を見出すことが出来なかったが、管理地が住宅に囲まれている団体 B、C、G、H において、住宅地付近での大径木の伐採跡が多く見られた。団体へのヒアリングによると、里山の近辺で生活する都市住民は、落葉枝の蓄積や害虫の発生、見通しの悪化などで悩んでいるケースが多く、団体はこれらの改善のために住民から要求を受け、大径木の伐採を行っていることが分かった。しかしながら、大径木の伐採は団体の技術力では困難であり、また、誤って住宅や電線へ倒木する危険性もあるため、地権者依頼料金を支払い、業者に委託しているケースが殆どであった。この結果から、都市近郊での里山管理においては、近隣住民との兼ね合い、大径木の処理が課題になっていることが明らかとなった。





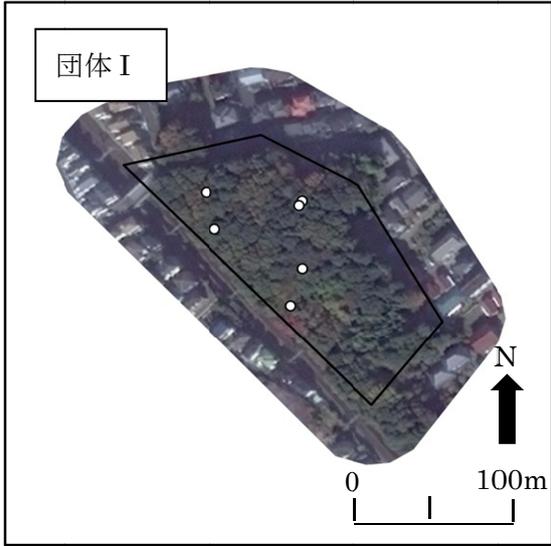


図 3-14 各団体の管理地における切株位置図

第4章 結論および展望

4.1 研究の結論

本研究は、都市近郊里山の保全のために、市民の里山管理に伴って発生する木質バイオマスの持続的な利用を目的とした研究を行った。そのための研究課題として、都市近郊で活動する複数の里山管理団体の調査を通じて、市民の里山管理における経年変化を踏まえたバイオマス発生量の推定と、里山管理の特徴の把握を設定した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ 市民による里山管理におけるバイオマス発生量を、切株調査に基づき推定したところ、9団体の活動により、年間20dt程度のバイオマスが発生しているの見積もられた。
- ・ haあたり年間発生量の平均値は2.21dt/haとなったが、団体や活動の多様性から、団体ごと、年次ごとのばらつきが大きかった。
- ・ 市民による里山管理では、伐採の容易さと、林冠を構成する高木は残したいという意向から、概して胸高直径5~20cmの小・中径木の伐採が目立っていた。一方で、管理の結果、将来の後継樹が不足していると考えられる団体が見られた。これは、小・中径木の集中的な伐採だけでなく、高木の林冠閉鎖による光環境の悪化によって、後継樹が成育しにくい環境にあることが原因と考えられる。もしこの小・中径木を中心に伐採をする管理が過度に行われるのであれば、森林やバイオマス生産の持続性を損なう要因となり得る。
- ・ 都市近郊における里山管理では、落葉枝の蓄積や害虫の発生、見通しの悪化といった問題の改善を望む住民の要求を受け、大径木の伐採を行っていたが、近隣住宅や電線への倒木リスクが制約要因となり容易に伐採を行うことが出来ず、業者に依頼料金を支払って伐採していることが明らかとなった。

既往研究では、里山のバイオマス発生量について、仮に管理を行う場合の発生量を予測する等、ポテンシャルの推定に関するものが多かったが、本研究では切株調査により、実際に利用可能なバイオマス発生量を推定することが出来た。これは、具体的な木質バイオマスの利用方法を提案する上で役立つと考えられる。また、都市近郊における市民の里山管理における実情や課題をデータに基づき示すことができ、市民の里山管理において、これまで不足していた長期的視点に基づいた里山の持続的な保全に向けて有用な情報となるであろう。

