

学位論文

木質バイオマスのエネルギー利用による  
都市近郊の里山再生に関する研究

(Studies on the Restoration of Peri-Urban *Satoyama* Woodlands  
through the Utilization of Renewable Energy from Woody Biomass)

2011年3月修了

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

寺田 徹

## Summary

### Studies on the Restoration of Peri-Urban *Satoyama* Woodlands through the Utilization of Renewable Energy from Woody Biomass

Toru TERADA

Woodlands near human settlements often have long histories of providing people with fuelwood and other organic materials. In Japan, these woodlands are called *satoyama*. While *satoyama* woodlands were historically coppiced to provide an essential source of fuelwood, many have been developed into residential areas, particularly in peri-urban areas, as a result of the introduction of fossil fuels beginning in the 1960's. Remaining *satoyama* woodlands were simply abandoned due to the loss of economic value. Abandonment reduced the multifunctional values of *satoyama* woodlands such as scenic beauty, recreational potential, bio-diversity. In response to abandonment, thousands of volunteer groups have formed since the 1990's to restore *satoyama* woodlands. However, in spite of the importance of grassroots volunteers, their actual activities are limited in spatial extent due to shortages of labor power, time, and management skill. This suggests that more substantial incentives are necessary, if management of *satoyama* woodlands is to be extended.

Using woody biomass from *satoyama* woodlands as a carbon-lean renewable energy resource is an important incentive for restoring management. In recent years, the use of woody biomass has become increasingly common in accordance with increased interest in mitigating global climate change. Japan faces difficult CO<sub>2</sub> reduction targets under the Kyoto Protocol, which calls for 6% emission reductions of 1990 emissions by 2012. To accomplish this goal, high-efficiency wood-burning plants have been developed in many cities (e.g. Ichihara, Chiba; Hitachinaka, Ibaraki; Murayama, Yamagata). The recent rapid investment in woodfuel utilization in cities might offer a new role for *satoyama* woodlands in peri-urban areas as a nearby source of woody biomass to meet urban heat and electricity demands.

Restoration of *satoyama* woodlands and utilization of woody biomass have been considered separate issues. On one hand, woody biomass utilization has not been evaluated as a driver for restoring management of *satoyama* woodlands. On the other hand, while many studies have been focused on biomass utilization in mountainous

areas, appropriate biomass utilization scheme for peri-urban areas have not been discussed.

To bridge this research gap, this study first evaluated management of *satoyama* woodlands in terms of the amount of biomass produced through a case study site in peri-urban Tokyo. Then, the amount of bioenergy generated and carbon reduced by biomass utilization of *satoyama* woodlands are estimated based on the amount of biomass obtained. These evaluations may serve as quantitative evidence to bolster the idea that biomass utilization and restoration of *satoyama* woodlands should be discussed in tandem. Next, this study developed the concept of Comprehensive Biomass Utilization System (CBUS), a renewable energy utilization scheme incorporating multiple sources of biomass prevalent in urban and peri-urban areas, including not only *satoyama* woodlands but also arboricultural arisings from green space management and waste wood. Since biomass plants can acquire revenue from the substantial disposal fees imposed on arboricultural arisings and waste wood, its use in tandem with biomass from *satoyama* woodlands in CBUS may contribute to offsetting the costs of obtaining biomass. A CBUS, which has the potential to make biomass utilization of *satoyama* woodlands economically feasible, was applied to a case study and evaluated as a driver to restore maintenance of *satoyama* from an economic point of view.

The purpose of this study is to develop and evaluate a scheme for restoring peri-urban *satoyama* woodlands through the utilization of renewable energy from woody biomass. The concept and the framework of analysis developed here may be an important bridge to link contemporary biomass utilization and restoration of management of peri-urban *satoyama* woodlands.

The study consists of 7 chapters. In **chapter 1**, based on a review literature pertaining to history, present situation, problems on the ground, and academic problems of peri-urban *satoyama* woodlands and biomass utilization, three research tasks were set: 1) To identify the amount of biomass obtained from *satoyama* woodlands through the restoration of management, 2) To identify the amount of energy and CO<sub>2</sub> reductions by utilizing woody biomass, 3) To evaluate feasibility of the biomass utilization and test the CBUS as a scheme of cost reduction.

**Chapter 2** responds to the first research task by identifying the amount of biomass obtained from the management of *satoyama* woodlands. This study selected Higashi-Katsushika, an area located 20 to 40km east of central Tokyo in Chiba Prefecture, as its study site. Deciduous broad leaved forest, represented by *Quercus serrata* and *Quercus acutissima* (4,061ha), and conifer plantations, represented by

*Cryptomeria japonica* (884ha), were selected as representatives of *satoyama* woodlands in the study site for estimating the amount of biomass obtained.

First, the amount of existing biomass was estimated by analyzing data from tree measurements and forest statistics. Then, the results were applied to the Forest Dynamics Estimation Model (FDEM) and the amount of biomass obtained from long-term maintenance was estimated. This study evaluated four different management scenarios; a) ground cover removal, b) light-thinning, c) intensive-thinning, and d) rotational clear-cutting. In the ground cover removal scenario, groundcover, in particular *Pleioblastus chino*, is removed annually to maintain an open, accessible woodland space. In the light-thinning scenario, 10% of trees are thinned on 20 year-intervals to create recreational woodland spaces, while thinning rate is set at 20% in the intensive thinning scenario to create spaces for more active recreation. In the rotational clear-cutting scenario, standing trees are rotationally coppiced for deciduous broad leaved forest on 20-year cycles, while conifer plantations are felled and replanted on the same cycles. This scenario generates a woodlands mosaic of different age classes and enhances biodiversity. The results showed that in total 709,000dry-t of woody biomass was accumulated in *satoyama* woodlands in the study site, and 2,380dry-t of biomass was obtained by the ground cover removal scenario per year, while 6,870dry-t was obtained by light-thinning, 10,670dry-t was obtained by intensive-thinning, and 19,910dry-t was obtained by rotational clear-cutting. The scenario that produces the most woody biomass was rotational clear cutting, the management scenario which also mimics historical management regimes.

**Chapter 3** responds to the second research task by identifying the amount of energy generated and CO<sub>2</sub> reduced through the utilization of wood energy from *satoyama* woodlands. First, the amount of energy generated from *satoyama* woodlands was estimated. Gasification was selected as the state-of-the-art in bioenergy technology and the plant was assumed to be located at an optimum site in the study area in terms of transportation costs. The amount of biomass, estimated in chapter 2, is applied to estimation formulas developed in the field of energy science, and size of plant and power generation efficiency were determined. Based on these conditions, the amount of bioenergy generated from *satoyama* woodlands is estimated to be 3.7 to 38.9 million kWh based on respective maintenance scenarios, sufficient for the electricity of 830 to 8,800 residences, or 0.08 to 0.82% of all residences within the study area. While the energy generated from *satoyama* woodlands is limited, it covers 8.5 to 90% of the goal of biomass energy introduction set for the study area by a renewable energy promotion plan by Chiba Prefecture. Next, CO<sub>2</sub> reductions were estimated. Since there is trade off between CO<sub>2</sub> reduction through utilization of woodenergy and CO<sub>2</sub> fixation by



standing forest, these two variables are analyzed in tandem. CO<sub>2</sub> reductions were estimated by comparing carbon emissions from power generation by fossil fuels (0.561kg-CO<sub>2</sub>/kWh) with carbon-neutral biomass generation. The FDEM was used to estimate the amount of CO<sub>2</sub> fixation in *satoyama* woodlands. The results show that 9,550 to 20,800 t-CO<sub>2</sub> can be reduced by the utilization of carbon-neutral energy and carbon fixation, covering 54 to 117% of the goal of CO<sub>2</sub> reduction set for the study area. The most appropriate scenario for carbon reduction was rotational clear-cutting, suggesting that this scenario, which mimics historical management, can also serve contemporary ends.

**Chapter 4** responds to the third research question by identifying the harvesting and transportation costs of biomass utilization. Average site slope, distance between logged site and nearest road, distance between nearest road and biomass plant were estimated using GIS and set as variables for each forest patch to apply a cost estimation formula. First, costs generated from biomass utilization in mountainous and peri-urban areas were compared with case studies of the Tokyo metropolitan area. The results showed that the average harvesting and transportation costs in peri-urban area had 15% (1,600JPY/dry-t) advantage compared to the costs in mountainous area. Next, harvesting and transportation costs generated from biomass utilization in Higashi-Katsushika area were estimated. The rotational clear-cutting scenario was selected as the most appropriate scenario for bioenergy generation and carbon reduction. The total harvesting and transportation costs were estimated to be 19.4 million JPY per year, while the average cost per dry ton of biomass was estimated to be 9,716JPY/dry-t. In addition, other costs for biomass plant operation were estimated by referencing a feasibility study report by Department of the New Energy and Industrial Technology Development Organization. Taking all costs into account, electricity generation cost by assumed biomass plant was estimated to be 11.1JPY/kWh. Since the income from electric power generated from woody biomass in Japan is 8.7JPY/kWh in 2009, using woody biomass from *satoyama* woodlands is not economically feasible without the implementation of cost reduction measures.

**Chapter 5** also responds to the third research question by evaluating a Comprehensive Biomass Utilization System (CBUS) as a cost reduction scheme. As explained above, the CBUS developed in this study is a renewable energy utilization scheme incorporating multiple sources of biomass prevalent in urban and peri-urban areas, including not only *satoyama* woodlands but also arboricultural arisings from green space management and waste wood. Arboricultural arisings were estimated by multiplying the total tree crown area of each green space by its respective rate of

biomass generation. Estimation of the amount of urban waste wood available for biomass generation in the study area relied on prefectural data. The results showed that CBUS results in 10% reduction of the total biomass utilization cost, while 180% more woody biomass can be acquired than in solely utilizing woody biomass from *satoyama* woodlands. The number of residences that can be supplied electricity from the biomass plant increased from 8,800 to 16,800, covering 172% of the goal of biomass energy introduction. The CBUS increased the amount of CO<sub>2</sub> reductions as well, from 20,800 to 51,600t-CO<sub>2</sub>/yr, covering 291% of the goal of CO<sub>2</sub> reduction. The electricity generation cost was reduced by CBUS to 5.28JPY/kWh, lower than 8.7JPY/kWh as the average value for selling wood energy in 2009.

**Chapter 6** examines the social conditions required for implementation of maintenance restoration and biomass utilization through case studies of advanced activities. In the final portion of this chapter, a social system for implementing restoration of *satoyama* woodlands is proposed.

**Chapter 7** concludes the study. First, restoration scenarios of peri-urban *satoyama* woodlands were evaluated in terms of generating woody biomass, supplying bioenergy, and CO<sub>2</sub> reduction. Then, the most appropriate scenario for maximizing the outlets for biomass was determined to be the rotational clear-cutting scenario, which mimics historical management regimes. Next, feasibility of the rotational clear cutting scenario was evaluated and the results showed that cost reduction measures are essential to implement the restoration scenario. Finally, a CBUS, incorporating multiple sources of biomass, was developed as a cost reduction measure applicable to peri-urban areas and it was tested in the study site. This study concludes that a CBUS presents significant potential for cost reduction, and maintenance restoration by the rotational clear-cutting scenario can be implemented if the economic incentives are acquired by development of a CBUS. The results of this study suggest an importance of comprehensive schemes such as a consideration of restoration of *satoyama* management in tandem with biomass utilization and CBUS in peri-urban area. Management of *satoyama* woodlands in peri-urban areas may not be extended without such combination ideas. This study would provide a starting point for implementing such planning schemes.

While this study provided a framework for the restoration of maintenance of *satoyama* woodlands, the variety of local conditions, such as vegetation type and distribution characteristic of *satoyama* woodlands, and diverse energy demands were not discussed. The framework discussed in this study should be applied to other areas in order to determine the range of application.

## 論文の要旨

本論文は、管理放棄により荒廃が進む都市近郊の里山を対象として、その管理再生の在りようを、木質バイオマスのエネルギー利用の観点から論じたものである。

本論文は全7章から構成される。

第1章では、社会背景の整理から、都市近郊里山の管理放棄の問題に対して、木質バイオマスのエネルギー利用による管理インセンティブの付与に関して検討する必要性を指摘した。さらに、既往研究のレビューから、人の管理に基づく都市近郊里山のバイオマス発生量の評価、バイオマスのエネルギー利用面からの評価、バイオマス利用に関する実現可能性の評価の3点が不足していることを指摘した。そして、本論文の目的として「里山管理に伴うバイオマス発生量の解明」、「発生したバイオマスをエネルギー利用した場合の効果の解明」、「里山のバイオマス利用のコスト面からの評価とその低減策の検討」の3点を設定し、それらの検討を通じて、木質バイオマスのエネルギー利用を通じた都市近郊里山の管理再生についての計画的基礎を提示することを、本研究の目的として掲げた。

第2章「里山管理に伴う木質バイオマス発生量の推定」は、本研究の第1の目的に対応している。ここでは、発生量を推定するにあたり、まず、里山のバイオマス現存量を、現地調査、林業センサス、収穫表、および相対成長推定式を用いて明らかにし、次いで、複数の里山管理シナリオを設定し、それらのシナリオを実行した際のバイオマス発生量について、林分成長シミュレーションによる推定を行った。その結果、研究対象地における対象樹種の現存量は、クスギ・コナラ林において139dt/ha、スギ林において164dt/haと推定され、概ね既往研究の値と整合した。次いで、得られた値をシミュレーションモデルの初期値として入力し、60年間の林分成長シミュレーションにより、里山管理時のバイオマス発生量を明らかにした。管理シナリオは、多様な環境保全機能の発現を意図して、「景観保全」、「休息レクリエーション」、「運動レクリエーション」、「ランドスケープ多様性」の4パターンを設定した。それぞれのシナリオにおけるバイオマス発生量は、研究対象地全体で2,380～19,910dt/yとなり、人為の強さとバイオマス発生量が比例する関係が確認された。バイオマス発生量が最大の管理シナリオは、立木の皆伐を伴うランドスケープ多様性型の管理であり、低林状態で森林を維持する際のバイオマス生産量の多さが確認された。

第3章「里山由来バイオマスによるエネルギー供給可能量・CO<sub>2</sub>削減効果の推定」は、本研究における第2の目的に対応し、第2章で得られた発生量の値を、バイオマス発電による電力供給、CO<sub>2</sub>削減効果の2点から評価することにより、エネルギー利用時の効果を

解明した。まず、エネルギー分野の推定式や係数を用いて電力供給可能量の推定を行った結果、里山管理によって発生する 2,380~19,910dt/ha のバイオマスは、ガス化発電プラントにおける発電を考える場合、3.7~39 百万 kWh の電力へ変換可能であり、その際の電力供給可能世帯数は、830~8,800 世帯となった。この値は対象地の全世帯に対して 0.08~0.82% であり、エネルギー自給という観点からは限定的な値であった。しかし、バイオマスエネルギーの導入目標値に対しては 8.5~90% となり、とくにランドスケープ多様性型の管理において高いポテンシャルが確認された。次いで CO<sub>2</sub> 削減効果からの評価を行った。バイオマス利用による CO<sub>2</sub> 排出量の削減と、CO<sub>2</sub> 吸収固定量とのあいだにはトレード・オフの関係がみられたが、その収支で評価した際の削減可能量は、管理シナリオごとに 10,363~21,048t-CO<sub>2</sub> となり、ランドスケープ多様性型の管理シナリオが、最も CO<sub>2</sub> を削減しうるシナリオとして評価された。また、その際の CO<sub>2</sub> 削減目標値に対する達成率は 58~119% となり、ランドスケープ多様性型の管理においては削減目標を達成可能であった。同シナリオは、古くから行われていた農用林、薪炭林維持のための管理に類するものであり、歴史的な管理形態が、現代的な CO<sub>2</sub> 削減という命題からも高く評価される結果となった。

第 4 章および第 5 章では、本研究における第 3 の研究目的である、「里山のバイオマス利用のコスト面からの評価とその低減策の検討」に対応する解析を行った。

第 4 章「里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストの推定」においては、まず、バイオマスの収穫・輸送コストに関する、山間部の森林と都市近郊の里山との相対的な比較を行った。下総台地の里山（平地林）と秩父地域の森林を対象に、既往の推定式と GIS を用いた解析により推定を行った結果、単位重量あたりの収穫・輸送コストは、下総台地の里山のほうが 15%（約 1,600 円/dt）ほど優位であった。次いで、研究対象地の里山に対してランドスケープ多様性型の管理シナリオの適用を想定し、同様の方法でバイオマスの収穫・輸送コストの推定を行った結果、コストの総和は 17.6 百万円となり、単位重量あたりの平均コストは 9,716 円/dt となった。この値をもとに、バイオマスプラントの運営に関係するランニングコストを推定し、単位発電量あたりのコストを推定したところ、11.1 円/kWh となった。現行 RPS 法にもとづく取引価格（7.5~8.7 円/kWh）との比較から、里山のバイオマス利用の経済的な成立は困難であると判断され、コストの削減や追加的な収入を得る為の検討が不可欠だと結論づけられた。

第 5 章「木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果の推定」においては、里山のバイオマス利用の実現可能性を高めるために、総合的・複合的なバイオマスの利用システムのもとに里山のバイオマス利用を位置付けるという構想を提案し、同システムによるバイオマス収集可能量、エネルギー供給可能量、CO<sub>2</sub> 削減効果、およびシステムの経済性に関する実証的な検討を行った。その結果、まず、複合利用による木質バイオマス収集可能量は 35,840dt/yr となり、その際の電力供給可能量は 74.0 百万 kWh となった。この値は 16,800 世帯（研究対象地の 1.55%）の電力需要を満たすものであり、バイオマスエネルギーの導入

目標値に対する割合は 172%であった。次に、CO<sub>2</sub> 削減効果は 51,600t-CO<sub>2</sub>/yr と推定され、削減目標に対して 291%の達成率となり、CO<sub>2</sub> 削減策のひとつとしてポテンシャルが高いことが示された。最後に、事業性に対する試算を行った結果、RPS 法に基づく電力取引価格を下回るコスト (5.28 円/kWh) で発電が可能となり、里山のバイオマス利用の事業的な実現可能性が示唆された。

以上の第 4 章、第 5 章における検討により、木質バイオマスのエネルギー利用による里山の管理再生の実現可能性を高めるにあたり、木質バイオマスの複合利用が有効であることが示唆された。木質バイオマスの複合利用は、里山のみならず、公園緑地や街路樹、公共施設内の緑地や民有緑地といった様々な緑地の管理促進にもつながると考えられ、地域に分布する緑地全体の質の向上にも資する可能性をもつものである。里山を同システムへ位置付けるためには、上記で検討を行った経済的な視点に加え、このような環境保全上の多様なメリットを踏まえた上での複眼的、戦略的視点が必要となってくると考えられた。

最後に、第 6 章「計画の実現に向けた社会システムの検討」においては、前章までの検討内容の社会実装に向けた課題を検討するものとして、木質バイオマスのエネルギー利用による都市近郊里山の管理再生を実現するための具体的な社会システムを、「里山管理システム」「プラント運営システム」「エネルギー利用システム」の 3 つのサブシステムの総体として提示した。

これらの検討により、第 1 章で述べた 3 つの研究課題を通じて基礎的な知見が得られたものと考えられ、さらに、第 6 章において里山の管理再生に向けた社会システムのあり方を提示したことにより、本研究の目的である、木質バイオマスのエネルギー利用による都市近郊里山の管理再生に関する計画的基礎の提示がなされたものと考えられた。

なお本研究が対象とした、木質バイオマスのエネルギー利用の観点からの里山再生についての計画的検討は、未だ緒についたばかりであり、本研究においては最も基礎的な課題の検討を、ケーススタディを通じて行うに留まった。従って今後の研究に向けた中心的な課題は、本研究で使用した評価の枠組みのブラッシュアップ、および適用範囲の同定と値の一般性の獲得に向けたケーススタディの積み重ねにあると考えられた。

## 目次

SUMMARY .....	1
論文の要旨 .....	6
目次 9	
図目次 13	
表目次 16	
<b>第1章 研究の背景・目的・構成</b> .....	<b>18</b>
1.1 背景 .....	18
1.2 問題の所在 .....	21
1.3 研究課題と目的 .....	23
1.4 既往研究の整理と本研究の位置づけ .....	23
1.4.1 低位利用広葉樹林としての里山 .....	24
1.4.2 緑地的視点からの里山の再評価 .....	24
1.4.3 オイルショックを契機としたバイオマスへの関心の高まり .....	25
1.4.4 生物相保全・市民参加の場としての里山 .....	26
1.4.5 文化・環境複合系としての里山 .....	27
1.4.6 地球環境時代におけるローカルな資源としての里山 .....	28
1.4.7 国際誌にみる関連研究 .....	30
1.4.8 本研究の位置づけと課題設定の妥当性 .....	30
1.5 構成 .....	33
1.6 対象 .....	35
1.6.1 研究対象地 .....	35

1.6.2	日本全国における位置づけと成果の適用可能性	36
1.6.3	対象とする森林植生	38
1.7	用語の定義	39
<b>第2章 里山管理に伴う木質バイオマス発生量の推定</b>		<b>41</b>
2.1	はじめに	41
2.2	本章の構成	43
2.3	バイオマス現存量の推定	44
2.3.1	方法	44
2.3.2	結果と考察	50
2.4	バイオマス発生量の推定	58
2.4.1	方法	58
2.4.2	結果と考察	74
2.5	まとめと課題	86
<b>第3章 里山由来バイオマスによるエネルギー供給可能量・CO<sub>2</sub>削減効果の推定</b>		<b>87</b>
3.1	はじめに	87
3.2	本章の構成	90
3.3	里山由来バイオマスによるエネルギー供給可能量	91
3.3.1	方法	91
3.3.2	結果と考察	91
3.4	バイオマスの利用によるCO <sub>2</sub> 削減効果	94
3.4.1	方法	94
3.4.2	結果と考察	97
3.5	まとめと課題	101

第4章	里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストの推定	102
4.1	はじめに	102
4.2	本章の構成	103
4.3	山間部森林との収穫・輸送コストの比較	104
4.3.1	方法	104
4.3.2	結果と考察	108
4.4	里山のバイオマス利用の収穫・輸送コストとフィジビリティ	110
4.4.1	方法	110
4.4.2	結果と考察	112
4.5	まとめと課題	115
第5章	木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果の推定	116
5.1	はじめに	116
5.2	里山保全の手段としてのバイオマスの複合利用	117
5.3	方法	118
5.3.1	対象とする木質バイオマス	118
5.3.2	バイオマス発生量の推定	119
5.3.3	逆有償取引価格の設定	122
5.3.4	エネルギー供給可能量・CO <sub>2</sub> 削減効果の推定	122
5.3.5	プラント運営の事業性評価	122
5.4	結果と考察	123
5.4.1	緑地管理時剪定枝の発生量	123
5.4.2	建設発生木材を含めたバイオマス発生量	124
5.4.3	エネルギー供給可能量	125
5.4.4	CO <sub>2</sub> 削減効果	126
5.4.5	原料調達コストの削減	127
5.5	まとめと課題	131



第 6 章 計画の実現に向けた社会システムの検討.....	133
6.1 はじめに .....	133
6.2 3つのサブシステムの概要.....	133
6.2.1 里山管理システム .....	133
6.2.2 プラント運営システム .....	134
6.2.3 エネルギー利用システム.....	134
6.3 里山管理システムの詳細検討.....	135
6.3.1 NPO 法人こびすくらの概要.....	136
6.3.2 船橋森林施業計画 .....	137
6.3.3 管理活動の実態 .....	139
6.3.4 活動に対するメンバーの評価と課題.....	142
6.3.5 バイオマスの利用 .....	143
6.3.6 まとめと展望 .....	144
6.4 都市近郊里山の管理再生へ向けた社会システム.....	144
第 7 章 結論.....	147
7.1 本研究の結論 .....	147
7.2 今後の課題 .....	150
初出一覧 .....	152
引用文献・HP .....	153
あとがき・謝辞 .....	167

## 図目次

図 1-1	管理が放棄された都市近郊の里山 .....	18
図 1-2	本研究の構成 .....	33
図 1-3	研究対象地における里山の分布と人口密度.....	35
図 1-4	日本列島の地形分類 .....	37
図 1-5	関東地方 515 市区町村（島嶼部を除く）における人口密度と森林率の関係..37	
図 1-6	首都圏整備法の対象地域と近郊整備地帯の範囲.....	40
図 2-1	クヌギ・コナラ林のバイオマス現存量推定フロー（立木） .....	44
図 2-2	クヌギ・コナラ林のバイオマス現存量推定フロー（林床） .....	44
図 2-3	研究対象地における標準地の分布と林内景観.....	45
図 2-4	スギ林のバイオマス現存量推定フロー（立木） .....	48
図 2-5	スギ林のバイオマス現存量推定フロー（林床：低木類） .....	49
図 2-6	2000 年林業センサスにもとづく齢級別森林面積（人工林） .....	49
図 2-7	各調査区の樹木個体の H-DBH 関係.....	51
図 2-8	モデル林分における H-DBH 関係.....	54
図 2-9	調査区別地上部現存量 .....	55
図 2-10	調査区別林床バイオマスの現存量 .....	55
図 2-11	クヌギ・コナラ林のバイオマス発生量推定フロー（立木） .....	63
図 2-12	クヌギ・コナラ林のバイオマス発生量推定フロー（林床） .....	63
図 2-13	森林動態予測モデルの構造 .....	64
図 2-14	光-光合成曲線における定数 a の調整 .....	67
図 2-15	スギ林のバイオマス発生量推定フロー（立木） .....	72
図 2-16	スギ林のバイオマス発生量推定フロー（林床：低木類） .....	72
図 2-17	現存量の変化（クヌギ・コナラ林，景観保全） .....	74
図 2-18	現存量の変化（スギ林，景観保全） .....	75
図 2-19	現存量の変化（クヌギ・コナラ林，休息レクリエーション） .....	76
図 2-20	択伐を意図した際の現存量の変化 （クヌギ・コナラ林，休息レクリエーション） .....	76
図 2-21	現存量の変化とバイオマス発生量 （クヌギ・コナラ林，休息レクリエーション） .....	77
図 2-22	現存量の変化（スギ林，休息レクリエーション） .....	77
図 2-23	択伐を意図した際の現存量の変化（スギ林，休息レクリエーション） .....	77
図 2-24	現存量の変化とバイオマス発生量（スギ林，休息レクリエーション） .....	78

図 2-25	現存量の変化（クヌギ・コナラ林，運動レクリエーション）	79
図 2-26	択伐を意図した際の現存量の変化 （クヌギ・コナラ林，運動レクリエーション）	79
図 2-27	現存量の変化とバイオマス発生量 （クヌギ・コナラ林，運動レクリエーション）	79
図 2-28	現存量の変化（スギ林，運動レクリエーション）	80
図 2-29	択伐を意図した際の現存量の変化（スギ林，運動レクリエーション）	80
図 2-30	現存量の変化とバイオマス発生量（スギ林，運動レクリエーション）	80
図 2-31	現存量の変化（クヌギ・コナラ林，ランドスケープ多様性）	81
図 2-32	輪伐を意図した際の現存量の変化	81
図 2-33	現存量の変化とバイオマス発生量 （クヌギ・コナラ林，ランドスケープ多様性）	82
図 2-34	現存量の変化（スギ林，ランドスケープ多様性）	83
図 2-35	輪伐を意図した際の現存量の変化（スギ林，ランドスケープ多様性）	83
図 2-36	現存量の変化とバイオマス発生量（スギ林，ランドスケープ多様性）	83
図 2-37	管理シナリオごとバイオマス発生量	85
図 3-1	ガス化発電プラントの一例	88
図 3-2	木質バイオマスのエネルギー利用の設備規模と利用形態のイメージ	89
図 3-3	第3章の推定フロー	90
図 3-4	電力供給可能量と導入目標値との比較	93
図 3-5	p-median 問題の結果とプラント位置	96
図 3-6	管理シナリオごと CO2 排出削減量および利用時排出量	97
図 3-7	評価期間中の現存量の変化	98
図 3-8	CO2 削減効果と削減目標値との比較	100
図 4-1	様々な木質バイオマスを対象とした原料取得コストの比較	102
図 4-2	都市近郊に広がる里山	103
図 4-3	対象地の植生分布と地形区分図との対応	104
図 4-3	各対象地における林分の収穫・輸送コストからの評価	108
図 4-5	収集するバイオマスの量と平均収穫・輸送コストとの関係	109
図 4-6	各林分の収穫・輸送コストからの評価	112
図 4-7	クヌギ・コナラ林とスギ林の分布	112
図 4-8	バイオマス収集量の積算値と収穫・輸送コスト平均値の推移	113
図 4-9	ランニングコストの内訳	113
図 5-1	木質バイオマスの複合利用による里山再生のイメージ	117
図 5-2	用いた空中写真のサンプル	120

図 5-3	施設緑地等由来バイオマスと里山由来バイオマスの管理時発生量比較.....	123
図 5-4	対象地における緑地の樹冠被覆面積.....	123
図 5-5	各発生源からのバイオマス発生量.....	125
図 5-6	導入目標値との比較.....	125
図 5-7	CO2 削減効果と削減目標値との比較.....	126
図 5-8	里山由来バイオマスを追加的に複合利用した際の原料調達コストの変化....	127
図 5-9	原料調達コスト別の管理対象里山の分布.....	127
図 5-10	ランニングコストの比較.....	129
図 5-11	民間事業者による排出権取引.....	130
図 5-12	バイオマスの複合利用の数値的イメージ.....	131
図 6-1	こびすくらの活動風景.....	136
図 6-2	船橋森林施業計画の対象地.....	138
図 6-3	船橋森林施業計画と計画に関連する主体.....	139
図 6-4	活動投下量の推移.....	140
図 6-5	重視する活動内容の比較.....	142
図 6-6	林内に山積されるバイオマス.....	143
図 6-7	都市近郊里山の再生へ向けた社会システム.....	145

## 表目次

表 1-1	研究対象地の基本情報 .....	36
表 2-1	容積密度とバイオマス拡大係数 .....	47
表 2-2	推定に用いた千葉県収穫予想表 .....	48
表 2-3	立木調査の結果 .....	53
表 2-4	クヌギ・コナラ林の地上部現存量 .....	56
表 2-5	スギ林の地上部現存量 .....	57
表 2-6	設定した里山管理シナリオ .....	58
表 2-7	レクリエーションのタイプと適切な立木密度 .....	61
表 2-8	各層共通のパラメータ .....	69
表 2-9	層別に設定するパラメータ .....	69
表 2-10	森林動態予測モデルに入力した初期値 .....	70
表 2-11	管理シナリオごとバイオマス発生量 .....	84
表 3-1	バイオマスの種類と利用技術の対応 .....	88
表 3-2	管理シナリオごと電力供給可能量 .....	92
表 3-3	CO <sub>2</sub> 排出量の推定に用いた原単位 .....	95
表 3-4	樹種別の排出量原単位 .....	95
表 3-5	CO <sub>2</sub> 排出削減量と利用時排出量との収支 .....	97
表 3-6	蓄積変化法による CO <sub>2</sub> 吸収固定量の評価 .....	99
表 3-7	管理シナリオごと CO <sub>2</sub> 削減効果の収支 .....	99
表 4-1	山間部森林との比較に用いた管理シナリオ .....	105
表 4-2	成長量を予測するための回帰式の一覧 .....	106
表 4-3	植生タイプごとバイオマス発生量原単位の一覧 .....	106
表 4-4	収穫・輸送コスト推定式 .....	107
表 4-5	同量のバイオマス (40,000dt/yr) を利用する場合の比較 .....	109
表 4-6	電力取引価格の推移 .....	114
表 5-1	各緑地のバイオマス発生量原単位 .....	119
表 5-2	層化抽出の概要 .....	120
表 5-3	外挿のために用いたデータ .....	121
表 5-4	緑地による年間 CO <sub>2</sub> 吸収固定量の原単位 .....	122

表 5-5	市町村別樹冠被覆面積とバイオマス発生量.....	124
表 5-6	バイオマスの複合利用による電力供給可能量.....	125
表 5-7	バイオマスの複合利用による原料調達コストの低減効果.....	128
表 6-1	こびすくらの活動に関する調査の概要 .....	136
表 6-2	作業日報への記載が確認された活動の一覧.....	140
表 6-3	活動日数と一日あたり活動量 .....	141
表 6-4	除伐・間伐の作業効率の比較 .....	141

## 第1章 研究の背景・目的・構成

### 1.1 背景



図 1-1 管理が放棄された都市近郊の里山（千葉県柏市、著者撮影）

里山の管理放棄が環境保全の観点から問題とされている。本研究では、里山<sup>1</sup>が、人による管理によって維持されてきた二次的自然であることを念頭に置き、里山の再生を「里山管理」の再生として、議論を進めていく。

1950年代から始まったいわゆる燃料革命以降、落ち葉堆肥や薪炭の供給源としての経済的利用価値を失った里山は、他の土地利用へ転換されるか、もしくは維持するにあたり積極的な目的のない土地として、放棄されるに至っている（図 1-1）。とりわけ都市近郊の里山は、その立地条件から都市的土地利用と競合する関係にあるため、多くが住宅地や商業施設、工場、あるいはゴルフ場等の都市的開発の対象とされてきた（横張・栗田，2001；Ichikawa et al, 2006）。残存した里山について、ごく一部の里山については、法令に基づき施設緑地の一部として保全されるなど、国もしくは自治体の施策の活用の下で一定の持続性が担保され、適切な保全下に置かれてきた（角南，1998）。しかし、大部分の里山にあっては有効な施策が講じられないままであり、さらなる開発の対象とされるか、もしくは管理放棄による荒廃が著しく進んでいる。市街化により緑地面積を減じてきた都市近郊にあ

<sup>1</sup> 本研究においては、「里山」を農地やため池，集落，二次草地等を含んだ「地域」を表す概念ではなく、「林地」を表す概念として用いる（1.7「用語の定義」にて後述）。

っては、里山は都市化された地域に残された残存する貴重な緑地であり、緑地計画という観点にたった場合、その存在価値は極めて大きい（環境林整備検討委員会編，1993；魚住編，1995；武内ら編，2001）。しかし、管理が放棄された状態にあつては環境保全上の機能の発現は期待できず、むしろ不法投棄の温床となるなど、周囲の居住環境に対して負の影響を与えかねない。いかにして里山の管理を再生させるかは、都市近郊における環境の質の向上を考えるにあたり、極めて重要な課題だといつてよい。

里山は、多様な環境保全機能を有する緑地として、これまで保全の対象に位置付けられてきた。横張（1994）は、里山等林地のもつ環境保全機能について、人の評価に基づき 8 種類に系統的にまとめている<sup>2</sup>。この中でもとりわけ「生物・生態系保全」機能は、里山の保全を考えるにあたり、重要度が高い機能といえるだろう。里山の自然は、人による適度な攪乱により、結果として豊かな生物相が保たれてきた二次的自然である。環境省の調査によると、絶滅危惧種が集中して生息・生育する地域の実に 5 割以上が、里山を含む「里地里山地域」に分布しているとしており（環境省，2001a），生物多様性国家戦略 2010 においては、人間活動の縮小に伴う生物多様性の低下を、生物多様性の「第 2 の危機」としている（環境省，2010a）。とくに緑地そのものの量が少ない都市近郊においては、里山の管理再生による生物多様性の回復は、緑の基本計画などの緑地計画上、極めて重要な意味をもつものと考えられている（一ノ瀬，2007；石川，2007）。さらに都市近郊の里山は、市街地に近接して分布しているため、近隣住民に視認されやすく、また住民による利用も促しやすい緑地である。従って、「景観保全機能」や「保健休養機能」といった、地域のアメニティや生活環境の向上に資する機能の発現も強く求められると考えられる（横張，1998；田中，2000；2005）。

こうした様々な環境保全機能の発現には、人による適切な管理が必要不可欠であることは言うまでもない。しかし、里山の管理再生に向けた取り組みは、必ずしも十分なものではなく、依然として大部分の里山が管理放棄されていることは否めない。例えば 1990 年代の初頭から、市民ボランティアによる里山管理が着目されてきた（中川，2001）。こうした活動は、特に東京、大阪、名古屋の三大都市圏を中心に多くみられるとされ（日本自然保護協会，2002），都市近郊の身近な里山に対して、市民の関心が高いことがうかがえる。市民による里山管理は、例えば「全国雑木林会議」や「里山サミット」等の開催に象徴されるように、里山保全の社会的な普及啓発に対しては、大きな役割を果たしてきたものと考えられる。しかしながら、6 万～9 万 km<sup>2</sup> の面積をもち、日本の国土面積の約 2 割を占めるとされる（恒川，2001）里山の管理再生に向けては、たとえ都市近郊にその場を絞ったとしても、市民による管理は限定的にならざるを得ない。面的な里山の管理再生に向けて、より実効的な手段の構築が待たれている。

こうした状況の中、近年、里山の管理再生に向けた新たなインセンティブとして期待さ

<sup>2</sup> 具体的には、生物・生態系保全、微気象緩和、居住環境保全、大気保全、水保全、保健休養、景観保全、土保全の 8 つ（横張，1994）。



れているのが、里山の有する木質バイオマスのエネルギー利用である（中川，2005；只木，2005；田端，2009）。従来，里山は農用林や薪炭林として経営され，資源利用の観点から人による管理が持続的になされていた。このことを顧みれば，バイオマスの利用の観点から管理の再生を図る方策は，最も正攻法の発想であるといえ，バイオマスの現代的な需要が確かなものになれば，実効力も期待できると考えられる。

草木等里山の有する木質バイオマスは，収奪的な利用を行わない限り永続的に再生可能であり，またカーボンニュートラル<sup>3</sup>な性質をもつため，地球温暖化の抑制にも貢献するエネルギー源である。バイオマスエネルギーは，2002年1月の「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の改正において，太陽光や風力と並んで新エネルギーの一部に法令上位置付けられた（資源エネルギー庁，2002）。また同年12月には，バイオマス・ニッポン総合戦略が閣議決定された。同戦略において木質バイオマスは，森林が国土の約7割を占める日本において，自国内での供給ポテンシャルが高いバイオマスのひとつとして位置付けられ，積極的な利用推進が期待されている（小宮山ら，2003）。

また，2005年2月の京都議定書の発効を受け，同年4月に閣議決定した「京都議定書目標達成計画」においては，バイオマスによる熱供給量の目標値が308万重油換算kl/yrと明記された（環境省，2005）。これは760万t-CO<sub>2</sub>/yrのCO<sub>2</sub>削減につながる値であり，日本の定めるCO<sub>2</sub>削減目標値の約10%に相当する（環境省，2008）。さらに，木質バイオマスの有効利用は，化石資源の抑制のみならず，間伐材等の有効利用を通じた森林の育成にもつながり，このことが森林の成長を促進し，森林による炭素吸収・固定量を高めるとされている。日本においては，京都議定書において最大で1,300万C-t（約4,770万CO<sub>2</sub>-t）の森林吸収量が認められており（UNFCCC，2001），この値は削減目標値に対して実に63%を占める。地球温暖化対策として実効力の確保という喫緊の課題を受け，2006年にはバイオマス・ニッポン総合戦略が改定され，2009年には，バイオマスの活用の推進に関する基本理念を定めた「バイオマス活用推進基本法」が施行されている。

上述したように，近年，木質バイオマスのエネルギー利用に対する期待は高まっており，2000年においては3件であった木質ペレットの工場数が，2006年には38件に達する等，現場においても取り組みの拡大が確認される（小島，2008）。里山の構成樹種のうち主要なものであるクヌギ（*Quercus acutissima*）やコナラ（*Quercus serrata*）等のナラ類，カシ類は，含有エネルギー量が高く，元来燃料材として適した性質をもっている（岸本，1982）。また，とりわけ都市近郊の里山は，山間部や中山間地域の森林と比較した際，管理作業やバイオマスの搬出が比較的容易であるものと考えられ，資源量の観点では劣るとはいえ，エネルギー利用を検討し易い存在であると言える。こうした状況を踏まえると，管理が放棄され荒廃した都市近郊の里山を，再生可能エネルギーの供給源として見直し，さらには地球温暖化対策に資する現代的資源として位置付けることは，管理の再生に対して新たなインセ

<sup>3</sup> 排出される炭素と吸収される炭素が同じである（炭素中立）という概念。バイオマス燃焼時に排出される炭素は，成長時に大気中から吸収固定した炭素であるため，大気中の炭素循環に影響を与えない。

ンティブを与え得るものとして、十分に期待できるものと考えられる。

## 1.2 問題の所在

一方で、木質バイオマスのエネルギー利用をインセンティブとした都市近郊里山の管理再生という命題は、緒についたばかりであり、計画の有効性や実現可能性に対する知見が不足している。現段階における研究面の課題は、計画の策定および実現に向けた根拠となる事実の解明にあると考えられる。

木質バイオマスのエネルギー利用を考えるにあたり、最も基本的かつ重要な検討課題とされるのが、供給源からのバイオマス発生量の推定である（松田，2000）。里山が生物相の集合体である以上、管理に伴うバイオマス発生量には限界がある。また、都市近郊の里山に対して環境保全上の役割が期待されている以上、環境保全とバイオマス利用の両立とを意図した上でバイオマス発生量が明らかにされる必要がある。こうした視点を見落とし、供給源である里山と独立した資源としてバイオマスを捉えてしまえば、里山の持続可能性は保障されず、また里山の質についても十分な配慮がなされないまま、バイオマスの利用が進んでしまうことが危惧される。自然環境学や緑地学の立場から、里山の管理再生を促すためのバイオマス利用を考えるにあたっては、これらの点に十分配慮する必要がある。そのためには、バイオマス供給源である里山に対して、環境保全機能の発現を意図した管理を行うことを想定した上で、その管理によるバイオマス発生量を推定することが望ましいと考えられる。以上より、本研究の第 1 の課題として、管理による環境保全機能の発現を保障した上で、里山からの木質バイオマス発生量を解明することが考えられる。

次に、都市近郊の里山を現代的なエネルギーの供給源として見直すためには、バイオマス発生量のみならず、発生したバイオマスのエネルギーへの変換可能量を知る必要がある。低炭素社会の実現が強く求められている現在、エネルギーへの変換可能量と併せて、バイオマスの利用による CO<sub>2</sub> 削減効果についても推定を行うことが必要であろう。再生可能エネルギーの供給や、地球温暖化対策等の、現代的課題への対応の一部として里山を位置付けることが、上に述べてきたように、管理再生に対するインセンティブの獲得につながるものと考えられる。そのためには、まず、エネルギー供給可能量や CO<sub>2</sub> 削減効果といったバイオマス利用時の効果が数量的に解明され、その値をもとに計画上の位置づけを検討することが必要だと考えられる。また、CO<sub>2</sub> 削減効果については、研究背景でも述べたように、里山への炭素固定量と、バイオマス利用による削減量の 2 つがある。さらに両者の間にはトレード・オフの関係があるため（Marland and Schlamadinger, 1997）、両者の総和として削減効果の推定を行う必要がある。以上より、本研究の第 2 の課題として、バイオマス利用に伴うエネルギー供給可能量と、CO<sub>2</sub> 吸収固定量・排出削減量の両者を踏まえた CO<sub>2</sub> 削減効果を解明することが考えられる。

さらに、木質バイオマスのエネルギー利用による里山の管理再生を現実のものにするにあたっては、提示された計画の実現可能性に関する検討が欠かせない。そのためには、計画実現の障害となっているコストの算定が不可欠であり、さらに、その低減策の提案と評価が必要だと考えられる。里山のバイオマス利用が政策的に着目されながらも、実際の取り組みに至っていない大きな理由のひとつに、バイオマスの収穫・輸送コストの高さがある(熊崎, 2005)。収穫・輸送コストは、バイオマスのエネルギー利用に対するコストの大部分を占めるものであるため(新エネルギー財団編, 2008)、計画の実現に向けて必要なコストを推定するにあたり、まずは、同コストの推定が必要だと考えられる。

加えて、収穫・輸送コストの低減に関する検討が必要となる。一般に、森林由来のバイオマスの利用を経済的に成立させることには困難が伴う(熊崎, 2005)。山間部の林業地域においては、コストの低減に向けて林道の整備が有効だと考えられているが(櫻井ら, 2006)、既に路網の整備が十分行われている都市近郊にあつては、異なる対策が必要だろう。そこで本研究では、里山単体のみ目を向けるのではなく、公園緑地の剪定枝や建設発生木材等、既に都市近郊の市街地から発生している様々な木質バイオマスに着目し、それらを含んだ総合的なバイオマス利用体系の下に里山のバイオマス利用を位置付けることを考える。山間部の森林と比較して資源量の少ない都市近郊の里山のバイオマス利用を考えるにあたり、周辺市街地に賦存する様々なバイオマスとの複合利用は、スケールの確保や収穫・輸送コストの相殺等の観点から、バイオマス利用の経済性を高めるのに不可欠だと考えられる。里山を対象としたこれまでの既往研究(中川, 2005; 只木, 2005; 上原ら, 2005)においては、里山のみをバイオマス供給源として扱っており、地域に賦存するその他のバイオマスとの複合的な利用については、検討がなされてこなかった。地域に存在する様々な木質バイオマスの利用を意図した総合的なシステムの構築により、里山のバイオマス利用に関するコストの削減のみならず、市街地における他の緑地についても適切な管理が促されると考えられ、緑地の質を総合的に高められると考えられる。以上より、本研究の第3の課題として、里山の木質バイオマス利用に関する収穫・輸送コストを明らかにし、同コストを低減させるひとつの方策として、バイオマスの複合利用の可能性を検証することが考えられる。

以上の3つの研究課題を通じて、1) 里山管理時のバイオマス発生量、2) 発生したバイオマスをエネルギー利用した際の効果、3) バイオマス利用の実現へ向けて必要なコストとその低減策の効果、といった3つの知見が得られると考えられる。これらの知見は、「里山からどれだけのバイオマスが獲得でき、どれだけの利用価値があるのか」「バイオマス利用は経済的に成立し、管理再生のインセンティブになりうるのか」といった問いに対する答えを提供する。従って、木質バイオマスのエネルギー利用の観点から里山の管理を促していくにあたり、上記3つの知見の解明は、その計画の有効性や実現可能性を立証するための基礎的知見を提供するものと考えられる。

### 1.3 研究課題と目的

以上を踏まえ、本研究では、以下の3点を具体的な研究課題として設定する。

- ① 里山管理に伴うバイオマス発生量を解明する。具体的には、環境保全機能の発現を意図した管理シナリオを、既往研究を参考に複数、仮想的に設定し、統計資料やシミュレーションモデルを用いて、シナリオを実行した場合のバイオマス発生量を推定する
- ② 発生したバイオマスをエネルギー利用した場合の効果を明らかにする。具体的には、バイオマスプラントを研究対象地域内に建設することを仮定し、まず、エネルギー変換可能量の理論値を算出する。さらに、樹木へのCO<sub>2</sub>吸収固定量と、バイオマス利用時のCO<sub>2</sub>排出削減量の総和として、CO<sub>2</sub>削減効果を推定する
- ③ 里山のバイオマス利用をコスト面から評価し、その低減策について検討する。具体的には、バイオマスの収穫・輸送コストに着目し、その値を推定するとともに、木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果について推定を行う。これらから、バイオマスの利用をインセンティブとした里山管理の再生の実現可能性を示す

上記3つの研究課題を通じて、木質バイオマスのエネルギー利用による都市近郊里山の管理再生に関する計画的基礎を提示することを、本研究の目的とする。

### 1.4 既往研究の整理と本研究の位置づけ

上記の研究課題の妥当性を検討するため、本節では関連する既往研究の整理を行う。本研究に関連する論文は、大きく1) 里山の保全に関する研究、2) 木質バイオマスのエネルギー利用に関する研究、の2つに分けられる。本節では、時間軸に沿って既往研究を整理し、それら2つの研究の動向と相互の関係について、時代背景を踏まえながら考察する。そのことから、今日、本研究を取りまとめることの意義を明確にする。

なお里山という単語は、農用林を表す言葉として、森林生態学者の四手井綱英が1960年代前半に提案したとされているが(四手井, 1998)、文献上は1759年の尾張藩「木曾御材木方」において初めて登場している<sup>4</sup>(有岡, 2004)。さらに里山は、江戸期の伐採に対して十分な規制が存在しなかった時代、あるいは明治維新や太平洋戦争時の社会混乱期には、物資の不足から乱伐が進み、日本各地において「はげ山」になった等、多様な歴史をもつ。一方、バイオマスという単語が文献上初めて使用されたのは1934年であるとされ、ロシアの学者B. G. Bogorovが、海洋生物協会誌に動物性プランクトンの季節ごとの成長変化を計測した論文の中であった(横山, 2001)。Bogorovは、この動物性プランクトン量をバイオマスとしている。このように両キーワードともに古い歴史を有するものであるが、本

<sup>4</sup> 「村里家居近き山をさして里山と申候」と定義されていた(有岡, 2004)。

研究では特に、1960年代の燃料革命から現在までに期間を限定し、研究の整理を行う。この過程から、里山や木質バイオマスがその利用価値を一旦失ったのち、様々な時代背景のもとで再び着目されるようになった一連の流れを確認し、本研究の意義を明確にする。

#### 1.4.1 低位利用広葉樹林としての里山

日本でも燃料を必要とする産業は、以前から薪炭に代わり石炭を使用していたが、1950年代から始まった燃料革命により、家庭用燃料にあっても従来の薪炭から石油、ガスへと転換が進んだ。また同時期に、化学肥料の導入や農業の機械化が進み、里山は、薪炭林、農用林いずれの役割も失うこととなった。

こうした中で、農村から都市への人口流入が進み、都市的地域の拡大がはじまることとなる。里山は、役割を失った低位利用の広葉樹林（旧薪炭林）とされ、計画上も他の土地利用への転換対象として位置付けられることとなる。1976年（昭和51年）の国土利用計画（全国計画）においては、「旧薪炭林地等のうち低位利用にあるものについては、周辺の土地利用について十分配慮しつつ、その利用に関し総合的かつ計画的に調整を図る」とされており、住宅等の都市的土地利用の拡大と、食料自給率維持のための農地の確保のため、41万haの旧薪炭林を土地利用転換する計画となっている（環境庁・国土庁、1976）。林野庁においても、1978年に「里山地域開発保全調査」が実施され（林野庁、1978）、里山の樹種、面積、分布等の基礎的データの整備が進められた。またそうしたデータに基づく、具体的な高度利用のあり方を検討したものとして、1985年の「里山高度利用化対策調査」がある（林野庁、1985）。土地利用そのものを転換するか、里山の経営方法を改めより高度な利用を推進するかの違いはあれど、この時期における里山は、他の土地と比較して相対的に低度な利用状況にある存在としてみなされていた。そうした時代の流れに対応するように、この時期には、農家の土地経営上の観点から里山の都市的土地利用への転換について調査した研究（立石、1972）、農耕地としての整備可能性を検討した研究（石井、1981）等が行われた。また、一部の地域においては、農用林としての里山の利用が継続して行われていたが、その実態については十分に明らかにされていなかったため、関東地方の平地林を対象とした利用実態の把握に関する研究（犬井、1982）も行われた。

#### 1.4.2 緑地的視点からの里山の再評価

一方でこの時期は、失われゆく里山に対して緑地的視点からの価値が見出され、居住環境の充実に必要な都市的な緑地として、里山が再評価された時期でもあった。林（1974）は、「地価の高騰を背景に、...（中略）...、土地だけが商品としてひとり歩きするため、環境保全財としての森林の適正な維持管理がおろそかになる」としており、ひとつの可能性として、今後首都圏住民の野外レクリエーションの場として都市近郊の里山の価値が高まることを指摘し、保全が必要だとしている。また同様に糸賀・藤井（1979）も、関東地方の平地林をとりあげ、「環境保全からみた二次林の適正な評価方法や評価基準を、われわれは検討しなければならない」としている。関西においては、この時期に「環境保全と二次林」と題したシンポジウムが行われ、里山のもつ環境保全面での役割に関する議論が多様

な視点からなされている（関西自然保護機構編，1980）．こうした指摘に基づき，1980年代以降は，里山を市街地に近接する身近な緑地として，とくにレクリエーションや景観などのアメニティの観点から，その機能を客観的に評価可能なように定量化する研究が進められた（横張，1986；「平地林」調査グループ，1989；青柳，1989；香川，1992）．また，レクリエーションや景観保全の観点からの具体的な植生管理の手法についても，理解が深められた（重松・高橋，1982；重松，1985；養父・重松，1985）．

またもう一方の研究の流れとして，開発圧力が高まり農林地の喪失，荒廃が顕著となる中において，地域における総合的な土地利用計画の一要素として里山を捉え，自然環境保全の観点からその位置づけを図るような計画論の提示，展開がなされたのもこの時期である（武内，1981；井手・武内，1985）．

#### 1.4.3 オイルショックを契機としたバイオマスへの関心の高まり

農用林や薪炭林としての里山の利用が停止し，高度利用や環境保全の観点から再評価がなされていたころ，1970年代の2度のオイルショックを契機として，木質バイオマスのエネルギー利用に対しても関心が高まっていた．戦後の経済発展に伴うエネルギー需要構造の大幅な変化や海外依存度の上昇，または急激なモータリゼーションへの対応の観点から，石炭やバイオマスなどの固体エネルギーは前世代のものとみなされ，石油やガスといった流体エネルギーへの依存が高まっていたなかで（宍戸，1961），石油価格の急激な高騰による社会混乱への反省から，エネルギー安全保障に資する，自国で生産可能なエネルギー源として，木質バイオマスが再び注目を集めることとなる．1980年，林野庁は「木質系エネルギー活用促進調査」を行い，都市部会と農山村部会を構成し，都市部における建設廃材や，農村部における林地残材等を対象とした資源量の調査，需給実態調査，意向調査，技術調査を行っている（秋山，1980）．1981年からは，農水省の大規模プロジェクトとして，10年計画で「生物資源の効率的利用技術の開発に関する総合的研究」が始められた．同プロジェクトにおいて木質バイオマスは「林産資源」として位置付けられ，特にエネルギー利用のみにこだわらず，飼料，工業原料，食料等への様々な資源への転換に必要な技術について検討が行われた（農林水産技術会議事務局，1985）．

このなかで里山を含む広葉樹林は，低利用もしくは未利用であるものとして，高度利用が可能なバイオマス供給源として期待されている．岸本（1982）は，「薪炭林見直し論」として，低林施業で皆伐を繰り返す薪炭林施業のあり方を，日本の風土にあったエネルギー効率の高い技術として再評価している．広葉樹林に関してはこれまで十分な資源量把握が行われていなかったが，長谷川らの一連の研究において，衛星画像データ，空中写真，現地調査を組み合わせた多段階抽出法により，バイオマス現存量，利用可能量の把握も行われた（長谷川・沢田，1984a；長谷川・沢田，1984b，西川ら，1985）．木質燃料としては，この頃，アメリカから技術が輸入されたペレット生産が盛んとなり，物理的特性の解明や燃焼特性に関する試験（岩尾，1983；遠藤ら，1985），ペレタイザーの性能やペレットを用いた燃焼機器の性能に関する研究（野崎，1987；岩尾，1987）が行われている．直接燃焼のみでなく，ガス化による発電についても，この時期から技術的な検討が始まっている（横

山・中村, 1983).

大規模なプロジェクトも生まれ、木質バイオマスの資源量や変換技術に関する研究も数多く進められた同時期ではあるが、都市近郊の里山にあっては、木質バイオマス供給源として着目されることはなかったようである。先述の「木質系エネルギー活用促進調査」において、都市部会と農村部会とが構成され、都市郊外に対して際だった注目が見られなかったことが示唆するように、エネルギー供給源として考えられたのは、都市部における木質系の廃棄物と、農村部の旧薪炭林であった。燃料革命により木炭を主な収入源としていた山間部の農村が荒廃していたこともあり、農村振興の観点からも、農村部の旧薪炭林への着目が集まったものと考えられる。この時期の都市近郊の里山は、農用林や薪炭林として伐採するものではなく、むしろ都市において環境保全上の役割を果たす緑地として着目されていた。さらに、農地開発や都市的開発により多くの里山が次々と失われていた同時期においては、エネルギー供給源として里山を伐採する考えは、受け入れにくかったものと考えられる。また石油価格が安定し、バブル経済期に入ったころには、上記に関連した研究は殆どみられなくなり、開業したペレット工場も次々と生産を中止する等、日本におけるバイオマス利用は下火となっていた。

#### 1.4.4 生物相保全・市民参加の場としての里山

一方で1980年代の後半から、自然保護運動の高まりを受け、これまで主要な保護の対象とされてきた原生林のみならず、里山の二次林にこそ目を向けるべきという主張がなされるようになった(守山, 1988)。この時期においては、里山特有の生物相に対する理解が深まり、こうした生物相の保全に向けては、従来農林業によってなされていた人による管理が不可欠であることが、科学的知見に基づき徐々に示されていった。

この時期の代表的な研究として、ヤマモモ等野生果樹の遺伝子保存の場として、二次林の群落管理の重要性を指摘した研究(大黒・佐々木, 1988; 武内ら, 1989)、都市近郊の平地林において里山の群落配置と種組成について明らかにした研究(山本・糸賀, 1988; 山本, 1991)、都市近郊の分断化された広葉樹二次林において、どのように高木種が補充されるかを生態学的に解明した研究(大久保・加藤, 1996)、コナラ林を皆伐したのちの植生回復の過程を調査した研究(鈴木・加藤, 1997)、森林公園内の広葉樹二次林を対象に林冠木の個体構造を調査し、その成果をもとに植生管理の手法を提案した研究(石井・中越, 1996)等がある。また、亀山らは、里山の管理に必要な生態学的知識を体系化し、里山の健全な再生へ向けた植生管理技術をまとめている(亀山編, 1996)。保全生態学の立場からは、里山を含んだ農村ランドスケープにおける適度な人為的攪乱の再生が、生物多様性の回復に対して重要であることが指摘された(鷲谷・矢原, 1996)。

さらに、井手(1992)は、里山などの林地を、都市近郊農村を構成するサブシステムと捉え、その他の集落サブシステム、耕地サブシステムと混在する空間として農村を捉え、それらの配置について検討を行っている。同研究は、地域を様々な等質地域の集合体として捉え、等質地域内における様々な因子の関係性と、等質地域どうしの相互の関係性を取り扱う、ランドスケープ・エコロジー分野の視点を取り入れたものであり、関連する研

究がその後も多く行われている（鎌田・中越，1990；村上・森本，2000；松浦ら，2002；楠本ら，2007）。

また，こうした研究成果が一般に普及し始めたことをひとつの要因として，市民による里山管理活動が広く見られるようになってきたのもこの時期である．中川（2001）によると，市民による里山保全活動は1980年代前半から始まり，1990年代に入り自治体の支援も活発化し，本格化したとされる．1993年には全国から市民団体が集まり，茨城県土浦市で「里山サミット」が開催された．また同年には「全国雑木林会議」も組織され，これまで16回の全国大会を開催し，市民団体間で問題意識が共有され，ゆるやかなネットワークが形成されてきた．こうした中で，市民参加の里山管理についての著書も多数出版され（重松，1991；中川，2000），また里山に関する写真集なども出版されるなどして（今森，1995），一般に「里山」という言葉が広まっていった．またこうした科学的，社会的な認識が反映され，1993年に制定された「生物多様性国家戦略」においては，原生自然と並び，里山等二次的自然環境の適切な管理が，生物多様性の保全に対して不可欠であるとされている（環境省，1995）。

この時期には，里山は，例えば氷河期の温帯林起源の動植物を温存する等（守山，1988），人工的に創られた緑地と異なった特有の生物相を有しているという認識が一般化し，管理再生の必要性が，科学的な知見にもとづき明確にされた．アメニティの観点のみならず，生態学的な立場からも里山保全の重要性が指摘されたことにより，環境施策上の位置づけも得られた．さらには市民による里山管理も活発になってきたが，その活動は労働力の絶対的な不足により，ごく一部の里山に対する展開に留まらざるをえないとされた（江成，2000；恒川，2001）．里山保全の根拠が明確になった上での次の課題として，現実に管理放棄されている多くの里山に対する，実効的な手段の構築が待たれることとなった．

#### 1.4.5 文化・環境複合系としての里山

環境の世紀と呼ばれる21世紀に入り，市民や研究者の里山に対する関心はますます高まってきた．この時期には，アメニティや生物相保全といった，里山が有している個々の機能のみならず，その機能を発現させるための人々の営み，地域の風習や生業に対する伝統的な知識，規範等の社会文化的要素を含めて，総合的な視野で里山を捉えるべきという主張がなされるようになった．こうした里山の捉え方を，深町（1998）は，「文化・環境複合系としての里山」としている．この時期にはより領域横断的な観点から，以下のような多様な研究が行われている．

深町ら（1996）は里山ブナ林を対象として，集落・寺社との関係や，標高により里山を分類し，その特性に合わせた管理指針の検討を行った．またさらに，深町ら（1999）においては，里山ブナ林の地域固有の管理手法が再評価され，林分構造，種組成に関する分析が行われた．燃料革命以前の里山の利用形態についても，過去に綴られた農家や山人による日記を資料とすることにより，当時の人々の暮らしとの関係の下での分析がなされている（堀内ら，2006；2007）．また，このような里山の地域性を反映した施策の展開へ向けて，地方自治体の独自条例の実効性に関しても分析が進められた（三瓶・武内，2005；2006）．



また、空間計画への展開を意図した研究として、里山を周辺環境との関連から領域的に捉える研究も進められ、里山を含む明治初期の農村ランドスケープの形態を、地形、集落分布などとの関係から考察した研究（スプレイグら、2000）、里山所有者のアクセス性から管理放棄の程度を説明づけた研究（丸木ら、2004）、里山を含む都市近郊の緑地を対象として、地域住民にとって保全対象として認識されるための地理的条件を明らかにした研究（中島ら、2007）等が行われた。

この時期においては、里山の管理再生を目指す際には、その背後にある社会システムも含めた議論が必要であり、その上で人と里山との関係性そのものの再生を目指すべきという考えが、様々な研究事例を通じて示され、理論化されたものと考えられる。鬼頭（1996）は、環境倫理学の立場から、人と自然の二分法を超えるものとして、人と自然の「かかわりの全体性」の回復という視点を提示し、生業や生活といった言葉に集約される、人と自然との「生身の」関係性を回復すべきだと論じている。緑地学の立場からは、人と里山とのかかわりの表出という観点から里山の変遷を捉えなおし、里山が時代に応じてその景観を変化させてきたダイナミックな存在であることを指摘し、現代的ニーズに即したかかわりのあり方を考究すべきという提案がなされた（横張・栗田、2001；Yokohari and Bolthouse, 2010）。こうした研究の多様化を受け、この時期には、様々な見方がなされる里山の定義を明確にし、生物相保全、政策面、市民参加等、多様な視点からの総合的な里山保全論がとりまとめられ（武内ら編、2001）、国際的な発信もなされている（Takeuchi et al, 2002）。

#### 1.4.6 地球環境時代におけるローカルな資源としての里山

上記のように里山の地域（ローカル）性に対する関心、理解が高まる一方で、地球環境というグローバルな視点からも里山を投影する必要性が生じ、地域レベルの固有性と、国際レベルの普遍性とを矛盾させない計画論に対する需要が高まっていったのも、近年の特徴である。こうした時代の流れは、里山に対する計画のみならず、現在のランドスケープ・プランニングに対しても共通のものである（横張・入江、2002；武内、2002）。

そのきっかけとなったのが、1997年に議決された「京都議定書」や、2000年に制定された「循環型社会形成推進基本法」に象徴されるような、地球温暖化や資源の枯渇問題といった地球レベルでの環境問題の顕在化である。こうした諸問題は、里山管理の再生に対しても、木質バイオマスの利用推進に対しても共通の背景となり得るため、両テーマに対しての研究がそれぞれ多く見られるようになった。

まず、木質バイオマスの利用に関する研究について述べる。上記の背景のもと、オイルショック以降10年以上の空白を経て、木質バイオマスは、再び地球環境問題の解決に資するローカルな資源として注目されるようになった。とくに日本においてバイオマス利用が推進される契機となったのが、2002年の「バイオマス・ニッポン総合戦略」の策定である。関連する学術雑誌においても、2002年に雑誌「木材工業」にて特集「バイオマスエネルギー元年」が生まれ、また2004年には雑誌「森林科学」で特集「木質バイオマスのエネルギー利用」が組まれる等、議論が活発になっていった。研究も多彩な角度から行われており、例えば、木質バイオマスの全国的な賦存量と利用実態の解明に関する研究（原田、2000）、

全国の市町村を対象として様々なバイオマスの賦存量を明らかにした研究（井内，2004；中口・青木，2006），木質バイオマス小型ガス化発電システムの発電特性や地域における導入可能性の検討（原ら，2004；中西・小木，2005），林業振興のための木質バイオマスのエネルギー利用導入に関する多角的観点からの研究（泊ら，2005；佐野ら，2005；藤野ら，2005；松村ら，2005a）等がある．とくに産業としての林業振興に対しては研究が集中しており，収穫可能量の算定（岩美・谷川，2002；田中ら，2003；有賀ら，2006a），バイオマスプラントの最適配置（有賀ら，2006b），コスト面からの検討（Yoshioka et al, 2000；久保山ら，2004；井筒ら，2005）等のアプローチがみられる．1980年代は基礎的な資源量把握や技術開発に対する研究が多かったことに対して，2000年代の研究はより応用的であり，地域への実装を検討する内容が多くなっていることがひとつの特徴だと考えられる．

一方，里山に対しては，持続的な生物資源の利用と生物多様性の保全という観点から，里山が有していた人と自然とのかかわりの仕組みに対して，国際的な関心が寄せられ始めた．2010年に名古屋市で開催されたCOP10（生物多様性条約第10回締約国会議）においては，「SATOYAMA イニシアティブ」が提唱された．ここでは，生物資源を持続的に利用することにより，結果として生物多様性が保全されていた里山のあり方を自然共生社会のひとつの理想的なモデルとし，各世界で見られるそうした地域を「社会生態学的生産ランドスケープ」として共有し，国際的な取り組みとして展開していくことが謳われている（国連大学高等研究所・環境省，2010；Takeuchi，2010）．

こうした状況の中，里山が再び現代的なバイオマスの供給源として再評価され，またその利用を管理再生の実効的な手段として位置付けようとする動きがみられるようになってきた（只木，2005；田端，2009）．中川（2005）は神奈川県都市近郊里山を対象として，伐倒調査によってバイオマス現存量を把握し，単位重量あたりの熱量を部位別に明らかにしている．原科・武内（2004）は，長野県佐久市を対象として，里山を含む様々な生物資源の有機的な利用のあり方について，マテリアルフローの観点からの提案を行った．また上原ら（2005）は，福岡県都市近郊里山を対象として，土地所有や林齢等の里山の林分情報と元に地域における里山の管理シナリオを提案し，その管理によるバイオマス生産量を試算している．また，安田・横張（2002）は，里山に近接して立地するゴルフ場を対象として，コース管理による刈草残渣の発生量を実測調査によって明らかにしており，周辺の里山を含んだバイオマス利用への展開を考察している．

1980年代のオイルショックからの反動と比較して，2000年以降のバイオマス利用に対する関心の高まりは，地球環境問題が国際的に取り組まれるべき共通課題として認識されている今日にあって，一過性のものになるとは考えにくい．また，里山に対する研究については，里山単体の機能の解明から，地域における様々な要素の一部として里山を捉えるアプローチや，里山を成立させてきた人々の営みを含めて評価するアプローチへと多様化してきた．その結果，バイオマスの収穫と環境保全とをそれぞれ個別の機能として捉えるのではなく，人と里山との適切なかかわりの中で，全体としてそれぞれが担保されるという理解が改めて強調され，1980年代と比較して，バイオマスの利用による里山保全論が無理なく研究テーマになり得たのだと考えられる．しかし，木質バイオマスに関連する研究と

比較するとその検討はまだ緒についたばかりであるため、これら両研究分野の知見を適切に融合し、新たな計画論として昇華させることが強く求められているといえる。

#### 1.4.7 国際誌にみる関連研究

里山という言葉は、海外の著書または論文においても記述がみられ (Konijnendijk, 2008 ; Nielsen and Møller, 2008), 薪炭や有機性堆肥の取得を目的に維持されてきた萌芽林 (coppice woodland) として紹介されていることが多い。海外においても、人の管理による適度な攪乱が継続されてきたことにより、萌芽林が特定の生物種、植物種の保全の場になっていることが報告、調査されているが (Buckley, 1992 ; Calster et al, 2008), 近年ではバイオマスエネルギー源としての評価がみられるようになってきている (Lasserre et al, 2010)。歴史的な萌芽林とはやや異なるものの、SRC (Short Rotation Coppice) もしくは Energy Coppice と呼ばれる、5年程度で収穫を繰り返す萌芽林に対しては、とくにエネルギー源としての評価やバイオマス事業のシミュレーション等が積極的に行われている (Matthews, 2001 ; Lettens et al, 2003 ; McKenney et al, 2010)。

萌芽林の再生に取り組んでいる国としては、古くから萌芽林を維持してきた歴史をもつイギリスが有名であるが (Harmer and Howe, 2003), 本研究と同様にバイオマスのエネルギー利用に着目し、萌芽林の管理再生を目指したプロジェクトを検討している国として、オランダがある (Jansen and Kuiper, 2004)。オランダにおける同プロジェクトは“Double Green Energy Project”と呼ばれ、近年の再生可能エネルギーに対する市場の拡大を背景に、萌芽林の管理を、エネルギー源としての利用をきっかけに再生することを目的としている。“Double Green”という呼称の意図は、再生可能な「グリーン」なエネルギーを供給すると同時に、萌芽林の再生によって生態学的な「グリーン」な機能を回復させることにあるとされる。オランダにおいては、約150年前には130,000ha (国土の3%)の土地が萌芽林であったが、薪炭供給等の歴史的な市場が失われて以降、1980年にはわずか3,000haに減少し、現在は1,500ha程度しか残存していない。しかし、様々な希少種の生息の場となっていることから、国が補助金を出して管理の再生を支援することになり、さらにバイオマスのエネルギー利用によるインセンティブの付与を併せて考えることにより、実効的な取り組みになることが期待されている。また、バイオマス利用の事業者にとっては、こうしたクリーンなイメージをもつバイオマスを利用することは、市民に対する一種の事業PRになるとされている (Jansen and Kuiper, 2004)。

オランダの場合、萌芽林が面積的に希少であるという点では日本の里山と状況が異なるが、バイオマスのエネルギー利用の観点から管理の再生を図るというアプローチは共通しており、注目に値する。国際誌においても萌芽林の再生が着目されている中、同様の問題意識を共有しつつ、日本において固有の検討を行い、その結果を海外へ向けて発信していくことは、国際的な貢献という観点からも意義深いと考えられる。

#### 1.4.8 本研究の位置づけと課題設定の妥当性

以上の関連研究の整理から、本研究の位置づけと目的設定の妥当性について議論する。

本研究は、上記の分類中、近年の研究テーマである「地球環境時代におけるローカルな資源としての里山」に属すると考えられる。本研究のアプローチは、里山保全に関する学術的、社会的情勢に対して適切であり、また国際的な観点からもその成果の発信が求められると考えられ、今日、本研究をとりまとめる意義は大きいと考えられる。

第 1 の研究課題である「里山管理に伴うバイオマス発生量の解明」に対しては、1.4.6 で示したように、近年の既往研究においても検討が進められている（上原ら、2005；只木、2005；中川、2005）。このうち上原ら（2005）は、里山の有する環境保全機能を「公益的機能」として評価し、所有や林齢に応じてそれぞれの里山に対して適した長期的管理を設定し、その際のバイオマス発生量の推定を行っている。同研究は、過去の関連研究で蓄積されてきた機能評価の手法と、バイオマス面からの評価とを組み合わせたものであり、環境保全機能の発現とバイオマスの利用との両立が意図された先行論文として、本研究に類するものである。しかし、森林の年成長量の値を用いて潜在的なバイオマス発生量を推定している等、人による実際の里山管理の手法が十分に加味されていない点が課題として残っている。人の管理の如何によって、発現される環境保全機能は大きく異なるし、管理によって発生するバイオマスの量も異なる。里山の管理再生をより直接的に論じるためには、実際の管理を想定することが必要だと考えられる。里山の植生管理手法については、1.4.2 や 1.4.4 でも述べたように、これまでに多数の研究が蓄積されているため、それらの成果を援用し、人による管理を踏まえた上で、バイオマス発生量の推定が行われることが望ましい。従って、「環境保全機能の発現を意図した管理を設定し、管理による発生量を推定する」という本研究のアプローチは、これまでの研究のながれに対して適切だと考えられる。

第 2 の研究課題である「発生したバイオマスをエネルギー利用した場合の効果の解明」に対しては、1.4.6 でみたように、これまでの里山保全に関係する既往研究では、必ずしも十分な検討がなされていない。木質バイオマスのエネルギー利用の観点から里山の管理再生を考えるにあたっては、発生量の推定のみならず、エネルギー利用の観点から、発生したバイオマスを評価することが不可欠である。従って、1.4.6 で挙げたような木質バイオマスのエネルギー利用に関する既往研究を参考にして、利用時の評価についての検討がなされるべきだと考えられる。とくに、CO<sub>2</sub> 削減効果に関しては、樹木への固定量とバイオマスの利用による削減量とのあいだにトレード・オフの関係があるため（Marland and Schlamadinger, 1997）、その総和としての値を解明することが重要となる。こうした考え方は、単に CO<sub>2</sub> 削減量の値を正確に見積もるというだけではなく、バイオマスの供給源である里山と、発生したバイオマスとの両者を結びつけて考えることにもつながる。バイオマスをその供給源と結びつけたものとして捉えるという観点は、本研究を通じて一貫されるべきものであり、バイオマスの利用と里山保全に関する既往の知見を適切に結びつけるといふ、本研究に求められている課題に対しても整合するものと考えられる。

第 3 の研究課題である「里山のバイオマス利用のコスト面からの評価とその低減策の検

討」に対しては、これまで都市近郊の里山を対象とした研究はみられず、新規性の高い研究課題だと考えられる。これまでの研究においては、里山管理を再生することによって発揮される各種環境保全機能や、地域住民との文化的、歴史的なつながりの回復など、里山管理を再生する根拠となるような事実の解明に重点が置かれてきたものと考えられる。本研究における第1、第2の課題も同様に、バイオマス発生量や利用時の効果などから、管理再生のための根拠を見出そうとするものである。こうした課題に続くものとして、次には、管理再生の社会的な受容性について、まずは特に経済的な観点からの検討が重要になると考えられる。森林のバイオマス利用に関する経済面からの検討については、1.4.6 で取り上げたように、林業振興を背景として、山間部の人工林に対する検討が先行的に行われている（井筒ら、2005；吉岡・小林、2006）。従って、これらの先行研究を援用することにより、都市近郊の里山に対しても同様に経済面からの評価が可能になると考えられる。さらに、コスト低減策として本研究で検討を行う木質バイオマスの複合利用に対しては、エネルギー学の分野においてその考え方が提示されているもの（松村ら、2005b）、実証的な検討は行われていない。森林由来のバイオマスの利用の実現を阻害している最も端的な要因として、経済的受容性の低さが指摘されているなか（熊崎、2005）、まずはバイオマス利用に伴うコストを同定するとともに、その低減策について検討することは、本研究で行われるべき重要な研究課題であると考えられる。

最後に、全体的な傾向として、上述した3つの研究課題は、既往研究においては個別の研究課題として扱われてきたことも指摘できる。本研究では、上記3つの研究課題を通じて、これらを一連の流れの中で評価し、バイオマスの利用が里山の管理再生に対してインセンティブを与え得るか否かを、実証的に明らかにする。こうした総合的検討にもとづく知見は、これまでの研究においては得られていない。

以上より、本研究において設定された3つの研究課題は、それぞれ既往研究のながれに対して妥当なものだと判断でき、既往研究の成果を的確に引用、援用しながら、本研究において遂行されるべき新規性の高い課題だと考えられた。

## 1.5 構成

本章の構成を図 1-2 に示す。

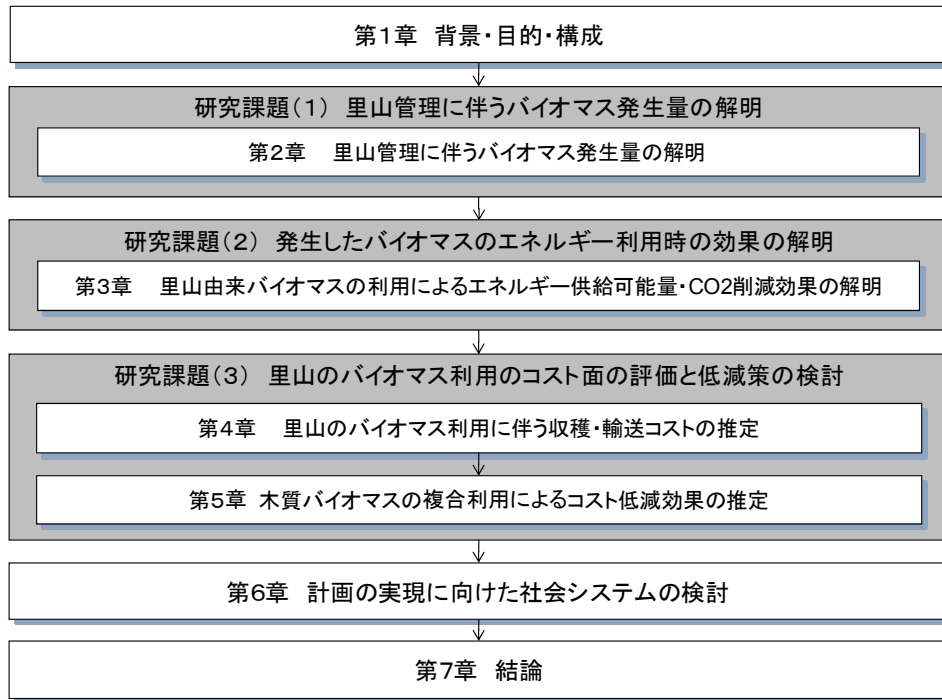


図 1-2 本研究の構成

第 1 章「背景・目的・構成」においては、本研究に関する社会背景、問題意識の所在と研究目的、および本研究全体の構成を示す。

第 2 章「里山管理に伴うバイオマス発生量の解明」は、本研究の第 1 の研究課題に対応する。ここでは、既往研究を参考に、環境保全機能の発現を意図した複数の管理シナリオを仮想的に設定し、管理を実行した際の木質バイオマス発生量を推定する。より具体的には、まず、現地調査、統計資料、および林学分野の既往の推定式から現存量の値を明らかにし、里山の現況を捉える。その上で、現況の里山に対して管理の再生を行った場合を想定し、その場合のバイオマス発生量を、森林の動態予測を目的としたシミュレーションモデルを用いて推定する。これらから、環境保全機能の発現を意図して里山の管理を再生した場合のバイオマス発生量が明らかされ、第 1 の研究課題が達成される。

第 3 章「里山由来バイオマスの利用によるエネルギー供給可能量・CO<sub>2</sub>削減効果の解明」は、本研究の第 2 の研究課題に対応する。ここでは、第 2 章における検討で明らかにされたバイオマス発生量の値にもとづき、そのバイオマスを用いてエネルギー利用を行った場合のエネルギー供給可能量と CO<sub>2</sub>削減効果について、エネルギー学分野の既往の推定式と、GIS を用いた空間解析とを用いて推定する。同推定により、発生したバイオマスをエネルギー利用した際の効果が具体的に明らかとなり、第 2 の研究目的が達成される。

第4章および第5章は、第3の研究課題である「里山のバイオマス利用のコスト面の評価と低減策の検討」に対応する。前章までの検討によって、里山のバイオマスをエネルギー利用した際の効果が明らかにされているため、続く第4章、第5章においては、その効果を現実に発現するためのコストを推定し、その低減策について検討する。

まず、第4章「里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストの推定」においては、バイオマス利用を実現するにあたり主要な律速要因となっている、バイオマスの収穫・輸送コストの推定を行う。本章ではまず、バイオマスの収穫・輸送コストの相対的な評価を得るために、山間部の森林と都市近郊の里山（平地林）とを対象とした比較検討を行う。次に、前章までの検討内容を引き継ぎ、里山のバイオマス利用におけるバイオマスの収穫、最寄り道路までの集材、プラントまでの輸送に関係する各コストを、空間解析および各種推定式を用いて推定し、バイオマス事業の経済的な実現可能性を評価する。

続いて、第5章「木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果の推定」においては、里山管理の再生にかかるコストの低減策として、里山のバイオマス利用を、地域における総合的な木質バイオマス利用システムの一部に位置付けることを考え、その場合のバイオマス利用の経済性の向上について実証的な検討を行う。さらに、バイオマスの複合利用によるエネルギー供給可能量、CO<sub>2</sub>削減効果を推定し、方策の効果に対する数値的裏付けを得る。以上により、里山のバイオマス利用がコスト面から評価され、さらにその低減策が実証的に検討されることにより、第3の研究課題が達成される。

前章までの検討を受けて、第6章「計画の実現に向けた社会システムの検討」においては、これまで議論してきた取り組みを実現するにあたっての社会的条件を整理し、その条件を満たすために必要な社会的しくみについて、先進事例の分析を通じて試案を提示する。

以上の検討により、3つの研究課題が達成され、さらに取り組みを現実のものとするための社会的しくみが提案されることにより、木質バイオマスのエネルギー利用による都市近郊の里山再生に関する計画的基礎が提示されることとなり、本研究の目的が達成されるものと考えられる。

第7章「結論」では、本研究の結論と今後の課題についてまとめる。

## 1.6 対象

### 1.6.1 研究対象地

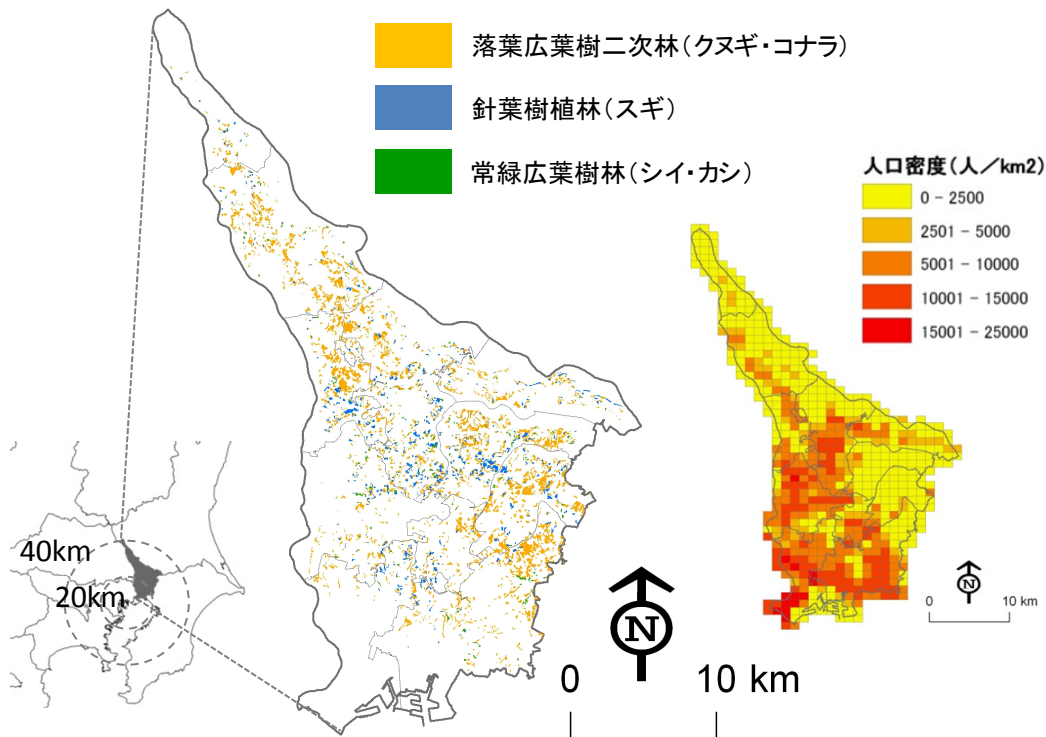


図 1-3 研究対象地における里山の分布と人口密度  
 (里山の分布は第 5 回自然環境保全基礎調査 (環境省, 1999),  
 人口密度は 2000 年国勢調査 (総務省統計局, 2000) のデータを元に作成)

本研究の対象地は、千葉県北部に位置する東葛飾地域とした (図 1-3)。具体的には、千葉県北部の 9 つの自治体、野田市、柏市、流山市、我孫子市、松戸市、市川市、鎌ヶ谷市、白井市、船橋市を含む地域である。同地域は、都心から 20~40km の首都圏近郊に位置し、人口 258 万人、世帯数 108 万戸を有している。人口密度は 4,730 人/km<sup>2</sup> である。とくに対象地西部の自治体は首都圏のベッドタウンとしての位置づけが強く、住宅地開発を中心とした市街化が顕著に進んでいる。一方で、同地域の大部分は標高 20~40m のなだらかな起伏の続く下総台地に属しており、第 5 回自然環境保全基礎調査 (環境省, 1999) の現存植生図をみると、台地面を中心にクヌギ・コナラ林、スギ林、シイ・カシ林を中心とした里山が残存している<sup>5</sup>。それら里山の総面積は 5,197ha となり、総土地面積に占める割合は 9.7%

<sup>5</sup> 第 5 回自然環境保全基礎調査の現存植生図 (電子データ, 1/50,000) を用いて、優占度の高い森林植生を抽出したところ、落葉広葉樹二次林 (クヌギ・コナラ)、アカマツ植林・二次林、スギ・ヒノキ植林、常緑広葉樹二次林 (シイ・カシ) の 4 種が代表的であった。このうちアカマツ林に関しては、同地域において部分的に公開されている第 6・7 回調査 (電



である（表 1-1）。

対象地の選定理由を以下に示す。まず、9.7%という森林率は決して高いものではなく、対象地における里山の緑地としての重要性を示唆しており、管理再生による適切な保全を検討する意義は大きい。次に、市街地と里山との両方が確認される本対象地においては、様々な種類の木質バイオマスが賦存していることが予想され、本研究で扱う木質バイオマスの複合利用を検討するにあたり適していると考えられる。さらに、本対象地は白井市を除くすべての自治体が旧東葛飾郡に属しており、千葉県の間関である東葛飾農林振興センターにおいて、同地域の里山保全に関する業務が一括して行われている。このように、同地域を単位とした里山保全の取り組みも既に確認されるため、計画の展開を考える上でも適切な地域であると考えられる。

表 1-1 研究対象地の基本情報

（人口・世帯・面積は 2000 年国勢調査（総務省統計局，2000），里山の面積は第 5 回自然環境保全基礎調査（環境省，1999）のデータを元に作成）

	人口	世帯	面積 (km <sup>2</sup> )	密度 (人/km <sup>2</sup> )	里山の面積(ha)				森林率
					クヌギ・コナラ	スギ	シイ・カン	計	
野田市	154,833	57,148	103.5	1,495	688.9	52.6	33.1	775	7.5%
柏市	397,690	158,035	114.9	3,461	1,072.1	379.0	90.3	1,541	13.4%
流山市	161,487	64,303	35.3	4,577	441.8	98.4	15.8	556	15.8%
我孫子市	134,685	53,528	43.2	3,118	210.5	57.3	7.0	275	6.4%
松戸市	484,716	210,526	61.3	7,903	195.7	52.9	32.8	281	4.6%
市川市	475,514	218,829	57.4	8,278	113.9	55.5	6.8	176	3.1%
鎌ヶ谷市	106,301	41,409	21.1	5,036	175.4	30.2	2.9	208	9.9%
白井市	59,579	21,102	35.4	1,683	513.0	105.1	16.2	634	17.9%
船橋市	601,116	257,331	85.7	7,015	649.4	52.7	47.8	750	8.8%
計	2,575,921	1,082,211	558	-	4,061	884	253	5,197	-
平均	-	-	-	4,730	-	-	-	-	9.7%

### 1.6.2 日本全国における位置づけと成果の適用可能性

日本全国からみると、首都圏近郊である本対象地は人口密度が高く、極めて都市化が進行した地域に位置付けられる。国土面積の約 3 分の 2 が森林である日本において、関東平野のような大規模な平野は類をみない（図 1-4）。規模の大きい平野として、例えば北海道の十勝平野があるが、都市化の点では関東平野と状況が異なる。これらの点より、都市化が進行した大規模な平野上に位置し、台地部を中心に平地林が分布するという対象地の特徴は、全国的には特異なものだと考えられる。

子データ、1/25000）による現存植生図を確認したところ、マツ枯れの影響のもとでほぼすべての林分において落葉広葉樹二次林に遷移していた。従って、なるべく現在の現存植生の状態に近づけるために、本研究ではアカマツ植林を落葉広葉樹二次林に読み替えた。また、東葛飾地域においては、サンプルスギの植林が奨励されたことにより、ヒノキ林の面積が極めて少ないため、スギ・ヒノキ植林の区分を、スギ林とした。