4.2 木質バイオマス利用の方向性と市民による里山管理への提案

ここでは本研究結果を踏まえ、市民の里山管理による木質バイオマス利用の方向性や、持続的なバイオマス利用に向けた市民による里山管理への提案を論述する。

(1) 市民の里山管理におけるバイオマス利用の方向性

本研究では、市民による里山管理によって、年間 20dt/yr の木質バイオマスを得られることが分かった。この値をもとに、都市近郊でのバイオマスの利用法を検討した。

まず、近年導入数が増加している薪ストーブに注目し、柏市内で何軒薪ストーブを導入できるのか計算した。柏市での 1 世帯当たり年間薪消費量を算出するために、月平均最低気温と 1 世帯当たり薪消費量との関係式（原島ら、2014、東京大学、2015）を用い、柏市付近（我孫子市）（気象庁、2016）の気温データを代入することで値を得た。

原島ら（2014）、東京大学（2015）による月平均最低気温と薪消費量の関係式は以下のように与えられる。

$$Y = 50.854x + 492.22 \quad (8)$$

Y：一世帯当たり薪消費量、x：月平均最低気温

その結果、推定された 1 世帯当たり年間薪消費量は 1.88dt/yr であり、柏市で発生する木質バイオマス量と照らし合わせると、約 10 軒分に相当することが明らかとなった。

次に、環境教育としての効果が期待できる小・中学校でのバイオマス利用を検討した。学校施設ではペレットストーブの利用が一般的とされているため（国立教育政策研究所、2014）、小・中学校にペレットストーブを導入することを前提とする。まず、市民管理で発生した木質バイオマスをペレットとして利用する場合、どの位熱量を得られるのか計算した。具体的には、ペレット 1kg 当たりの低位発熱量 16.5MJ/kg（日本木質ペレット協会、2016）に、バイオマス発生量 20dt を掛け合わせることで求めた。その結果、年間 330,000MJ の熱量をペレットによって供給できることが分かった。次に、柏市における小・中学校の熱需要量を求めた。東京地域における学校施設（RC 造）の暖房エネルギー使用量は 65.5MJ/年・㎡（国土交通省、2012）とされており、柏市の小・中学校における延床面積の平均値 6,663 ㎡（柏市、2016）を掛け合わせると、436,427MJ となった。つまり、市民管理で発生する木質バイオマス量では、1 校のみでも小・中学校の全ての熱需要を補うことができず、使用する部屋を限定する等の工夫が必要となることが分かった。

これらの結果を踏まえ、市民の里山管理による木質バイオマス利用の短期的・長期的な提案を行う。短期的な利用法としては、管理によって発生したバイオマスを、薪として生産・保管し、市内もしくは近隣の薪ストーブ利用者に販売することが取り組みやすく、かつ有効だと考えられる。例えば、千葉県内で活動する「こびすくらぶ」は間伐等によって発生したバイオマスを薪に加工し、近隣のキャンプ場や一般の方々に販売している（図

4-1)。団体はバイオマスを所有する薪割り機を用いて加工し、管理地内にある薪の保管場所に積み上げ、乾燥させたのちに一般の薪ストーブ利用者やキャンプ場で薪を販売している。これは小規模な利用形態ではあるが、管理に伴って発生したバイオマスを身近な場所で地産地消することは、里山を地域社会で持続的に管理する社会システムの創出に繋がる。また、バイオマスの販売による収益の獲得は、多くの団体でこれまでにはない新たなモチベーションとなると考えられるため、里山の再生に向けて有効な取組になるだろう。



図 4-1 こびすくらの会員による薪加工の様子（左）と薪の保管場所（右）
（こびすくらぶ HP<<http://coppice.main.jp/>>より引用）

長期的な提案としては、小・中学校といった公共施設での利用など、有効なバイオマス利用の方策を検討するために、都市近郊の特性を生かし、例えば近隣の住宅の庭や都市公園の管理によって発生する剪定枝などと合わせてさらなる量のバイオマスを確保することが必要と考えられる。市民管理で発生する 20dt/yr という量は、市内におけるバイオマス利用を考えていく上で微少だと言わざるをえず、コストバランスを考慮すると、各団体からバイオマスを収集し、一定の規模で利用を推進していくことは難しい。一方で、柏市は約 215ha の都市公園が整備されており（柏市、2009）、その際剪定枝などのバイオマスが一定量発生していると考えられる。バイオマス利用の一層の推進に向けて、整備を行う自治体および民間企業に協力を得ながら、バイオマスの複合利用を進めていくことが必要だろう。