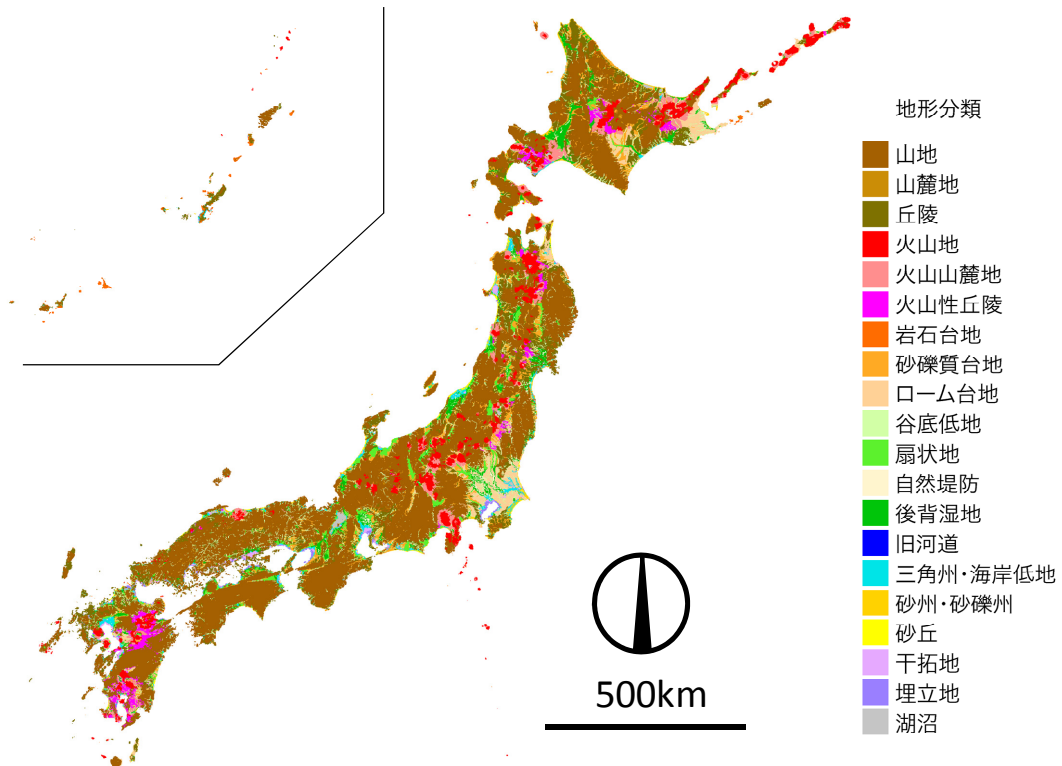


図 1-4 日本列島の地形分類（若松ら，2005）

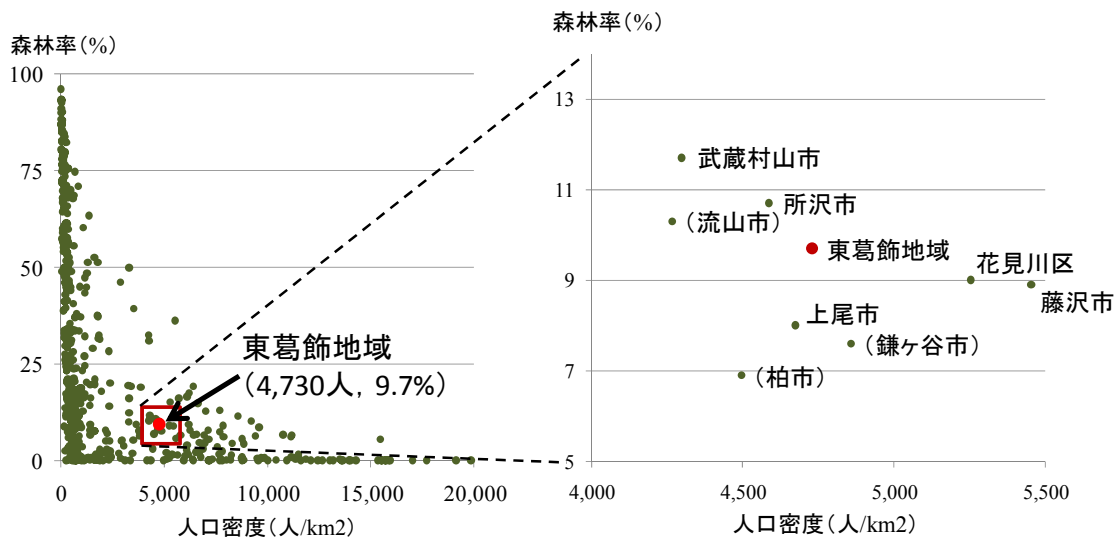


図 1-5 関東地方 515 市区町村（島嶼部を除く）における人口密度と森林率の関係  
 （人口密度は 2000 年国勢調査（総務省統計局，2000），  
 森林率は 2000 年世界農林業センサス（農林水産省，2000）にもとづく）

図 1-5 にはさらに、関東地方における研究対象地の位置づけを示すために、都市化を表す指標として「人口密度」を、里山の残存を表す指標として「森林率」を選択し、全 515 市区町村（島嶼部を除く）を対象にして、両指標の関係に基づく散布図を示した。図 1-5 をみると、両指標の間には反比例の関係があることが読み取れる。また、市区町村の多くは x 軸、y 軸に沿うように分布しており、人口密度が低いグループ（農村域）か、森林率が低いグループ（都市域）に属していると考えられるが、東葛飾地域の値（人口密度 4,730 人、森林率 9.7%）は、その中間域に属していることが分かる。東葛飾地域と特に似た特徴をもった市区町村として、例えば東京都武蔵村山市、埼玉県所沢市、上尾市、千葉県千葉市花見川区、神奈川県藤沢市などが挙げられ、いずれも都心部から 40~50km 圏内の都市近郊に位置している。従って、関東地方においても、特にここに挙げたような特徴をもつ地域であれば、研究成果が適用可能だと考えられる。

### 1.6.3 対象とする森林植生

対象地において確認される森林植生のうち、本研究ではその 9 割以上を占める落葉広葉樹二次林（クヌギ *Quercus acutissima*, コナラ *Quercus serrata*）および針葉樹植林（スギ *Cryptomeria japonica*）の 2 つを代表的なタイプとして対象とする。常緑広葉樹林（スダシイ *Castanopsis sieboldii*, シラカシ *Quercus myrsinifolia*）については、主に寺社地における鎮守の森として分布しているため、バイオマス利用には適さないと考え、対象から外した。現存植生図（環境省、1999）のデータを用いた空間解析により、対象とする森林植生の面積は、クヌギ・コナラ林 4,061ha、スギ林 884ha となった。

## 1.7 用語の定義

本研究で用いる代表的な用語を、以下のように定義する。

### ・里山 (*satoyama*)

本研究における里山は、「里山」という用語の提唱者であるとされる四手井の定義に準じて、「農用林と同義」とし(四手井, 1998)、現在は農用林として利用されていなくとも、農用林の履歴をもつと考えられる森林を里山と考えたい。従って、農地や採草地、集落を含む概念としては使用しない。

本研究の対象地が属する関東平野は、火山灰層の関東ロームが厚く堆積し、有機質に乏しい地力の低い土壤に覆われていたため、里山を農用林として維持し、農地に投入する落葉や下草を得ることが必要不可欠であった(犬井, 1996)。一次的な維持目的は有機分の取得にあるにせよ、農用林は薪炭林と兼ねることもでき、また「農業生産や農家生活に直接・間接に関連する利用に当てられる林野」と定義されているため(日本林業技術協会, 1971)、本研究における里山の過去の利用のあり方は、有機性肥料の取得に限らず、燃料やその他農家の生活に必要な資材の取得を含むものとする。また、戦後の拡大造林によって用材林に転換された林も、農用林の履歴をもつものとして、本研究では里山とする。

### ・都市近郊 (*peri-urban areas*)

本研究における都市近郊は、都心部や農村部といったように、都市的土地利用(住宅地・業務用地等)や農的土地利用(水田・畑地等)にほぼ純化した地域ではなく、「従来農的土地利用が卓越していた地域に都市的開発が行われることによって、それらが混在し、また両者が競合するような地域」を指す。そのような場所においては、里山の土地被覆としての持続性が危ぶまれると同時に、適切な管理がなされれば周囲の市街地環境に対してよい影響を与えることになるため、里山保全の必要性が高いと考えられ、管理再生による環境保全機能の発現を目指す本研究の意図に沿うものと考えられる。

より具体的な空間として都市近郊を定義するにあたっては、まず、「都市」の範囲を定めた上で、その開発の影響を受ける「近郊」をどこまでの範囲に定めるかを決定する必要がある。都市の定義や近郊の定義は様々なものが考えられるが、本研究では、計画的視点から里山保全を考えていくため、既存の計画にもとづいた定義を行うこととする。本研究の対象地域が含まれる首都圏においては、都市圏の適正な開発を誘導し、秩序ある発展を目指すものとして、首都圏整備法に基づく首都圏整備計画が定められている。この中で、都市の機能の維持及び増進を図る必要がある市街地の区域を「既成市街地」として、その近郊に位置し、無秩序な市街地化を防止するため、計画的に市街地を整備し、あわせて緑地を保全する必要がある区域を「近郊整備地帯」としている(同法第2条および24条)(図 1-6)。そこで本研究では、この近郊整備地帯に該当する地域を、より具体的な空間として、都市近郊と定義する。



図 1-6 首都圏整備法の対象地域と近郊整備地帯の範囲（国土交通省，2006）

・バイオマス（biomass）

本研究ではバイオマスを、バイオマス・ニッポン総合戦略における定義に従い、「再生可能な生物由来の有機性資源で、化石資源を除いたもの」とする（農林水産省，2006）。生物学に関連する分野においては、バイオマスは一般に「生物の重さ（生物量）」を表す学術用語として用いられているが、本研究においては、再生可能な資源を表す概念として、それとは区別する。従って、「バイオマスの量」という表現も本文中では用いることとする。また、単に「バイオマスの利用」とした際は、エネルギー利用のことを示すこととする。

## 第2章 里山管理に伴う木質バイオマス発生量の推定

### 2.1 はじめに

木質バイオマスのエネルギー利用の観点から都市近郊の里山の管理再生を検討するにあたり、管理に伴う木質バイオマスの発生量は、まず明らかにされるべき最も基本的な値である。

従来、バイオマス発生量の推定に対しては、生産林としての役割を担ってきた人工林を対象とした研究が、林学における森林経理学、森林計画学分野を中心に続けられてきた。しかし第1章(1.4.3)で述べたように、オイルショックの影響を受けた1980年代には、都市近郊の里山の代表的な植生タイプである広葉樹二次林に対しても、一時期集中して研究が行われ、さらに地球温暖化対策としてのバイオマス利用が着目されている近年においては、関連する研究が増加している。

広葉樹二次林に関する研究を大別すると、大きく以下の2つに分けられる。1つは、現存量調査のデータや相対成長関係式を利用し、森林の純生産量を推定する研究である(小笠原ら, 1987; 後藤ら, 2003; 只木ら, 2004)。一年あたりの立木伐採量を生産量以下に設定すれば、理論的にはその森林は将来にわたり現存量を減じることがなく、持続的なバイオマスの収穫が可能になる。従って年間生産量の値は、バイオマスの当年最大収穫可能量としての意味をもつこととなり、森林のバイオマス利用を検討するにあたっての重要な目安となりうる。

もう1つは、年間生産量の値を原単位として、さらに地域における森林の立地条件や、個々の林分の植生状況を加味して、バイオマス発生量の推定を行ったものである。広葉樹二次林を含むものとして、傾斜度および林道からの距離等の地理的条件を制約として収穫可能量を求めた田中ら(2003)や、過去の利用状況や林齢によってバイオマス利用の方針を定め、それぞれの別に発生量を求めた上原・重松(2001)、上原ら(2005)の研究が代表的である。これらの研究は、森林からの純発生量のみならず、収穫の難しさの程度や現在の森林の植生状況を条件としながら、より現実的な発生量を求めたという点で、前者の研究の発展型として捉えられる。

アプローチが違えど、これらの研究は、いずれも森林の年間生産量をバイオマス発生量の根拠としているところが共通している。従って、まず森林からの最大収穫可能量を定め、森林の持続性を担保した上で、バイオマス利用について論じている点に特徴がある。しかし一方、実際の人による管理を想定した場合、年間成長量を的確に収穫し続けることには無理がある。また、里山の管理再生を検討するにあたっては、まず、どのような種類の環境保全機能の回復を特に意図するかを定め、そして、定められた機能の発現を目的として、

実際にどのような管理を与えていくのかが、計画的な視点として重要となる。従って、バイオマス利用の観点から里山の管理再生を検討するにあたっては、実際の管理に基づいて発生するバイオマスの量を、発生量として捉えることが適切であると考えられる。

様々な種類の管理を想定し、それぞれに対するバイオマス発生量を予測しうるものとして、人工林を対象として開発が進められてきた「システム収穫表」が存在する。システム収穫表とは、「様々な状態にある林分について、様々な施業が行われた場合の将来の成長過程や直径分布などの情報を、コンピュータを使い自由に予測することを目的として開発されたもの」である(田中, 1996)。代表的なものとして、人工林間伐指針システム収穫表 LYCS (開発者: 白石則彦), シルブの森 (田中和博), しらかんば (山本博一) 等が存在し、これまでに 11 種類のシステムが開発されている(田中, 1996)。こうしたシステムの利用により、管理とバイオマス発生量の関係が予測可能であると考えられるが、システムの対象は基本的に人工林および一部の天然林に限定され、また天然林であっても殆ど極相に近い林分を想定しているため、里山の主要な植生タイプである広葉樹二次林への単純な適用は難しい。

広葉樹二次林を対象として、管理時のバイオマス発生量を予測しうるモデルとして、松本・三輪(1989)の森林動態予測モデルが存在する。このモデルは、茨城県南部の平地林(落葉広葉樹二次林)を対象に、人の管理のインパクトを踏まえた森林動態の予測を目的に開発されたものである。同モデルは、Oikawa(1985)が開発した森林の炭素循環モデルを基本として、林分構造の変化については Shugart and West(1977)の成果を、土壌内有機物の蓄積と立木成長との関係については Nakane and Yamamoto(1983), Nakane et al(1987)の成果をそれぞれ加工、導入したものである(松本・三輪, 1989)。各パラメータは日本の落葉広葉樹二次林に合わせて設定されている。予測の対象は、高木、亜高木、低木といった森林の階層構造別のバイオマス現存量の変化量であるが、管理時における現存量の減少分をバイオマス発生量とみなすことにより、バイオマス発生量が推定可能である。また林内の階層構造を捉えることは、過去の人為の影響を受け、階層構造が複雑となっている広葉樹二次林の推定には欠かせないと考えられる。

勿論、こうしたモデルは研究の蓄積により精緻化が図られている。例えば千葉(2004)による動態予測モデルは、森林への CO<sub>2</sub> 吸収固定量の厳密な予測という近年の政策的要請を受け、実測データによるパラメータ調整により、より精緻な推定を可能としたものである。しかしこのモデルは、実測データの蓄積が多い人工林を対象として精緻化が図られたものであり、広葉樹二次林に関しては、全国の演習林を主なデータ取得源として、実測データの取得に関する研究が近年始まったばかりである(八木, 2003)。従って、モデルの精緻化に向けては更なる研究が積み重ねられる必要があり、現時点においては、松本・三輪ら(1989)のモデルの援用は妥当だと考えられる。

以上より本章においては、環境保全機能の発現を意図した管理を設定し、里山の管理を行った場合の木質バイオマス発生量を、森林動態予測モデルを用いて推定することを目的とする。なお、本章において対象とする里山の植生タイプは、落葉広葉樹二次林(クヌギ・

コナラ) および針葉樹植林 (スギ) である。これまで述べてきたように、落葉広葉樹二次林に対しては、松本・三輪 (1989) の森林動態予測モデルを用いた推定を行う。針葉樹植林に対しては、既往のデータ蓄積を活かした推定を行うこととし、具体的には、林業センサスのデータと、システム収穫表の元データとして扱われる「収穫予想表」のデータを併用したシミュレーションを行う。

## 2.2 本章の構成

本章の構成は以下のとおりである。

まず 2.3 「バイオマス現存量の推定」においては、管理再生の対象となる里山の現況を、バイオマス現存量の観点から捉える。この値は、長期的な管理シミュレーションの初期値を設定するにあたり、必要とされる。クヌギ・コナラ林に対しては現地調査を行い、スギ林に対しては統計資料を活用することにより基礎的データを取得し、既往の推定式を用いて、バイオマス現存量を推定する。

次いで 2.4 「バイオマス発生量の推定」においては、2.3 において求められた現存量の値をシミュレーションモデルへと入力し、管理を行った際のバイオマス発生量を推定する。ここでは、環境保全機能の発現を意図した4つの管理シナリオを既往研究を参考に設定し、管理が実行された場合の森林の動態について、それぞれシミュレーションを行うことにより、発生量の推定を行う。

なお、推定はクヌギ・コナラ林、スギ林の別に、基本的な推定の流れは同じくして、それぞれ適切なデータやシミュレーションモデルを用いて行った。なお、本研究では両者を関連付けるデータの不足から、高木、亜高木を対象とした「立木管理」と、低木類やササを対象とした「林床管理」については個別に捉え、それぞれの管理に対して異なる推定方法を用いた。



## 2.3 バイオマス現存量の推定

### 2.3.1 方法

#### 1) 落葉広葉樹二次林（クヌギ・コナラ）

クヌギ・コナラ林に関しては、林業センサスや収穫予想表のデータの整備状況が、針葉樹植林と比較して不十分であるため、まず、標準地法により調査対象地を選定し、毎木調査および林床植生調査を行い、データを収集した。得られたデータを、立木、林床植生それぞれの推定式に代入し、単位面積あたり幹材積（立木）および地上部乾燥重量（林床植生）を推定した。さらに、立木に関してはバイオマス拡大係数、容積密度を用いて乾燥重量トン（dt）に単位変換を行った。ここでは、現地調査によって得られたデータは、研究対象地を代表するものとして考え、それらのデータによって構成される林分を、地域の「モデル林分」と仮定し、単位面積あたり現存量（dt/ha）を推定した。

推定の全体像を、図 2-1（立木のバイオマス推定）および図 2-2（林床のバイオマス推定）に示す。

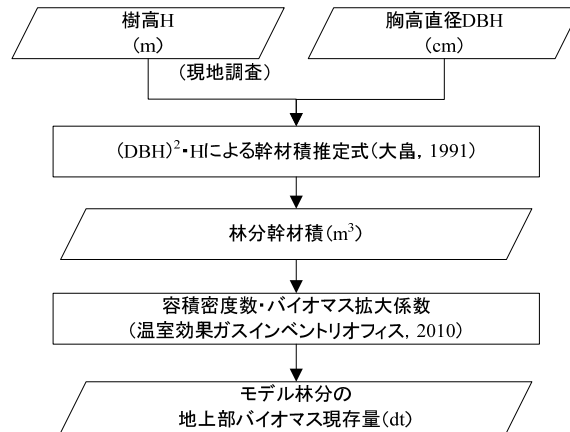


図 2-1 クヌギ・コナラ林のバイオマス現存量推定フロー（立木）

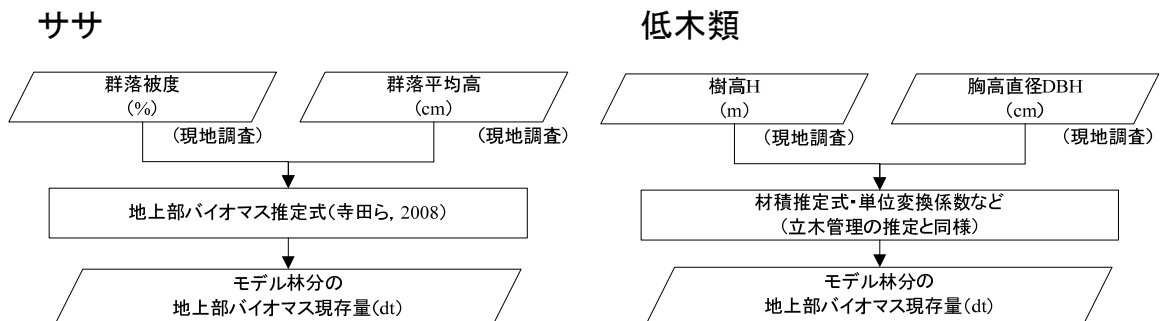


図 2-2 クヌギ・コナラ林のバイオマス現存量推定フロー（林床）

・ 毎木調査

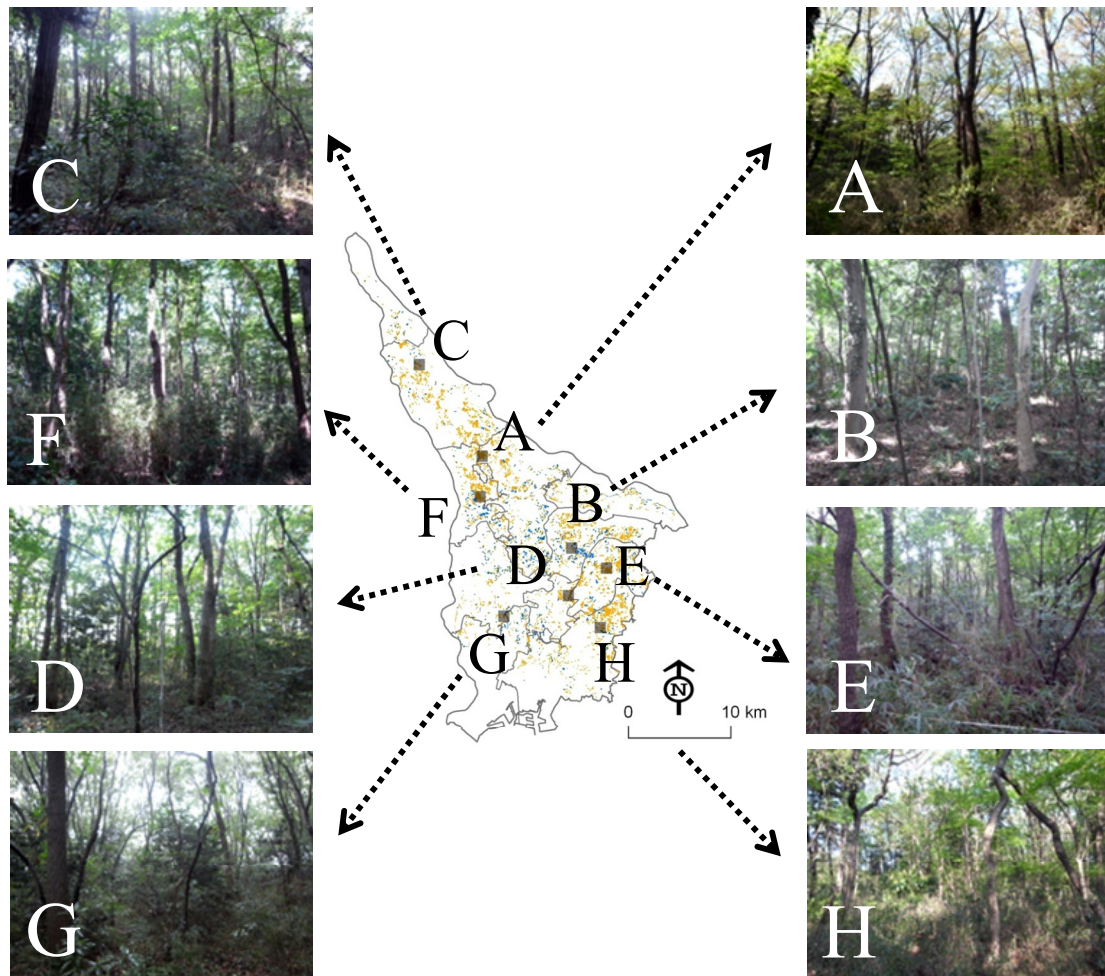


図 2-3 研究対象地における標準地の分布と林内景観

現存量推定のための樹木データを得るため、研究対象地域において、標準地法（大隅，1987）に基づき、地理的に分散するように標準地を8箇所設定し、毎木調査を行った（図 2-3）。標準地は20m四方のコドラート（400m<sup>2</sup>）とし、1) 他の植生や周辺環境の影響を受けないよう、最低でも1ha以上の面積の比較的大きい林分内であること、2) 針葉樹やタケの混交状態が殆ど認められない、広葉樹林内であること、3) 高木層の平均樹高が12m～16m程度であること、4) 林床植生の状態が林分内において概ね標準的であること、以上4つの条件を満たす場所を選定した。なお3)の条件については、2000年林業センサスの「齢級別森林面積（ザツ）」のデータによると、研究対象地域においては概ね30年生～50年生の広葉樹林が卓越しており（「天然林」の総面積に対して75%）、その林齢を収穫予想表の「地位別林齢別樹高（クヌギ）」のデータに当てはめると、概ね樹高12m～16mの範囲内におさまると考えられたため、そのように設定した。

測定項目は、樹種、樹高（H）、胸高直径（DBH）、樹高の10%の高さの幹直径（D<sub>0.1</sub>）、位置（XY）とし、コドラート内におけるDBH≥1cmを満たすすべての個体（829個体）を対

象とした。樹高は測高ポールを用いた直接測定を基本として、三角法の原理を用いた測高器リュッデ (LUDDE) (型番 17-101-1003, Haglöf 社製, スウェーデン) による間接測定を併用し、0.5m 単位で測定した。胸高直径は、5cm 以上の個体に対して、直径巻尺を用いて測定した。それ未満の個体に対しては、測定項目を樹高の 10%の高さの幹直径として、ノギスを用いて測定した。それぞれ 0.1cm 単位で測定した。

#### ・林床植生調査

上記の標準地 8 箇所において、林床植生 (低木類以外) に関する調査を行った。クヌギ・コナラ林の場合、研究対象地を含む関東地方の平野部においては、林床にアズマネザサ (*Pleioblastus chino*) が優占している場合が多い。そこで、林床植生のバイオマスのうち相当量を占めると考えられるササを対象とした調査を行った。コドラート内のミクロな植生の違いを反映するため、20m×20m の調査区を 16 等分し、5m×5m の小コドラートを単位に調査を行った。測定項目は、被度および平均高とし、被度は 10%単位で目視測定し、平均高は赤白ポールを用いて 10cm 単位で測定した。

#### ・立木の幹材積の推定

次に、得られたデータを用いて樹木の幹材積を推定する。樹木の幹材積を間接的に推定する場合、 $(DBH)^2 H$  を指標とした相対成長関係を用いることが最も定着した方法であるとされる (大隅, 1987)。大島 (1991) は、全国の演習林等で蓄積された資料を用いて、樹種を問わず当てはまりのよい  $(DBH)^2 H$ -幹材積関係式を提案している。また、 $DBH < 5cm$  の個体に対しては  $DBH$  の代わりに  $D_{0.1}$  を用いることが適当だとして、同様に関係式を提案している。本研究では、大島 (1991) の研究成果に基づく以下の 2 つの式を用いて、樹木の幹材積の推定を行った。

$$V_s = 0.05672 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{0.9506} \cdot 0.001 \quad (DBH \geq 5cm) \quad \dots \text{式 2-1}$$

$$V_s = 0.0400 \cdot (D_{0.1}^2 \cdot H) \cdot 0.001 \quad (DBH < 5cm) \quad \dots \text{式 2-2}$$

( $V_s$ =幹材積[m<sup>3</sup>],  $DBH$ =胸高直径[cm],  $H$ =樹高[m],  $D_{0.1}$ =樹高の 10%の高さの幹直径[cm])

#### ・地上部バイオマス (乾燥重量) への単位変換

木質バイオマスをエネルギー源として評価する場合、最終的に熱量換算を行う必要があるため、乾燥重量の値を求めておくことが重要となる。用材として評価する場合は材積を用いるが、材積には含水率の概念が含まれていない。熱量は含水率の値に大きく影響を受けるため、含水率が不明な場合、含有熱量を求めることが難しくなる。また、用材ではなく、エネルギー源として利用する場合は、幹部も枝部も同等の資源として考えることがで

きるため、幹部に加えて、枝部も加えた値が必要となる。

まず、立木に対しては、単位材積あたりの乾燥重量を示した「容積密度」と、幹部に対する幹枝部の比を示した「バイオマス拡大係数」の2つの値を使い、単位変換を行った(式2-3)。これらは、日本国温室効果ガスインベントリ報告書において、日本における主要樹種別に整理されているため(GIO, 2010)、以下表2-1に表す値を引用し、幹材積で求められた値を、乾燥重量へと単位変換した。

$$B_{tree} = V_s \cdot BEF \cdot D \quad \dots \text{式 2-3}$$

( $B_{tree}$  =地上部立木バイオマス[dt], BEF=バイオマス拡大係数, D=容積密度)

表 2-1 容積密度とバイオマス拡大係数  
(GIO (2010) に示された値を抜粋)

樹種	バイオマス拡大係数(BEF)		容積密度(D)	
	林齢≤20	林齢>20		
クヌギ	1.36	1.32	0.668	
広葉樹	コナラ	1.4	1.26	0.624
	その他広葉樹	1.37	1.37	0.469
針葉樹	スギ	1.57	1.23	0.314
	アカマツ	1.63	1.23	0.451

ササに関しては、平均高から乾燥重量を推定する回帰式を引用し(寺田ら, 2008)地上部バイオマスの推定を行った(式2-4)<sup>6</sup>。同回帰式は、広葉樹二次林内における、被度100%のササ群落から得たデータをもとに作成された。従って、研究対象地における林床植生調査で得られた被度の値で重みづけ(0.1~1.0)を行い、被度を反映した地上部バイオマスの推定を行った。低木類の現存量とササの現存量との和を、林床植生における現存量とした。

$$B_{groundcover} = (0.0147 \cdot H - 0.4463) \cdot C \quad \dots \text{式 2-4}$$

( $B_{groundcover}$  =地上部ササバイオマス[dt/ha], H=平均高[m], C=被度) ( $R^2=0.792$ )

<sup>6</sup> 林床バイオマス(ササ)の現存量推定式を作成するために、宮城県川崎町、みちのくの杜の湖畔公園内の里山にて実測(刈り取り及び重量測定)に基づき調査を行った(2007年10月9日~12日)。調査区の大きさは4m<sup>2</sup>とし、被度はほぼ100%の場所を選び、稈高がなるべく分散するように11箇所設定した。また、その場で生重量を計った後、サンプルを乾燥機にかけ(80°Cで3日間:2007年10月12日~14日)、乾燥重量を測定した。測定の結果から、生重量/乾燥重量比(=0.487)を求め、乾燥重量で評価を行った。バイオマス量は、haあたりトンに割り戻した。ササの高さと乾燥重量の間に相関が見られたため、直線回帰を行い、回帰式を作成した( $Dw=0.0147H - 0.4463$ ,  $R^2=0.792$ ) (寺田ら, 2008)。

2) 針葉樹植林 (スギ)

針葉樹植林に対しては、林業センサス及び収穫予想表においてデータ整備が十分になされていると考えられたため、それらを活用した推定を行った。表 2-2 には、用いた林分収穫表のデータを示した。これら既存のデータから、広葉樹二次林と同様、地域のモデル林分の ha あたり現存量を推定した。推定のフローを以下図 2-4 および図 2-5 に示す。

表 2-2 推定に用いた千葉県収穫予想表 (2003 年調整, スギ, 地位「中」)

林 齢	スギ(種し)										地位 中															
	主林木					副林木					主副林木合計					haあたり										
	胸高直径	平均樹高	同範囲	本数	胸高断面積	幹材積	連年成材量積	平均成材量積	平均胸高直径	本数	総林木に対する比率	胸高断面積	幹材積	総林木に対する比率	幹材積累計	主林木幹材積に対する比率	本数	胸高断面積	幹材積	連年成材量積	平均成材量積	平均幹材成長量積	総收穫量	率	副林木に對する比率	成長率
	(cm)	(m)	(m)	(本)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(cm)	(本)	(%)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(本)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
10	8.9	6.0	6.5~5.5	2,480	14.9	49.6	5.0	5.0																		
15	11.4	9.6	10.3~8.9	2,126	21.5	102.3	10.5	6.8	8.9	354	14	2.2	8.1	7	8.1	8	2,480	23.7	110.4	12.2	7.4	7.4	110.4	7.3	15.2	
20	14.1	12.2	13.0~11.3	1,797	28.1	162.3	12.0	8.1	10.8	329	15	3.0	13.2	8	21.3	13	2,126	31.1	175.5	13.0	9.2	8.8	183.6	11.6	10.0	
25	16.6	14.0	15.0~13.1	1,515	32.8	226.8	12.9	9.1	12.3	282	16	3.4	18.0	7	39.3	17	1,797	36.2	244.8	13.9	10.6	9.8	266.1	14.8	7.3	
30	18.9	15.4	16.5~14.4	1,311	36.8	281.3	10.9	9.4	14.0	204	13	3.1	18.6	6	57.9	21	1,515	39.9	299.9	11.0	11.3	10.0	339.2	17.1	4.8	
35	21.1	16.5	17.7~15.4	1,148	40.0	324.0	8.5	9.3	15.3	163	12	3.0	19.1	6	77.0	24	1,311	42.9	343.1	8.6	11.5	9.8	401.0	19.2	3.3	
40	23.1	17.4	18.6~16.2	1,000	41.9	354.4	6.1	8.9	16.6	148	13	3.2	21.6	6	98.6	28	1,148	45.1	376.0	6.6	11.3	9.4	453.0	21.8	2.4	
45	25.0	18.1	19.4~16.8	881	43.0	375.5	4.2	8.3	18.0	119	12	3.0	21.1	5	119.7	32	1,000	46.0	396.6	4.1	11.0	8.8	495.2	24.2	1.8	
50	26.9	18.7	20.0~17.3	766	43.7	392.2	3.3	7.8	19.2	115	13	3.3	23.9	6	143.6	37	881	47.0	416.1	3.9	10.7	8.3	535.8	26.8	1.6	
55	28.6	19.2	20.5~17.8	684	44.3	405.2	2.6	7.4	20.4	82	11	2.7	19.7	5	163.3	40	766	46.9	424.9	1.8	10.3	7.7	568.5	28.7	1.2	
60	30.2	19.6	21.0~18.2	621	44.7	415.7	2.1	6.9	21.3	63	9	2.2	18.8	4	180.1	43	684	47.0	432.5	1.5	9.9	7.2	595.8	30.2	0.9	
65	31.7	19.9	21.4~18.5	573	45.1	424.4	1.7	6.5	22.1	48	8	1.8	14.0	3	194.1	46	621	47.0	438.4	1.2	9.5	6.7	618.5	31.4	0.7	
70	33.1	20.3	21.8~18.8	535	45.5	431.8	1.5	6.2	22.8	38	7	1.6	12.0	3	206.1	48	573	47.1	443.8	1.1	9.1	6.3	637.9	32.3	0.6	
75	34.4	20.5	22.1~19.0	504	45.9	438.7	1.4	5.8	23.4	31	6	1.3	10.4	2	216.5	49	535	47.2	449.1	1.1	8.7	6.0	655.2	33.0	0.5	
80	35.7	20.8	22.4~19.2	477	46.3	445.0	1.3	5.6	23.8	27	5	1.2	9.6	2	226.1	51	504	47.5	454.6	1.1	8.4	5.7	671.1	33.7	0.5	
85	36.9	21.0	22.6~19.4	453	46.7	451.1	1.2	5.3	24.3	24	5	1.1	8.9	2	235.0	52	477	47.8	460.0	1.1	8.1	5.4	686.1	34.3	0.4	
90	38.0	21.2	22.9~19.6	431	47.1	456.0	1.0	5.1	24.6	22	5	1.0	8.8	2	243.8	53	453	48.1	464.8	1.0	7.8	5.2	699.8	34.8	0.4	
95	39.0	21.4	23.1~19.7	411	47.4	460.3	0.9	4.8	24.9	20	5	1.0	8.7	2	252.5	55	431	48.4	469.0	0.8	7.5	4.9	712.8	35.4	0.4	
100	40.1	21.6	23.3~19.9	393	47.8	464.3	0.8	4.6	25.1	18	4	0.8	8.5	2	261.0	56	411	48.6	472.8	0.8	7.3	4.7	725.3	36.0	0.3	

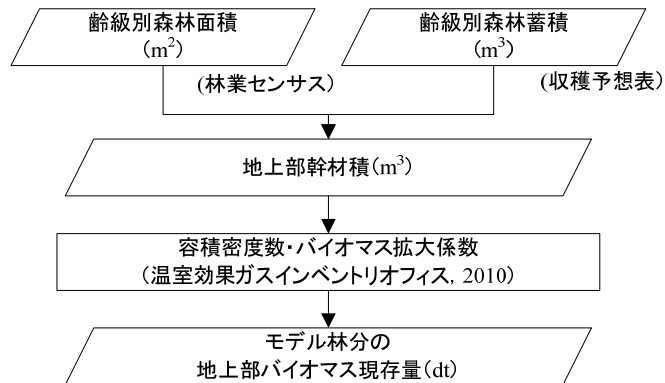


図 2-4 スギ林のバイオマス現存量推定フロー (立木)

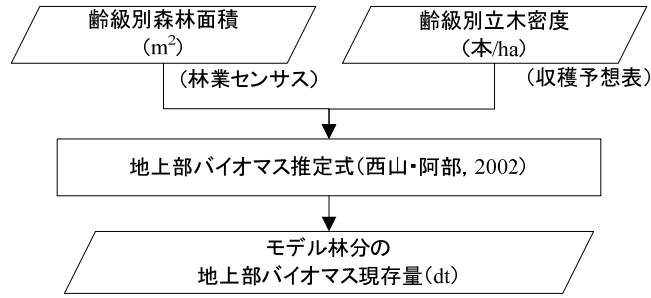


図 2-5 スギ林のバイオマス現存量推定フロー（林床：低木類）

・立木の幹材積の推定

2000年林業センサス（千葉県）の年齢別森林面積（人工林）と（図 2-6）、千葉県収穫予想表（2003年調整）の ha あたり幹材積（主副林合計）のデータとを乗じることにより、立木の幹材積の推定を行った。林業センサスの幹材積の値を直接用いなかった理由は、後のバイオマス発生量の推定の際に、収穫表における成長率の値を用いたモデルを使用することになるため、それとの整合を図るためである。地域における標準的な幹材積を求めるため、収穫表は「スギ・地位中」を用いた。林業センサスによると、スギ林とヒノキ林の比が 94 : 6 であったため（サンプスギの植林が影響している）、スギ林を対象とした収穫表のみで代表できると考えられた。モデル林分は、地域全体における森林の特徴を網羅するものと考え、森林面積の総和に対するそれぞれの年齢級の森林面積の比を算出し、1ha の林分の中に、その比に従い各年齢級の森林が配分されている状態を仮想的に設定した（式 2-5）。

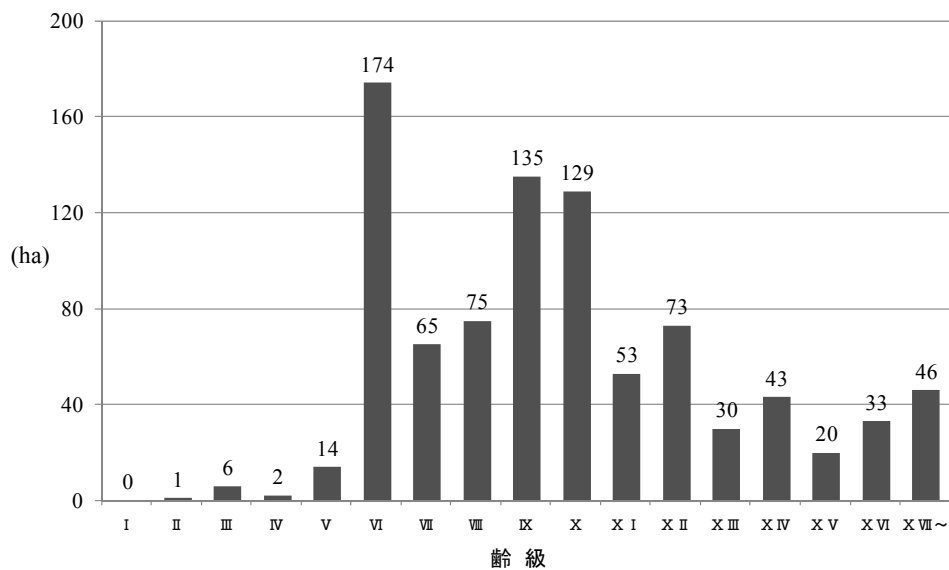


図 2-6 2000年林業センサスにもとづく年齢別森林面積（人工林）

$$V_s = \sum_{i=1}^n V_i \cdot (A_i \cdot A^{-1}) \quad \dots \text{式 2-5}$$

( $V_s$ =幹材積[m<sup>3</sup>],  $i$ =齢級,  $V_i$ =各齢級の ha あたり幹材積[m<sup>3</sup>/ha],  $A_i$ =各齢級の森林面積[ha],  $A$ =森林面積の総和[ha])

#### ・地上部バイオマス（乾燥重量）への単位変換

立木に関して、乾燥重量への単位変換は、クヌギ・コナラ林の場合と同様の式により行った（式 2-3）。用いた容積密度、バイオマス拡大係数の値は、前に示した表 2-1 の通りである。

針葉樹植林の林床植生に関しては、一般にアズマネザサは優占せず、暗い林内でも生育可能なシダ類や常緑樹低木が優占する。エネルギー源として考える場合、シダ類等の草本類は不適だとして棄却し、本研究では低木類のみを評価の対象とした。スギ林における林床の低木類現存量を推定する式として、西山・阿部（2002）による立木密度と乾燥重量の関係式がある（式 2-6）（ $R^2=0.669$ ）。同式は高齢林を対象に作成されたものであり、本研究対象地の森林と状況が異なっているが、林床植生のバイオマス現存量を予測する為の帰式が他研究で確認されなかったため、本式を引用している。本研究では同推定式を利用して、立木密度から間接的に低木類の現存量を推定した。なお、立木密度の値は収穫表の「主副林木合計本数」から得た。

$$B_{dw}[\text{低木}] = \sum_{n=1}^i (-0.58 \ln(D_n) + 4.61) \cdot (A_n \cdot A^{-1}) \quad \dots \text{式 2-6}$$

( $V_s$ =幹材積[m<sup>3</sup>],  $n$ =齢級,  $V_n$ =各齢級の ha あたり幹材積[m<sup>3</sup>/ha],  $A_n$ =各齢級の森林面積[ha],  $A$ =森林面積の総和[ha])

### 2.3.2 結果と考察

#### 1) 立木調査のまとめ

##### ・各調査林分の特徴

8つの調査区における調査の結果を、H-DBH 関係でまとめたものを図 2-8 に示した。樹木個体は、階層構造との関係を理解しやすいように、クヌギ・コナラ、その他落葉広葉樹、常緑広葉樹、針葉樹の別に分けて示した。各調査区の共通性と相違について、階層別に考察する。階層は高木層、亜高木層、低木層の3層構造とするのが妥当だと考えられた。

まず、高木層に関しては、Bの調査区を除き、クヌギ・コナラが主な優占種として確認された。その他高木層で確認された主な種は、イヌシデ (*Carpinus tschonoski*)、ムクノキ (*Aphananthe aspera*)、及びヤマザクラ (*Prunus jamasakura*) 等の落葉広葉樹であった。B

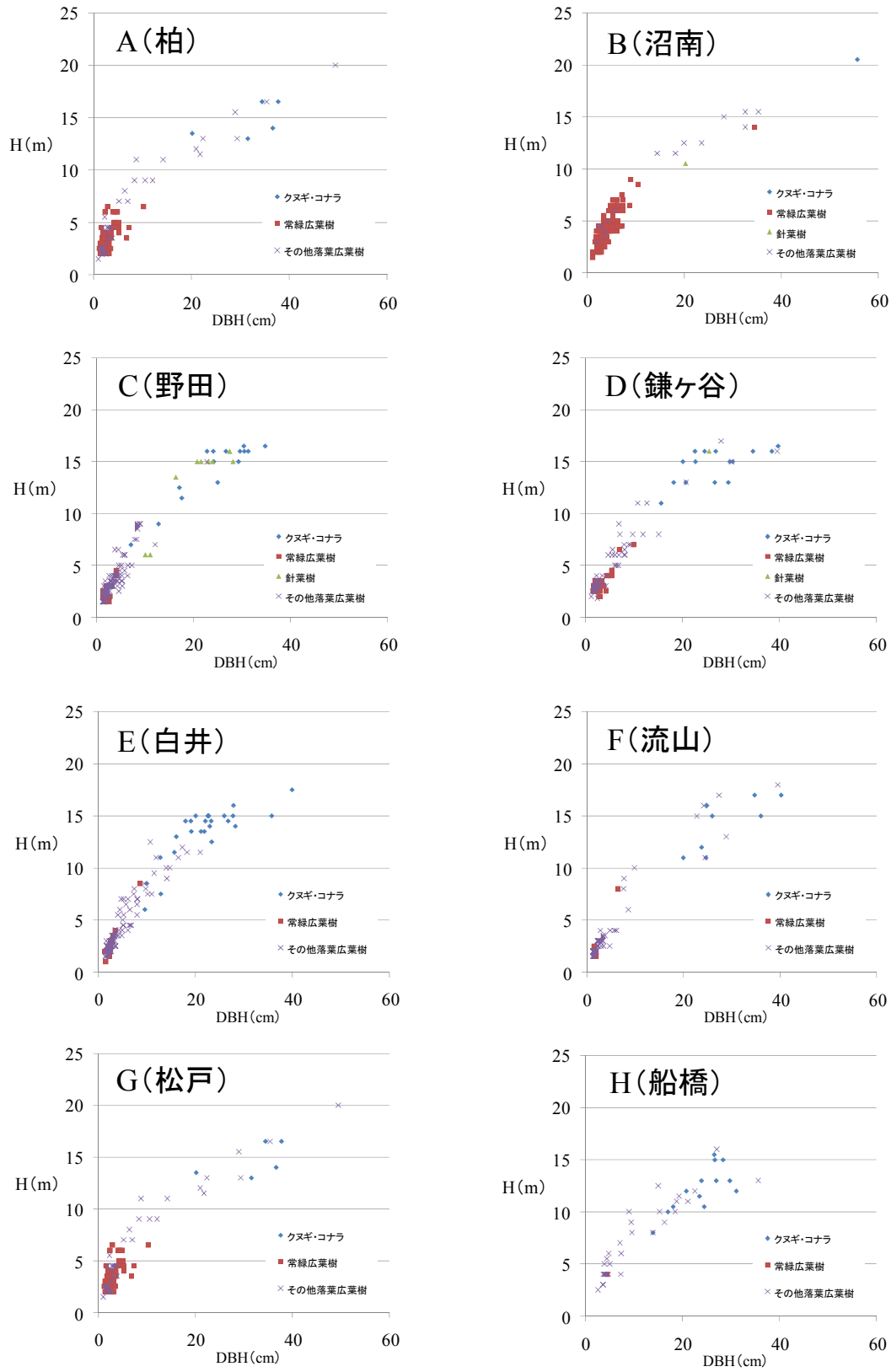


図 2-7 各調査区の樹木個体の H-DBH 関係



の調査区ではイヌシデの優占が確認され、Cの調査区ではアカマツ (*Pinus densiflora*) が確認されたことが特徴的である。樹高は、すべての調査区において概ね15m前後であった。

亜高木層に関しては、Bのように常緑広葉樹が優占的な箇所、Fのようにあまり層の発達を確認されない箇所等もみられるが、概ね、クヌギ・コナラ以外の落葉広葉樹による優占が確認された。エゴノキ (*Styrax japonica*)、イヌシデが優占的であり、Bの調査区ではシラカシ (*Quercus myrsinifolia*) が優占していた。樹高は10m前後の個体が多かった。

低木層に関しては、すべての調査区においてヒサカキ (*Eurya japonica*)、シロダモ (*Neolitsea sericea*)、イヌツゲ (*Ilex crenata*)、シラカシ等の常緑広葉樹の存在が確認されたが、C, D, E, F, Gの調査区のように、エゴノキ、クロモジ (*Lindera umbellata*)、コブシ (*Magnolia kobus*)、ウグイスカグラ (*Lonicera gracilipes*) 等の落葉広葉樹が多くみられた箇所もあった。また、Hの調査区では林床にアズマネザサが優占しており、低木層の樹木個体数そのものが少なかった。樹高は概ね5m前後であった。

以上より、個々の調査区に概ね共通だと考えられる特徴は、高木層におけるクヌギ・コナラを中心とした落葉広葉樹の優占、亜高木層におけるエゴノキ、イヌシデ等落葉広葉樹の優占、低木層における常緑広葉樹の存在だと考えられる。各層の樹木個体の樹高も、概ね同様であった。なお、低木層の構成種には各調査区においてバラツキがみられ、この点が大きな相違点だと考えられる。このことは、低木層の上層への進階による将来の植生遷移の方向や速度が、各調査区において異なる可能性を示唆している。従って、モデル林分としてすべての調査区のデータをまとめ、解析を行うにあたっては、上記の議論は行えないことに注意する必要がある。

#### ・モデル林分 (クヌギ・コナラ林) の構成種の特徴

これ以降は、8つの調査区のデータをまとめて、モデル林分のデータとして取り扱う。表2-3に、個体数、株数、胸高直径、胸高断面積、相対優先率に関する集計結果を示した。モデル林分のデータは、空間的に同一の場所で収集、集計されたデータではなく、あくまで仮想的な森林の状態を示していることに注意が必要である。

前述した各調査区に共通の特徴を、モデル林分の特徴として考える。モデル林分における優占種は、高木層にクヌギ、コナラ、亜高木層にエゴノキ、イヌシデ、低木層にコブシ、ヒサカキ、シロダモ、イヌツゲ等であり、植物社会学的分類にもとづくと、クヌギ・コナラ群集 (*Quercetum actissimo-serratae*) に属すると考えられる (宮脇編, 1986)。

クヌギ、コナラについては、個体数と株数の間にそれほど開きがないことから示唆されるように、株立ちしている個体はそう多くはみられなかった。千葉県森林課の職員や、船橋森林組合の元会長への聞き取り調査を行い、戦後直後の東葛飾地域の里山のようすを尋ねたところ、東葛飾地域においてはマツ林 (内陸部でアカマツ、沿岸部ではクロマツ) が多くを占め、クヌギ、コナラが優占する落葉広葉樹林はそれほど多くみられなかったとされた<sup>7</sup>。従って、モデル林分の履歴としては、当初からクヌギ・コナラ林であり萌芽更新が

<sup>7</sup> 2002～2007年にかけて東葛飾農林振興センターに林業普及指導員として勤務したS氏、

繰り返されていたのではなく、元来はマツ林であった可能性がある。このことは、今後のより詳細な調査によって確認される必要がある。

表 2-3 立木調査の結果  
(3200m<sup>2</sup>における 829 個体の測定結果を ha あたりの値で示した)

種名	Species	生活形	個体数 (本/ha)	株数 (本/ha)	平均DBH (cm)	最大DBH (cm)	胸断面積計 (cm <sup>2</sup> )	相対優占率 (%)
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	De	178	203	26.1	41.7	103,912	35.8
クヌギ	<i>Quercus acutissima</i>	De	122	131	25.0	55.7	66,337	22.9
イヌシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i>	De	197	203	14.4	39.6	52,574	18.1
エゴノキ	<i>Pterostyrax corymbosa</i>	De	238	344	7.9	21.0	14,841	5.12
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>	Co	28	28	23.8	28.2	12,804	4.41
ヤマザクラ	<i>Prunus jamasakura</i>	De	103	106	6.1	49.5	9,594	3.31
シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	Eg	313	363	4.2	34.5	7,417	2.56
ムクノキ	<i>Aphananthe aspera</i>	De	38	41	9.6	27.1	4,957	1.71
コブシ	<i>Magnolia praecoccisima</i>	De	169	191	4.3	16.3	3,518	1.21
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i>	Eg	231	275	3.4	10.3	2,432	0.84
シロダモ	<i>Neolitsea sericea</i>	Eg	134	147	3.5	9.0	1,668	0.58
ゴンズイ	<i>Euscaphis japonica</i>	De	31	34	5.3	22.8	1,607	0.55
スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>	Co	9	9	13.8	20.3	1,563	0.54
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i>	Eg	116	191	3.2	7.3	1,099	0.38
イヌツゲ	<i>Ilex crenata</i>	Eg	150	184	2.4	4.9	725	0.25
カマツカ	<i>Pourthiaea vilosa</i>	De	50	259	3.9	8.0	713	0.25
クリ	<i>Quercus acutissima</i>	De	3	3	16.5	16.5	668	0.23
サウフタギ	<i>Symplocos chinensis</i>	De	50	56	3.8	7.2	644	0.22
ミズキ	<i>Swida controversa</i>	De	41	41	3.6	8.0	574	0.20
ウワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	De	47	47	2.9	8.6	416	0.14
ネムノキ	<i>Albizia julibrissin</i>	De	3	3	12.7	12.7	396	0.14
クロモジ	<i>Quercus acutissima</i>	De	38	56	2.8	4.5	249	0.09
アオキ	<i>Aucuba japonica</i>	Eg	47	63	2.5	3.9	239	0.08
ムラサキシキブ	<i>Callicarpa japonica</i>	De	59	88	2.1	3.3	224	0.08
ウグイスカグラ	<i>Lonicera gracilipes</i>	De	81	216	1.6	2.5	175	0.06
エノキ	<i>Celtis sinensis Persoon</i>	De	16	16	3.5	4.8	168	0.06
コマユミ	<i>Euonymus alatus</i>	De	9	13	3.0	3.7	73.8	0.03
スダジイ	<i>Castanopsis sieboldii</i>	Eg	13	13	2.5	3.4	69.8	0.02
ニシキギ	<i>Euonymus alatus</i>	De	16	16	2.3	3.4	67.9	0.02
アオハダ	<i>Ilex macropoda</i>	De	9	9	2.8	3.6	59.5	0.02
ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i>	De	9	9	2.2	2.9	39.7	0.014
イヌザクラ	<i>Prunus buergeriana</i>	De	6	6	2.6	3.5	37.1	0.013
モチノキ	<i>Ilex integra</i>	Eg	3	3	3.6	3.6	31.8	0.011
アブラチャン	<i>Lindera praecox</i>	De	6	6	2.1	2.3	21.8	0.008
イボタノキ	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	De	6	6	2.0	2.2	19.8	0.007
ヤツデ	<i>Fatsia japonica</i>	Eg	3	3	2.8	2.8	19.2	0.007
ニガキ	<i>Picrasma quassioides</i>	De	3	3	2.6	2.6	16.6	0.006
ヒイラギ	<i>Osmanthus heterophyllus</i>	Eg	3	3	2.3	2.3	13.0	0.004
クロウメモドキ	<i>Quercus acutissima</i>	De	3	3	2.2	2.2	11.9	0.004
ガマズミ	<i>Viburnum dilatatum</i>	De	3	3	1.6	1.6	6.3	0.002
イロハモミジ	<i>Rhamnus japonica</i>	De	3	3	1.5	1.5	5.5	0.002
ハリギリ	<i>Kalopanax pictus</i>	De	3	3	1.4	1.4	4.8	0.002
計			2,591	3,400	-	-	290,012	100

および旧船橋森林組合会長の Y 氏に対して、それぞれ約 2 時間の聞き取り調査を行った。(S 氏：2009 年 7 月 3 日，Y 氏：2010 年 4 月 26 日)。

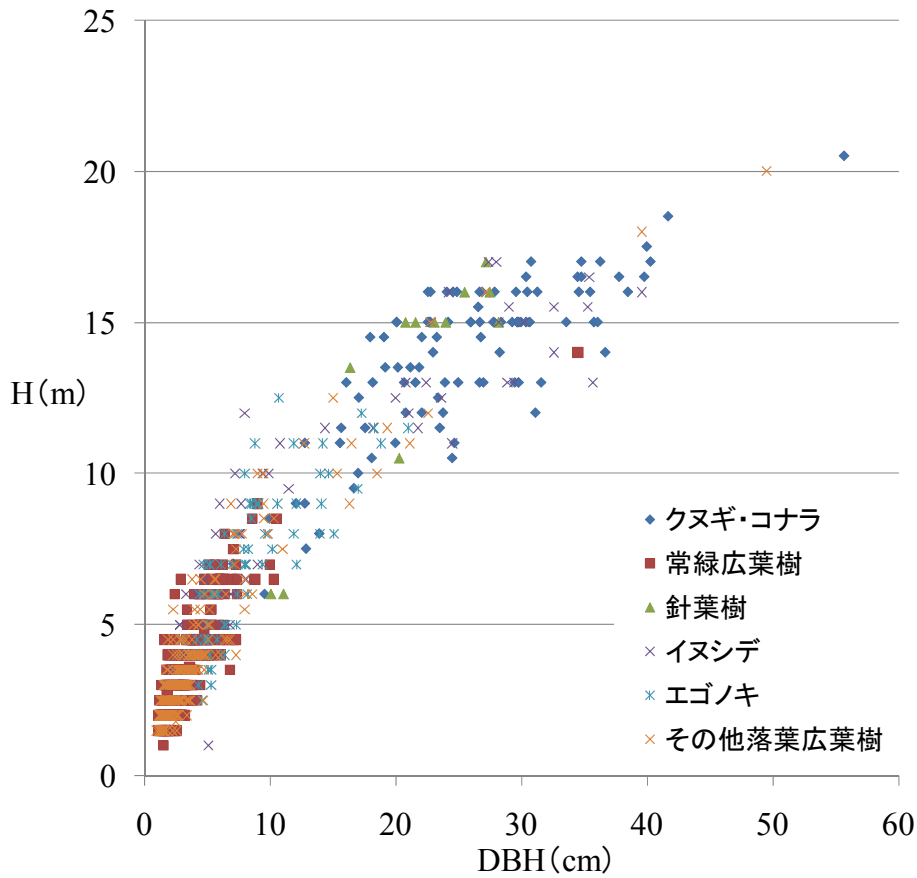


図 2-8 モデル林分における H-DBH 関係

・ H-DBH 関係

図 2-8 には、モデル林分の H-DBH 関係を、特徴的な樹種ごとにプロットして示した。高木層にクヌギ・コナラ、亜高木層にイヌシデ、エゴノキを中心とした落葉広葉樹、低木層に常緑広葉樹および落葉広葉樹の低木が分布している。

こうした層別にみられる種の特徴を踏まえ、後の層別の動態シミュレーションにおける階層のしきい値を、高木層について  $H > 12\text{m}$ 、亜高木層について  $5\text{m} < H \leq 12\text{m}$ 、低木層について  $H \leq 5\text{m}$  とした。

2) クヌギ・コナラ林の現存量

・ 調査区別の現存量

図 2-9 には、モデル林分を構成する前の、調査区別現存量を示した。調査区によってややバラツキがあり、現存量の合計値は、 $112.6 \sim 177\text{dt/ha}$  となった。なお、H (船橋) の調査区において亜高木層の現存量がやや多いのは、他の調査区と比較して、亜高木層を構成していたイヌシデ及びムクノキの個体数が多かったことによる。

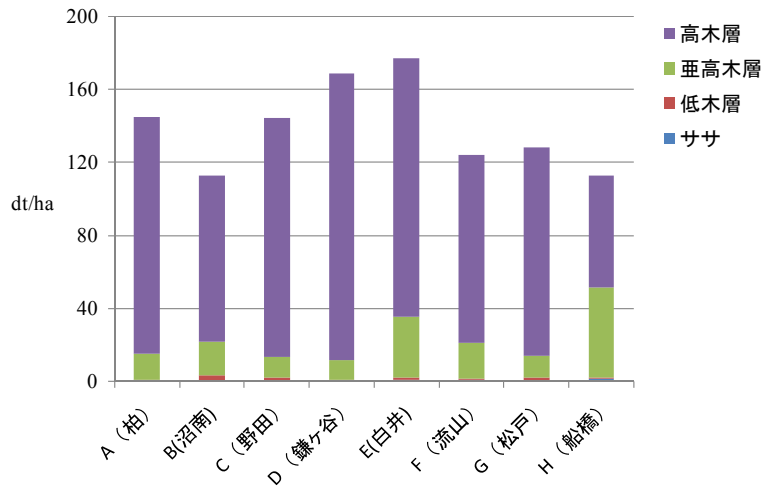


図 2-9 調査区別地上部現存量

・ 林床植生の現存量

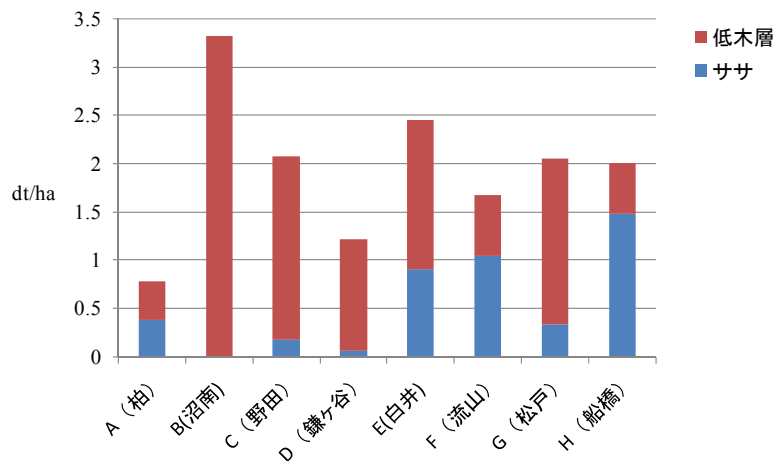


図 2-10 調査区別林床バイオマスの現存量

図 2-10 には、林床植生の現存量のみを示した。調査区により 0.78～3.32dt/ha となり、調査区ごとのバラツキは、図 2-9 調査区別地上部現存量と比較して大きい。林床植生の現存量の特徴は、上層木によって規定される林内環境のちがいが、土壌条件、または隣接する林分の群落的特徴、過去の管理履歴や植生履歴等、様々な要因と関係すると考えられ、このことがバラツキの原因となっているものと考えられる。

本研究においては現地での実測を重視した手法をとったが、より正確な現存量の把握に向けて、今後はこうした林分環境の多様さを考慮していく必要があると考えられる。

・モデル林分の現存量

表 2-4 クヌギ・コナラ林の地上部現存量

	幹部 (dt/ha)	枝部 (dt/ha)	地上部計 (dt/ha)
高木	89.1	26.6	116
亜高木	15.9	5.31	21.2
低木類	1.02	0.378	1.40
ササ	0.548	-	0.548
計	107	32.3	139

表 2-4 には、立木調査および林床植生調査の結果得られたクヌギ・コナラ林の現存量の値を示した。モデル林分における地上部現存量の合計は 139dt/ha となり、うち林冠構成種である高木層のクヌギ、コナラ等が占める割合が 83%、亜高木層のエゴノキやイヌシデ等が 15%、ヒサカキやイヌツゲ等の低木類およびアズマネザサは全体の 2%を占めていた。相観としては目立つ低木類やササ等の林床植生であるが、バイオマス現存量の観点からは全体のおよそ 2%しか占めていないという結果となった。バイオマス利用という観点からすれば、高木や亜高木層の樹木の取り扱いが重要になることが示唆される。

得られた値の妥当性を確認するために、既往研究の推定値との比較を行う。小笠原 (1987) は鳥取大学演習林内のクヌギ林 (推定林齢 25~45 年) に対して、地上部現存量を調べている。その結果、13 箇所の調査において、57.4~144.3dt/ha という結果となっており、本研究の値はこの最大値に近い。クヌギ・コナラ林モデル林分の推定林齢は 45 年であり<sup>8</sup>、小笠原 (1987) の調べた林分において最も高齢のものと同様となるため、ほぼ既往研究と同様の値が得られたものと考えられる。

<sup>8</sup> ここでいう推定林齢は、千葉県収穫予想表 (2003 年調整) に併せて示されていた「地位別齢階別樹高 (クヌギ)」のデータを確認し、上層部樹高 15.2m の際の林齢を読み取ることによって間接的に求めた林齢である。なお、採用したデータは地位「上」のものである。地位「中」および「下」のデータにもとづくと、林齢 100 年を超えることになり、実態と大きく乖離するため、地位「上」の使用が適切だと判断した。

3) スギ林の現存量

表 2-5 スギ林の地上部現存量

	幹部 (dt/ha)	枝部 (dt/ha)	地上部計 (dt/ha)
上層木	132	30.4	163
低木類	0.638	-	0.638
計	133	30.4	164

表 2-5 には、林業センサスおよび収穫予想表から推定を行ったスギ林の現存量の値を示した。モデル林分における地上部現存量の値は 164dt/ha となり、クヌギ・コナラ林の値を上回った。クヌギ・コナラ林のモデル林分が、推定林齢 45 年で一様であると仮定したことに対して、スギ林の場合は、現状の林齢構成を対応させ、様々な林齢の林がモデル林分の中に混在することを仮定している (図 2-6 参照)。このうち、面積割合が大きい齢級は、6 齢級 (25-30 年生)、9 齢級 (50-55 年生)、10 齢級 (56-60 年生) であり、それぞれ、19.3%、15.0%、14.3% (計 48.6%) となっている。従って、モデル林分はとくにこれらの齢級のスギ林分の特徴をよく反映しているものと考えられる。

なお、地上部現存量に対する低木類の割合は 0.4%程度にとどまり、クヌギ・コナラ林と比較した場合、林床植生はそれほど発達していないことが予想された。これは、冬季の落や鬱閉状況に起因する林内照度のちがいに影響されているものと考えられる。このことを実証するためには、より精緻に実態を把握していく必要がある。

また、この値を材積値 (m<sup>3</sup>) に変換した場合 522m<sup>3</sup> となり、クヌギ・コナラ林の 241m<sup>3</sup> の約 2.2 倍となっている。これは、各樹種の容積密度の違い (表 2-1) によるものである。より多くの材を得る目的であれば、スギ林のほうが格段に優れているが、より密度の高いのエネルギーを得る目的であれば、クヌギ・コナラ林のほうが優れていることになる。

本研究では、両植生タイプともに、相対成長関係を用いた間接的な現存量推定を行っている。従って、今後の検討課題として、標準木の伐倒等の手法にもとづき現存量の直接測定を行い、予測値との誤差を検証することが必要だと考えられる。

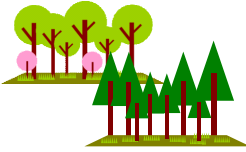
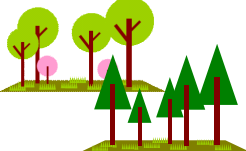
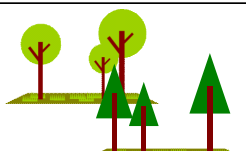
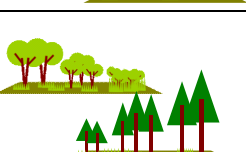
## 2.4 バイオマス発生量の推定

前節までの内容を受け、明らかにされた現存量の値を初期値として、長期的な管理を行った場合のバイオマス発生量を推定する。

### 2.4.1 方法

#### 1) 管理シナリオの設定

表 2-6 設定した里山管理シナリオ

管理シナリオの名称	目標とする景観	具体的な作業 (上段:クスギ・コナラ林/下段:スギ林)	特に発現が期待される 環境保全機能	主な参考文献
景観保全		<ul style="list-style-type: none"> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>下草刈り(年1回)</li> </ul>	景観保全機能	重松(1989) 中川(2004)
休息レクリエーション		<ul style="list-style-type: none"> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>高木層、垂高木層の間伐(間伐率10%, 20年に1回)</li> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>高木層の間伐(間伐率10%, 20年に1回)</li> </ul>	保健休養機能 (散策等)	藤本(1978) 真鍋ら(1990) 井河原ら(1997)
運動レクリエーション		<ul style="list-style-type: none"> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>高木層、垂高木層の間伐(間伐率20%, 20年に1回)</li> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>高木層の間伐(間伐率20%, 20年に1回)</li> </ul>	保健休養機能 (林内遊び等)	藤本(1978) 真鍋ら(1990) 井川原ら(1997)
ランドスケープ多様性		<ul style="list-style-type: none"> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>輪伐による皆伐更新(20年周期)</li> <li>本数整理(伐採後10年, 抜き切り(伐採後15年)</li> <li>下草刈り(年1回)</li> <li>輪伐による皆伐更新(20年周期)</li> </ul>	生物・ 生態系保全機能	犬井(1992) 環境林整備検討 委員会編(1993) 亀山編(1996) うしく里山の会 (2002) 津布久(2008)

管理に伴うバイオマス発生量の解明に先立ち、管理シナリオを設定する。里山管理に対する考え方は人々の様々なニーズを反映し多様化していると考えられる<sup>9</sup>。管理再生を考え

<sup>9</sup> 市民による里山管理でよく適用されているのは、林床管理を行う「景観保全型」や、併せて間伐を行う「レクリエーション型」の管理である(中川, 2004)。同管理は作業が比較的容易だと考えられる一方で、高林化は倒木の危険性を招いたり、ナラ枯れのリスクを高める可能性がある(黒田, 2009)。一方、低林施業への移行を進める「ランドスケープ多様性型」の管理は、広い面積のバッチを必要とし、10~20年といった期間における経営が求め

るにあたっては、あり得る方向性を複数提示した上で、それぞれに対して評価を行うことが適切だと考えられる。管理シナリオは、重松（1989）、環境林保全検討委員会編（1993）、亀山ら編（1996）、中川（2004）、津布久（2008）等、里山管理の将来的な方向性を提示した主要な文献を参考にして、4つのパターンを設定した（表 2-6）。管理シナリオにもとづく具体的な作業は、林床植生に対しては1年、立木に対しては20年を単位とした周期で繰り返される。そこで、まず初期整備としてはじめの20年間作業を実行し、後の40年間は定常的な管理を2巡させることを想定し、管理シナリオの実行期間を60年間に設定した。

シナリオは、里山のもつ環境保全機能の発現を意図したものである。そのことを明示するために、特に発現が期待される機能を反映した名称を、それぞれのシナリオに与えた。なお、これらの機能は必ずしも互いに背反するものではなく、複合的な機能発揮も期待できるものである。ここでは、シナリオ間の相対的な評価として、とくに発現が期待される機能の名称を採用している。

樹林地における環境保全機能は、横張（1994）によると、以下の8種類に集約される。

i) **生物・生態系保全機能**

様々な生物種の生息を保護したり、生態系全体の安定性を維持する機能

ii) **水保全機能**

雨水や河川水を貯蓄することで、水の急激な流出を防いだり、地下水脈へ水を供給する機能。

iii) **景観保全機能**

郷土感を醸し出し、季節変化の指標となる地域の景観を保全する機能。

iv) **保健休養機能**

レクリエーションや教育、自然とのふれあいの場としての機能。

v) **微気象緩和機能**

風や温度、湿度などの急激な変化を緩和し、強い日射を遮る機能。

vi) **居住環境保全機能**

騒音を防止し、プライバシーを守る機能。

vii) **大気保全機能**

大気中の汚染物質を除去し、酸素・二酸化炭素量を調節する機能。

viii) **土保全機能**

土壌浸食や斜面の土砂崩壊を防止する機能。

本研究においては、このうち、生物・生態系保全機能、景観保全機能、保健休養機能の3つを意図した管理手法を設定することとした。生物・生態系保全機能は、第1章でも述べたように、里山保全を考えるにあたり最も着目されてきた機能である。景観保全機能は、

---

られる一方、上記のリスクは減らすことができる。管理シナリオの現場への適用においては、このようなシナリオの特徴を理解し、相互に比較し、合意を形成していく必要がある。



人による評価が他の諸機能と比較して極めて高いとされている（横張，1994）．さらに，保健休養機能は，多くの住民が生活の場としている都市近郊において，需要の高い機能として捉えることができると考えられる．

#### ・景観保全機能の発現を意図した管理（景観保全型）

国木田独歩が短編小説「武蔵野」にてその落葉広葉樹林の詩的な美しさを表現した（国木田，1949）<sup>10</sup>ように，管理された里山の美しさは古くから人々に認められていたようである．しかし現在の里山は管理放棄が進み荒廃しており，鬱蒼として暗く，見通しも悪く，そして何よりも人とのかかわりを感じさせないものであり，独歩が明治初期に東京郊外の農村で見出した美しい里山の姿とは程遠いものである．

里山の環境保全機能の発現にあたっては，まず，最低限の見通しを確保するために，林床に繁茂するササ，低木類を刈り取ることが重要だと考えられる．このような管理により，見通しの確保とともに，林床の光環境が改善されるため，カタクリ（*Erythronium japonicum* Decne）やキンラン（*Cephalanthera falcata*）といった二次林特有の草本類の再生も期待できる．草本類の充実は，四季を感じさせる美しい景観の創出につながり，景観保全機能を高めるものと考えられる．

重松（1989）は，林床植生の再生を抑制し，適切な見通しを確保，維持するためには，年1回の下草刈りが有効であるとしている．これは，林床にササが密生している場合も，低木が密生している場合も同様とされる．従って本研究では，クヌギ・コナラ林，スギ林とともに，年1回の下草刈りを繰り返す管理を「景観保全型」の管理として設定する．

#### ・保健休養機能の発現を意図した管理（休息レクリエーション型）

保健休養とは，一般に言うレクリエーション活動のみならず，自然教育・環境教育，精神安定化（セラピー）等を含む概念であろうが，ここでは特に現代人の誰しもが必要とする基本的な活動だと考えられる，レクリエーション活動を対象とした検討を行う．里山における保健休養機能の発現にあたっては，レクリエーション活動が可能となるように，林床管理に追加して，適切な樹木の間伐による密度調整が必要である．藤本（1978）は，樹林地におけるレクリエーション活動を，休息型，散策型，運動型の3タイプに分け，それぞれどのような構造をもった森林が適切であるかを明らかにしている．すなわちこのことは，レクリエーションのタイプに従って，求められる林内空間に差があることを示している．本研究ではレクリエーションの対応を大きく「休息型」と「運動型」の2つに分け，それぞれのタイプに適した管理シナリオを設定した．

休息型レクリエーションとは，休息滞留や，草花・花木観賞といったような，運動量の比較的少ないレクリエーションのことを指す．これらの活動に適した空間を創出するには，林床管理に加えて，立木の密度調整が必要となる．藤本（1978），真鍋ら（1990），井川原ら（1997）はレクリエーションのタイプごとに適切な立木密度を明らかにしている（表 2-7）．

<sup>10</sup> 底本は1901（明治34）年，民友社初版の「武蔵野」である．

これらの研究成果に基づき、本研究では、管理シナリオの期間である 60 年のあいだに 20 年周期で間伐を繰り返し、最終的にそれぞれのレクリエーションのタイプに対して適切だと考えられる立木密度に到達するような管理を、レクリエーション型の管理として設定する。

表 2-7 レクリエーションのタイプと適切な立木密度

レクリエーションのタイプ	適切な立木密度	引用
休息型	300-600本/ha程度	藤本, 1978
	500-730本/ha程度	井川原, 1997
運動型	300本/ha以下	藤本, 1978
	500本/ha以下	真鍋ら, 1990

休息レクリエーションの場合は、間伐率を 10%に設定した。クヌギ・コナラ林モデル林分の高木層、亜高木層の樹木を対象とした立木密度は、毎木調査の結果を反映すると 963 本/ha となる。スギ林モデル林分の場合は、収穫表に記載されている ha あたり本数の値に対して、齢級別面積比を乗じて積算していくと、1,013 本/ha となる。間伐率 10%で 3 回間伐を繰り返すと、クヌギ・コナラ林は 702 本/ha、スギ林は 738 本/ha となり<sup>11</sup>、概ね休息型のレクリエーション利用に適した立木密度に近づくと考えられる<sup>12</sup>。

なお、年 1 回の下草刈りは、景観面のみならず、多様なレクリエーション活動に適した空間の創出にもつながるとされるため（重松，1989）、下草刈りの頻度は、景観保全型の管理シナリオと同様年 1 回とし、期間中継続するものとした。

#### ・保健休養機能の発現を意図した管理（運動レクリエーション型）

運動型レクリエーションとは、自然遊びや野外活動、木のぼりといったように、休息型の活動に対して、比較的運動量が多いタイプのレクリエーション活動のことをいう。運動の阻害にならないよう、休息型レクリエーションと比べて、より広がりをもった林間が必要とされる。

従って、休息レクリエーション型の管理と比較して強く間伐を行うことを想定し、間伐率を 20%に設定した。3 回の間伐により、クヌギ・コナラ林は 493 本/ha、スギ林は 518 本/ha となり、概ね運動型のレクリエーション利用に適した立木密度に近づくと考えられる。

なお、休息レクリエーション型、運動レクリエーション型のいずれにおいても、それぞ

<sup>11</sup> 間伐対象木の選木は、空間の広がりを均一にするために、無作為に行うこととする。ここでの間伐率は、本数間伐率の意味で用いているが、無作為に選木することにより、材積も同様の割合で減じていくものと仮定することができる。従ってここでは単に「間伐率」と表記している。

<sup>12</sup> 実際には、これにさらに自然間引きによる本数減少が加わるため、表 2-7 に示されている立木密度の範囲内におさまるものと考えられる。

れのモデル林分を伐期に併せて 20 等分し、時期をずらして間伐（択伐施業）することにより、安定してバイオマスが収穫できる状態を想定する。

#### ・生物・生態系保全機能の発現を意図した管理（ランドスケープ多様性型）

生物・生態系保全機能の発現を意図した管理を、一概に定めることには困難が伴う。なぜならば、地域において里山の分布や林相、過去の植生管理の履歴等は異なっており、生物相の状態はそうした地域的な差異に依存しているため、その保全手法にあっても地域的な差異が求められるからである。さらに、特定の種の保全を目標とした場合、目標とする種によって求められる環境が異なり、植生管理のあり方も変わってくるであろう。

本研究においては、こうした限界を認めた上で、ある特定の種の保全を意図することは避け、なるべく多様な種の生息環境を創出すること狙いとして、多様な樹齢、林床植生の状態を有した林分が地域の中に配されることを意図した管理シナリオを、ランドスケープ多様性型として設定した。この考えは、生物多様性の 4 つの階層、すなわち遺伝子 (gene)、種 (species) または個体群 (population)、群集 (community) または生態系 (ecosystem)、ランドスケープ (landscape) のうち (Noss, 1990 ; 鷲谷・矢原, 1996)、最も上位に属するランドスケープに着目したものであり、その地域において生息可能な種の範囲をなるべく拡大することを狙ったものである。

具体的な管理について以下に説明する。クヌギ・コナラ林に対しては、20 年周期で立木を皆伐し、萌芽による更新を促し、林学でいう低林施業を行う管理を設定した。同管理は、かつての薪炭林の維持管理手法とほぼ同等なものとして捉えてよい。10 年目において本数調整（もやかき）を行い、15 年目に幹調整のための抜き切りを行うことにより、最終的に一株に対して 2~3 本の枝からなる萌芽林 (Coppice) を形成することを狙う。モデル上では、本数調整は現存量を半分に減じるものとし、抜き切りは、現存量を 20% ほど減じるものとして設定した。これらの管理は、研究対象地と近い茨城県南部にて実際に行われていた管理を参考にして設定した（うしく里山の会, 2002）。伐期の 20 年は、首都圏近郊平地林の過去の平均的な伐期（15~25 年）の平均値をとった（犬井, 1992）。

スギ林に対しても、クヌギ・コナラ林に合わせて、同様に伐期 20 年で皆伐更新する管理を設定した。本研究で考えるバイオマスの利用形態はエネルギー利用であるため、必ずしも柱材として必要な太さまで育林を行う必要はないと考えられる。

なお、立木の管理に加えて、林床植生についても年 1 回の下草刈りを行うことを想定した。下草刈りについては、ある程度植生を繁茂させることにより鳥類等の生息の場を創出できるため、頻度を落とすことも考えられるが、1) 他の機能との競合をなるべく避けること、2) 皆伐により光条件が変化するため、同頻度の刈り取りであっても植生の繁茂状況は立木の状態によって多様となると考えられること、の 2 点から、他の管理シナリオと同様に年 1 回とした。

なお、保健休養機能を発現させる管理と同様に、モデル林分を伐期に併せて 20 等分し、それぞれ時期をずらして間伐することにより、安定してバイオマスが収穫できる状態を想定する。この設定により、時間の変化に伴っていわゆるシフティングモザイクの状態が形

成されるため、ランドスケープの多様性の向上に大きく貢献すると考えられる。

## 2) 落葉広葉樹二次林（クヌギ・コナラ）

上記において設定されたそれぞれの管理シナリオによるバイオマス発生量を、シミュレーションモデルを用いて推定する。本研究では、高木層、亜高木層を対象とした「立木管理」により発生するバイオマスを、「森林動態予測モデル」を用いたシミュレーションにより推定した。低木類、ササを対象とした「林床管理」については、林床植生の刈り取り実験を行った既往研究を援用して原単位を作成することにより、推定を行った。それぞれの管理を一つのモデル内で扱うことは、データの不足によりかなわなかったため、今後の課題である。以下、推定のフローを図 2-11、図 2-12 に示す。

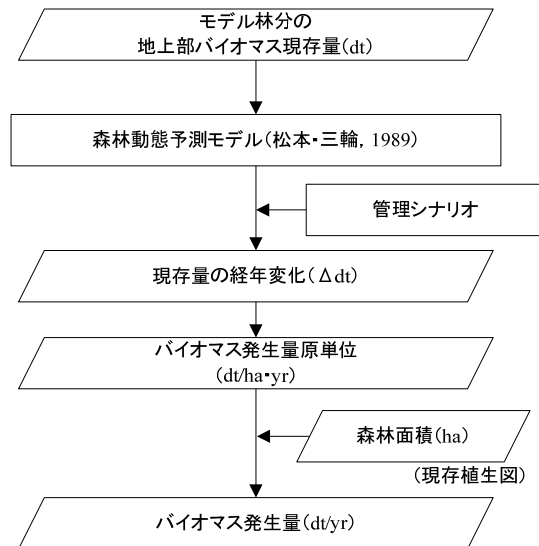


図 2-11 クヌギ・コナラ林のバイオマス発生量推定フロー（立木）

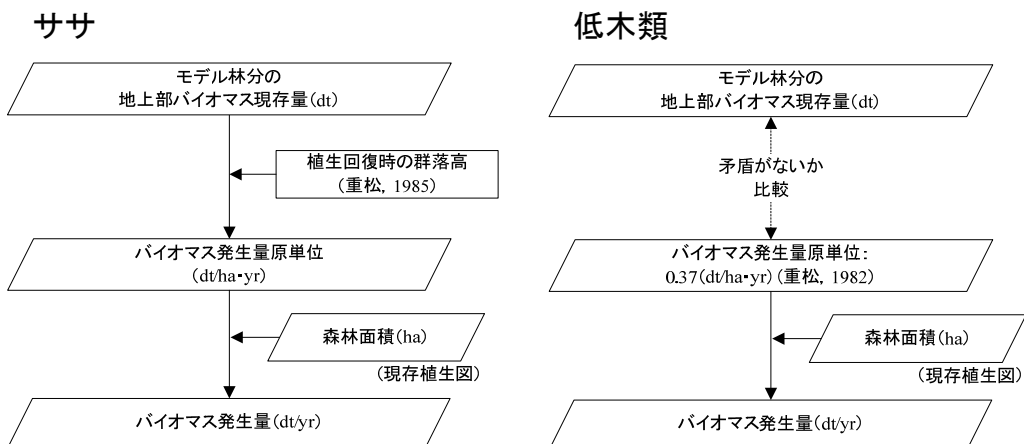


図 2-12 クヌギ・コナラ林のバイオマス発生量推定フロー（林床）

・用いたモデルの概要

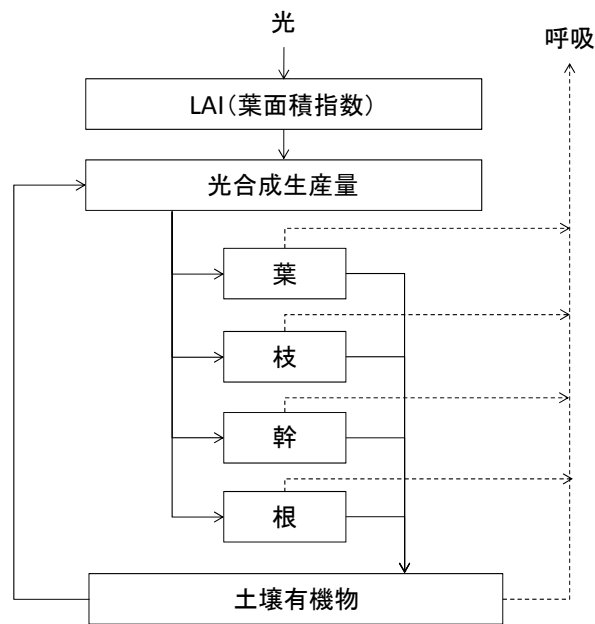


図 2-13 森林動態予測モデルの構造  
(松本・三輪 (1989) の図をもとに筆者作成)

立木管理時のバイオマス発生量の推定には、松本・三輪 (1989) の「森林動態予測モデル」を用いた。森林動態予測モデルは、関東地方の落葉広葉樹二次林を対象に、管理活動に伴う森林動態の変化の予測を目的に開発されたモデルである。その基本型は、森林の物質生産の仕組みをモデル化したものであり、構造について図 2-13 に示した。

この図が示すように、同モデルによって、光合成による年間有機物生産量、各器官への分配量、呼吸や枯死による放出量が推定される。葉・枝・幹・根バイオマスおよび LAI、土壌有機物量の初期値を設定し、時間経過によるそれらの変化量  $\Delta$  を、モデルにより予測して積算していくことにより、森林の動態がバイオマスの変化という観点から予測できる。

推定は、高木層、亜高木層、低木層といったように層別に行うことができ、それぞれの層における樹木の成長特性は、光-光合成曲線<sup>13</sup>の定数や、吸光係数<sup>14</sup>によって定められている。また、下層に入射する光の量は、上層の樹木の LAI (葉面積指数) によって制御されており、上層の樹木を伐採すると、下層へ入射する光の量が増加する設定になっている。なお本研究では、前述したように高木層、亜高木層のみの動態を予測する。

また、管理による変化は、葉・枝・幹・根バイオマスと LAI を、管理シナリオにおいて

<sup>13</sup> 光の量と、緑葉の光合成速度 (一定時間あたり CO<sub>2</sub> または O<sub>2</sub> のガス交換量) との関係を示した曲線。植物の光合成特性を表現するにあたり一般的に用いられる。

<sup>14</sup> 光がある媒介に入射するとき、その媒介がどの程度の光を吸収するのかを定めた係数。水平面に対する葉の角度と強い関係があり、水平葉で 1.0、直立葉で 0.4 程度となる (黒岩, 1990)。

定められた割合に従って一定量減らすことによって表現する。

・ 定式化

森林動態予測モデルは、以下の 5 つの部分から成っている。それぞれの部分の定式化について、松本・三輪（1989）を参照しながら説明する。

① 層へ入射する光の強度の決定

層へ入射する光の強度  $I$  は、上層に入射している光の強度と、上層の樹木の LAI、吸光係数  $K$  に影響を受けて決定される（式 2-7）。上層の樹木の LAI が増加する、もしくは吸光係数が高くなる（葉の角度が水平になる）と、層へ届く光の量が減少する。

$$I = I_0 \cdot \exp(-K \cdot LAI) \quad \dots \text{式 2-7}$$

( $I$ =層へ入射する光の強度[klux],  $I_0$ =上層に入射している光の強度[klux],  $K$ =吸光係数, LAI=葉面積指数)

② 各層の LAI 変化量の決定

森林動態予測モデルでは、LAI の値が光合成による有機物生産量を決定する重要な変数となっている。各層の樹木は、最適葉面積指数  $LAI_{opt}^{15}$  を獲得するように成長するものと仮定されている。最適葉面積指数は、層に入射する光強度  $I$  と、層別に異なる特性を与えるためのパラメータ  $LM$  によって決定される（式 2-8）。光強度  $I$  が強くなる、もしくは  $LM$  が低くなると、最適葉面積指数の値は大きくなる。

$$LAI_{opt} = \ln(I) / LM \quad \dots \text{式 2-8}$$

( $LAI_{opt}$ =最適葉面積指数,  $I$ =層へ入射する光の強度[klux],  $LM$ =層別のパラメータ)

こうして決定された  $LAI_{opt}$  を獲得するように、樹木の成長過程を LAI の変化過程として表現すると、式 2-9 のようになる。 $\lambda$  は変化の係数で、この値が大きくなるほど、短期間で  $LAI_{opt}$  の値に近づく。LAI の初期値に  $\Delta LAI$  を積算して、当年 LAI の値を求める。

$$\Delta LAI = \lambda \cdot LAI \cdot \left( \frac{1-LAI}{LAI_{opt}} \right) \quad \dots \text{式 2-9}$$

( $\Delta LAI$ =LAI の当年変化量,  $\lambda$ =変化の係数, LAI=葉面積指数,  $LAI_{opt}$ =最適葉面積指数)

<sup>15</sup> 太陽エネルギーを最も効率よく受ける葉の重なり程度を達成したときの LAI の値。緑葉の CO<sub>2</sub> 吸収量と O<sub>2</sub> 放出量が等しくなる点における LAI の値を示す。

### ③ 光合成による有機物生産量の決定

光合成による有機物生産量は、吸光係数  $K$  や光-光合成曲線の定数  $a$ ,  $b$ , 層へ入射する光の強度  $I$ , 及び LAI の値に影響を受けて決定される (式 2-10)。  $D$  は定数で、日長時間を表す。 LAI および光強度  $I$  が大きくなると有機物生産量は多くなり、吸光係数  $K$  が高くなると小さくなる。

$$P_{\text{day}} = \frac{2 \cdot D \cdot b}{K \cdot a} \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{1 + K \cdot a \cdot I}}{1 + \sqrt{1 + K \cdot a \cdot I} \cdot \exp(-K \cdot \text{LAI})} \quad \dots \text{式 2-10}$$

( $P_{\text{day}}$ =群落の日光合成速度[mgCO<sub>2</sub>/day],  $D$ =日長時間[hour],  $a, b$ =光-光合線曲線の定数,  $K$ =吸光係数,  $I$ =層へ入射する光の強度[klux], LAI=葉面積指数)