（2）市民による里山管理への提案

本研究では、都市近郊における市民による里山管理の特徴として、一つ目に、伐採の容易さと、林冠を構成する高木は残したいという意向から、概して胸高直径 5~20cm の小・中径木の伐採が中心になっていることを明らかにした。しかしながら、管理の結果、将来の後継樹が不足していると考えられる団体が存在した。これは、小・中径木の集中的な伐採だけでなく、高木の林冠閉鎖による光環境の悪化によって、後継樹が成育しにくい環境

にあることが原因と考えられる。もしこの小・中径木を中心に伐採をする管理が過度に行われるのであれば、森林やバイオマス生産の持続性を損なう要因となり得る。一方で、河部ら（2015）は、高齢化・高木化が進行し、後継樹不足が問題になっている里山において、光環境を改善し後継樹の成長を促すためには、林冠木の伐採が重要であることを広葉樹林のモニタリング調査に基づいて明らかにしている。そのため、後継樹を育て、将来の森林の持続性を確保すること、エネルギーとして利用できる一定量のバイオマスを得ることの2点からは、高木を徐々に伐採することが有効であると考えられる。しかしながら、2つ目の特徴として、市民が大径木の伐採を行う際、近隣住宅や電線への倒木リスクが制約要因となり、容易に伐採を行うことが出来ないことが分かった。そのため市民による里山管理では、森林組合等の職業的技術者による伐採支援も必要だと考えられる。例えば、「こびすくらぶ」では森林経営計画を受託し管理を行っており、さらには森林法に基づいて施業実施協定を森林所有者と締結し、森林の整備・保全を行う「手賀沼森友会」という団体も存在する。このような団体は、計画に基づく森林管理が求められる一方、税制優遇や補助金を得て管理を行うことができ、一般の市民団体とプロの林業事業体との中間に位置付けられている（寺田、2010）。市民による里山管理活動では団体との繋がりが不十分との指摘もあるが（藤沢・糸長、2007）、今後団体間のネットワークを広げ、高い技術力を有する団体と協力して管理を行うことで、大径木処理の課題を解決出来ると考えられる。

市民の里山管理は主にレクリエーション目的であるが、管理放棄され遷移が進行した里山においては、その活動意義は高く評価出来るものである。しかしながら、市民の里山管理における次の段階として、長期的視点に基づいた管理、具体的には高木を伐採し、後継樹を育て、森林の持続性や健全性に配慮した管理を検討する必要があるだろう。

4.3 今後の課題

本研究は、都市近郊里山の保全のために、市民の里山管理に伴って発生する木質バイオマスの持続的な利用を目的とした研究を行った。そのための研究課題として、都市近郊で活動する複数の里山管理団体の調査を通じて、市民の里山管理における経年変化を踏まえたバイオマス発生量の推定と、里山管理の特徴の把握を行ったが、以下の点についての議論が不足していると考えられる。これらの課題についてさらに議論を進めることにより、本研究で得られた成果がより実用的になると考えられる。

(1) 他の地域におけるバイオマス発生量調査

本研究の解析は、首都圏の平地林を対象としたものであるが、地形・植生条件等によりバイオマス発生の傾向は異なると考えられるため、推定値の適用範囲が限られている。議論を充実させるためには、同様の調査を別の地域でも行い、より多くの知見を得ることが必要である。

(2) バイオマス推定値の検証や精度向上

本研究では新たに切株調査を発案し、バイオマス発生量の経年変化を推定したが、活動記録の年間作業日数のみで経年変化を算出したため、得られた結果が厳密に正確であるとは言い難い。そのため、今回算出した値の正確性を検証するためには、里山活動団体による樹木伐採のモニタリングを行うなどして、実際に発生したバイオマス量との比較が必要である。また、市民の管理技術や活動参加人数もバイオマス発生量に影響していると考えられるため、それらも考慮した経年変化の推定方法も検討するも必要であろう。