ここで、光-光合成曲線の定数  $a$ ,  $b$  について説明する。光-光合成曲線は前述したように、光の量と、緑葉の光合成速度との関係を示した曲線であり、黒岩 (1966) によると、次の式で表される。

$$p = \frac{b \cdot I}{1 + (a \cdot I)} \quad \dots \text{式 2-11}$$

( $P$ =葉の光合成速度[mgCO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>・時],  $a, b$ =定数)

定数  $a$  は、光飽和状態 (光合成速度の増加率が 0 になる点) における光合成速度の 1/2 の値が得られる強度の逆数を示す。従って、 $a$  が大きくなると、植物群落は早く光飽和状態に達するような特性をもつことになる。定数  $b$  は曲線の立ち上がりの傾きを示しており、群落生産力に直接影響する定数である。後述するが、本研究では林分収穫表に示されている材積量の値をほぼ同様の推移を表現できるように、定数  $b$  を調整することにより、群落の有機物生産量の調整を行っている。定数  $a$  を一定とし、 $b$  を調整した際の光-光合成曲線を図 2-14 に示す。

さらに、式 2-10 によって求められる値は日光合成速度であるため、この値を年間有機物生産量 (dt/yr) へ変換するために、以下の式 2-12 を用いる。

$$P_g = 0.001 \cdot G \cdot x \cdot P_{\text{day}} \quad \dots \text{式 2-12}$$

( $P_g$ =年間有機物生産量[dt],  $G$ =生育日数[日],  $x$ =有機物変換係数[dg/gCO<sub>2</sub>])

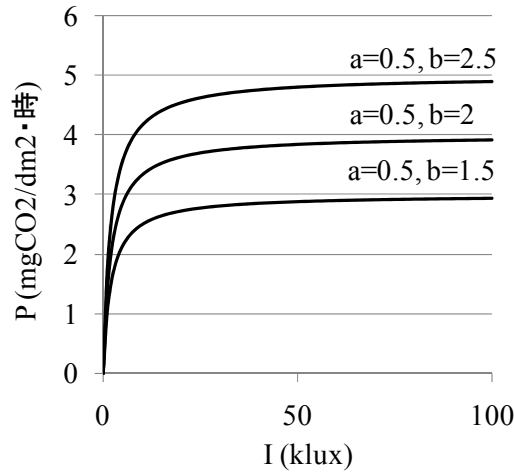


図 2-14 光-光合成曲線における定数 a の調整

#### ④ 生産量の各器官への分配

式 2-12 によって得られた生産量を，葉，枝，幹，根の各器官に分配する．まず，葉への分配量を決定し，残りを一定の割合に基づき各器官へ分配する手続きをとる．まず，葉の現存量を，LAI を葉の乾燥重量あたりの葉面積 SLA で割ることによって求める（式 2-13）．そして，葉の現存量から葉の呼吸量が求められる（式 2-14）．

$$Wf = LAI/SLA \quad \dots \text{式 2-13}$$

（Wf=葉の現存量，LAI=葉面積指数，SLA=葉の乾燥重量あたりの葉面積）

$$\Delta Wfr = Rf \cdot Wf \quad \dots \text{式 2-14}$$

（ $\Delta Wfr$ =葉の呼吸量，Rf=葉の呼吸率，Wf=葉の現存量）

これら葉の現存量と葉の呼吸量を有機物生産量から差し引いた残り（Dp）が，枝，幹，根の各器官に分配される．分配量は，各器官への分配率の値を利用して求める．

$$Dp = Pg - Wf - \Delta Wfr \quad \dots \text{式 2-15}$$

$$\Delta Wbd = Db \cdot Dp \quad \dots \text{式 2-16}$$

$$\Delta Wtd = Dt \cdot Dp \quad \dots \text{式 2-17}$$

$$\Delta Wrd = Dr \cdot Dp \quad \dots \text{式 2-18}$$

（Dp=有機物生産量から葉の現存量・呼吸量を差し引いた値，  
 $\Delta Wbd$ ， $\Delta Wtd$ ， $\Delta Wrd$ =枝，幹，根への分配量，Db，Dt，Dr=枝，幹，根への分配率）

ここから，呼吸および枯死による各器官の変化量を，枯死率および呼吸率の値を利用して，次式で求める．



$$\Delta W_{br} = R_b \cdot W_b \quad \dots \text{式 2-19}$$

$$\Delta W_{tr} = R_t \cdot W_t \quad \dots \text{式 2-20}$$

$$\Delta W_{rr} = R_r \cdot W_r \quad \dots \text{式 2-21}$$

$$\Delta W_{bm} = M_b \cdot W_b \quad \dots \text{式 2-22}$$

$$\Delta W_{tm} = M_t \cdot W_t \quad \dots \text{式 2-23}$$

$$\Delta W_{rm} = M_r \cdot W_r \quad \dots \text{式 2-24}$$

( $\Delta W_{br}$ ,  $\Delta W_{tr}$ ,  $\Delta W_{rr}$ =枝, 幹, 根の呼吸による変化量,  
 $\Delta W_{bm}$ ,  $\Delta W_{tm}$ ,  $\Delta W_{rm}$ =枝, 幹, 根の枯死による変化量,  
 $R_b$ ,  $R_t$ ,  $R_r$ =枝, 幹, 根の呼吸率,  $M_b$ ,  $M_t$ ,  $M_r$ =枝, 幹, 根の枯死率,  
 $W_b$ ,  $W_t$ ,  $W_r$ =枝, 幹, 根の現存量)

なお, 想定している森林は落葉広葉樹林であるため, 葉はすべて落葉して枯死するものとして取り扱う. 枯死した葉, 枝, 幹, 根の各器官は土壌有機物として供給される. 土壌中の有機物も分解され減少するので, その過程を踏まえ, 以下の式 2-25 で土壌有機物の変化量を求める.

$$\Delta W_m = W_f + \Delta W_{bm} + \Delta W_{tm} + \Delta W_{rm} - R_m \cdot W_m \quad \dots \text{式 2-25}$$

( $\Delta W_m$ =土壌有機物の変化量,  $W_f$ =葉の現存量,  
 $\Delta W_{bm}$ ,  $\Delta W_{tm}$ ,  $\Delta W_{rm}$ =枝, 幹, 根の枯死による変化量,  $R_m$ =土壌有機物分解率,  
 $W_m$ =土壌有機物現存量)

#### ⑤ 土壌有機物量による生産量の変化

土壌有機物は養分の給源として, 樹木の成長を支えるものとして, 土壌生産物現存量が減少するにつれて, 生産量が低下するモデルを以下の式 2-26 によって組み込む. 同式は, 成長量を土壌有機物量の二次関数として表した Shugart (1984) によるモデルの推定値に近づくように, 近似のパラメータ MS を用いて, 土壌有機物の量により 0~1 の値をとるように設定されたものである. 土壌有機物の量が減少すると, 式 2-26 の値も低下する. この値を年間光合成生産量  $P_g$  に乗じることにより, 土壌有機物量による生産量の変化を表現する.

$$1 - \exp(-W_m/(100 - MS)) \quad \dots \text{式 2-26}$$

( $W_m$ =土壌有機物現存量,  $MS$ =近似のパラメータ)

#### ・パラメータの設定

上記の各式において必要なパラメータは, 各層共通のものとして, 層別に設定するものに分かれる. 表 2-8 には, 各層共通のパラメータを示した. これらは, 松本・三輪 (1989)

において、落葉広葉樹林に適するものとして設定された値に合わせている。

表 2-8 各層共通のパラメータ (松本・三輪, 1989)

パラメータ	引用元・推定方法		
高木層に入射する光の照度	$I_0$	100 klux	大政編, 1978
日照時間	D	12 hours	平均的な値として設定
生育日数	G	180 days	平均的な値として設定
有機物変換係数	x	0.6 dw/gCO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> とグルコースの重量比から算出
生産量の分配率(枝)	Db	0.35	Maruyama, 1977; Kakubari, 1977
生産量の分配率(幹)	Dt	0.44	Maruyama, 1977; Kakubari, 1977
生産量の分配率(根)	Dr	0.22	Maruyama, 1977; Kakubari, 1977
枝の呼吸率	Rb	0.07	依田・佐藤, 1967
幹の呼吸率	Rt	0.04	依田・佐藤, 1967
根の呼吸率	Rr	0.07	依田・佐藤, 1967
葉の呼吸率	Rf	0.09	依田・佐藤, 1967
枝の枯死率	Mb	0.08	Maruyama, 1977
幹の枯死率	Mt	0.01	Maruyama, 1977
根の枯死率	Mr	0.05	Maruyama, 1977
土壌有機物分解率	Rm	0.09	Chiba, 1977

表 2-9 層別に設定するパラメータ (松本・三輪, 1989)

パラメータ		高木層	亜高木層	引用元・推定方法
吸光係数	K	0.35	0.50	Kira and Shidei, 1967
光-光合成曲線の定数	a	0.50	5.00	松本・三輪, 1989
	b	2.00	15.00	収穫予想表の成長量に併せて設定
LAI <sub>opt</sub> 到達の速度に関する係数	$\lambda$	0.10	0.25	Kawaguchi and Yoda, 1986
葉の重量あたり葉面積	SLA	1.88	1.88	Maruyama, 1977
光強度からLAI <sub>opt</sub> を求める係数	LM	0.80	0.80	Maruyama, 1977
土壌有機物量から生産量変化量を求める係数	MS	0.50	0.50	Shugart, 1984

表 2-9 には、層別に設定するパラメータの一覧を示した。これらも基本的に松本・三輪 (1989) に従っているが、前述したように光-光合成曲線の定数  $b$  に関しては、千葉県収穫予想表 (クヌギ) における成長量とはほぼ同一となるように、値を設定し直している。この際の収穫予想表は地位「上」のものを用いた。これは、毎木調査の結果、高木層の平均樹高が 15.2m となり、これを収穫表に当てはめた際に最も適切であると考えられた林齢が、地位「上」の 45 年であったからである。地位「中」および「下」の場合は、樹齢 100 年を超えることになり、林業センサスに示された林齢データから判断しても、不適切だと考え

られた。

なお本研究では、立木管理と林床管理とを推定上は独立に考えるため、高木層、亜高木層の2層を立木管理の対象として、森林動態予測モデルを用いた推定を行った。林床管理の対象となる低木層とササについては、後述する別の手法で、モデルとは切り離して推定を行った。なお階層の分類基準は、先述した現存量の推定時に設定したように、低木層を  $H \leq 5m$ 、中木層を  $5m < H \leq 12m$ 、高木層を  $H > 12m$  とした。

#### ・初期値の設定

立木調査によって得られた現存量の値を、松本・三輪（1989）の森林動態予測モデルの初期値として入力する。初期値の設定にあたっては、前節で求められた値に加えて、葉、根、土壌有機物の現存量を求め、LAI を設定する必要がある。

根の現存量に関しては、地上部現存量に対する地下部現存量の比が、広葉樹 0.26、スギ 0.25 と示されている（GIO, 2010）。従ってこれらの値を用いて、地上部現存量の値から間接的に推定を行った。

葉の現存量については、以下の方法で設定した。閉鎖した森林においては、植栽密度に関係なく葉重量が一定となることが知られており、「葉量一定の法則」と呼ばれている（Kira and Shidei, 1967；依田, 1971）。落葉広葉樹林の場合は、2.9dt/ha を中心として、おおよそ  $\pm 1.5dt/ha$  の間に値がおさまることが、97 林分の調査によって確かめられている（只木・蜂屋, 1968）。そこで本研究においては、この 2.9dt/ha を群落全体の葉重と仮定し、現存量の比に従ってこの値が各階層に分配されることとした。

土壌有機物についても初期値を定める必要があるが、これを現地調査によって得られたデータから推定することは困難だったため、松本・三輪（1989）のシミュレーション結果に従い、樹齢 50 年のときの値として 80t/ha を採用した。

LAI については、小笠原ら（1987）がコナラ二次林を対象とした調査において、平均値 6.0 (3.1~8.5) としているため（小笠原ら, 1987）、この値を現存量の比で按分することにより、各層別の LAI とした。

最終的に入力した初期値の一覧を、表 2-10 に示した。

表 2-10 森林動態予測モデルに入力した初期値

	LAI	現存量 (dt/ha)			
		葉	枝	幹	根
高木層	5.04	2.43	26.60	89.10	30.10
亜高木層	0.90	0.44	2.31	15.90	5.51
土壌有機物				80.00	

#### ・立木管理時のバイオマス発生量

先述した管理シナリオに従って、管理のインパクトをモデル上で表現する。伐採のインパクトは、レクリエーション型の管理の場合は、各層の現存量および LAI を、設定された間伐率の値に従って一定量減らすことによって表現し、この際の現存量の減少分を管理によるバイオマス発生量とした。なお、ランドスケープ多様性型の管理における皆伐後の成長については、千葉県収穫予想表（クヌギ・地位上）の値とほぼ一致するように、皆伐後の LAI の値を再設定している<sup>16</sup>。

管理を与える期間は、表 2-6 に示された管理シナリオが少なくとも一巡するように、60 年間に設定した。このうち、はじめの 20 年間は、環境保全機能が発揮されるまでの初期整備期間とし、21 年目から 60 年目の 40 年間を対象として、林内から取り出された地上部バイオマスの量の総和を求め、その年あたり平均値を発生量原単位 (dt/ha・yr) とした。さらに、研究対象地のクヌギ・コナラ林総面積 4,061ha を乗じて、研究対象地における発生量を推定した。

#### ・林床管理時のバイオマス発生量

林床管理の対象となる低木類、ササの発生量推定には、既往研究の成果を援用した。まずササに関しては、年 1 回の下草刈りを繰り返すことにより、平均高を約 20cm に抑制することから（重松，1985）、現地調査で得られている現在の群落の平均高を 20cm とした場合の現存量を、発生量とみなした。

低木類については、初期保育としての皆伐後下刈り時のバイオマス発生量を報告した研究はみられるものの（石井・千葉，1971；石井ら，1974）、上層木を残した状態での刈り取り後再生量に関する詳細なデータは既往研究では得られなかったため、ここでは重松（1982）の刈り取り実験に従い、年 1 回の刈り取りによって 0.37dt/ha・yr の発生量があるものと仮定した（重松，1982）。同研究は比較的林内光量の豊富なアカマツ林を対象としたものであるが、1) 低木層の種組成が本研究の対象地で確認されたものと似かよっており、2) 林内の相対照度は立木管理によって変化するため、データの援用が可能だと判断した。立木管理と林床植生との関係については、林床植生の種組成の変化からの研究が多くなされているが（辻・星野，1992；山崎ら，2000；深田・亀山 2003；畠瀬ら，2007）、バイオマスの発生量から評価を行った研究成果は極めて少なく（松本ら，投稿中）、今後の重要な研究課題であるといえる。

### 3) 針葉樹植林（スギ）

推定のフローを図 2-15、図 2-16 に示す。

<sup>16</sup> 森林動態予測モデルは、天然林の動態予測モデルを基本に設計されているため、皆伐更新のような、極めて人為のインパクトが強い管理に対する動態予測には限界がある。この点を本研究では収穫表のデータを用いて補っている。

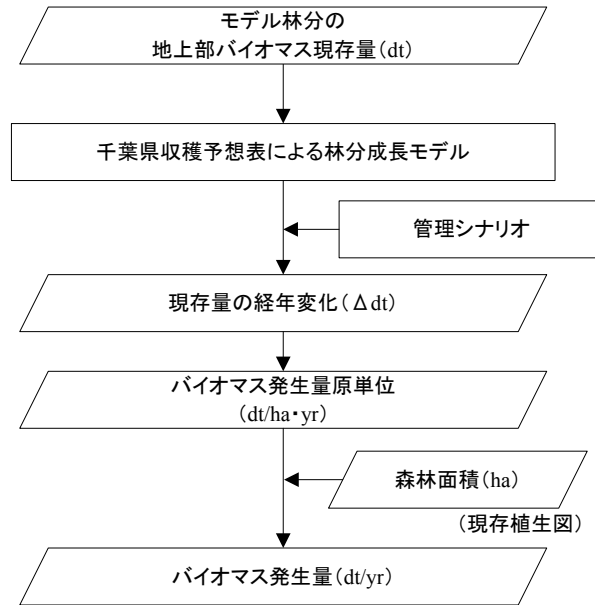


図 2-15 スギ林のバイオマス発生量推定フロー（立木）

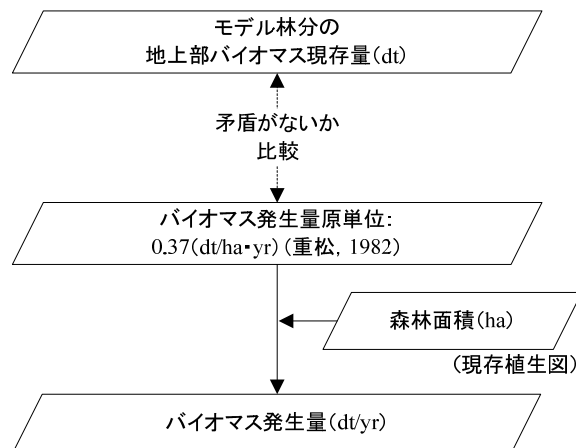


図 2-16 スギ林のバイオマス発生量推定フロー（林床：低木類）

・立木管理時のバイオマス発生量

スギ林に対しては、収穫表（主副林木合計）に示されている成長率の値を用いて林分の成長を予測することにより、モデル林分の成長過程についてのシミュレーションを行った（式 2-27）。用いた収穫表は、表 2-2 に示したとおりである（千葉県収穫予想表，2003 年調整，スギ，地位「中」）。初期値を現存量の値として、それ以降、60 年間分の管理について現存量変化の予測を行った。なお、モデル林分においては様々な齢級の森林の存在を仮定

していたが、クヌギ・コナラ林のシミュレーションと対応させるために、現存量の値に対応した林齢（50年生）によってモデル林分の林齢を代表させ、推定を行っている。クヌギ・コナラ林の場合と異なり、上層の樹木は高木層のみの単層構造とする。

$$R = 4014.972 \cdot Y^{-2.059} \quad \dots \text{式 2-27}$$

(R=成長率, Y=林齢)

管理のインパクトについては、管理シナリオに示された指針に従って、現存量を一定量減らすことによって表現した。それぞれの管理シナリオにおいて、年1回の下草刈りが想定されているため、下層木の成長、および上層への進階は考えないこととする。さらに、間伐を行った際の成長量の増加を表現するために、細田ら（2004）による茨城県上君田スギ試験地における調査結果を引用し、48年生で間伐を行った場合とそうでない場合の成長量の差の比率（1.35）を求めて、間伐後はこの比を成長率に対して乗じた<sup>17</sup>。

評価期間については、クヌギ・コナラ林と条件を揃え、60年間のシミュレーションのうち、21年目から60年目の40年間を対象として、林内から取り出された地上部バイオマスの量の総和を求め、その年あたり平均値を発生量原単位（dt/ha・yr）とした。この原単位に、研究対象地のスギ林総面積884haを乗じて、研究対象地における発生量を推定した。

#### ・ 林床管理時のバイオマス発生量

スギ林の場合は、ササは含まず、低木類の刈り取りによる発生量の推定を行うこととした。刈り取り時の再生量についての研究は、クヌギ・コナラ林の項でも述べたように、既往研究が殆どみられない。従って、クヌギ・コナラ林の場合と同様、重松（1982）による0.37dt/ha・yrを標準的な発生量として仮定した（重松，1982）。

<sup>17</sup> 間伐直後（間伐後1～5年）においては、無間伐林に比べ間伐林の成長が劣っているが、その後は逆転して間伐林のほうが優勢となっている。間伐後21年目までの成長量の比較結果を、細田ら（2004）から引用した。

## 2.4.2 結果と考察

### 1) 景観保全型

- ・ 落葉広葉樹二次林（クヌギ・コナラ）

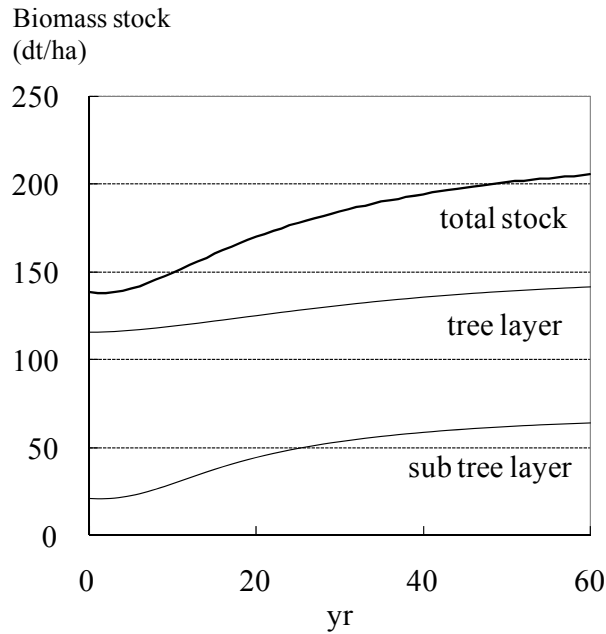


図 2-17 現存量の変化（クヌギ・コナラ林，景観保全）

図 2-17 には、クヌギ・コナラ林のモデル林分に対して景観保全型の管理を行った場合の現存量の変化を示した。立木管理を行わない設定のため、現存量は林分の成長に従ってゆるやかに増加し、60 年後には 200dt/ha に達している。高木層の樹木と比較して、亜高木層の樹木のほうが若齢だと考えられ、成長がよい。

林床植生に関して、前節（2.3.2）においてササの現存量は 0.548dt/ha と推定されており、この際の平均高は 84cm であった。年 1 回の刈り取りにおいて平均高が 20cm に抑制されることを仮定した場合、これらの高さの比を考慮した結果、年間発生量は 0.131dt/ha となった。低木類の発生量は、重松（1982）にもとづき 0.37dt/ha に設定しているため、ササ及び低木類の合計として、年間 0.501dt/ha のバイオマスが発生するものとされた。

・ 針葉樹植林（スギ）

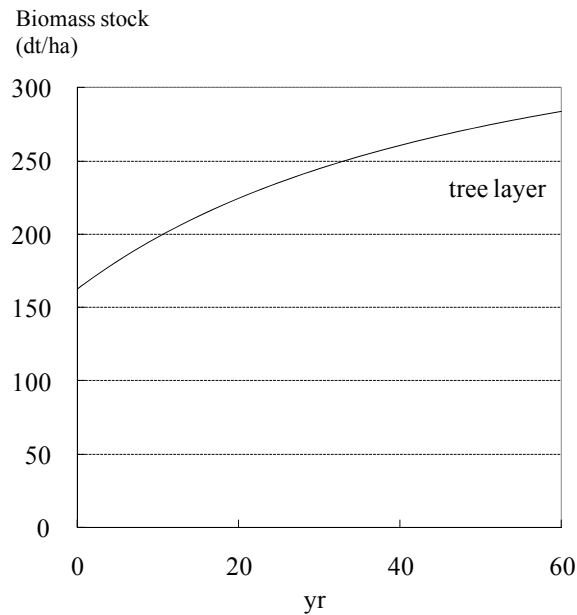


図 2-18 現存量の変化（スギ林，景観保全）

図 2-18 には，スギ林のモデル林分に対して景観保全型の管理を行った場合の現存量の変化を示した．クヌギ・コナラ林と同様，立木管理を行わない設定であるため，徐々に成長量を落としながら，現存量は60年のあいだにゆるやかに増加している．60年後には，280dt/haまでに達しており，クヌギ・コナラ林の現存量を上回る．

この際の林床管理によるバイオマス発生量は，低木類を対象として，重松（1982）にもとづき 0.37dt/ha と設定されている．前節（2.3.2）において推定されたスギ林低木類の現存量は，0.638dt/ha であるため，発生量はこの値に対して約 60%となる．発生量が現存量の値を超えてはいないため一定の妥当性はあるが，実際の管理にもとづく実測調査においてより正確な値が求められる必要がある．



2) 休息レクリエーション型

・ 落葉広葉樹二次林（クヌギ・コナラ）

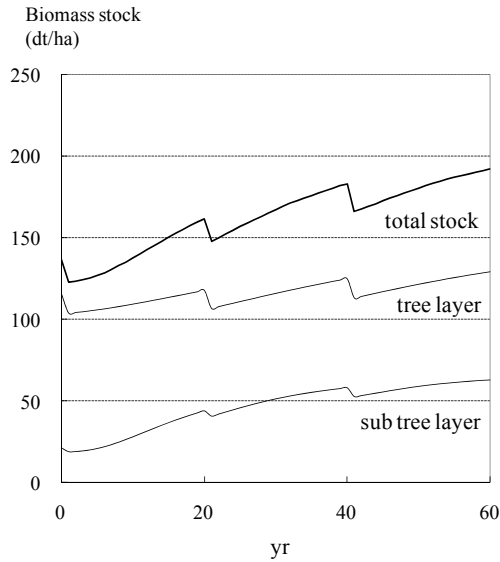


図 2-19 (左図) 現存量の変化 (クヌギ・コナラ林, 休息レクリエーション)

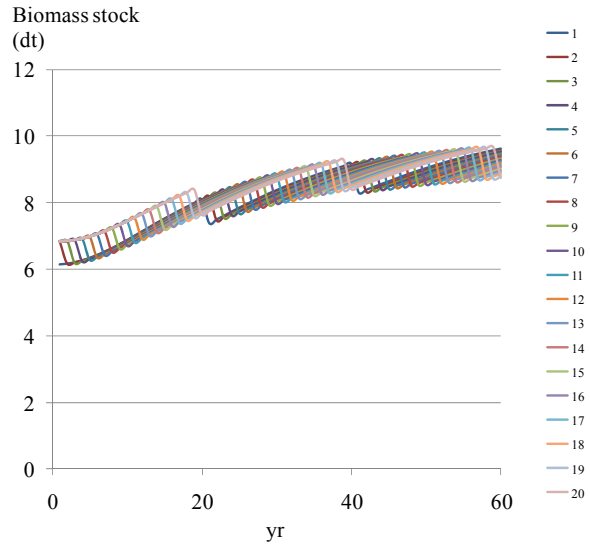


図 2-20 (右図) 択伐を意図した際の現存量の変化

(クヌギ・コナラ林, 休息レクリエーション)

図 2-19 には、クヌギ・コナラ林のモデル林分に対して休息レクリエーション型の管理を行った場合の現存量の変化を示した。20 年周期で 3 回の間伐を行うことを想定しているため、1 年目、21 年目、41 年目に現存量の減少が確認される。

モデル林分を 20 等分し、1 年ずつ伐期をずらしながら択伐することを想定し、図 2-20 のような曲線を得た。休息レクリエーション型の管理における間伐率は 10%であるが、その強度においては、管理期間中、現存量を増加させながらバイオマスが収穫可能であることが示された。

図 2-21 には、評価期間中 (21~60 年目) におけるモデル林分の現存量の変化と、バイオマス発生量の推移を示した。バイオマス発生量は微増の傾向にあるが、評価期間中の平均値は 0.85dt/ha (0.71~0.92dt/ha) となった。微増の要因としては、現存量の増加に関わらず間伐率を一定に設定していることが考えられる。この値に年 1 回の下草刈りによって発生する量 (0.50dt/ha) を足し合わせ、バイオマス発生量の総和は、1.35dt/ha (1.21~1.42dt/ha) となった。

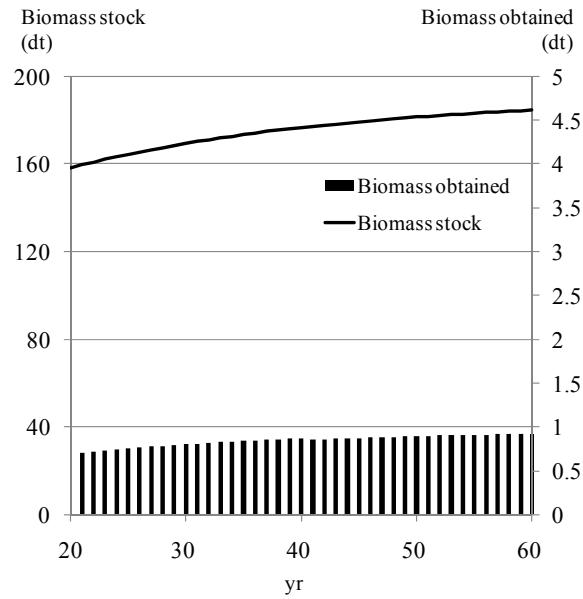


図 2-21 現存量の変化とバイオマス発生量（クヌギ・コナラ林，休息レクリエーション）

・ 針葉樹植林（スギ）

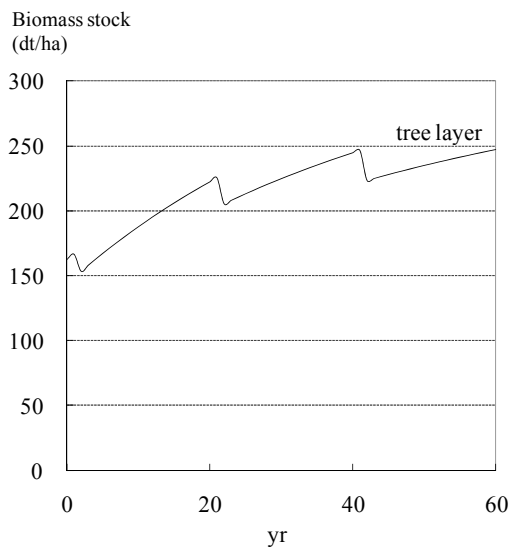


図 2-22（左図） 現存量の変化（スギ林，休息レクリエーション）

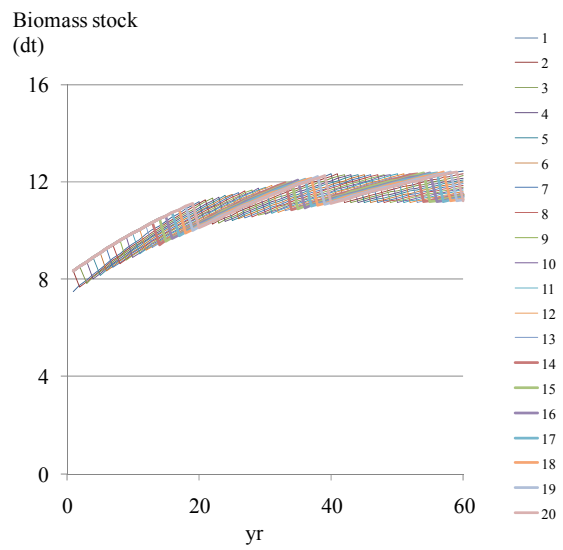


図 2-23（右図） 択伐を意図した際の現存量の変化  
（スギ林，休息レクリエーション）

図 2-22 には、スギ林のモデル林分に対して休息レクリエーション型の管理を行った場合の現存量の変化を示した。スギ林の場合も同様に、1年目、21年目、41年目に現存量の減少が確認される。択伐状態を仮定したものが図 2-23 であり、管理シナリオの期間中は現存量を損なうことなく、バイオマスの収穫が可能なレベルにあると考えられる。

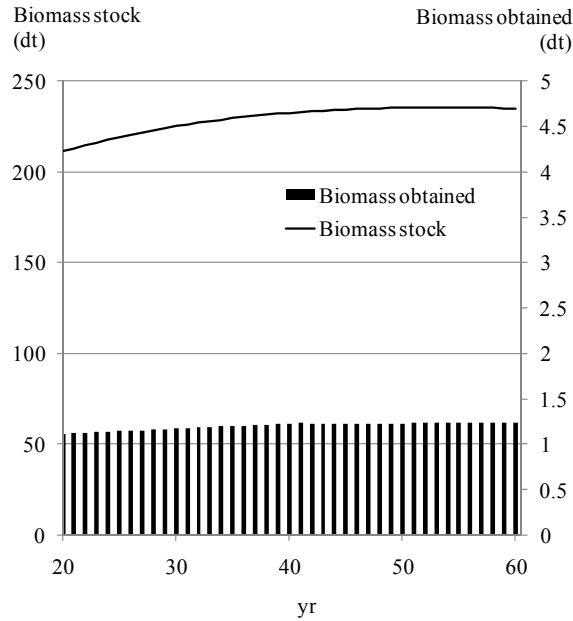


図 2-24 現存量の変化とバイオマス発生量（スギ林，休息レクリエーション）

図 2-24 には，20 等分した林分の現存量変化の総和と，バイオマス発生量の推移を示した．間伐率は 10%に設定しているが，クヌギ・コナラ林と同様現存量を損なうことなく，バイオマスが収穫可能となる．バイオマス発生量に関しても，同率の間伐率に対して現存量が増加傾向にあるため，全体的に微増している．21～60 年目の評価期間中の平均値は 1.20dt/ha（1.12～1.24dt/ha）となった．この値に年 1 回の下草刈りによって発生する量（0.37dt/ha）を足し合わせ，バイオマス発生量の総和は，1.57dt/ha（1.49～1.61dt/ha）となった．

### 3) 運動レクリエーション型

#### ・落葉広葉樹二次林（クヌギ・コナラ）

図 2-25 には，クヌギ・コナラ林のモデル林分に対して運動レクリエーション型の管理を行った場合の現存量の変化を示した．間伐率が 20%となった結果，間伐時の現存量の変化が，休息レクリエーション型の管理と比較して急になっている．亜高木層については，林齢も若く成長率も高いことから，強度の間伐を行いつつも現存量は増加傾向にあるが，高木層については減少している．

モデル林分を 20 等分し，択伐することを想定した際の現存量の変化を，図 2-26 に示した．高木層と亜高木層の現存量を合計した結果，現存量はシミュレーション期間を通じてわずかに増加しており，全体としては，管理シナリオの期間中，現存量を微増させながらバイオマスを収穫可能であることが示された．

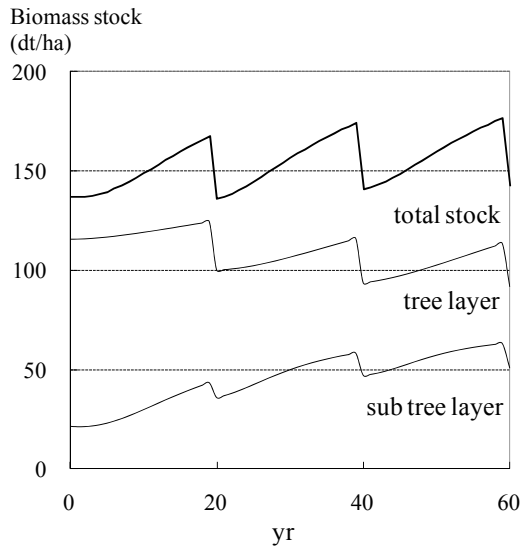


図 2-25 (左図) 現存量の変化 (クヌギ・コナラ林, 運動レクリエーション)

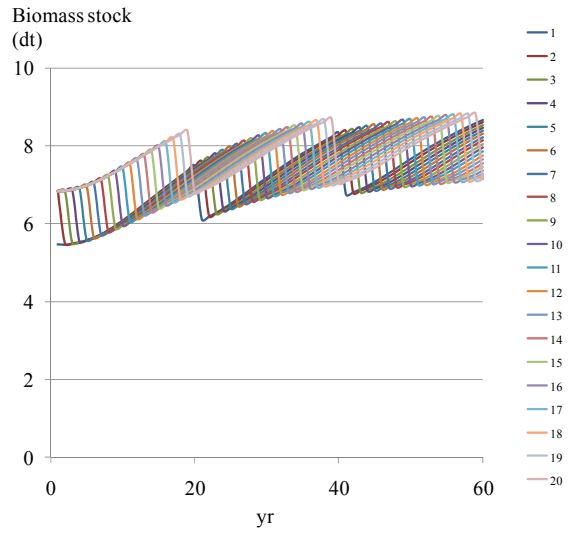


図 2-26 (右図) 択伐を意図した際の現存量の変化  
(クヌギ・コナラ林, 運動レクリエーション)

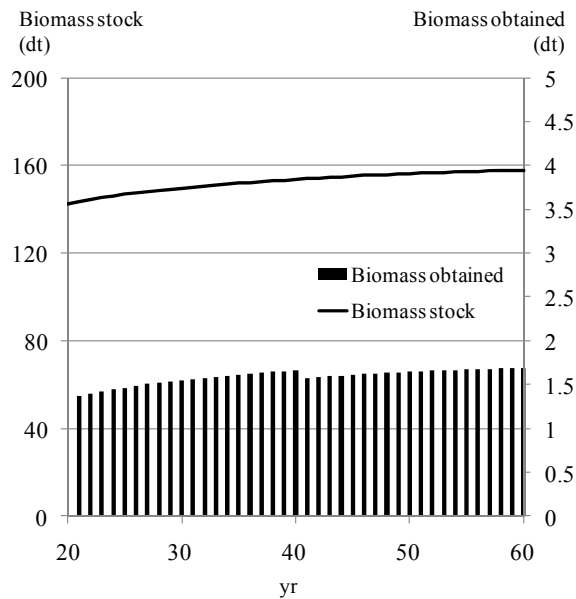


図 2-27 現存量の変化とバイオマス発生量 (クヌギ・コナラ林, 運動レクリエーション)

図 2-27 には、評価期間中 (21~60 年目) におけるモデル林分の現存量の変化と、バイオマス発生量の推移を示した。期間中ゆるやかに現存量が増加しているが、その増加量は休息レクリエーション型と比較して小さい。バイオマス発生量は休息レクリエーション型の管理と同様、微増の傾向にあり、評価期間中の平均値は 1.59dt/ha (1.37~1.69dt/ha) となった。この値に年 1 回の下草刈りによって発生する量を足し合わせ、バイオマス発生量の総

和は、2.09dt/ha (1.87~2.19dt/ha) となった。

・ 針葉樹植林 (スギ)

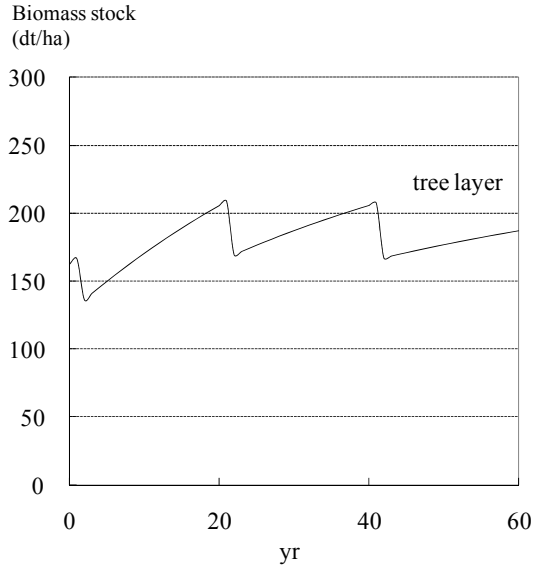


図 2-28 (左図) 現存量の変化 (スギ林, 運動レクリエーション)

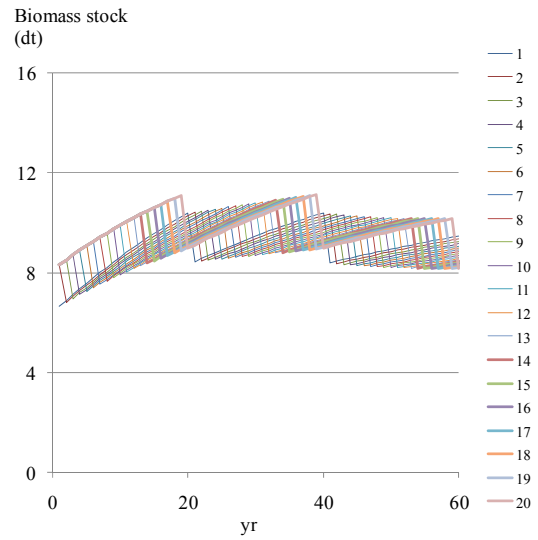


図 2-29 (右図) 択伐を意図した際の現存量の変化 (スギ林, 運動レクリエーション)

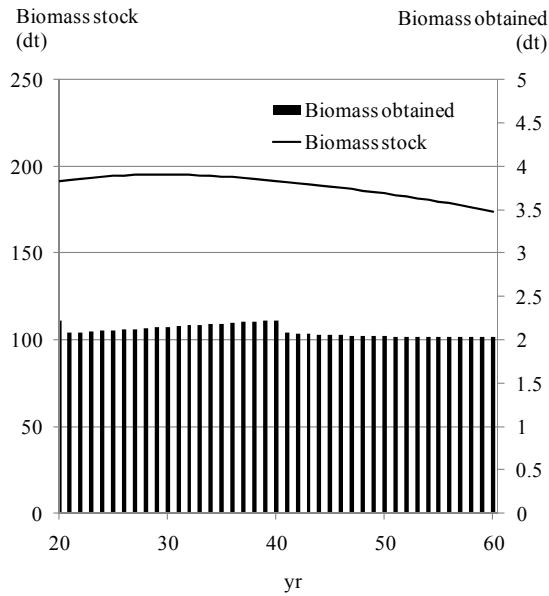


図 2-30 現存量の変化とバイオマス発生量 (スギ林, 運動レクリエーション)

図 2-28 には、スギ林のモデル林分に対して運動レクリエーション型の管理を行った場合

の現存量の変化を示した。間伐率が 20%に設定されているため、休息レクリエーション型の管理と比較して間伐時の現存量の度合いが大きい。

モデル林分を 20 等分し、択伐を意図した際の現存量を図 2-29 に示した。はじめの 30 年間は増加しており、目標とする密度を達成するにあたり、のちの 30 年間は減少に転じている。

図 2-30 には、評価期間中（21～60 年目）におけるモデル林分の現存量の変化と、バイオマス発生量の推移を示した。評価期間が後の 40 年となっているため、現存量は減少の傾向にあるが、1 年目の値（164dt/ha）と比較すると、管理終了時である 60 年目には若干増加していることになる。一方でバイオマス発生量は、ほぼ一定で推移をしており、評価期間中の平均値は 2.10dt/ha（2.03～2.22dt/ha）となった。この値に年 1 回の下草刈りによって発生する量を足し合わせ、バイオマス発生量の総和は、2.47dt/ha（2.40～2.59dt/ha）となった。

#### 4) ランドスケープ多様性型

##### ・落葉広葉樹二次林（クヌギ・コナラ）

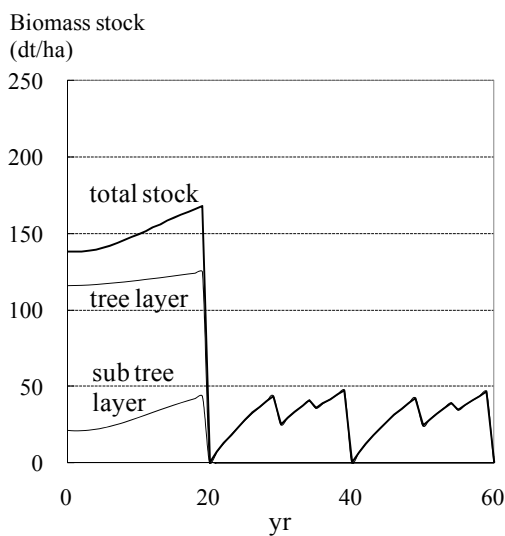


図 2-31（左図） 現存量の変化（クヌギ・コナラ林，ランドスケープ多様性）

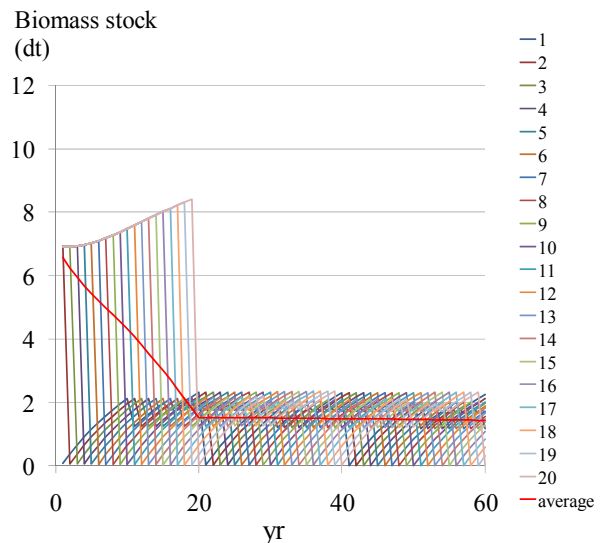


図 2-32（右図） 輪伐を意図した際の現存量の変化  
（クヌギ・コナラ林，ランドスケープ多様性）

図 2-31 には、クヌギ・コナラ林のモデル林分に対してランドスケープ多様性型の管理を行った場合の現存量の変化を示した。ランドスケープ多様性型の管理は、まず皆伐を行い、萌芽更新を促し、低林の状態へ移行することを意図した管理であるため、現存量の変化をみると、一度現存量が 0 になり、その後 20 年周期で皆伐を繰り返すようになっている。間にもやかきや抜き切りを行い、皆伐時には 50dt/ha 程度のバイオマスが収穫可能となった。

図 2-32 には、モデル林分を 20 等分し、伐期をずらしながら輪伐した際の現存量の変化を示した。20 年目までは既往のストックを皆伐するため現存量を減じることになるが、その後は一定となり、法正林の状態となる。全体として現存量を一定に保ちながら、毎年モデル林分の 20 分の 1 ずつが皆伐されることにより、いわゆるシフティングモザイクを形成することになる。

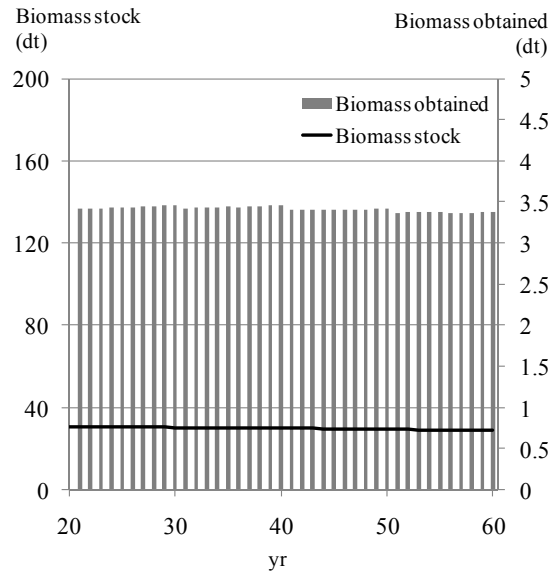


図 2-33 現存量の変化とバイオマス発生量（クヌギ・コナラ林，ランドスケープ多様性）

図 2-33 には、評価期間中（21～60 年目）におけるモデル林分の現存量の変化と、バイオマス発生量の推移を示した。バイオマス発生量，現存量ともにほぼ一定で推移し，発生量の平均値は 3.41dt/ha となった。クヌギ・コナラ林に対してこれまで検討してきた管理シナリオのうち，もっともバイオマスを多く発生させるシナリオとなった。現存量，発生量ともに若干の微減がみられるのは，皆伐することにより立木の葉量が減り，土壌中の有機分が徐々に減少し，有機物生産量が減少していることに関係があると考えられる。

この値に年 1 回の下草刈りによる発生量を足し合わせることで，バイオマス発生量の総和は，3.91dt/ha (3.87～3.95dt/ha) となった。なお，皆伐時の下草の成長量は，間伐時のそれと比較して異なることが予想されるが，本研究ではその差を明らかにするまでは至っていない。シミュレーションモデルの中に林床植生の動態を組み入れ，立木の状態と関連付けることは，今後の重要な検討課題としたい。

・ 針葉樹植林（スギ）

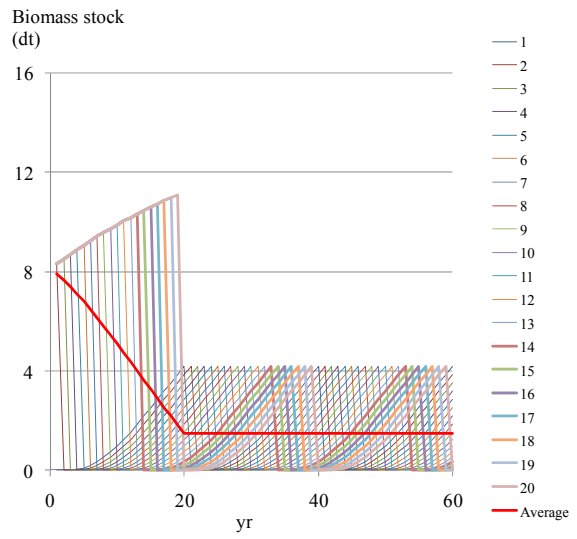
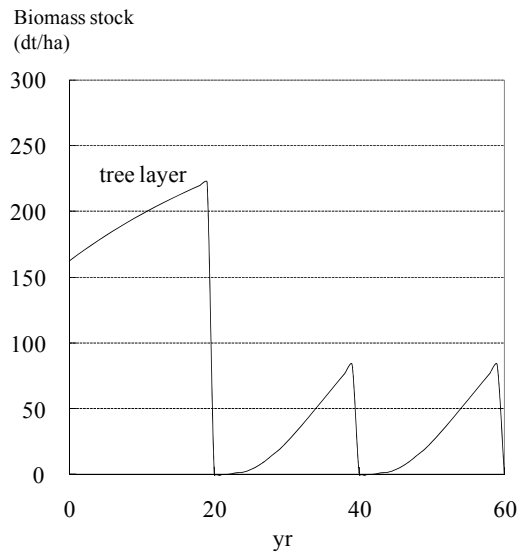


図 2-34（左図） 現存量の変化（スギ林，ランドスケープ多様性）

図 2-35（右図） 輪伐を意図した際の現存量の変化（スギ林，ランドスケープ多様性）

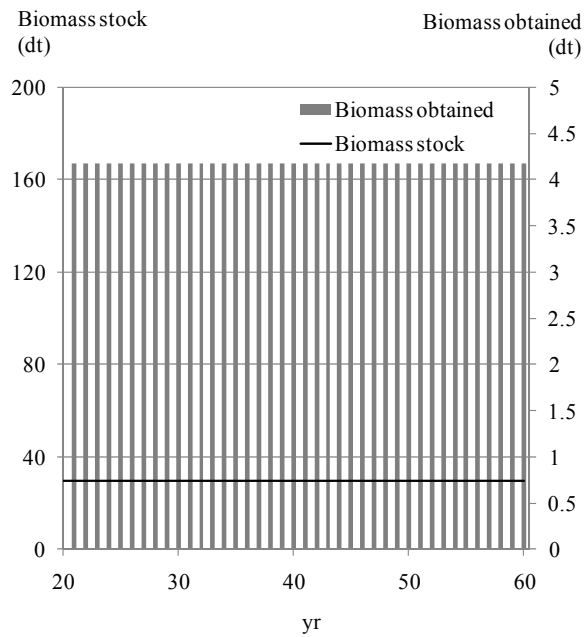


図 2-36 現存量の変化とバイオマス発生量（スギ林，ランドスケープ多様性）

図 2-34 には、スギ林のモデル林分に対してランドスケープ多様性型の管理を行った場合の現存量の変化を示した。クヌギ・コナラ林と同様に、まず皆伐を行い現存量が 0 になったのち、20 年周期で再び皆伐を行うために、現存量の大きな変動がみられる。図 2-35 には、林分を 20 等分して輪伐した場合を想定した結果を示している。はじめの 20 年は既存のス



トックを伐採するプロセスであり、その後は法生林状態となり、現存量を一定に保ちながらバイオマスの収穫が行える状態になる。

図 2-36 には、評価期間中（21～60 年目）におけるモデル林分の現存量の変化と、バイオマス発生量の推移を示した。スギ林の場合は、土壤有機物の影響をモデルに組み込んでいないために、バイオマス発生量、現存量ともに一定で推移し、完全な法生林状態となっている。バイオマス発生量は 4.17dt/ha で一定となった。スギ林の場合も、ランドスケープ多様性型のシナリオが、最もバイオマスを多く発生させるものと評価された。

この値に年 1 回の下草刈りに伴うバイオマス発生量を足し合わせることにより、バイオマス発生量は 4.54dt/ha となった。クヌギ・コナラ林に対するシナリオも合わせて、すべての管理シナリオのなかで最大の発生量をとるものとされた。

## 5) 結果のまとめ

表 2-11 管理シナリオごとバイオマス発生量

管理シナリオ	発生量原単位 (dt/ha) (上段:クヌギ・コナラ林, 下段:スギ林)	バイオマス発生量 (dt/yr)	計 (dt/yr)
景観保全	0.50	2,050	2,380
	0.37	327	
休息レクリエーション	1.35 (1.21～1.42)	5,480 (4,910～5,770)	6,870 (6,230～7,190)
	1.57 (1.49～1.61)	1,390 (1,320～1,420)	
運動レクリエーション	2.09 (1.87～2.19)	8,490 (7,590～8,890)	10,670 (9,710～11,180)
	2.47 (2.40～2.59)	2,180 (2,120～2,290)	
ランドスケープ多様性	3.91 (3.87～3.95)	15,900 (15,800～16,100)	19,910 (19,810～20,110)
	4.54	4,010	

表 2-11 に、各管理シナリオに対する結果をまとめた。管理シナリオごとの発生量原単位は、クヌギ・コナラ林の場合が 0.50～3.91dt/ha という結果となり、スギ林の場合は 0.37～4.54dt/ha であった。下草刈りのみを繰り返す景観保全型の以外の管理シナリオについては、スギ林のほうが多くバイオマスを発生させるものとされた。クヌギ・コナラ林とスギ林とで間伐率等の作業条件は統一しているため、このことは両森林タイプの成長率の差によるものと考えられる。

管理シナリオを研究対象地全域に展開した場合のバイオマス発生量は、景観保全型で 2,380dt/yr、休息レクリエーション型で 6,870dt/yr、運動レクリエーション型で 10,670dt/yr、ランドスケープ多様性型で 19,910dt/yr となり、人為の強さに比例してバイオマス発生量が多くなる結果となった。最も多くのバイオマス発生量が見込まれる管理は、20 年周期で皆伐を繰り返すランドスケープ多様性型となった。下草刈りのみを繰り返す景観保全型の管理は、当面の里山管理の手法として市民ボランティア活動の現場でも適用されているもの

であるが、そのバイオマス発生量はランドスケープ多様性型の約 12%に過ぎなかった。間伐をおこなうレクリエーション型の管理であっても、ランドスケープ多様性型のとのあいだに約 2 倍の開きがある。従って、バイオマス利用の観点から里山管理を広く促していく際、最大限のバイオマス取得という観点からすると、ランドスケープ多様性型の管理の選択が望ましいものと考えられる。

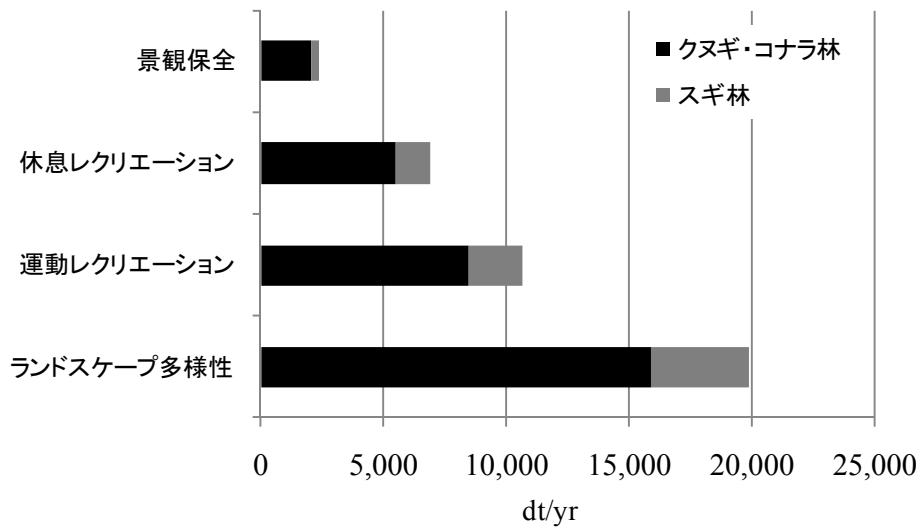


図 2-37 管理シナリオごとバイオマス発生量

## 2.5 まとめと課題

本章の目的は、都市近郊の里山を対象に、環境保全機能の発現を意図した管理を行った際のバイオマス発生量を推定することであった。2.3においてバイオマス現存量を明らかにし、その値をシミュレーションモデルに入力することにより、2.4においてはバイオマス発生量を明らかにした。具体的な結果として、以下の3点が明らかとなった。

- ・ 現地調査によるデータ取得と林業センサス、収穫表、および既往の相対成長推定式を組み合わせてバイオマス現存量を推定した結果、クヌギ・コナラ林の現存量は 139dt/ha であり、スギ林は 164dt/ha であった
- ・ 環境保全機能の発現を意図した管理シナリオとして、「景観保全」、「休息レクリエーション」、「運動レクリエーション」、「ランドスケープ多様性」の4種類のシナリオを設定し、60年間の林分成長シミュレーションを行い、管理に伴うバイオマス発生量を推定した。バイオマス発生量の原単位は、クヌギ・コナラ林が 0.50~3.91dt/ha・yr、スギ林が 0.37~4.54dt/ha・yr となり、成長のよさからスギ林に高い潜在性が認められた
- ・ 研究対象地における総発生量は、2,380~19,910dt/y であった。人為の強さとバイオマス発生量が比例する関係がみられ、ランドスケープ多様性型の管理において発生量が最大となった

なお本研究では、高木および亜高木から構成される「立木」の管理と、ササや低木類から構成される「林床植生」の管理とをそれぞれ独立に捉えることとし、ひとつのモデルにおいて両者相互の関係を踏まえた推定を行うには至らなかった。実際には、立木の密度や鬱閉度による光条件の違いが、林床植生の構成種やバイオマスの成長量に影響を与えており、これらに関するデータを積み上げ、モデルにおいて表現することが必要である。

また、今回用いた以外のモデルを使用し、推定の妥当性やモデル間の差異について確認する作業も必要となる。例えば、西上 (2010) は、石橋 (1989a ; 1989b) の開発したシミュレーションモデルに改良を加え、広葉樹二次林の林分構造を予測することを試みている (西上, 2010)。同モデルは、広葉樹二次林の林分構造 (直径分布) を、その直径遷移確率によって決定するものであり、物質生産機構のモデル化を基本とした森林動態予測モデルとは異なる観点からの予測を行うものである。今後はこうしたモデルとの比較検討を行い、推定手法をブラッシュアップさせていきたいと考えている。

## 第3章 里山由来バイオマスによるエネルギー供給可能量・CO2削減効果の推定

### 3.1 はじめに

バイオマス利用の観点から里山の管理再生を促していくためには、発生量のみならず、発生したバイオマスがどれ程のエネルギーへ変換可能かを推定することが必要である。木質バイオマス利用の観点から里山を評価した既往の研究は、発生量の推定に留まっていることが多く（只木，2005；中川，2005），再生可能エネルギー導入の観点からみた里山のポテンシャルは，十分に明らかにされていない。

木質バイオマスのエネルギー利用については，日本においても国際的にも，近年取り組みが活発になってきている。日本においては，例えば，株式会社ファーストエスコによって，岩国ウッドパワー（山口県岩国市：2006年1月操業開始），白河ウッドパワー（福島県白河市：2006年10月操業開始），日田ウッドパワー（大分県日田市：2006年11月操業開始）等の大規模木質バイオマス発電所が設立され，民間企業のビジネスとして広がりを見せるに至っている（ファーストエスコ，2010）。国際的な取り組みも活発であり，例えばオーストリアの首都ウィーンにおいては，市街地への熱電供給を目的として，ウィーンエナジー社（Wien Energie）によって2006年に大規模なバイオマスプラントが市街地外縁部（Simmering）に設立，運営されており，国有林を中心とした半径100km圏内の森林から190,000トンの木質バイオマスが収集され，市内48,000世帯に電力が，12,000世帯に熱が供給されている（Wien energy，2006）。

ところで，表3-1に示したように，バイオマスの種類と，対応する技術のあいだには様々な組み合わせがある。本研究においては，実証件数も多く，とくに将来的な実用化が強く期待されている「ガス化発電」をとりあげて，発電時の電力生産可能量の推定を行うこととした（図3-1）。ガス化発電は，バイオマスを高温・低酸素状態で発熱させ，熱分解反応により気化させたのち，発生ガスを燃料としてガスタービンを稼働させ，発電する技術である（新エネルギー財団編，2008）。里山から発生するバイオマスは，生木状態で水分を多く含んでおり，通常乾燥が必要とされるため，そのための追加的なコストやエネルギーが問題とされるが（松田，2000），ガス化発電の場合は，ガス化を行う際に燃料を乾燥させるプロセスを含むため，30～50%の高い含水率であっても乾燥を伴わず，直接処理することが可能である（安田，2005）。また，ガスタービンの発電効率は小規模の場合も比較的高く，少量のバイオマス投入量であっても，効率のよい発電が期待できる（Dornburg and Faaij，2001；横山・芋生，2010）。従って，第2章（2.4.1）で設定した管理シナリオの如何に依らず，広く適用可能な技術であり，本研究における検討対象として妥当だと考えられる。

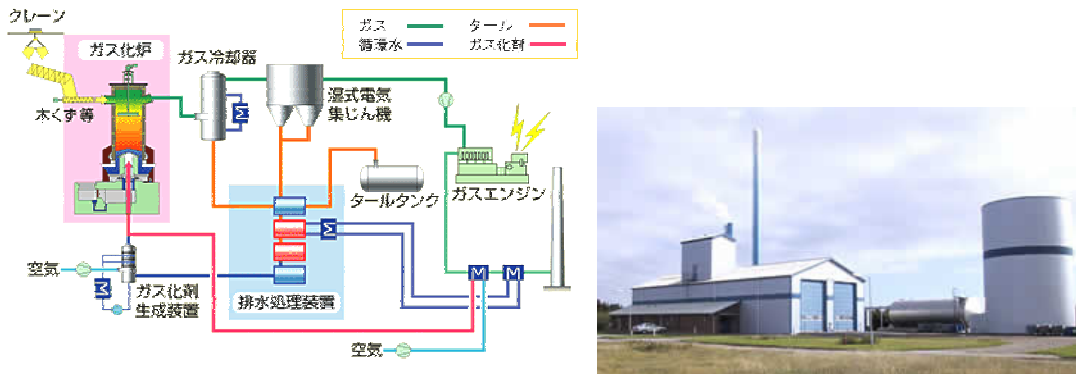


図 3-1 ガス化発電プラントの一例 (JFE エンジニアリング, 2007)  
 (2007年12月より商業運転開始。年間約15,000tを処理可能。山形県村山市。  
 技術元はデンマークのBabcock&Wilcox Volund社)

表 3-1 バイオマスの種類と利用技術の対応 (NEDO (2005), 小宮山ら (2003) から作成)  
 (括弧内数字は、NEDOによるフィジビリティスタディー実施件数を示す。)

変換技術	技術の種類	技術レベル	バイオ質系			バイオ紙系		草本系バイオマス		汚泥系バイオマス		食品廃棄物系バイオマス		その他バイオマス		
			製材残材・林地残材	建築廃材	エネルギー作物	古紙	ネピアグラス		稲わら・もみ殻・麦藁	家畜排泄物	ふん尿	下水汚泥	槽汚泥	食品廃棄物・厨芥	糖・でんぷん	植物油
							牧草・ネピアグラス	ホテイアオイ								
燃焼	直接燃焼発電	実用化	3												1	
	混焼発電	実用化													1	
熱化学的変換	ガス化	実証/実用化	24	7	5			4	4			2			1	
	熱分解	実証														
	超臨界メタノール処理	研究室														
	超臨界水ガス化	研究室														
	炭化	実用化	2	1	1			1	1	2	1					
	エステル化	実証/実用化													4	
生物化学的変換	メタン発酵	実用化	3					4	14	11	22				4	
	エタノール発酵	実用化	1								1					
	アセトンブタノール発酵	実用化														
	水素発酵	研究室														

■ 変換技術の対象として適切と考えられるバイオマス種  
 ■ 最適ではないが利用できるバイオマス種

木質バイオマスの種類	設備規模とエネルギー利用形態のイメージ				
	1t/日	10t/日	100t/日	300t/日	1,000t/日
木質バイオマス 間伐材					
工業端材 生産端材 おがくず パーフ					
建設端材					
エネルギーの利用形態と用途	<b>小規模</b> ペレットストーブ :住宅供給,公共施設 ペレット(チップ)ボイラー :公共施設 ガス化発電:工場内利用		<b>中規模～大規模</b> 直接燃焼発電:工場内利用,売電 直接燃焼熱利用:木材乾燥,工場熱源,暖房,給湯,冷房 海外での直接燃焼熱利用:売電,地域熱供給 海外でのガス化発電,石炭混焼発電:売電		

図 3-2 木質バイオマスのエネルギー利用の設備規模と利用形態のイメージ (横山, 2005)

また、木質バイオマスのエネルギー利用は、第 1 章で述べたように、CO2 の削減に大きく貢献することが期待されており、低炭素社会の実現に向けて欠くことのできない取り組みのひとつとなっている。そこで、エネルギー供給可能量のみならず、バイオマス利用による CO2 削減可能量についても推定することが有効であろう。

緑地計画分野の既往研究においては、東京都豊島区において都市緑化による CO2 吸収固定量を評価したもの (藤原, 2004)、街路樹の剪定が樹木の CO2 固定量に与える影響を解明したもの (藤原ら, 2003) 千葉県松戸市の住宅地において庭木の CO2 吸収固定量を推定したもの (中村ら, 2000)、緑地の樹冠被覆面積に基づいて、様々な緑地 CO2 固定量の推定を試みたもの (市村, 2006) 等がみられるが、これらはいずれも緑地の CO2 固定機能に着目したものである。低炭素社会の実現に向け、里山を含んだ緑地が従来以上に貢献するためには、吸収源としての役割のみならず、木質バイオマスの供給源としての役割も踏まえた上での検討を行うことが重要である。

ここで注意すべきは、バイオマス利用による化石燃料の削減による CO2 排出削減量と、森林への炭素固定による削減量との間には、トレード・オフの関係が確認されることである (Marland and Schlamadinger, 1997)。従って、正確な削減可能量の推定は、両者の収支で行う必要があると考えられる。また、里山の管理やバイオマスの利用に対しては外部からのエネルギー投入が必要であり、その際に発生する CO2 も存在する。里山管理やバイオマスの輸送に伴う CO2 排出量がそれに相当するが、真に CO2 の削減に対して有効かを判断するためには、こうしたプロセスにおける排出量も併せて評価する必要がある。

以上より本章においては、上に述べた点に留意しつつ、里山由来の木質バイオマスによる、1) エネルギー供給可能量および、2) CO2 削減可能量を推定することを目的とする。

### 3.2 本章の構成

本章における推定の流れを図 3-3 に示す。本章は、1) エネルギー供給可能量の推定 (3.3) と、2) CO2削減効果の推定 (3.4) との2つの推定から構成される。

エネルギー供給可能量の推定については、まず、前章で明らかにされたバイオマス発生量の値を用いて、ガス化発電プラントの規模および発電効率を推定する。一方で乾燥重量で評価されているバイオマスの値を熱(エネルギー)量に換算し、発電効率を乗じることにより、電力供給可能量の理論値を算出する。

CO2削減可能量については、バイオマス利用による代替削減量と、バイオマス利用時の排出量、および里山への炭素固定量の総和で捉える。

なお、本章では前章の結果を受け、4つの管理シナリオそれぞれに対して、バイオマス利用によるエネルギー供給可能量を推定する。以下で各推定の詳細を述べる。

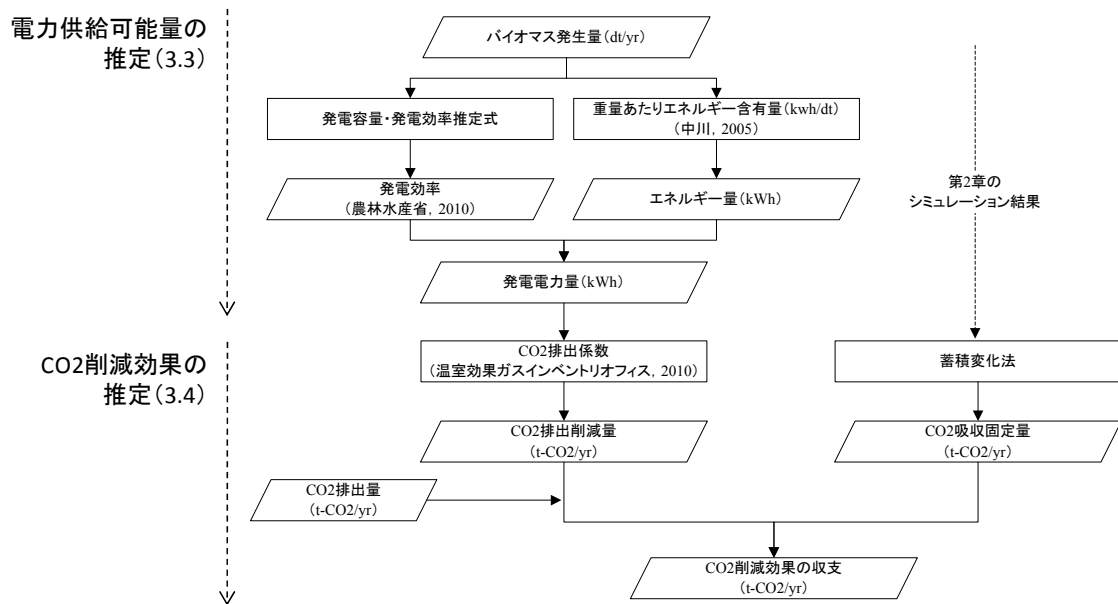


図 3-3 第3章の推定フロー

### 3.3 里山由来バイオマスによるエネルギー供給可能量

#### 3.3.1 方法

$$E = e \cdot B \cdot EF \quad \dots \text{式 3-1}$$

(E=電力量[kWh], e=単位重量あたりエネルギー量[kWh/dt], B=バイオマス[dt], EF=発電効率)

バイオマス発電による電力量を求める式を示した(式 3-1)。発電効率とは、投入したエネルギー量に対する出力発電量の比であるため、投入するバイオマスをエネルギー量に換算し、その値と発電効率を乗じて電力量を求める。

eはバイオマスの単位重量あたりエネルギー量である。中川(2005)によると、広葉樹が5,562kWh/dt, 針葉樹が5,937kWh/dt, ササが5,384kWh/dtとされているため、これらの値をバイオマスの種類ごとに適用した。

EFは発電効率であり、以下の推定式によって求める。

$$EF = 3.30 \cdot \ln(k \cdot B) + 8.0 \quad \dots \text{式 3-2}$$

(EF=発電効率, k=プラントごとの比例係数, B=バイオマス[dt]) ( $R^2=0.969$ )

同推定式は、日本において既に実証実験を完了しているガス化発電プラントのデータ(九州沖縄農業研究センター, 2004)を用いて作成したものである。回帰式の作成にはSPSS16.0を用いた。k・Bはプラントの発電容量を表す式である。一般に発電プラントの投入量と発電容量との間には比例関係が認められる。データを引用した実証プラントの場合、比例係数kは0.167であり、この係数とバイオマスの投入量とを乗じることにより、プラントの規模(発電容量)を推定した。一般に発電容量と発電効率の間には対数関係が認められるため、対数関数による曲線回帰を行った( $R^2=0.969$ )。

#### 3.3.2 結果と考察

##### 1) 電力供給可能量

表 3-2 には、管理シナリオごとの電力生産可能量を示した。プラントの規模を示す発電容量は約400~3,300kwとなった。日量で表現すると7~60dt/dayの規模となり、小規模~中規模の部類に属する。ガス化発電プラントの施設規模とも対応することが確認された(図 3-2)。発電効率は管理シナリオによって28~35%程度となり、設備規模の拡大による効率の向上がみられる。それに伴い、発電可能な電力量は3.7~39百万kWhとなった。



表 3-2 管理シナリオごと電力供給可能量

管理シナリオ	投入バイオマス量 (dt/yr)	発電容量 (kw)	発電効率	発電量 (百万kWh)	供給可能世帯数 (総世帯に対する%)
景観保全	2,380	397	27.8	3.65	827 (0.08)
休息レクリエーション	6,870	1,145	31.2	12.0	2,729 (0.25)
運動レクリエーション	10,670	1,778	32.7	19.6	4,444 (0.41)
ランドスケープ多様性	19,910	3,318	34.8	38.9	8,825 (0.82)

スケールイメージを明確にするために、電力量を世帯あたりの年間電力使用量で除することにより、年間どれだけの世帯に電力供給可能であるかを試算した。年間電力使用量は、関東地方の平均値として、4,413kWh/世帯・年とした（住環境計画研究所編，1999）。その結果、推定された電力量は約 830～8,800 世帯分の電力に相当するとされ、これは研究対象地の総世帯数（1,082,211 世帯）に対して、0.08～0.82%という値であった。

以下に既往研究における検討結果との比較を行う。地方都市（長野県佐久市）を対象として、木質系資源のエネルギー利用について検討した研究においては、1) 木質チップによる熱供給を行った場合、全世帯のエネルギー需要の 53%を自給可能であるか、もしくは、2) 電力使用量の 4.1%の代替に相当するとされた（原科・武内，2004）。離島（福岡県新宮町）を対象とした研究では、樹林地のバイオマスの潜在的なエネルギー含有量は、1,082 世帯分の年間熱需要（電力を除く）に相当するとされ、これは対象地の世帯数の 6.18 倍に相当するとしている（上原・重松，2001）。また、都市近郊農村（福岡県神宮町）を対象とした検討においては、樹林地の収穫が期待される潜在的な木質バイオマスにより、家庭用電力自給率 41%、熱自給率 64%が達成されるものとされている（上原ら，2005）。

これらの研究が対象とした地方都市、離島、都市近郊農村といった地域と比較して、本研究が対象とする大都市の近郊部は、人口が集中し、エネルギーを多く消費している地域とみなせる。このことが関係して、エネルギー自給という観点からは、里山の貢献は 0.08～0.82%という限定的な値に留まる結果となった。

## 2) 導入目標値との比較

一方で図 3-4 には、バイオマスエネルギーの導入目標値と、里山由来バイオマスによる電力生産可能量との比較を示した。導入目標値の設定は、以下のように行った。まず、千葉県の計画である「新エネルギー産業の集積促進に向けたプラン」から、「廃棄物発電およびバイオマス発電」の項目における 2010 年度削減目標値 120,000kW（発電容量）を参照し、その値を研究対象地に占める現況森林面積の割合（3.03%：2000 年林業センサス）で按分することによって、東葛飾地域における目標値 3,636kW（発電容量）を求めた<sup>18</sup>。この容量を

<sup>18</sup> 導入目標値をすべて森林由来のバイオマスの利用によって達成することを意図し、森林の面積比によって按分した。

もったプラントで発電を行った場合、本項において提示した手法に従って計算を行うと、発電量は43.1百万kWhとなるため、この値を具体的な導入目標値として設定した。

管理シナリオごとに導入目標達成率を示すと、8.5%、28%、46%、90%となり、最も多くのエネルギーを生産可能であるランドスケープ多様性の管理を行った場合は、導入目標に対して9割程度のエネルギーを供給可能であることが示された。

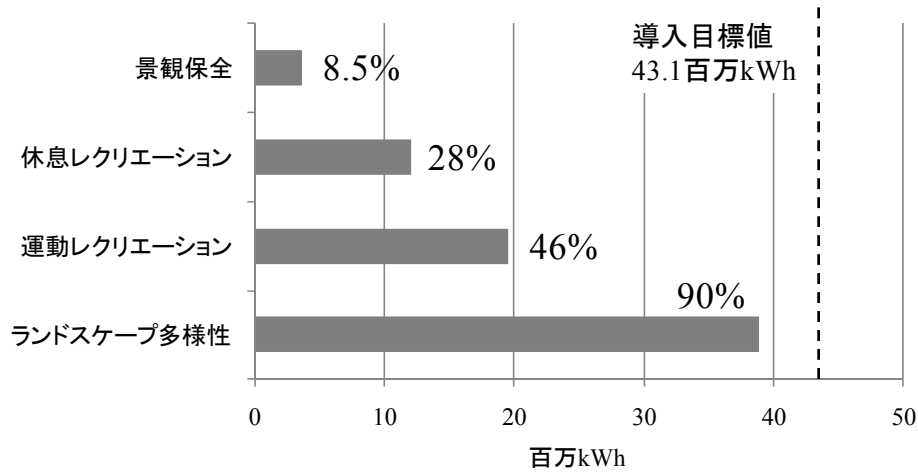


図 3-4 電力供給可能量と導入目標値との比較

以上より、都市化が著しく進行している本研究の対象地においては、里山由来のバイオマスによって、家庭用のエネルギー（電力）を代替することには困難が伴うことが示された。しかし、バイオマスエネルギーの導入目標値との比較を行うと、里山由来のバイオマスを用いて発電を行った場合、管理シナリオによっては目標値の9割程度を達成可能という算定結果となり、再生可能エネルギー導入施策の観点からは評価に値すると考えられた。

### 3.4 バイオマスの利用による CO2 削減効果

#### 3.4.1 方法

##### 1) 化石燃料の代替による削減効果

$$C_{\text{substitution}} = k \cdot E \quad \dots \text{式 3-3}$$

( $C_{\text{substitution}}$ =代替による削減量[t-CO<sub>2</sub>],  $k$ =CO<sub>2</sub> 排出係数,  $E$ =電力量[kWh])

化石燃料の使用抑制による削減効果については、化石燃料を用いた発電時の平均的な排出量 0.561kg-CO<sub>2</sub>/kWh(環境省, 2009)を代替することを想定し、CO<sub>2</sub> 排出係数を  $k=0.000561$  と設定し、発電電力量を乗じることにより求めた。

##### 2) 炭素固定による削減効果

$$C_{\text{accumulation}} = 0.5 \cdot 44/12 \cdot (B_{i'} - B_i) \quad \dots \text{式 3-4}$$

( $C_{\text{accumulation}}$ =炭素固定による削減量[t-CO<sub>2</sub>],  $B_{i'}$ =期末における現存量,  $B_i$ =期首における現存量)

里山への炭素固定量については、第2章の成果を用いて推定を行った。第2章において、管理シナリオを実行した際の現存量の経年変化がクヌギ・コナラ林、スギ林共に明らかにされている。ここでは、京都議定書における森林吸収源の評価にも使用されている「蓄積変化法」(松本, 2008; 森林総合研究所, 2010)を用いて、炭素の固定量を算定した。

蓄積変化法とは、期末における森林内の炭素含有量から、期首における含有量を差し引いたものをその期間における固定量として評価する方法である。炭素量がバイオマス(乾燥重量)に占める割合は約50%であるため(新林総合研究所, 2010)、現存量に対して0.5を乗じることにより、炭素量へ換算した。さらに、二酸化炭素に占める炭素の割合から、44/12を乗じることにより、CO<sub>2</sub>に換算した。期首、期末は、管理シナリオの評価年次と整合をとり、それぞれ21年、60年として、40年間の炭素含有量の変化を評価対象とし、その1年あたりの平均値を炭素固定による削減効果とした。

##### 3) バイオマス利用時の CO2 排出量

###### ・ CO2 排出量原単位の設定

CO<sub>2</sub> 排出に関わるプロセスとして、1) 里山管理、2) 発生したバイオマスの輸送の2つを対象として、それぞれにおけるCO<sub>2</sub> 排出量原単位を設定した。

里山管理に対しては、立木管理と林床管理のそれぞれに対して原単位を設定した。立木管理についてはチェーンソーによる伐採を想定し、機械使用時の燃料（混合油）消費量（1.43l/m<sup>3</sup>：梅田ら，1982）の値と、ガソリンのCO<sub>2</sub>排出係数<sup>19</sup>（2.36kg-CO<sub>2</sub>/l：環境省，2002）の値から、伐採木単位材積あたりのCO<sub>2</sub>排出量を算出した（3.37kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）。この値を、クヌギ、コナラの容積密度の平均値、およびスギの容積密度の値でそれぞれ除することにより、乾燥重量あたりの原単位とした（図 3-4）。林床管理については、刈払い機による林床植生の刈り取りを想定し、同様に燃料（混合油）消費量（21.2l/ha：多摩農林（株）へのヒアリングに基づく（2007年12月13日））の値と、ガソリンのCO<sub>2</sub>排出係数の値から、単位管理面積あたりのCO<sub>2</sub>排出量を算出した（50.0kg-CO<sub>2</sub>/ha）。

バイオマスの輸送に対しては、まず伐採もしくは刈り取られたバイオマスをチップーにより粉碎し減容化を行ったのちに、プラントへ収集することを想定した。CO<sub>2</sub>排出量原単位は、チップーの燃料（軽油）消費量（1.00l/m<sup>3</sup>：フジテックス，2010）に対して、軽油のCO<sub>2</sub>排出係数（2.64kg-CO<sub>2</sub>/l）を乗じることにより、単位材積あたりの値を求めた（2.64kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）。この値に対してそれぞれの樹種の容積密度数を乗じて、乾燥重量あたりの原単位とした（表 3-4）。プラントへの輸送は、4tトラックを用いることを仮定し、トラックの燃料（ガソリン）消費量（0.216l/km：澤口，1996）に対してCO<sub>2</sub>排出係数を乗じて、排出量原単位を求めた（0.510kg-CO<sub>2</sub>/km）。

設定した原単位の一覧を、以下の表 3-3 に示す。

表 3-3 CO<sub>2</sub>排出量の推定に用いた原単位

プロセス	細目	使用機械	使用燃料	燃料消費量	CO <sub>2</sub> 排出係数 (環境省, 2002)	CO <sub>2</sub> 排出量原単位
里山管理	立木管理	チェーンソー	混合油	1.43l/m <sup>3</sup> (梅田ら, 1982)	2.36kg-CO <sub>2</sub> /l	3.37kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
	林床管理	刈払い機	混合油	21.2l/ha (ヒアリングに基づく)	2.36kg-CO <sub>2</sub> /l	50.0kg-CO <sub>2</sub> /ha
バイオマス 輸送	減容化	自走式チップー	軽油	1.00l/m <sup>3</sup> (フジテックス, 2007)	2.64kg-CO <sub>2</sub> /l	2.64kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
	収集	4tトラック	ガソリン	0.216l/km (澤口, 1996)	2.36kg-CO <sub>2</sub> /l	0.510kg-CO <sub>2</sub> /km

表 3-4 樹種別の排出量原単位

プロセス/細目	材積あたり原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /dt)	
		クヌギ・コナラ林	スギ林
里山管理/立木管理	3.37	5.22	10.7
バイオマス輸送/減容化	2.64	4.09	8.41

<sup>19</sup> 通常チェーンソーや刈払い機に対しては、ガソリン：オイル＝25：1の混合油を使用するため、ガソリンの値で代替した。

・プラント位置の設定

プラントへのバイオマス収集距離を推定するために、プラントの位置を設定する必要がある。本研究では、収集コストの最小化を目的として、バイオマス収集距離の総和が最小となる点に、仮想的にプラントを配置することを仮定した。このような考えに基づく施設配置問題は「p-median 問題」と呼ばれ、都市計画分野における主要なネットワーク解析手法のひとつされている（大澤，1996）。その考え方は、サービス需要点  $i$  から最寄りの施設配置候補地点までの最短経路長さを  $d_i$  とするとき、 $C$  通りの配置案から  $\sum^i W_i \cdot d_i$  を最小にする、というものである（両角，1987）。 $W_i$  はサービスの需要を表し、地域に複数存在している。

ここでは、サービスを満たす施設をバイオマスプラントとし、サービスの需要点を個々の里山とおくことによって、p-median 問題を解く。プラントは 1 つだけ設置することを仮定するため、 $P=1$  とし、 $i$  は個々の里山林分の総数であるため、現存植生図上のポリゴンデータの数に従い、2,346 とした。 $W_i$  は、ここでのサービス需要であるバイオマスの発生に関連する指標として、個々の里山林分の面積とした。里山林分からプラントまでの最短経路  $d_i$  は、簡単のために直線距離（Euclid 距離）によって求めた。直線距離と道路距離のあいだには、都市内、都市間によらず高い相関関係があるため（腰塚・小林，1983）、道路距離を説明するものと考えた。候補地点  $C$  は、研究対象地と重なる 1km メッシュの重心とし、その数は 535 となった。以下図 3-5 に解析の結果と決定されたプラント立地点を示す。

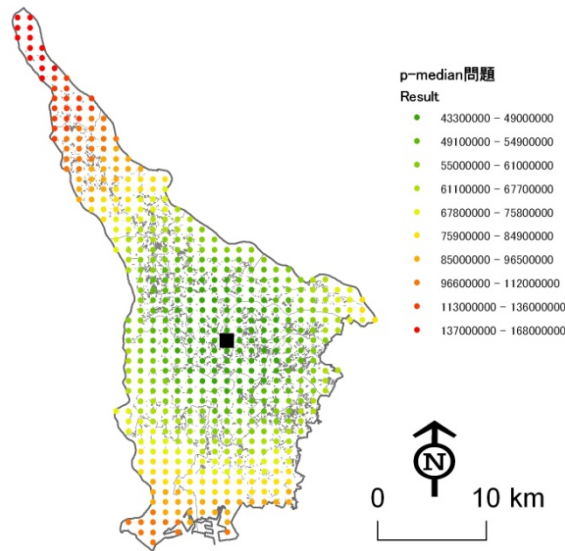


図 3-5 p-median 問題の結果とプラント位置（背景に里山の分布を示した）

・バイオマス輸送距離の推定

p-median 問題によって決定されたプラント立地に従い、各里山林分からプラントまでの最短距離を、ネットワーク上の距離（道路距離）として、最短経路問題を解くことによ

て求めた。用いたデータは、数値地図 25000（空間データ基盤）の道路データである。幅員 3m 以上の道路を対象とした。解析には ArcGIS の Network Analyst を用いた。なお解析上のアルゴリズムは、ダイクストラ法にもとづいている。

### 3.4.2 結果と考察

#### 1) CO2 排出削減量と利用時排出量

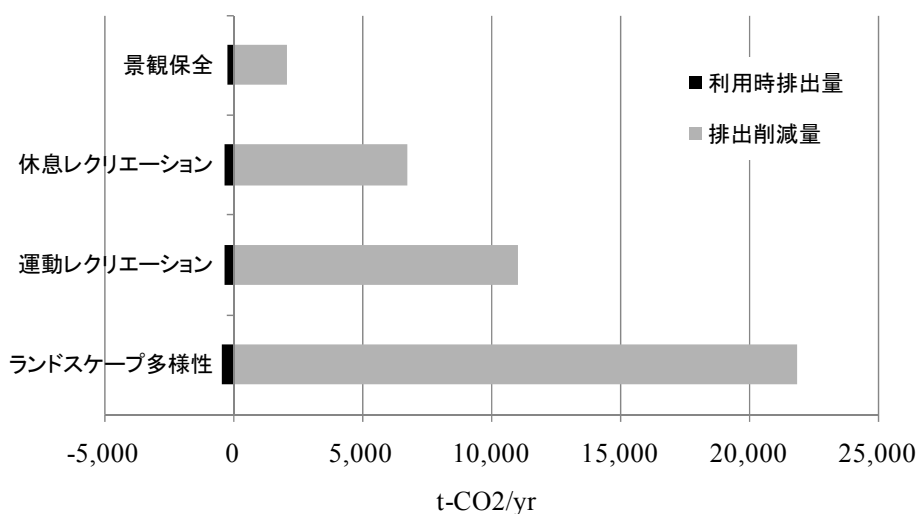


図 3-6 管理シナリオごと CO2 排出削減量および利用時排出量

表 3-5 CO2 排出削減量と利用時排出量との収支

	排出削減量 (A) t-CO2/yr	利用時排出量 (B) t-CO2/yr	(B)/(A)	(A)+(B)
景観保全	2,046	-271	13.3%	1,775
休息レクリエーション	6,755	-338	5.0%	6,417
運動レクリエーション	11,001	-381	3.5%	10,620
ランドスケープ多様性	21,849	-485	2.2%	21,364

図 3-6 および表 3-5 には、化石燃料の代替による CO2 排出削減量と、バイオマス利用時の CO2 排出量とを併せて示した。排出削減量は約 2,000（景観保全）～21,800t-CO2/yr（ランドスケープ多様性）となり、バイオマス発生量に応じて値の増加がみられる。ランドスケープ多様性型の管理は、景観保全型の管理の約 10.6 倍の削減ポテンシャルをもつと評価された。バイオマス発生量の観点からは約 8.4 倍のポテンシャルに留まっていたため（第 2 章 2.4.2）、プラントスケールの拡大による発電効率の向上が影響し、ランドスケープ多様性

型の管理がさらに高く評価されたものと考えられる。

これに対してバイオマス利用時のCO2排出量は、-271（景観保全）～-485t-CO2/yr（ランドスケープ多様性）となり、排出削減量に占める割合をみると、管理シナリオに応じて2.2（ランドスケープ多様性）～13.3%（景観保全）であった。なお、最も排出が多いプロセスは里山管理時の下草刈りであり、そのCO2発生量は248t-CO2/yrであった。このことが影響して、年1回の下草刈りを繰り返す景観保全型の管理においては、削減量に占める排出量の割合が13%となり、他の管理シナリオに比べて比較的高い割合となっている（表3-5）。立木の収穫量の増加に伴うCO2排出量の増加はわずかに留まったため、バイオマス発生量が多い管理シナリオほど、削減量に占める排出量の割合は低くなる。

CO2排出削減量とバイオマス利用時の排出量の収支をとると、約1,780（景観保全）～21,400t-CO2/yr（ランドスケープ多様性）となった。研究対象地程度の空間スケールにおいてバイオマス利用を考える場合は、利用時のCO2排出量は、削減量全体に対してそれほど影響を与えないことが分かった。