謝辞

本論文は、多くの皆様方の厳しくも温かいご支援がなければ決して完成することはありませんでした。自分の未熟さを痛感した2年間であり、またご支援頂いた皆様に深く感謝申し上げます。

指導教員の山本博一教授には、研究を進める上で多くの助言を頂きました。また研究相談の際には、親身になってご教授して頂き誠に感謝申し上げます。

生物圏情報学分野の講師である寺田徹講師には、研究テーマの相談から始まり、調査方法、考察への助言など多大なご協力をして頂きました。また、造園学会の論文執筆に際してもお忙しい中原稿の添削をして頂きました。多大なご迷惑をお掛けしましたが、根気強く指導して頂いたことに深く感謝申し上げます。

柏市公園緑政課の渡邊様と内埜様には里山活動団体の方々に調査の手配や管理地の案内など、様々な面で御協力頂きました。

そして本研究は、里山活動団体の方々の御協力無しに完成することは出来ませんでした。私のために管理地の紹介やヒアリング調査の時間を割いて頂き、誠に感謝申し上げます。

山本研や齋藤研の方々には、研究や学生生活において色々とお世話になりました。ゼミで頂いた意見やアドバイスは、本研究を進める上で非常に役立ちました。

最後に、長い学生生活を経済的に支えてくれた家族に深く感謝申し上げます。

引用文献

- ・藤沢直樹・糸長浩司（2007）：里山再生ボランティア活動の実態とニーズ：丹沢大山総合調査学術報告書，625-630
- ・服部保（1995）：里山の現状と里山管理：人と自然 6，1-31
- ・原島義明・寺田徹・山本博一・木平英一（2014）：長野県伊那市における薪による小規模バイオマスエネルギー利用の実態：ランドスケープ研究 77(5)，575-578
- ・広木詔三（編）（2002）：里山の生態学：名古屋大学出版会，333
- ・梶山恵司（2013）：木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題-FITを中心とした日独比較分析 < http://www.es-inc.jp/library/mailnews/2013/libnews_id004480.html>，2016.12.20 参照
- ・柏市（2009）：柏市緑の基本計画：柏市都市部公園緑政課，157
- ・柏市（2016）：柏市公共施設等総合管理計画「施設白書編」< http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/030300/p035489_d/fil/zenntaiban.pdf>，2017.1.11 参照
- ・柏市（2017）：柏市の地理・人口< <http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/020800/p000084.html>>，2017.1.6 参照
- ・柏市都市部公園緑政課（2013）：柏市樹林地管理方針，49
- ・川口真理子（2006）：持続可能性「sustainability サステナビリティ」とは何か：経営延暦研究 2006 年夏季号 VOL9，30-59
- ・河部恭子・今野幸則・田中一登（2015）：里山広葉樹林の管理技術に関する研究：宮城県林業総合センター成果報告第 24 号（2015.7），22-31
- ・環境省(1999)：第 5 回自然環境保全基礎調査<www.biodic.go.jp/kiso/vg/vg_kiso.html>，2015.5.10 参照
- ・環境省（2007）：里地里山の現状と課題について< https://www.env.go.jp/nature/satoyama/conf_pu/21_01/shiryos3.pdf>，2016.12.28 参照
- ・環境省（2010）：SATOYAMA イニシアティブとは<http://satoyama-initiative.org/wp-content/uploads/2011/09/satoyama_leaflet_web_jp_final.pdf>，2017,1,2 参照
- ・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-< http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf >，2016.12.20 参照
- ・環境省（2013）：多様な主体で支える地域の里地里山づくり～里地里山における新たな「共同利用」推進のために～< https://www.env.go.jp/nature/satoyama/conf_pu/kyoudouriyoutebiki.pdf>，2016.12.10 参照
- ・気象庁（2016）：気象統計情報（我孫子市）< <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>>，2016.12.6 参照

- ・熊谷哲（2014）：里山再生を目指す市民運動の意義：「環境技術」別冊 VOL.43 NO.12 19-26
- ・倉本宣（2001）：市民運動から見た里山保全：武内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史（編）「里山の環境学」：東京大学出版会，19-31
- ・黒田慶子（2010）：近年の里山管理の問題点 一資源循環をともなう管理の必要性和住民の役割一：山林 No.1517，2-9
- ・経済産業省（2015）：持続可能なバイオマス発電のあり方に係る調査 報告書：平成 27 年度新エネルギー等導入促進基礎調査< http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/000971.pdf>，2017.1.10 参照
- ・国土交通省（2012）：学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書<http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/020/toushin/1321261.htm>，2017.1.10 参照
- ・国立教育政策研究所（2014）：学校施設における再生可能エネルギー活用事例集～熱利用分野～< <https://www.nier.go.jp/shisetsu/pdf/netsuriyoubunya.pdf>>，2017.1.10 参照
- ・越田加代子（2015）：都市近郊における里山保全に向けて：市民による共同管理を中心に：立命館経済学 64(1)，60-97
- ・小寺正一（2008）：里地里山の保全に向けて：レファレンス（686），3-74
- ・松本類志・横張真・寺田徹・山本博一（2011）：都市近郊里山における市民の管理にもとづく木質バイオマス発生量の推定：ランドスケープ研究 74(5)，707-710
- ・丸山徳次（2015）：持続可能社会と里山の環境倫理：村澤真保呂・牛尾洋也・宮浦富保（編）「里山学講義」：晃洋書店，25-58
- ・宮浦富保（2015）：里山のバイオマス-生産と利用-：村澤真保呂・牛尾洋也・宮浦富保（編）「里山学講義」：晃洋書店，175-187
- ・森づくりフォーラム（2016）：森づくり活動についての実態調査 平成 27 年度集計結果< http://www.moridukuri.jp/forumnews/file/H27_MoridukuriReport_160825ver.pdf>，2016.12.20 参照
- ・諸富徹（2003）：『環境』（思考のフロンティア）：岩波書店，27
- ・内閣府（2011）：森林と生活に関する世論調査< <http://survey.gov-online.go.jp/h23/h23-sinrin/index.html> >，2016.12.20 参照
- ・中川重年(2004)：森づくりテキストブック-市民による里山林・人工林管理マニュアル：山と溪谷社，223
- ・中川重年・松村正治（2005）：神奈川県産樹木 15 種のバイオマス燃料としての特性評価：神奈川県自然環境センター報告 第 1 号，21-28
- ・新田均（2004）：森とともに創るこれからの社会」を目指して：森林科学 42，2-3
- ・日本学術会議（2010）：持続可能な世界の構築のために：<<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-tsoukai-6.pdf>>，2016.12.20 参照