## 2) CO2吸収固定量

図3-7および表3-6には、蓄積変化法に基づいて推定した樹木への炭素固定量の値を示した。現存量に炭素含有量（0.5）を乗じ、さらにCO2とCの分子量の比（44/12）を乗じることによって、樹木内のCO2固定量が算出できる。CO2吸収固定量は、人為の影響が最も弱い景観保全の管理で約8,600t-CO2/yrと最大になり、ランドスケープ多様性の管理においては、土壌有機物量の減少による有機物生産量の減少が影響して、炭素ストックを約300t-CO2/yrずつ減じていくという結果になった。バイオマスの利用によるCO2排出削減量と明確なトレード・オフ関係があるため、両者の収支でCO2削減効果を推定する必要性がある。

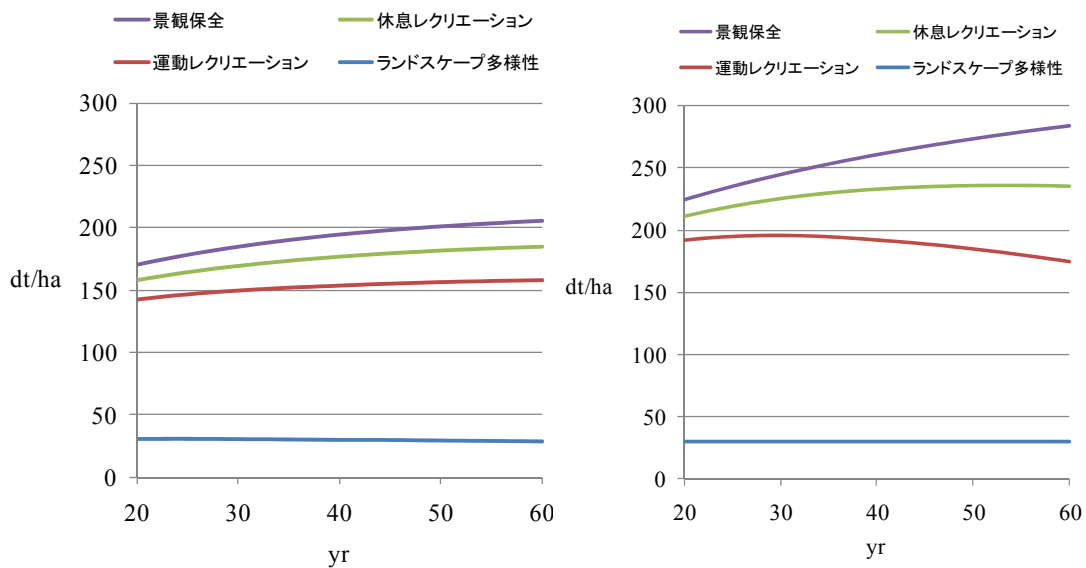


図 3-7 評価期間中の現存量の変化（左：クヌギ・コナラ林，右：スギ林）

表 3-6 蓄積変化法による CO2 吸収固定量の評価  
(上段：クヌギ・コナラ林, 下段：スギ林)

	期首 (yr21) (t-CO2/ha)	期末 (yr60) (t-CO2/ha)	期末-期首 (t-CO2/ha)	年間平均値 (t-CO2/yr・ha)	吸収固定量計 (t-CO2)	総和 (t-CO2)
景観保全	314.9	376.7	61.8	1.55	6,274	8,588
	415.4	520.1	104.7	2.62	2,314	
休息レクリエーション	292.4	338.2	45.8	1.15	4,650	5,536
	390.4	430.5	40.1	1.00	886	
運動レクリエーション	263.1	289.2	26.1	0.65	2,650	1,918
	352.5	319.4	-33.1	-0.83	-732	
ランドスケープ多様性	55.6	52.5	-3.1	-0.08	-316	-316
	54.8	54.8	0.0	0.00	0	

### 3) 収支による削減効果の評価

表 3-7 管理シナリオごと CO2 削減効果の収支

管理シナリオ	排出削減量(A) (t-CO2)	利用時排出量(B) (t-CO2)	吸収固定量(C) (t-CO2)	削減可能量 (A+B+C)
景観保全	2,046	-271	8,588	10,363
休息レクリエーション	6,755	-338	5,536	11,953
運動レクリエーション	11,001	-381	1918	12,538
ランドスケープ多様性	21,849	-485	-316	21,048

表 3-7 には、管理シナリオごとの CO2 削減効果の収支を示した。バイオマス利用による CO2 排出削減量 (A) と、樹木への炭素固定量 (C) のあいだにはトレード・オフの関係がみられるが、その収支をみると、10,400t-CO2/ha (景観保全) ~21,000t-CO2/ha (ランドスケープ多様性) となり、最も削減効果が高いシナリオはランドスケープ多様性型だと判断された。ランドスケープ多様性型の管理は、樹木への CO2 吸収固定量の観点からは積極的に評価されないが、発生したバイオマスをエネルギーとして有効活用することにより、その総和として最大限の削減効果が期待できるものとされた。

従来、緑地計画分野における低炭素の取り組みに対しては、都市緑化による吸収源の確保を中心に議論が進められてきたため (藤原, 2004; 半田・手代木, 2005; 市村, 2006), 例えば街路樹などの施設緑地においては、なるべく人為のインパクトを少なくし、吸収固定量を高めていくための管理が必要だという指摘もなされてきた (藤原ら, 2003)。しかし、本研究が対象とする里山は人による管理が必要不可欠な存在であり、むしろ発生したバイオマスの有効利用に、CO2 の削減効果を求めるべきだと考える。



4) 削減目標値との比較

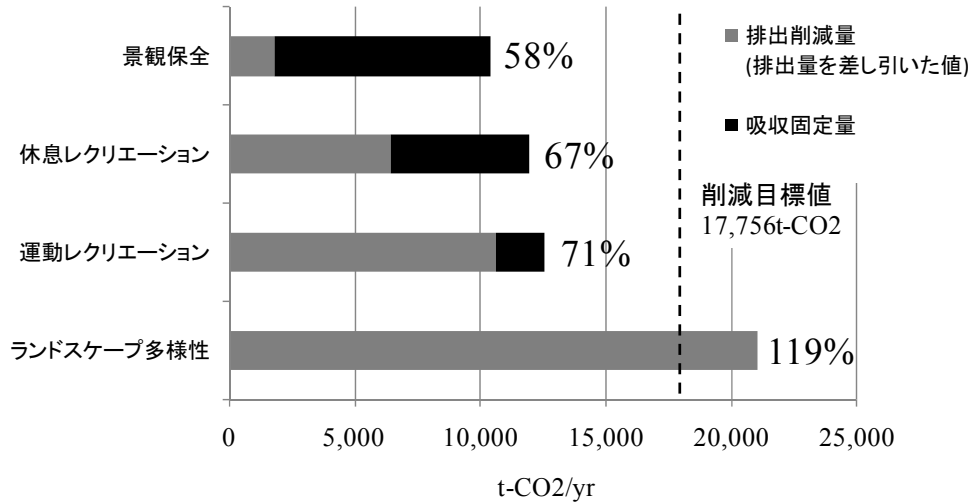


図 3-8 CO2削減効果と削減目標値との比較

図 3-8 には、管理シナリオごとの CO2 削減効果を、研究対象地における CO2 削減目標値から比較した結果を示した。2006 年に改定された「千葉県地球温暖化防止計画」における項目別削減目標をみると、「新エネルギー・バイオマス利活用」において 250,000t-CO2/yr、「森林吸収源対策」において 336,000t-CO2 と掲げられている（千葉県，2006）。そこで、この総和である 586,000t-CO2/yr を、研究対象地に占める現況森林面積の割合（3.03%：2000 年林業センサス）で按分することによって求められた値 17,756t-CO2/yr を、東葛飾地域における削減目標値に設定した<sup>20</sup>。

同目標値に対する各管理シナリオの達成率をみると、景観保全型において 58%、休息レクリエーション型において 67%、運動レクリエーション型において 71%、ランドスケープ多様性型で 119%となり、ランドスケープ多様性型のシナリオの実行により削減目標を達成できると評価された。

第 2 章 (2.4) でも述べたように、ランドスケープ多様性型のシナリオは、とくにクヌギ・コナラ林に限っていえば、かつて里山で行われていた農用林、薪炭林としての管理手法に類するものであり、歴史的な管理手法に近いものといつてよい。長年日本において営まれてきた歴史的な資源管理の手法が、現代的な課題である CO2 削減の観点からも評価されたことは、大変興味深い事実である。

<sup>20</sup> 再生可能エネルギーの導入目標値の設定と同じく、削減目標値をすべて森林由来のバイオマス利用によって達成することを意図し、森林面積比で按分を行っている。

### 3.5 まとめと課題

本章においては、第2章において明らかにされた管理シナリオごとバイオマス発生量の値を、バイオマス発電による電力供給、CO2削減効果の2点から評価した。その結果、以下の5点が明らかにされた。

- ・ 里山管理によって発生する 2,380 (景観保全) ~19,910dt/ha (ランドスケープ多様性) のバイオマスは、ガス化発電プラントにおける発電を考える場合、3.7~39 百万 kWh の電力へ変換可能であり、その際の電力供給可能世帯数は、830~8,800 世帯となった
- ・ 電力供給世帯数は全世帯に対して 0.08 (景観保全) ~0.82% (ランドスケープ多様性) であり、エネルギー自給に対しては限定的な値であったが、バイオマスエネルギーの導入目標値に対しては、8.5~90%となり、とくにランドスケープ多様性型の管理において高いポテンシャルが確認された
- ・ バイオマス利用による CO2 排出量の削減と、CO2 吸収固定量とのあいだにはトレード・オフの関係がみられたが、その収支で評価した際の削減可能量は 10,400 (景観保全) ~21,100t-CO2 (ランドスケープ多様性) となり、ランドスケープ多様性型の管理シナリオが最も CO2 を削減しうるシナリオとして評価された
- ・ CO2 削減目標値に対する達成率は 58 (景観保全) ~119% (ランドスケープ多様性) となり、ランドスケープ多様性型の管理を実行した場合、削減目標の達成が可能となる

以上より、里山由来のバイオマスのエネルギー利用は、とくに再生可能エネルギー導入や CO2 削減に関する施策への対応の観点から高く評価された。上記のように数量的に得られた成果は、施策を展開するためのひとつの根拠として意味があると考えられる。

本章では、バイオマスのガス化発電という集約利用型のシナリオに対する検討を行ったが、例えば地域に分散する個々の熱需要に対して、ペレットボイラーやチップボイラーによる熱供給を行うといったような、分散利用型のシナリオも検討に値する。また、本章ではバイオマスプラントの立地は輸送距離の最小化問題として考えたが、ローカルな大気環境への悪影響や騒音問題等に配慮した上で、今後はより現実の条件に近づけた検討が必要だろう。また、現実の施設分布や熱需要に従った検討も、次のアプローチとして考えられる。例えば、研究対象地内の白井市においては、実際に廃棄物処理業者によってガス化発電プラントが運営されており、重油ボイラー等を設置している温泉施設等も、研究対象地内には多数立地していると考えられる。近い将来、バイオマス利用に対する需要は顕在化してくると思われ、そのような現実需要を踏まえた分析を行うことが、今後の重要な研究課題であると考えている。

## 第4章 里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストの推定

### 4.1 はじめに

都市近郊の里山の特徴として、地域に分散して存在していることが挙げられる。バイオマスのエネルギー利用を行うにあたっては、まずバイオマスを一カ所に収集し、固形燃料への加工やエネルギー変換等を行う必要があるため、こうした里山のもつ特徴は、輸送コストの増加を招き、バイオマス利用の実現を阻害しているとされている（熊崎，2005）。以下図 4-1 には、様々な木質バイオマスを対象として、原料取得コストの試算を行った結果を示した（新エネルギー財団編，2008）。これをみると、森林由来の木質バイオマスは、その他のバイオマスと比較して原料取得コストが極めて高く、またその大部分はバイオマスの収集が占めていることが分かる。従って、里山のバイオマス利用による管理再生の実現へ向けては、まず、原料取得コストの低下、すなわち収穫や輸送に関わるコストの低下について検討が行われる必要がある。

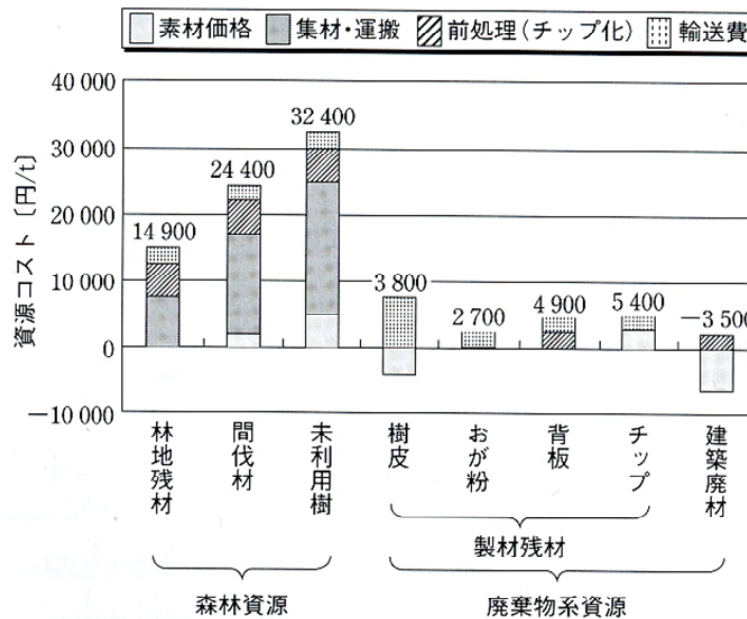


図 4-1 様々な木質バイオマスを対象とした原料取得コストの比較  
 (新エネルギー財団編，2008。データの原点は「三菱総合研究所，バイオマスエネルギー開発・利用戦略に関する調査研究」(経済産業省委託調査) 2002.12)

ところで、山間部の森林と比較した場合、里山は密な路網条件や平坦な地形条件を有するため、バイオマスの収穫や最寄り道路までの集材の観点からは、コスト面で優位である

と予想される。一方で、一筆あたりの面積が小さく、分散していることから、同量の木質バイオマスの収集を考える場合、プラントまでの総収集距離は劣位にある可能性がある。里山のバイオマス利用は、一般に資源量の少なさや、輸送にかかるコストの高さにより、その実現が困難であると考えられており、そうした評価を一因として、山間部の森林を対象に先行的に取り組みが推進されているとも考えられる。しかし、上に述べたように、原料取得コストを決定する諸要因は、山間部森林と比較して劣位なものも優位なものもあると考えられ、そうした諸要因を踏まえた上での評価がなされるべきだと考えられる。

そこで本章においては、まず、山間部森林との比較のもと、収穫・輸送コストの観点から里山のバイオマス利用が優位か否か、評価を行う。そしてそのことを確認した上で、プラント運営に関する事業性評価（フィジビリティスタディ）を行い、里山のバイオマス利用の経済的な成立可能性について明らかにすることを目的とする。



図 4-2 都市近郊に広がる里山（千葉県柏市、筆者撮影）

## 4.2 本章の構成

本章の構成は以下のとおりである。

まず、4.3「山間部森林との収穫・輸送コストの比較」において、都市近郊の里山と山間部の森林とを対象に、収穫・輸送コストの観点からの比較を行う。収穫・輸送コストは地形条件に大きく左右されると考えられるため、本節では、対象地である東葛飾地域が位置する下総台地の里山（平地林）すべてを対象とし、さらに山間部に属する埼玉県秩父地域の森林を比較対象として、解析を行った。

次いで、4.4「里山のバイオマス利用の収穫・輸送コストとフィジビリティ」において、東葛飾地域の里山に再び対象を絞り、収穫・輸送コストの推定を行う。推定されたコストを中心として、バイオマスプラントの運営に関する他のコストも加味した上で、事業性評価を行う。このことから、里山のバイオマス利用の実現可能性を、経済的な観点から明らかにする。

### 4.3 山間部森林との収穫・輸送コストの比較

#### 4.3.1 方法

##### 1) 対象地の概要

都市近郊の里山に関しては、千葉県北部に位置する下総台地を対象地に設定した(図 4-3)。本研究の対象地である東葛飾地域の里山も、その大部分が下総台地上に分布している。下総台地の総面積は 152,400ha、標高は概ね 20~40m であり、台地面には里山(平地林)がよく発達している。第 5 回自然環境保全基礎調査の現存植生図(環境省, 1999)を用いて、優占度の高い森林植生を抽出したところ、落葉広葉樹二次林(クヌギ・コナラ)、アカマツ植林・二次林、スギ・ヒノキ植林、常緑広葉樹二次林(シイ・カシ)の順になった。東葛飾地域の場合と同様、アカマツ林に関してはマツ枯れにより広葉樹二次林へ遷移していることを仮定し、落葉広葉樹二次林(クヌギ・コナラ)およびスギ・ヒノキ植林を解析の対象とした。シイ・カシ林は地域の潜在自然植生と近いため、保護の対象としてバイオマス利用は行わない。解析対象となった里山の合計面積は、約 32,700ha であった。

山間部森林を含む地域の代表として、比較対象として、埼玉県西部の東京山地、秩父盆地を含む地域(以下、秩父地域とする)を取り上げた(図 4-3)。同地域は、標高 40(盆地部)~2,500m、総面積 134,500ha であり、スギ・ヒノキ植林が半数以上を占めることから、山間部の林業地域を代表とすると考えられ、比較対象として適切と考えられた。優占度の高い落葉広葉樹二次林(クヌギ・コナラ)とスギ・ヒノキ植林を木質バイオマス利用の対象とした(総面積 72,400ha)。

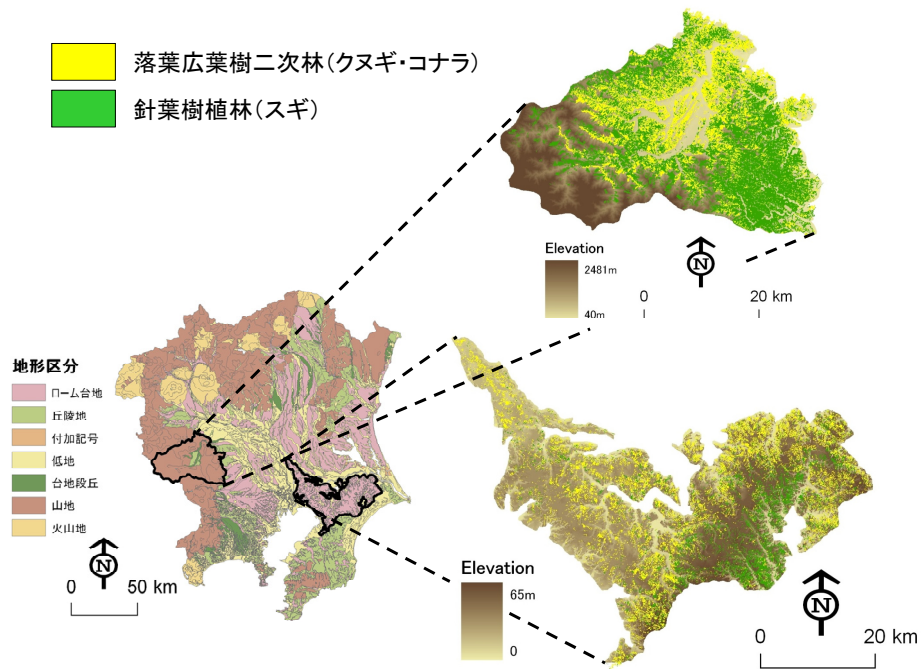


図 4-3 対象地の植生分布と地形区分図との対応

## 2) バイオマス発生量の推定

山間部森林との比較を行うにあたり、発生量の算定方法を一律にする必要がある。従って、ここでは第2章における発生量原単位の結果を引用することせず、林業センサスおよび林分収穫表を用いて、データソースを統一した上で改めて管理シナリオを設定し、バイオマス発生量の推定を行った。

### ・管理シナリオの設定

表 4-1 山間部森林との比較に用いた管理シナリオ

	市街化が進行した地域 (市街化区域および非線引き 都市計画区域・用途地域)	農林地が卓越する地域 (それ以外の地域)
落葉広葉樹林 (クヌギ・コナラ)	間伐(20年周期・間伐率20%)	皆伐・萌芽更新(20年周期)
針葉樹植林 (スギ・ヒノキ)	間伐(20年周期・間伐率20%)	皆伐(60年周期) (40年生のとき保育間伐30%)

管理のシナリオについて、それぞれの対象地において、里山管理に関する文献(亀山編, 1996)や人工林管理に関する文献(田中, 1996)などを参考に、一般的と考えられる管理シナリオを以下のように設定した(表 4-1)。

まず、都市計画法による市街化区域、および非線引き都市計画区域における用途地域を、市街地が発達したエリアとして抽出し、同エリアに含まれる森林と、それ以外のエリアに含まれる森林とで異なる管理シナリオを設定した。

前者に対しては、都市域の景観保全の観点から皆伐を避け、20年に1度の択伐(材積率20%)を行うことによって、順次木質バイオマスを利用しながら林内環境を改善するものとした。後者に対しては、植生タイプ別に異なる管理を設定した。広葉樹二次林については、現状林分の皆伐を行った上で20年を周期とした輪伐を適用し、萌芽更新による持続的な木質バイオマス利用を行うものとした。スギ・ヒノキ植林については、秩父地域においては林業の復興にも高いニーズがあることから、丸太収穫を目的とした育林を行うことを想定し、下層間伐による間伐材発生分をエネルギー利用することとした。この際、千葉県・埼玉県の標準伐期齢である10齢級(樹齢46~50年)を基準として皆伐し、8齢級の際に材積間伐率20%で間伐を行うものとした。

### ・発生量のシミュレーション

シナリオ毎の木質バイオマス発生量は、2000年度林業センサスのデータと、関東地方を対象とした林分収穫表(東京営林局, 1979)を用いて原単位を作成し、対象地域ごとに適用することによって推定した。用いた収穫表は、下総台地の里山に対しては「東京地域施業計画区、千葉・東京・平塚事業区」のものを、秩父地域の森林に対しては「埼玉山梨地域森林計画区、秩父事業区」のものを使用した。それぞれ、広葉樹、スギ、ヒノキの地位「中」のものを使用した。

具体的には、まず、収穫表に記載されている林分の成長率の値を用いて、各管理シナリオにおける現存量の変化をシミュレートするために、回帰式を作成した(表 4-2)。次に、林業センサスのデータを用いて、各地域に対応する市町村における樹種別林齢構成(面積)を整理し、第2章(2.4.1)における検討と同様、モデル林分を仮想的に設定した。さらに、各管理シナリオが少なくとも一巡するように60年を推定期間とした上で、シナリオを適用した際のモデル林分の現存量変化をシミュレートした。管理の際に減じた現存量をバイオマス発生量として、設定した個々のシナリオによって発生したバイオマスの総和を求め、1年あたり発生量の平均値を、原単位として算出した(表 4-3)。値の単位は、樹種別にバイオマス拡大係数と材積密度数(GIO, 2010)を乗じて、地上部バイオマスの乾燥重量トン(dt)に統一している。

表 4-2 成長量を予測するための回帰式の一覧 (R=成長率, Y=林齢)

	下総台地	秩父地域
広葉樹	$R=564.132-1.5107/Y$ ( $R^2=0.991$ )	$R=323.729-1.2372/Y$ ( $R^2=0.968$ )
スギ	$R=42.69-0.0583/Y$ ( $R^2=0.992$ )	$R=34.5335-0.0528/Y$ ( $R^2=0.975$ )
ヒノキ	$R=28.746-0.0473/Y$ ( $R^2=0.989$ )	$R=42.69-0.0583/Y$ ( $R^2=0.968$ )

表 4-3 植生タイプごとバイオマス発生量原単位の一覧

	シナリオ	下総台地	秩父地域
落葉広葉樹林 (クヌギ・コナラ)	間伐・高林化	0.687dt/ha・yr	-
	皆伐・萌芽更新	2.96dt/ha・yr	3.37dt/ha・yr
針葉樹植林 (スギ・ヒノキ)	間伐・高林化	1.43dt/ha・yr	-
	皆伐・植林による更新 (保育間伐時のバイオマスのみ利用)	0.567dt/ha・yr	0.525dt/ha・yr

### 3) 収穫・輸送コストの推定

#### ・引用した推定式

収穫・輸送コストは一般に、集材距離(林内から林外への搬出)、収集距離(林分からプラントまでの輸送)、地形傾斜の3つの変数からなる推定式で求められる。本研究では、吉岡・小林(2006)による、樹種別、集材機械別に整理された既往の推定式を引用し、林分ごとに収穫・輸送コストを求めた(表 4-4)。

推定式の援用の限界は以下の点にある。推定式は、林業における標準作業工期表(梅田ら, 1982)を基に作成されており、特にスギ・ヒノキ植林に関して当てはまりがよい。広葉樹に関しては、工期表の基となるデータ自体が少ないため、人工林と比較すると精度が劣ることは否めないが、現段階においては既存のデータを最大限用いて作成された式とし

で使用している。また、里山の下草刈りに対する労働効率等がこれまで明らかにされていないため、用いた推定式にもこの点が反映されておらず、チェーンソーによる伐採のみを意図したものになっている。数値を用いた具体的な比較が必要であるが、同量のバイオマスを取得する場合、樹木の伐採よりも下草の刈り取りのほうがより労働力を必要とすることが予想されるため、同推定式による推定はややコストを少なく見積もってしまう可能性がある。この点は今後のデータの取得により解決されるべき課題であると考えられる。

表 4-4 収穫・輸送コスト推定式 (吉岡・小林, 2006)

集材機械	樹種	計算式(円/dt)
林業用トラクタ	[スギ・ヒノキ植林]	$2.11 \cdot L_{SY} + 0.068 \cdot L_T + 229 \cdot e^{0.117 \cdot d} + 11408$
	[落葉広葉樹二次林]	$1.51 \cdot L_{SY} + 0.048 \cdot L_T + 164 \cdot e^{0.117 \cdot d} + 8371$
集材機	[スギ・ヒノキ植林]	$1904 / L_{SY}^{-0.2142} + 31023 / L_{SY} + 0.068 \cdot L_T + 8518$
	[落葉広葉樹二次林]	$1360 / L_{SY}^{-0.2142} + 22159 / L_{SY} + 0.048 \cdot L_T + 6307$

$L_{SY}$ : 集材距離 (m),  $L_T$ : 収集距離 (m),  $d$ : 地形傾斜 (°)

一方、式をみると、広葉樹二次林に優位な係数設定となっているが、これは広葉樹二次林のほうがスギ・ヒノキ植林と比較して容積密度数が大きいことと関係している。従って、単位容積あたりでは両者に大きな差はないが、単位重量あたりでは広葉樹のほうが優位となる。なおここでのコストには、伐採、集材、粉碎（チップ化）、輸送のそれぞれに伴う燃料消費量、人件費、機械費用が含まれている。燃料単価は変動が激しく注意が必要であるが、ここでは軽油価格（林業用トラクタ、集材機）100円/1、混合油価格（チェーンソー）200円/1に設定されている（吉岡・小林, 2006）。集材方法は、傾斜度15°未満の林分については林業用トラクタによる車両集材を、それ以上の急傾斜地については集材機による架線集材を想定した。

#### ・変数の設定

3つの変数の具体値は、以下のプロセスに従い、GISを用いた空間解析によって求めた。まず、数値地図25000（空間データ基盤）の道路データ（幅員3m以上）を用いて、現存植生図のポリゴンデータを分割し、本研究上での林分データを作成した。その上で、林分の重心から最寄りの道路までの最短直線距離を集材距離とし、集材箇所からプラントまでの最短経路を収集距離として計算した。後者の収集距離はネットワーク距離（道路距離）として求めている。なおプラントの立地は、第3章（3.4.1）で説明した方法と同様に、施設立地問題の一種であるp-medianを用いて、p=1のときに収集距離と各林分のバイオマス発生量との積の総和が最小となる点を同定し、仮想的に求めた。地形傾斜は数値地図50mの標高データから算出した。以上の解析には、ArcGIS9.3を用いた。



#### 4.3.2 結果と考察

##### 1) 収穫・輸送コストによる林分の評価

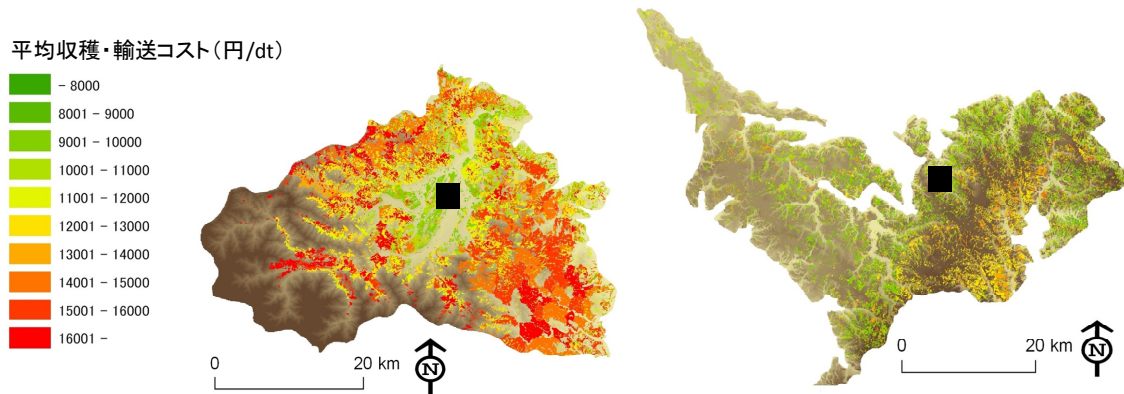


図 4-4 各対象地における林分の収穫・輸送コストからの評価 (■はプラント位置)

図 4-4 には、各対象地における林分のコスト分布を示した。凡例表現は統一してあるため、相互に比較が可能となっている。これをみると、秩父地域においては収穫・輸送コストが 15,000 円/dt を超える林分も多く、下総台地と比較してコスト面から劣位にあることが示唆される。とくに、標高が高く、林道の整備も十分ではないと考えられる地域においては特にコストが高く、収穫・輸送が困難なことが予想される。

下総台地における里山は、平地上に分布していることから、秩父地域と比較して収穫・輸送コストは相対的に優位である。下総台地において比較的成本が高い林分は、東南部のスギ・ヒノキ植林が分布する部分に集中している。これは、用いたコスト算定式が乾燥重量を基準としているため、広葉樹に比べ密度の低い針葉樹は、同一の重量の場合も材積量が多くなり、結果としてそのことがコストへ反映されているためだと考えられる。下総台地の場合は、傾斜度や最寄り道路までの集材距離といった条件がほぼ林分間で同一であるため、植生条件の違いがより強くコストへ反映されたものと考えられる。

##### 2) バイオマス収集時の平均コストの増加

収穫・輸送コストが安価な林分から順にバイオマス収集の対象とすることを想定し、図 4-5 のような関係を得た。下総台地の里山から収穫可能な木質バイオマスの最大量は約 56,800dt/yr、秩父地域においては 110,300dt/yr となり、最大限バイオマスを利用する際の平均コスト（個々の林分の収穫・輸送コストの平均値）は、それぞれ 10,188 円/dt、12,296 円/dt であり、下総台地に優位な結果となった。それぞれの地域に共通して、描かれたコスト曲線の後半部分で傾きが急になっているのは、先述した植生の違いによる影響だと考えられる。

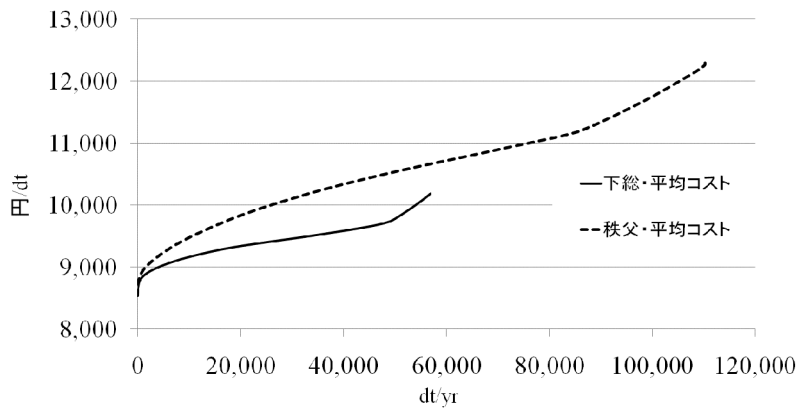


図 4-5 収集するバイオマスの量と平均収穫・輸送コストとの関係

表 4-5 同量のバイオマス (40,000dt/yr) を利用する場合の比較  
(値はすべて平均値を示す)

	収穫・輸送コスト (円/dt)	傾斜度 (°)	集材距離 (m)	収集距離 (m)
下総台地	9,587	2.92	37.3	18,599
秩父地域	11,175	10.5	72.5	16,617

条件を揃えるために、同量の木質バイオマスを利用する場合を想定し、両地域において条件が同一であると考えられた 40,000dt/yr を基準に、秩父地域との比較を行った値を表 4-5 に示した。コストを決定する各要因について考察を行う。平均収集距離をみると、下総台地のほうが約 2,000m ほど長く劣位である一方、平均傾斜度・集材距離は、秩父地域と比較して優位であった。これらを総合した平均コストをみると、秩父地域に対して約 15% (1,600 円/dt) ほど下総台地のほうが優位であった。従って、総合的に条件を考慮しコスト推定を行った場合、収穫・輸送コストは下総台地の里山のほうが優位であると判断された。

以上の検討において、都市近郊の里山と山間部の森林とを、バイオマス利用時の収穫・輸送コストの観点から比較した場合、里山のほうが優位である可能性が示唆された。ケーススタディを積み重ねて、この結果が一般化可能かどうかを確認する必要があるが、本結果より、バイオマス収集距離の観点からは確かに劣位である里山も、収穫や集材に関しては優位であることが示唆された。このような優位点を認識した上で、バイオマス利用に関する取り組みを進めていく必要があると考えられた。

## 4.4 里山のバイオマス利用の収穫・輸送コストとフィジビリティ

### 4.4.1 方法

#### 1) 評価を行う管理シナリオ

本章では、第3章における解析にて、エネルギー利用およびCO<sub>2</sub>削減の観点から、最も高いポテンシャルをもつと判断された「ランドスケープ多様性」の管理を評価の対象として、収穫・輸送コストの推定を行う。ランドスケープ多様性型の管理は、設定した4つの管理シナリオの中で最も強い人為を与えるものであり、このことから、収穫およびバイオマスの輸送にかかるコストも最も高くなることが予想される。同シナリオの経済的な実現可能性が確認されれば、他の3つのシナリオに対しても同様に可能性が保障されると考えられる。

#### 2) プラントの立地

4.3における検討と同様、施設配置問題の1つであるp-medianを適用し、p=1のときの最適立地点にプラントを建設することを仮定した。その結果は第3章(3.4.1)に示されている。なお、この解析はバイオマスの収集に係るコストを最小化しようとするものであるが、プラントの建設費には地価が大きく影響するため、より現実に即した検討を行う場合には、各候補地点の公示地価を踏まえ、さらには立地に関する法規制等の社会的条件についても検討することが必要となる。

#### 3) 収穫・輸送コストの推定

4.3における検討と同様、吉岡・小林(2006)の推定式を引用することによって求めた。対象地域内の里山はそのほとんどが台地面に立地する平地林であり、傾斜度15°以上の林分は存在しなかったため、林業用トラクタ(小型運搬車)により、林内から最寄り道路まで集材することを仮定して、表4-4に示した推定式によりコストを求めた。

#### 4) プラント運営の事業性評価

推定された収穫・輸送コストの値は、プラント運営の立場からみると、里山由来バイオマスの原料調達コストとなり、ランニングコストの一部となる。ここでは実現可能性評価として、イニシャルコスト(プラント建設費)及びその他のランニングコスト(人件費等)も加味した上で、NEDO(2005)に示されている事業性評価(フィジビリティスタディ)の事例を参考にしながら、発電プラントの経営面からの成立可能性について評価した。

##### ・イニシャルコスト

イニシャルコストはプラントの建設費とした。一般に、発電プラントの規模と建設費とのあいだには、 $Y=aX^b$ の指数関係が成り立ち、bは「0.7乗則」として知られているように、通常0.7に近づくとされている。そこで、NEDO(2005)に示されているメーカーへのヒア

リング結果（200kw 規模のプラント建設の場合，建設費は 170 百万円）を上記の指数関数式に代入し，残りの係数  $a$  を決定した．その結果  $a=4.17$  となり，プラント建設費の推定式は以下ようになった．

$$C_{\text{initial}} = 4.17 \cdot C^{0.7} \quad \dots \text{式 4-1}$$

( $C_{\text{initial}}$ =プラント建設費用[百万円],  $C$ =発電容量[kw])

#### ・ランニングコスト

ランニングコストは，プラントの減価償却費を含めて以下の 6 項目を設定した．

##### ① ユーティリティ費

プラントの運転にかかる電力費等．NEDO（2005）のメーカーヒアリングから，バイオマス投入量あたりの費用として，2.5 千円/dt に設定．

##### ② メンテナンス費

NEDO（2005）に従い，建設費の 2%を見込む．

##### ③ 人件費

ガス化発電プラントに関する技術調査（NEDO，2000）を参考に，10 名に設定．単価は 500 万円/年．

##### ④ 減価償却費

プラント耐用年数を 15 年とし，残存価格（耐用年数を過ぎた後も残存する価格）を建設費の 10%として，建設費と残存価格との差額を耐用年数にて除して求めた．

##### ⑤ 原料調達費

バイオマスの収集にかかるコストであり，収穫・輸送コストの総和とした．

##### ⑥ 支払い金利

プラント建設の際の借入金返済に掛る金利．2%に設定．

第 3 章（3.3.2）において推定された発電量（35.7 百万 kWh）の値をランニングコストの総和で除することにより，単位発電量あたりコスト（発電コスト）（円/kWh）を算出した．この値と単位発電量あたり電力買取価格を比較することにより，収入と費用の関係をみた．

#### 4.4.2 結果と考察

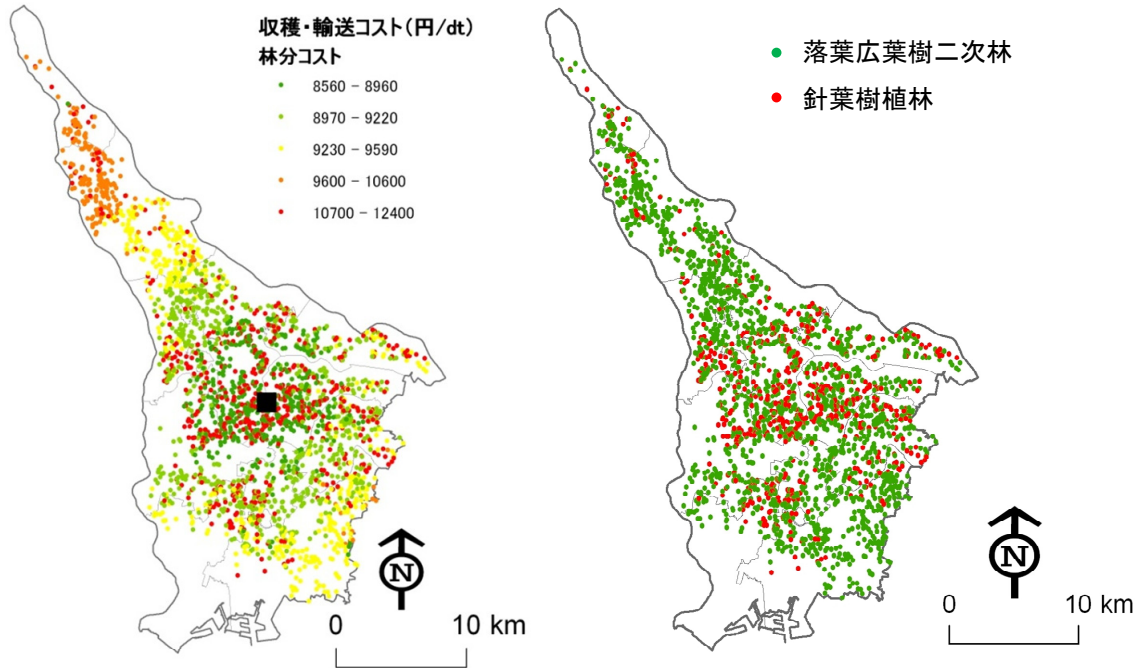


図 4-6 (左図) 各林分の収穫・輸送コストからの評価

図 4-7 (右図) クヌギ・コナラ林とスギ林の分布

(小面積の林分でも判読できるようにポイントデータで表現した)

##### 1) 各林分の収穫・輸送コスト

図 4-6 には、各林分を収穫・輸送コストの観点から評価した結果を示した。収穫・輸送コストは各林分の特徴によって開きがあり、最大で 12,335 円/dt、最小で 8,561 円/dt、平均値は 9,784 円/dt であった。4.3.1 で述べたように、本研究で引用しているコスト推定式は乾燥重量あたりの算定式であるため、単位重量あたりの材積が大きい針葉樹に対して、コストが高く推定される傾向がある。そのことが反映され、図 4-6 における最も赤く塗られ、コストが高いと評価された林分のほとんどはスギ林となった。図 4-7 におけるスギ林の分布とも一致している。

クヌギ・コナラ林については、ほぼプラントからの距離に従って、同心円状にコストが高くなる傾向がみられた。つまり、プラントまでの収集距離がコストの多寡を決定する主な要因であると考えられ、最寄り道路までの集材距離や地形傾斜度については、林分によってそれほど差がないものと考えられる。なお集材距離の平均値は 77.4m、地形傾斜度は 1.96°、収集距離は 10,016m であった。

2) バイオマス収集時の平均コストと総コスト

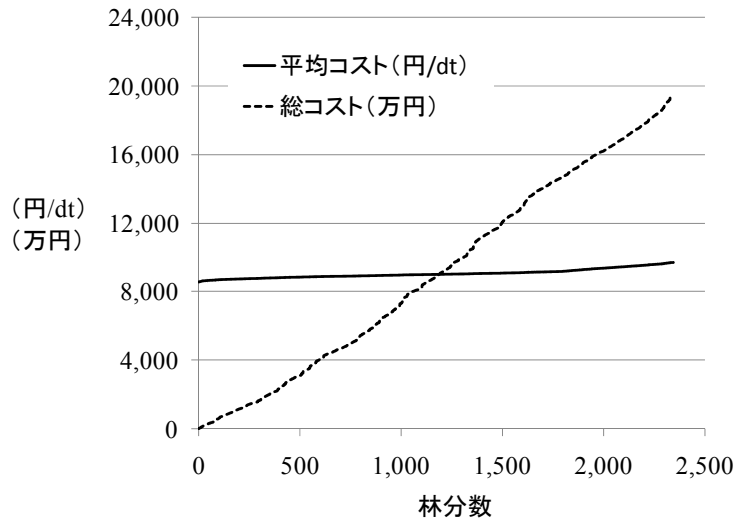


図 4-8 バイオマス収集量の積算値と収穫・輸送コスト平均値の推移

図 4-8 には、コストの安価な林分から順にバイオマスを収集した場合の、収穫・輸送コスト平均値の推移と、コストの総額を示した。この場合、まずクヌギ・コナラ林が収穫の対象となり、すべてのコナラ林からバイオマスの収集を行ったのちに、スギ林の収穫を行うことになる。その分岐点は林分数 1,800 の地点にあるが、植生によって極端に収穫・輸送コストが異なるわけではないので、曲線の傾きに大きな変化はみられない。

2,347 林分すべて (4,945ha) を対象とした場合、その際の平均コストは 9,716 円/dt となり、コストの総額は、19,404 万円となった。この値を、バイオマスの調達に必要な費用と置き、以下でプラント運営の収支について検討を行う。

3) 事業性評価

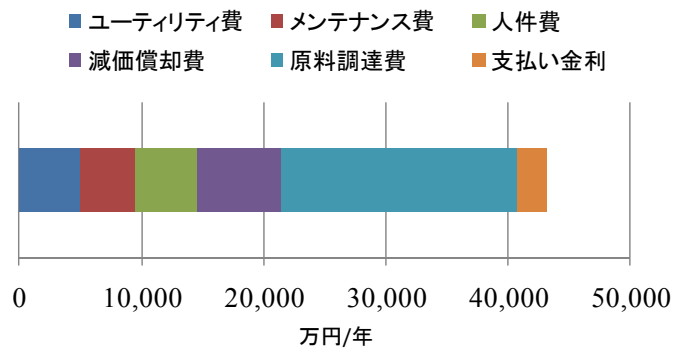


図 4-9 ランニングコストの内訳

図 4-9 には、ガス化発電プラントの運営にかかるランニングコストの詳細を示した。コストの総額は 43,114 万円/年となり、そのうち原料調達費 (収穫・輸送コストに等しい) の

占める割合は45%となり、他の項目と比較してとくに大きかった。

第3章(3.3.2)における検討により、ランドスケープ多様性型の管理に付随するバイオマスによる電力生産量は3,895万kWhであることが分かっている。ランニングコストの総和をこの値で除すことにより、単位電力量あたりの発電コストは11.1円/kWhとなった。