- ・日本木質ペレット協会(2016):木質ペレット品質規格<<https://w-pellet.org/hinshitsu-2/>>, 2017.1.10 参照
- ・日本リサイクル緑化協会(1998):根株の容積及び重量の推定について<<http://www.japan-recycle.com/>>, 2016.9.20 参照
- ・日本林業技術協会 (2000):里山を考える 101 のヒント:東京書籍, 225
- ・大住克博・深町加津枝 (2001):里山を考えるためのメモ:林業技術 No.207, 12-15
- ・大畠誠一 (1991):森林の現存量推定法の検討:伐倒によらない推定法:京都大学農学部演習林報告 (1991)63, 23-36
- ・奥敬一(2013):里山林の生態系サービスを発揮するための課題と農村計画の役割:農村計画学会誌 32(1), 20-23
- ・温室効果ガスインベントリオフィス (2015):日本国温室効果ガスインベントリ報告書:国立環境研究所, 320
- ・林野庁 (2015):なぜ木質バイオマスを使うのか< http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_2.html>, 2016.12.27 参照
- ・四手井綱英 (1972):マツとマツ林:自然 316, 24-25
- ・森林総合研究所(2010a):里山に入る前に考えること-行政およびボランティア等による整備活動のために-<http://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/documents/satoyama_3_201002.pdf>, 2016.12.6 参照
- ・森林総合研究所 (2010b):ナラ枯れの被害をどう減らすか—里山林を守るために—<http://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/documents/nara-fsm_201003.pdf> , 2017.1.10 参照
- ・武内和彦 (2001):二次的自然としての里地・里山:武内和彦・鷲谷いづみ・恒川篤史 (編)「里山の環境学」:東京大学出版会, 1-8
- ・千葉県森林課(2012):千葉北部地域森林計画書<<https://www.pref.chiba.lg.jp/shinrin/keikaku/nourinsuisan/shinrinkeikaku.html>>, 2016.9.19 参照
- ・恒川篤史 (2001):日本における里山の変遷:武内和彦・鷲谷いづみ・恒川篤史 (編)「里山の環境学」:東京大学出版会, 39-50
- ・寺田徹・横張真・ボルトハウス ジェイ・松本類志(2010):都市近郊での森林施業計画に基づく市民による里山管理活動の実態:農村計画学会誌 29, 179-184
- ・東京大学(2015):明るい低炭素社会の実現に向けた都市変革プログラム最終報告書, 208
- ・山瀬敬太郎 (2007):兵庫方式の里山林の植生管理:山林 (1476), 32-39
- ・山場淳史・渡邊園子・齋藤一郎・中越信和 (2009):ボランティア団体による木質バイオマス活用を目的としたマツ林型里山保全活動を支援するための技術的検討と合意形成過程:景観生態学 14(1), 73-81

市民が管理する都市近郊里山における 木質バイオマスの持続的な利用に関する研究

2017年3月 生物圏情報学分野 47-156611 小林昂太
指導教員 教授 山本博一

キーワード：都市近郊里山、市民の里山管理、切株調査、持続的なバイオマス生産

1. 背景・目的

近年、里山の管理放棄が進行する中、生態系サービスの観点から里山の価値が再評価され、その保全対策が社会的課題となっている。都市近郊では市民による里山管理活動が全国で行われているが、里山の保全に向けて木質バイオマスの持続的利用が必要とされている。市民による里山管理では、間伐などを通じてバイオマスが発生しているが、多くは林内に放置され、管理の制限要因となっている。また、里山は人による攪乱が継続することで成立する生態系であるため、市民が長期的に里山に関与する必要があり、そのための経済的インセンティブを創出しなければならない。そのため、都市近郊でも木質バイオマスの持続的な有効利用が望まれるが、一方で、市民の里山管理によって、里山の持続性や安定的なバイオマス供給が担保されているか把握する必要はある。よって本研究では、(1) 都市近郊で活動する複数の里山管理団体の調査を通じて、市民の里山管理における経年変化を踏まえたバイオマス発生量と(2) 里山管理の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 研究の方法

研究対象地は、残存する里山の管理が課題であり、市民の里山管理活動が活発に展開されている千葉県柏市とした。また、市内で地権者との里山活動協定を締結した計13団体のうち、調査への協力が得られた9団体を対象として調査を行った。

(1) 切株調査に基づくバイオマス発生量の推定方法

各団体の管理地からのバイオマス発生量を明らかにするため、団体の管理地内に存在する切株を立木伐採跡であるとみなし、「切株調査」と称した調査を行った。切株の根元直径値から胸高直径、樹高を推定し、それらを用いてバイオマス量を推定した。

(2) バイオマス発生量の経年変化推定

団体ごとのバイオマス発生量の経年変化を、団体が所有する間伐作業日数等が記録された活動記録を元に推定した。

(3) 市民による里山管理の特徴把握

市民管理による里山への影響を定量的に明らかにするために、各管理地における切株・立木の胸高直径階分布を比較した。切株の胸高直径分布は、切株調査によって得られた切株の根元直径値を関係式に代入し、推定された胸高直径値を用いて把握した。立木の胸高直径階分布は、各団体の管理地において毎木調査を実施することで把握した。また、伐採される樹木の地理的な条件を把握するために、切株調査で実測した切株の位置情報を、空中写真上に示した。

3. 結果と考察

(1) バイオマス発生量の経年変化

団体ごとのバイオマス発生量は安定しておらず、それぞればらついていた。一方で、9団体のバイオマス発生量の合計値の経年変化をみると、2012年以降は20dtで推移していた。これは、バイオマスの発生が減少傾向に転じている団体がある一方、新たな団体が一定量のバイオマスを生産しており、その増減を相殺しているためと考えられる。今後数年間、団体数や団体の状態が変化しないという条件下においては、概ね年間20dt程度で推移すると予想される。

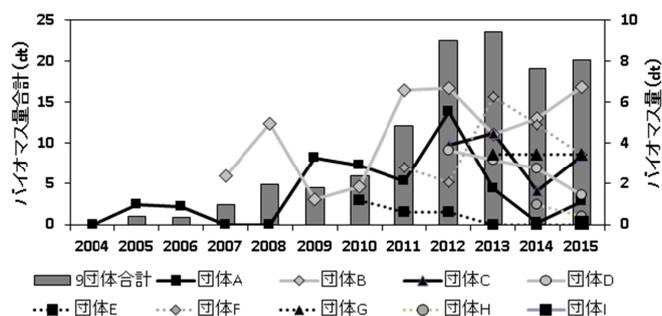


図-1 バイオマス発生量の経年変化

(2) 林分情報と切株・立木胸高直径階分布の比較

各団体の切株・立木胸高直径階分布を比較すると、伐採木の70%が胸高直径5~20cmの小・中径木に偏っていることが明らかとなった。団体へのヒアリングによれば、体力や技術的な問題から大径木の伐採が困難であることから、樹木の伐採は小・中径木中心になることが分かった。一方で、管理の結果、将来の林冠構成種となる後継樹が不足し、里山の高木化・高齢化が進行する団体が見られた。もしこの小・中径木を中心に伐採をする管理が過度に行われるのであれば、里山の健全性の低下を招き、森林やバイオマス生産の持続性を損なう要因となるだろう。

(3) 伐採樹木の地理的な特徴把握

管理地が住宅に囲まれる団体では、住宅地付近での大径木の伐採跡が多く見られた。団体へのヒアリングによると、里山の近辺で生活する都市住民は、落葉枝の蓄積や害虫の発生、見通しの悪化などで悩むケースが多く、団体はこれらの改善のために住民から要求を受け、大径木の伐採を行っていた。しかしながら、大径木の伐採は団体の技術力では困難であり、誤って住宅や電線へ倒木する危険性があるため、地権者が業者に依頼料金を支払い、伐採を委託しているケースが殆どであった。都市近郊での里山管理においては、大径木の処理が課題になっていることが明らかとなった。

4. 木質バイオマス利用の方向性と市民による里山管理への提案

得られた結果からバイオマス利用の方向性を検討した結果、1世帯当たり年間薪消費量に対しては薪ストーブ約10台分に相当し、短期的な利用促進手段として、近隣の薪ストーブユーザーへの販売が有効と考えられる。一方で、公共施設の熱需要には、市民の里山管理によるバイオマス量では足りず、より有効な木質バイオマス利用の方策を検討するためには、街路樹や都市公園の管理によって発生する剪定枝等と合わせてさらなる量のバイオマスを確保する必要があるだろう。市民の里山管理に関しては、後継樹を育て、森林の持続性を確保するためにも、高木を徐々に伐採することを検討する必要がある。その際、高い技術力を有する団体と協力して整備を進めることで、都市近郊里山の持続的な保全や利用が期待できるだろう。

A study of sustainable woody biomass utilization in peri-urban *satoyama* maintained by citizen groups

Mar.2017 Biosphere Information Science 47-156611 Kouta kobayashi
Supervisor Professor Hirokazu Yamamoto

KeyWord: peri-urban *satoyama*, maintenance by citizen groups,
stump survey, sustainable biomass production

1. Introduction

Recently, peri-urban *satoyama* is recognized from ecosystem services point of view and conservation of *satoyama* becomes a social issue. Peri-urban *satoyamas* are managed by local citizen groups but it is necessary to sustainable biomass utilization for restoring. They have been producing certain amount biomass by thinning trees. However, Biomass is leaving in *satoyama* and it causes disease and insect damage. In addition, *satoyama* is the ecosystem established by sustainable disturbance so it needs economic incentive that citizen participates in management. Also, in order to consider utilization biomass, it is essential to conform about forest continuity and sustainable biomass production by citizen group management. This study aims to estimates the amount of woody biomass with secular variation from peri-urban *satoyamas* by citizen groups and identifies the characteristic of citizen management for restoring *satoyama* by sustainable woody biomass utilization.

2. Targets and Methods

This study takes place in Kashiwa city that there is abandonment of *satoyama*, and citizen management is developed actively. We investigated 9 citizen groups gained cooperation for survey in 13 groups which conducted *satoyama* activity agreement with land owner

(1) Estimating the amount of harvestable woody biomass by stump survey

We conducted 'stump survey' to estimate amount of biomass. We calculated DBH and height by applying root diameter that we measured to a formula. We estimated biomass by applying DBH and height, density and biomass expansion factor.

(2) Estimating secular change of woody biomass

We estimated secular change of woody biomass from thinning work days of citizen management.

(3) Identifying the characteristic of *satoyama* management by citizen groups

We made comparison frequency distributions of DBH between stand trees and stumps in management areas to identify effect of *satoyama*. by citizen maintenance. We indicate stumps position on aerial photography in order to identify geographical characteristic of thinning trees.

3. Results and discussions

(1) Secular change of woody biomass

The amounts of woody biomass in each citizen groups don't be stabilized annually. However, total amount of woody biomass is stabilize within 20dt after increasing with born new groups until 2012. This reasons that it trends to decrease biomass production in some groups but new groups product them. New citizen groups can expect biomass production in future, thus it is expected that the amount of biomass retain 20 dt a year

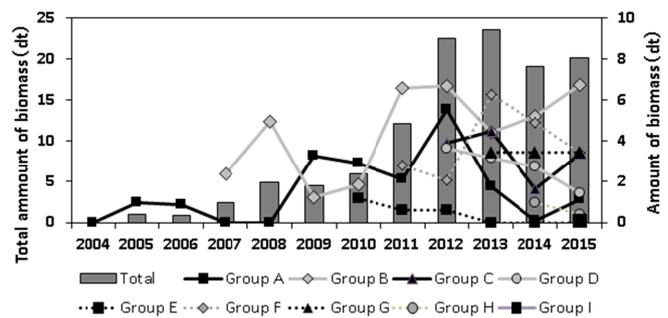


Fig-1 secular change of woody biomass

(2) Frequency distributions of DBH of stand trees and stumps

In all felling trees, small size trees in 5-20cm were 70%. It is difficult for citizen groups to fell the large trees due to physical strength and a technical problem, and they hope to leave large trees. Thus citizen groups thin with focus on small size trees. However, as a result of citizen management, *satoyamas* in some areas lacked young trees for succession forest and progressed aging. If management felling mainly small size trees is conducted excessively, It will cause of losing the soundness of satoyama and forest and biomass production sustainability.

(3) Identifying geographical characteristic of thinning trees

Large stumps were often seen near residences in citizen groups are surrounded by houses. They were thinning large trees for neighborhood to improve accumulation of leaves, breeding of pest and devastation of landscape. However, almost large trees were felled by professional because it is difficult for citizen groups to felled large trees due to risks falling to houses and electric wire.

4. Proposal about biomass utilization and satoyama management by citizen groups

As the result of considering woody biomass utilization referring to estimated amount, it was confirmed that annual firewood consumption per one household was equivalent to approximately ten wood stoves. It is assumed that it is effective to sell firewood to user as a means for utilization promotion. Nevertheless, thermal demand in public facilities was in short supply only harvestable biomass. It is required to compound pruned branch by urban park management due to utilize efficiently. Concerning citizen management, it is needed to consider thinning large trees in cooperation with professional groups on behalf of raising young trees and ensuring sustainability.