ところで、日本における再生可能エネルギー導入に対するインセンティブは、2003年4月に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（Renewable Portfolio Standard：RPS法）」に依っている。同法では、電気事業者に新エネルギー等から発電される電気を一定割合以上利用することを義務づけており、自ら発電を行うか、他の事業者から必要分を購入するかを選択できる。新エネルギーから発電される電力は、同法の下では「電力相当分」と「RPS相当分」とに分かれており、電気事業者は、発電事業者からこの両方を購入するか、あるいはRPS相当分のみを購入するかを選択できる。このことを発電事業者の立場から考えた場合、例えば自家発電を目的とした発電を行う場合には、電力RPS相当分のみを販売することが可能となる。

表 4-6 電力取引価格の推移（資源エネルギー庁，2010a）

区分	発電形態	電力取引価格(単位:円/kWh)					
		2004	2005	2006	2007	2008	2009
RPS相当分+電気	風力	11.6	11	10.7	10.4	10.4	10.1
	水力	8.5	8.4	8.4	7.2	8.9	8.6
	バイオマス	7.5	7.6	7.7	7.8	8	8.7
RPS相当分のみ		4.8	5.1	4.9	4.9	4.9	5.2

表 4-6 には、RPS法にもとづく実際の取引価格の推移を示した。バイオマスによる発電の場合、RPS相当分と電気を併せて販売した際、その取引価格は7.5～8.7円/kWhのあいだで推移しており、近年価格の上昇がみられる。また、RPS相当分のみを販売する場合、取引価格はほぼ5円/kWhで横ばいとなっている。

先に示された発電コスト11.1円/kWhという値は、いずれの場合の取引価格をも大きく上回っており、RPS法にもとづく事業スキームのもとでバイオマスプラントの経営を成立させるのは難しい。将来的には、世界的には主流である「固定価格買取制度（Feed-in Tariff）」の導入により、価格変動のリスクを回避し、より競争力をもった形で発電事業を行える可能性もあるが<sup>21</sup>、少なくとも現状の法制度に従った場合においては、里山のバイオマス利用を経済的に成立させることは難しい。

経済的な成立可能性を高めていくためには、とくにランニングコストのうち40%以上を占める原料調達コストの低減について、さらに検討を重ねる必要があるだろう。

<sup>21</sup> 既に太陽光発電については、2009年11月から固定価格による電力買取が始まっている。価格は導入以前の2倍である48円/kWhに設定されており、最大で10年間固定できる。なお固定価格買取はすべての再生可能エネルギーに対して拡大されるべく、検討が行われている（資源エネルギー庁，2010b）。

## 4.5 まとめと課題

本章においては、里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストについて、1) 山間部の森林との相対的な比較と、2) ランドスケープ多様性型のシナリオを適用した際のコストとプラント運営の事業性の2点から検討を行った。その結果、以下の3点が明らかにされた。

- ・ 下総台地の里山（平地林）と秩父地域の森林を比較したところ、下総台地の里山はバイオマスの収集距離については劣位であった一方、平均傾斜度や集材距離に対して優位であり、結果として収穫・輸送コストの平均値は、秩父地域に対して約15%（1,600円/dt）優位であった
- ・ 研究対象地の里山を対象とした検討を行ったところ、すべての里山を管理し、19,910dt/yrのバイオマスを収集の対象とした際、そのときのコストの総額は19.4百万円であり、単位重量あたりの平均コストは9,716円/dtであった
- ・ バイオマスプラントの運営に関係するランニングコストを推定したところ、バイオマスの収穫・輸送に関わるコストは全体の45%を占めており、単位電力量あたりの発電コストは11.1円/kWhとなった。現行RPS法にもとづく取引価格との比較から、里山のバイオマス利用の経済的な成立は困難であると判断され、コストの削減や追加的な収入についての検討が不可欠だと結論づけられた

以上より、里山のバイオマス利用に対して経済的な評価がなされ、発生量やエネルギー供給可能量についてのポテンシャルのみならず、実現可能性に関わる知見が得られた。これまでの研究では、経済的な分析は十分になされてこなかったため、本章における成果は、計画を現実のものにするにあたっての基礎的判断材料として意義があるものとする。

本章で用いた推定式は、例えば下草刈りの労働効率が反映されていない等の問題があるため、今後実証的にデータを積み上げながら、より里山の管理に対応した形に更新していく必要がある。また、事業性評価についても、公示地価をプラントの建設費に反映させるなど、より現実の経済状況に則した検討には至らなかった。事業の具体化を現実検討するにあたっては、こうした作業が不可欠となるだろう。



## 第5章 木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果の推定

### 5.1 はじめに

前章の結果より、里山由来バイオマスを用いたエネルギー利用は、経済的には成立が難しく、さらなるコストの削減、もしくは追加的な収入についての検討が不可欠であった。木質バイオマスのエネルギー利用という観点からインセンティブを与え、里山の再生を図るためには、一定の経済性を有した利用システムを構築することが不可欠だといえる。

ところで、里山の周囲の市街地に着目すると、公園緑地や街路樹の剪定枝、住宅地からの庭木剪定枝、建設発生木材といったように、既に一定量の木質バイオマスが日常的に発生していることが分かる。こうしたバイオマスは、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（通称「廃掃法」）に基づき、一般廃棄物または産業廃棄物のいずれかに分類され、それぞれのルールに従い適切に処理されることが義務付けられている。そのため、造園業者や建築解体業者は、処理許可を有する施設へバイオマスを持ち込み、適切な処理を委託する必要がある。その際に持ち込んだ量に対応する処理料金を支払う。一般にこうした取引は、逆有償価格による取引と呼ばれ、バイオマスの処理業者からみると、原料（バイオマス）と収入（処理費用）を同時に得ることができる取引となる。バイオマスプラントの経済性を高める事業スキームのひとつとして、逆有償価格で取引されるバイオマスを受け入れ、廃棄物収入を得ることが有効だとされており（NEDO, 2005）、そのためには、里山由来のバイオマスのみならず、地域に賦存する様々な木質バイオマスを、総合的、複合的に利活用するようなシステムの構築が有効だと考えられる（農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」, 2006）。里山のバイオマス利用は、こうしたシステムの下に位置付けられることにより、全体として経済性が確保される可能性がある（図 5-1）。

また、こうしたシステムの構築は、経済性の観点のみならず、地域に賦存するバイオマスを最大限に活用することにもつながる。低炭素社会の実現に向けた取り組みとして、2020年までにCO<sub>2</sub>を1990年比で25%削減することを国際公約として掲げている日本にあっては、総合的なバイオマス利用により、少しでも多くのバイオマスを代替エネルギーとして有効に活用し、削減目標の一端をなすものとして積み上げていく必要がある。また、総合的なバイオマス利用は、里山のみならず、公園緑地や街路樹、公共施設内の緑地や民有緑地といった様々な緑地の管理促進にもつながると考えられ、CO<sub>2</sub>吸収固定量の増加、および地域に分布する緑地全体の質の向上にも資する。経済的な視点に加え、このような環境保全上の多様なメリットを踏まえた上で、里山のバイオマス利用を総合的なバイオマス利用システムの下に位置付けていくような、複眼的、戦略的視点が必要だと考えられる。

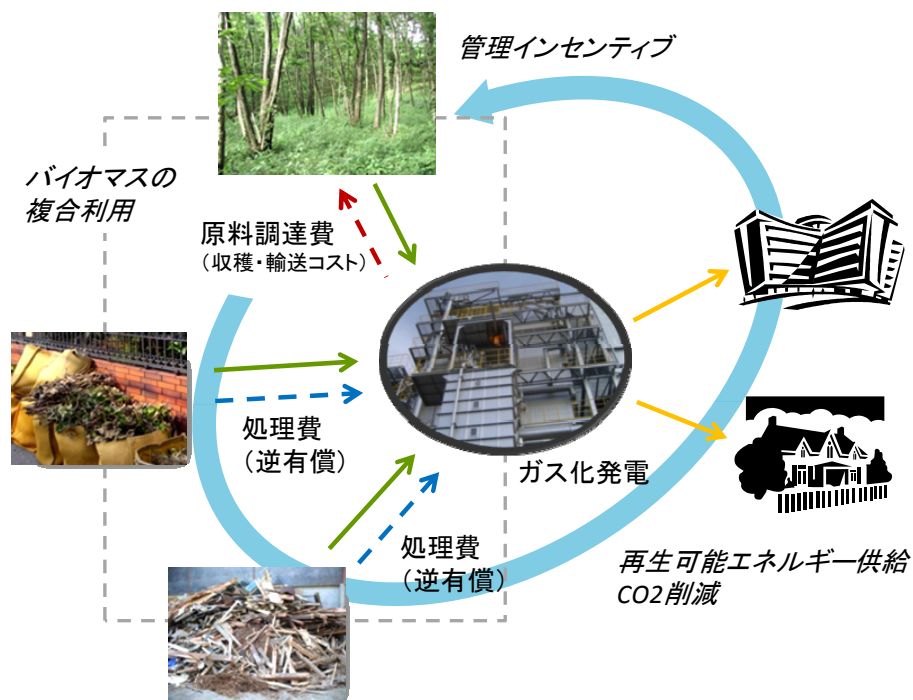


図 5-1 木質バイオマスの複合利用による里山再生のイメージ

以上より、本章においては、地域に賦存する様々な木質バイオマスを対象としたバイオマスの複合利用を想定し、里山由来バイオマスの単一利用と、1) 事業性、2) エネルギー供給可能量および、3) CO<sub>2</sub> 削減効果の 3 点を比較し、複合利用の有効性を実証的に示し、里山の管理再生に対してインセンティブを与え得るか否かを明らかにする。

## 5.2 里山保全の手段としてのバイオマスの複合利用

実際の検討に入る前に、バイオマスの利用と里山の管理再生との主従が逆転しないように、複合利用の目的と手段について明確にしておく必要があると考えられる。

複合利用の目的は、あくまで、里山の管理再生に対してインセンティブを与えることである。仮にバイオマスの利用促進を目的と置いた場合、建設発生木材等、廃棄物系のバイオマスの利用のほうが経済的に有利なため、里山のバイオマスを用いる積極的意義を十分に見出せなくなってしまう可能性がある。複合利用シナリオの意図するところは、廃棄物の利用を促すことではなく、地域資源としての里山の管理を促していくことにある。

複合利用の目的をより明確にし、そして里山を保全する意義を強調するために、永田 (1988) による地域資源の条件を以下に示す。永田 (1988) は、地域資源のもつ条件として、1) 非移転性 (地域性)、2) 有機的連鎖性、3) 非市場性の 3 つがあるとしている。そして、地域資源は「本来的地域資源」と「準地域資源」の 2 つに分類されるとしており、前者は地域資源の 3 つの条件をほぼ同じ程度にすべてそなえているもの、後者は本来的地

域資源から生み出されるものであり、3つの条件のいくつかをそなえているものとしている。

この考え方にもとづくと、里山そのものは「本来的地域資源」であり、里山から生み出されるバイオマスは「準地域資源」となる。里山は、自由に移転できるものではなく、その土地の履歴と深く関係したものであるため、非移転性（地域性）をもつ。また同時に地域のランドスケープを構成する要素の一部であり、耕地や水系といったその他の構成要素と有機的な連鎖性をもつものである。これら2つの条件に規定されることにより、一般的な市場財と同等に扱うことは不可能であるため、非市場性をもつ。一方、里山から生み出されるバイオマスは、第4章で扱ったように収穫・輸送コストに規定されるため、石油のように全く自由に移転が可能なものではないが、ローカルな範囲においては一定の移転性をもつものである。また、有機的連鎖性に関していえば、バイオマス燃焼時に副産物として生み出される灰などについては、基本的に地域内において循環利用されるべきものであり、このような意味で本来的地域資源間の有機的連鎖性を補強するものである。そして、市場性に関しては、従来の化石資源由来の燃料と全く同等に扱われた場合には淘汰される存在であるが、政策的なインセンティブ等によりコントロールを行うことにより、市場性をもつものとなりえる。

従って、本来的地域資源である里山は、地域固有の非移転的な存在として、元来、市場性を有しにくい特質をもつものと捉えられる。そして、準地域資源である里山由来のバイオマスの利用は、化石資源由来の燃料や、市場性を有する廃棄物系のバイオマス等の通常の資源利用と、そもそも同等に扱うことはできない。このことを踏まえ、木質バイオマスの複合利用を考えた場合には、廃棄物系の木質バイオマスのみを利用する方向にインセンティブが働き、準地域資源の利用や、それによる本来的地域資源の管理促進・保全といった観点は見失われてしまう。

このような意味で、里山保全の手段としてバイオマス利用を考える場合、複合利用の目的は、地域資源である里山の管理再生に対してのインセンティブ付与とすべきであり、準地域資源としての里山由来バイオマスの扱いに関して、十分に配慮がなされなければならないものと考えられる。以上の理念を踏まえ、以下に、木質バイオマスの複合利用の有効性について、数量的な検討を行う。

## 5.3 方法

里山由来の木質バイオマスに関連する推定は、第2章から第4章にかけて説明した方法に準じている。管理シナリオは、4章において検討の対象とした「ランドスケープ多様性」型とした。以下には主に、その他の木質バイオマスに関する推定の方法を示す。

### 5.3.1 対象とする木質バイオマス

里山由来のバイオマスと複合的に利用するバイオマスとして、1) 公園緑地、街路樹、施

施設内樹林（公共施設・事業所）、住宅地内庭木の 4 種の緑地から発生する「管理時剪定枝」と、2) 木造住宅等の建築・解体時に発生する「建設発生木材」を対象とする。本研究が対象とする都市近郊においては木造住宅を中心とする戸建の住宅団地が多く存在し、またそれに付随して住区基幹公園等の都市公園や、沿道の街路樹等の施設緑地の整備がなされているため、1)、2) のバイオマス共に発生量が多いことが予想される。

### 5.3.2 バイオマス発生量の推定

#### 1) 管理時剪定枝

##### ・発生量原単位の設定

施設緑地や庭木の管理時に発生する剪定枝については、標準的な管理の程度を想定し、以下の考えの下で発生量の推定を行った。

藤原ら（2003）は、平均的な街路樹剪定作業において、街路樹の年間成長量に対して 45.3% の割合で、木質バイオマスが排出されることを明らかにしている（藤原ら、2003）。この値を参考にし、まず、剪定管理を行った場合には年間成長量の 50% がバイオマスとして排出され、残りの 50% が樹木内に固定されることを仮定した。街路樹の剪定剪定作業とその他の緑地に対する剪定作業とでは程度や質が異なる可能性があるが、成長量の 1/2 をバイオマス利用するのであれば、ストックを損なうことなく持続的な資源利用が可能であるため、バイオマス利用のひとつの基準として設定した。各緑地に対する排出率のちがいについては、今後実測調査を繰り返すなどして明らかにされる必要があると考えられる。

一方、緑地の年間成長量の値については、CO<sub>2</sub> 吸収固定源としての緑地の評価を目的として、樹冠被覆面積から年間成長量を推定するための方法論について検討がなされてきた（市村ら、1999；市村ら、2000；半田ら、2005；市村、2006）。そこで、関連する既往研究から、樹冠被覆面積あたりの年間成長量の値を引用し、乾燥重量に単位変換を行ったのち、バイオマス排出率（0.5）を乗じることにより、年間バイオマス発生量の原単位を緑地ごとに整理した（表 5-1）。

用いた年間成長量の値は、公園緑地に対して 3.90dt/ha・yr、街路樹に対して 3.74dt/ha・yr、施設内樹林に関しては 4.78dt/ha・yr とし、それぞれ市村（2006）から引用した。住宅地内庭木に関しては、中村ら（2000）が千葉県松戸市の郊外住宅地を対象に推定したもの（1.02dt/ha・yr）を用いた。

表 5-1 各緑地のバイオマス発生量原単位

	原単位 (dt/ha・yr)	参考
公園緑地	1.95	市村(2006)
街路樹	1.87	市村(2006)
施設内樹林	2.39	市村(2006)
住宅地内庭木	0.51	中村ら(2006)

### ・ 柏市を対象とした樹冠被覆面積の推定

これらの原単位をかけ合わせるための各緑地の樹冠被覆面積は、対象地である東葛飾地域においても平均的な規模、人口密度を有し、かつ土地利用にも偏りがないと考えられる千葉県柏市を対象として推定を行い、その結果を他の自治体へ外挿することによって求めた。柏市における推定は、以下のようにして行った。

推定は、空中写真の判読による樹冠の読み取りによった。用いた空中写真は、地上解像度 16cm の高解像度のものであり（柏市財政部資産税課，2007 年 1 月撮影，幾何補正済み），住宅地内の細かな緑地も判読可能なものである（図 5-2）。



図 5-2 用いた空中写真のサンプル（柏市財政部資産税課提供）

公園緑地、街路樹については、市内全域を対象に、その樹冠被覆面積を把握した。一方、施設内樹林及び住宅地内庭木については、層化抽出法に基づき、敷地を 1 単位とした標本抽出（単純無作為抽出，信頼率 0.95）を行い、各層（クラスタ）の樹冠被覆面積の標本平均値を把握し、母数を乗じることにより柏市全体の値を推定した。設定したクラスタは施設内緑地に対して、「公共施設」と「事業所」の 2 クラスタ，住宅地内庭木について「市街化区域内戸建住宅」，「市街化調整区域内戸建住宅」，「集合住宅」の 3 クラスタである。各クラスタの母数は、ゼンリン ZmapTown（旧柏市 2003 年，旧沼南町 2002 年）に基づいた。標本の抽出は，Excel による乱数発生により行った。各クラスタの抽出率等について，表 5-2 に示した。

表 5-2 層化抽出の概要（信頼率 0.95 を基準に標本数を決定）

	クラスタ	標本数	母数	抽出率
施設内緑地	公共施設	243	666	36.5%
	事業所	369	9,230	4.0%
住宅地内庭木	市街化区域内戸建住宅	382	69,498	0.55%
	調整区域内戸建住宅	357	5,721	6.2%
	集合住宅	362	6,127	5.9%

### ・ 柏市における検討結果の外挿

柏市における検討結果の外挿は以下のように行った。

公園緑地については、千葉県調査に基づき把握された都市公園の面積（都市緑地、緑道を含む）を用いて、柏市における敷地面積の値を基準としたときの他自治体の敷地面積の比を求め、その値により外挿を行った。街路樹については、電話による聞き取り調査及び緑の基本計画等の計画書の閲覧から、各自治体の街路樹総延長<sup>22</sup>を把握し、柏市における値を基準に比を求め、公園の場合と同様にその値で外挿した。施設内樹林地及び住宅地内庭木については、ゼンリン ZmapTown II のデータを用いて、表 5-2 に示された 5 つのクラスタに対する敷地数を自治体ごとに整理し、柏市の値を基準としたときの比を算出して、その値により外挿した。以上の外挿に用いたデータを、表 5-3 に示す。

表 5-3 外挿のために用いたデータ（カッコ内は柏市を基準としたときの比を表す）

	都市公園面積 (ha)		街路樹総延長 (km)		施設内樹林				住宅地内庭木					
					公共施設 (敷地)		事業所 (敷地)		市街化区域内 戸建住宅 (敷地)		調整区域内 戸建住宅 (敷地)		集合住宅 (敷地)	
柏市	215.4	(1.00)	78.4	(1.00)	666	(1.00)	9,230	(1.00)	69,498	(1.00)	5,721	(1.00)	6,127	(1.00)
野田市	189.8	(0.88)	41.3	(0.53)	633	(0.95)	5,597	(0.61)	27,007	(0.39)	11,933	(2.09)	1,544	(0.25)
流山市	81.9	(0.38)	33.0	(0.42)	355	(0.53)	3,542	(0.38)	28,935	(0.42)	3,505	(0.61)	2,336	(0.38)
我孫子市	91.7	(0.43)	40.0	(0.51)	287	(0.43)	2,369	(0.26)	25,229	(0.36)	2,366	(0.41)	1,875	(0.31)
松戸市	156.3	(0.73)	79.0	(1.01)	703	(1.06)	10,735	(1.16)	74,357	(1.07)	4,467	(0.78)	10,026	(1.64)
市川市	140.6	(0.65)	111.9	(1.43)	685	(1.03)	9,912	(1.07)	64,566	(0.93)	2,777	(0.49)	12,452	(2.03)
鎌ヶ谷市	22.8	(0.11)	15.0	(0.19)	157	(0.24)	2,931	(0.32)	21,114	(0.30)	2,272	(0.40)	1,350	(0.22)
白井市	41.5	(0.19)	122.2	(1.56)	160	(0.24)	1,759	(0.19)	5,230	(0.08)	2,858	(0.50)	463	(0.08)
船橋市	162.3	(0.75)	68.3	(0.87)	915	(1.37)	12,650	(1.37)	86,893	(1.25)	5,912	(1.03)	11,040	(1.80)
計	1,102.2	(5.12)	589.1	(7.51)	4,561	(6.85)	58,725	(6.36)	402,829	(5.80)	41,811	(7.31)	47,213	(7.71)

## 2) 建設発生木材

建設発生木材の発生量に関しては、既往の統計資料による把握を行った。また、発生したすべての木材を利用することは既往の産業の圧迫につながり現実的でないため、年間純発生量のうち、現状では単純焼却または廃棄処分されている量を利用可能量として算出した。年間純発生量は、建設副産物実態調査（2000年）のデータを使用することにより、各市の値を把握した（千葉県，2004）。発生量に占める利用可能量の割合は、千葉県の調査による 2002 年度の県内実態にもとづき、21%とした<sup>23</sup>（関東地方建設副産物再利用方策等連

<sup>22</sup> 街路樹が植栽されている道路の延長ではなく、並木そのものの延長として定義する。道路の両側に街路樹が植栽されている場合、それぞれ独立の並木として、その延長を個々に測定してもらうよう、各自治体の担当者に依頼した。

<sup>23</sup> 製紙工場等へのバイオマスボイラー設置が盛んとなり、近年の傾向として、原料不足から燃料用チップの取引価格が上昇している。このため千葉県においても建設発生木材の有効利用が進んでいる可能性が高く、最新の調査結果に注意を払う必要がある。

絡協議会, 2005).

### 5.3.3 逆有償取引価格の設定

逆有償取引価格は、実態に即した設定を行った。千葉県の場合、建設発生木材の受け入れ価格は、県内に立地する業者によって 10,000～15,000 円/dt と幅広い（関東地方建設副産物再利用方策等連絡協議会, 2005）。本研究では最低受け入れ価格の 10,000 円/dt を採用し、ここからプラント投入の前処理としての粉砕（チップ化）に必要な費用 2,500 円/dt（NEDO, 2005）を差し引いた 7,500 円/dt を取引価格とした。

管理時剪定枝の一部は、産業廃棄物における「木くず」に含まれる。環境省の調査によると、木くずの取引価格は概ね 10,000～30,000 円/t であるとされる（環境省, 2001b）。これは生木重量における取引価格であるため、剪定枝の生重量／乾総重量の比を広葉樹の平均である 1.68 として（中川, 2005）、最低価格の 10,000 円/t を 16,800 円/dt に単位変換し、さらにチップ化に必要な費用 2,500 円/dt を差し引いた 14,300 円/dt を取引価格とした。

なお、バイオマスの収集費用については、業者の持ち込みを想定し、取引価格に含まなかった。

### 5.3.4 エネルギー供給可能量・CO<sub>2</sub>削減効果の推定

収集されたすべてのバイオマスをガス化プラントへ投入し、発電を行うものとしてエネルギー供給可能量、および CO<sub>2</sub> 削減効果を推定した。推定の方法は、第 3 章（3.3.1 および 3.4.1）に示した方法に従ったが、バイオマス利用時の CO<sub>2</sub> 排出量については、プロセス全体への影響が少ないことが分かっているため、推定の対象としなかった。

また、施設緑地及び施設内樹林、住宅地内庭木による CO<sub>2</sub> 吸収固定量については、市村（2006）、中村ら（2000）の研究結果を引用し、樹冠被覆面積 1ha あたりの吸収固定量原単位を使用することにより推定した。年間吸収固定量の値を、バイオマスの排出分である 0.5 で除することにより、以下の表 5-4 のように本研究における原単位を設定した。なお、推定はまず柏市内の緑地を対象に行い、その結果を表 5-3 に示したデータを用いて他の市町村へ外挿した。

表 5-4 緑地による年間 CO<sub>2</sub> 吸収固定量の原単位

	原単位 (t-CO <sub>2</sub> /ha・yr)	参考
公園緑地	3.58	市村(2006)
街路樹	3.43	市村(2006)
施設内樹林	4.38	市村(2006)
住宅地内庭木	0.94	中村ら(2006)

### 5.3.5 プラント運営の事業性評価

バイオマス利用の経済的な実現可能性については、第 4 章（4.4.1）で示した方法を用い

て、バイオマスプラントの運営に関する事業性評価を行った。里山由来のバイオマスのみ単独で用いた場合と、バイオマスの複合利用を行った場合の 2 つのシナリオに対して、発電コストの観点から比較検討を行った。

## 5.4 結果と考察

### 5.4.1 緑地管理時剪定枝の発生量

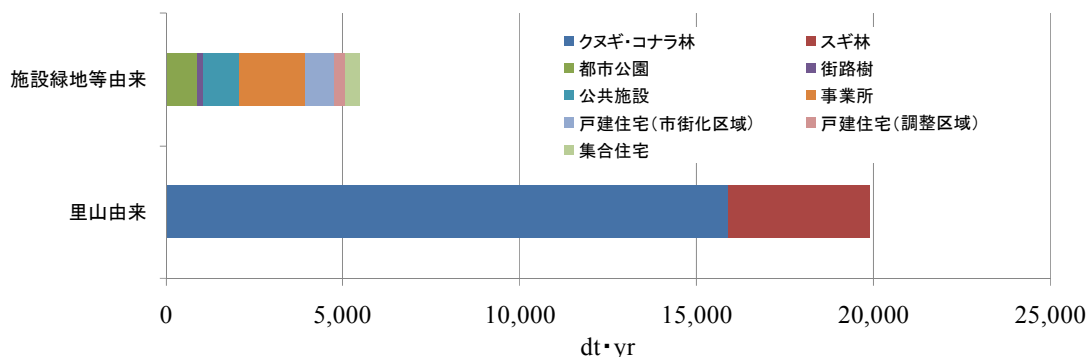


図 5-3 施設緑地等由来バイオマスと里山由来バイオマスの管理時発生量比較

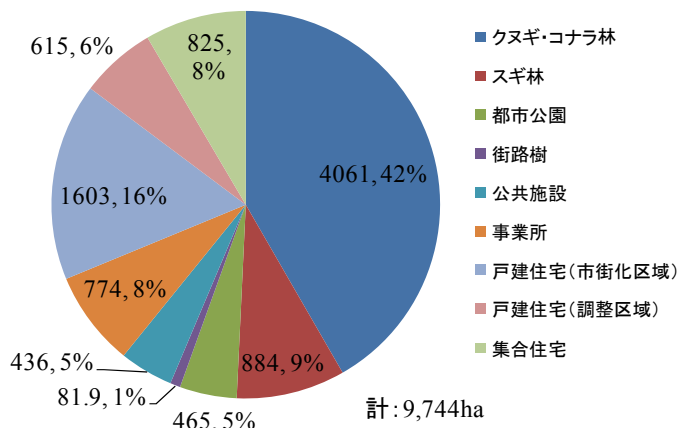


図 5-4 対象地における緑地の樹冠被覆面積

表 5-5 には、市町村別にバイオマスの発生量を整理し、図 5-3 に発生量の内訳と里山由来バイオマスとの比較を示した。研究対象地における施設緑地等から発生する剪定枝は、総計で 5,486dt/yr となり、その内訳は、都市公園および街路樹が 1,040dt/yr (19.0%)、施設内樹林が 2,893dt/yr (52.7%)、住宅地内庭木が 1,552dt/yr (28.3%) となった。都市公園および街路樹といった公共によって整備されている緑地から発生するバイオマスは、全体の 2



割

表 5-5 市町村別樹冠被覆面積とバイオマス発生量

	都市公園		街路樹		施設内樹林				住宅地内庭木					
	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)	公共施設		事業所		市街化区域内戸建住宅		調整区域内戸建住宅		集合住宅	
	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)	(dt・yr)	(ha)
柏市	173.3	90.9	20.4	10.9	152.3	63.7	290.9	121.7	141.1	276.6	42.9	84.2	54.6	107.0
野田市	152.7	80.1	10.7	5.7	144.8	60.5	176.4	73.8	54.8	107.5	89.5	175.6	13.8	27.0
流山市	65.9	34.6	8.6	4.6	81.2	34.0	111.6	46.7	58.7	115.2	26.3	51.6	20.8	40.8
我孫子市	73.7	38.7	10.4	5.6	65.6	27.5	74.7	31.2	51.2	100.4	17.7	34.8	16.7	32.7
松戸市	125.7	65.9	20.6	11.0	160.8	67.2	338.3	141.5	151.0	295.9	33.5	65.7	89.3	175.1
市川市	113.1	59.3	29.1	15.6	156.6	65.5	312.4	130.7	131.1	257.0	20.8	40.9	111.0	217.5
鎌ヶ谷市	18.3	9.6	3.9	2.1	35.9	15.0	92.4	38.6	42.9	84.0	17.0	33.4	12.0	23.6
白井市	33.4	17.5	31.8	17.0	36.6	15.3	55.4	23.2	10.6	20.8	21.4	42.1	4.1	8.1
船橋市	130.5	68.5	17.8	9.5	209.2	87.5	398.7	166.8	176.4	345.8	44.3	87.0	98.4	192.8
計	886.6	465.0	153.3	81.9	1,043.0	436.2	1,850.8	774.3	817.9	1,603.2	313.5	615.4	420.7	824.5

程度と見積もられ、影響の大きさからすれば、施設内の緑地や住宅地内の庭木から発生するバイオマスの扱いについて、特に検討を進めていく必要があると考えられた。

里山由来バイオマスとの比較を行うと（図 5-3）、施設緑地等由来の剪定枝は、里山由来バイオマス（19,910dt/yr）に対して約 30%の発生量となった。既に発生しており、システムさえ構築されればすぐにでも利用できるバイオマスが、未利用の里山由来バイオマスの 30%も見込まれるという結果は、バイオマスの複合利用に向けて積極的な事実として考えてよいだろう。

図 5-4 には、里山を含んだ対象地の緑地の、樹冠被覆面積からみた内訳を示した。その結果、樹冠被覆面積ベースで考えた場合、緑地の半数が里山となり、もう一方の半数が公園緑地や住宅地庭木を中心とした施設緑地等となった。都市近郊においては、里山のみならず、市街地に分布するような緑地も同様に多く見られることから、これらの緑地をひとつの緑地体系のもとで保全の対象とし、さらに総合的なバイオマス利用のもとで管理時発生材を最大限利活用していくことが、効果的かつ妥当だと考えられる。

#### 5.4.2 建設発生木材を含めたバイオマス発生量

図 5-5 には、建設発生木材を含めたバイオマス発生量を、発生源ごとに示した。建設発生木材の発生量は 10,445dt/yr と推定され、里山由来バイオマスの概ね半数、緑地管理時剪定枝の概ね 2 倍の発生量が見込まれた。緑地管理時剪定枝と建設発生木材とを合わせると 15,930dt/yr となり、里山由来バイオマスの約 8 割に達するとされた。これらのバイオマスを複合的に利用した際の発生量は 35,840dt/yr となり、里山単独の場合と比較して約 1.8 倍のポテンシャルをもつことが示された。本研究が対象とする都市郊外においては、里山由来のバイオマスのほかにも、廃棄物系の木質バイオマスがほぼ同量定度既に発生しており、これらのバイオマスを単独で利用を行った場合にはそれほど効果が期待できないとしても、

複合的に利用することによって相乗効果が生み出される可能性があることが示唆された。

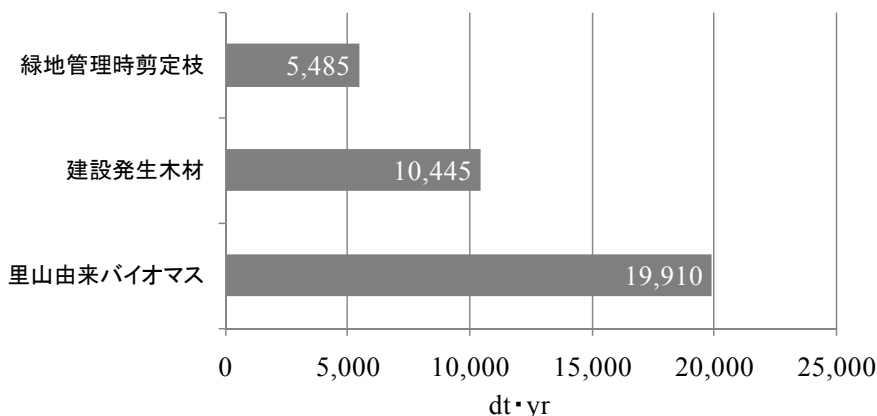


図 5-5 各発生源からのバイオマス発生量

### 5.4.3 エネルギー供給可能量

表 5-6 バイオマスの複合利用による電力供給可能量

	投入バイオマス量 (dt/yr)	発電容量 (kw)	発電効率	発電量 (百万kWh)	供給可能世帯数 (総世帯に対する%)
里山単独	19,910	3,318	34.8	38.9	8,885 (0.82)
複合利用	35,840	5,973	36.7	74.0	16,776 (1.55)

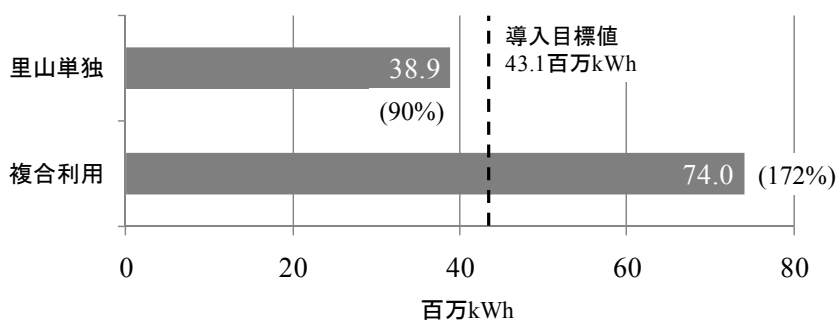


図 5-6 導入目標値との比較（カッコ内は導入目標に対する割合）

表 5-6 にはバイオマスの複合利用を行った場合の電力供給可能量を示し、図 5-6 は、その際のバイオマスエネルギー導入目標値との比較を示した。発電効率は発電容量の拡大に伴って上昇し、結果として発電量は 74.0 百万 kWh となり、これは約 16,800 世帯分の家庭用電力に相当する。同世帯数は、研究対象地全域に対して 1.55%であり、エネルギー自給の観点からすれば限定的な数字に変わりはないが、里山単独で供給を行った場合の約 2 倍の電力が供給可能となった。

図 5-6 には、第 3 章 (3.3.2) においても検討した、東葛飾地域におけるバイオマスエネ

ルギー導入目標値との比較の結果を示した。複合利用を行った場合は、目標値に対して172%の電力が得られるとされ、里山単独では達成されなかった導入目標値を達成できることが示された。バイオマスを最大限利用した場合、施策としても高いポテンシャルを發揮できることとなり、里山を含めバイオマスを複合利用することにより、結果として里山に対しても、再生可能エネルギー導入の観点から高い評価がなされることになる。

#### 5.4.4 CO2 削減効果

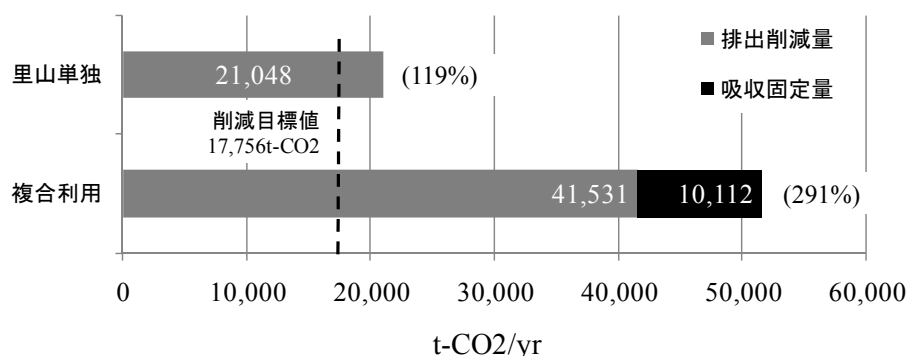


図 5-7 CO2 削減効果と削減目標値との比較（カッコ内は削減目標に対する割合）

図 5-7 には、CO2 削減効果の観点から、里山単独のバイオマス利用と複合利用とを比較した結果を示した。CO2 削減効果はバイオマスの利用による排出削減量と、樹木への吸収固定量の総和とし、CO2 排出量は、第 3 章 (3.4.2) の結果からプロセス全体へ対する影響が少ないと判断し、評価に加えていない。

結果をみると、単独利用の場合は 21,000t-CO2/yr の削減効果であったことに対して、複合利用の場合は 51,600t-CO2/yr もの削減が可能となり、約 2.5 倍のポテンシャルをもつことが分かった。これは、施設緑地等への炭素固定量 10,500t-CO2/yr による効果が大きく、地域の緑地によって達成されるバイオマス利用による削減と、吸収固定による削減との両者を最大限に發揮した結果だと考えられる。

東葛飾地域における削減目標値との比較をみると、里山単独の場合は達成率 119%であったことに対して、複合利用の場合は 291%まで達することが示された。この値は、千葉県全体における削減目標値 586,000t-CO2/yr に対しても 8.8%の貢献となり、バイオマスの複合利用は、低炭素社会の実現に向けた施策として、高いポテンシャルをもっていると判断できよう。

5.4.5 原料調達コストの削減

1) コスト相殺による原料調達費の低減効果

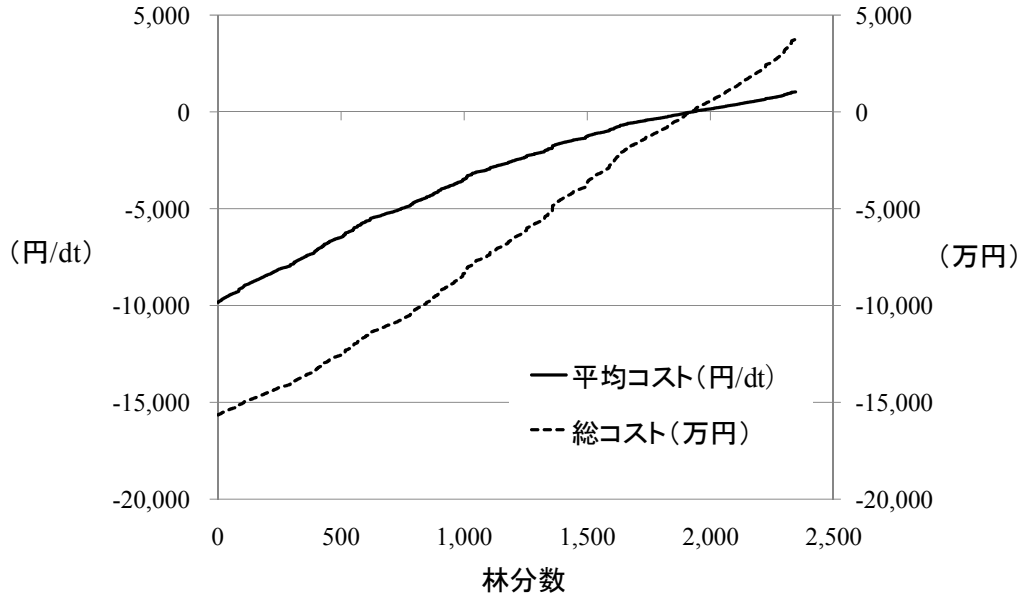


図 5-8 里山由来バイオマスを追加的に複合利用した際の原料調達コストの変化

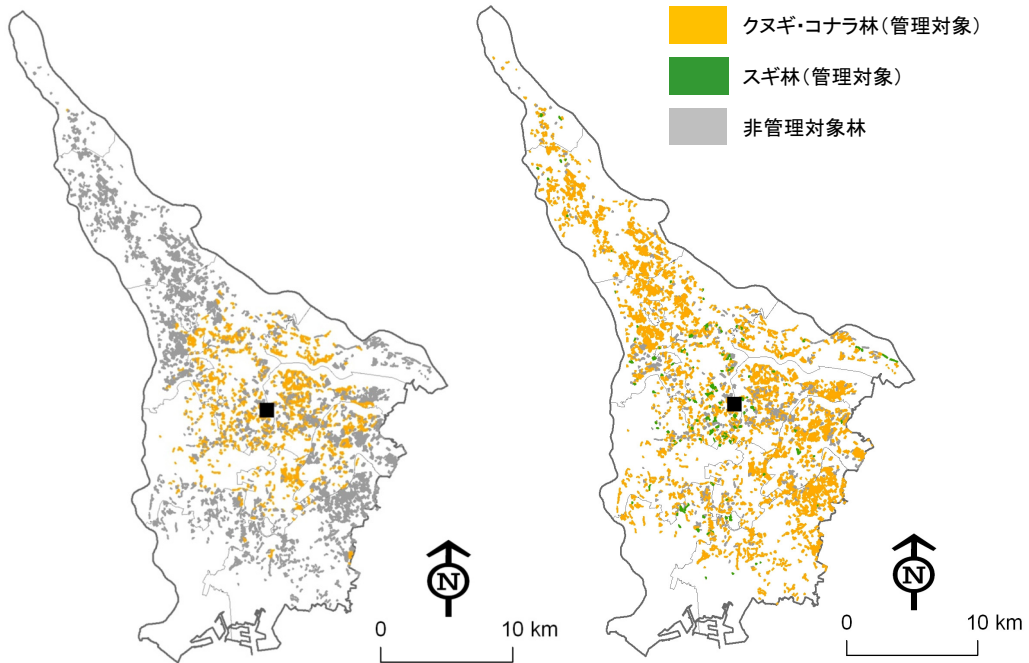


図 5-9 原料調達コスト別の管理対象里山の分布  
(左図：平均コスト-5000 円/dt で収集する場合，右図：同 0 円/dt で収集する場合)

図 5-8 には、まず逆有償で取引可能なバイオマスを最大限に収集したのち、里山由来のバイオマスをコストの安価な林分から順に収集すると仮定した際の、原料調達のコスト平均値、および総コストの推移を示した。逆有償で取引可能なバイオマスのみ収集した場合、その原料調達コストの平均値は-9,807 円/dt となり、15,622 万円の廃棄物収入が得られる。里山由来のバイオマスを追加的に受け入れることにより徐々にコストが上昇し、最終的にすべてのバイオマスを収集した際には、平均コストが 1,053 円/dt、総コストが 3,781 万円となり、有償価格へ転じる。

図 5-9 には、原料調達コストの平均値を-5,000 円/dt、0 円/dt（無償）に設定したとき、管理の対象となりうる里山の分布を示した。-5,000 円/dt で収集を行う場合、管理の対象となる里山は限定的であり、プラントを中心に半径 8~9km の範囲に留まっている。また、コストの高いスギ林は管理の対象とならず、クヌギ・コナラ林のみが対象とされた。このときの管理対象面積は 1,408ha であり、全里山面積 4,945ha の 28%となった。0 円/dt（無償）でバイオマスを収集することを想定した場合には、すべてのクヌギ・コナラ林が管理の対象となり、コストの高いスギ林も一部管理がなされるようになる。管理対象面積は 4,263ha であり、全里山の 86%に及ぶ。本研究では、設定した管理シナリオは、対象地における全里山へ適用することを基本としているが、許容できる原料受け入れコストが予め決められている場合は、上記のような解析を行い、管理シナリオの適用が可能な里山の面積を明らかにし、管理計画の一助とすることも有効であると考えられる。

表 5-7 バイオマスの複合利用による原料調達コストの低減効果には、里山単独でのバイオマス利用を進めた場合と、複合利用を進めた場合との原料調達総コストと、平均コストを比較した結果を示した。複合利用システムを構築し、逆有償のバイオマスを受け入れることにより、平均コストは 1/9 程度に、総コストはほぼ 1/5 程度に低減される。

表 5-7 バイオマスの複合利用による原料調達コストの低減効果

	平均コスト (円/dt)	総コスト (万円/dt)
里山単独	9,716	19,404
複合利用	1,053	3,781

## 2) 事業性評価

プラント運営の経済性向上を確かめるため、低減された原料調達コストの値を用いて、再度事業性評価を行った。図 5-10 には、第 4 章 (4.4.2) における検討と同様に、ランニングコストを試算し、その結果を里山単独のバイオマス利用と複合利用との両方で比較した結果を示した。

複合利用においては、発電規模が拡大するに従い原料調達費以外のコストが上昇するものの、原料調達費が著しく削減されるため、結果としてランニングコストの総和は里山単独のバイオマス利用より優位になっており、具体的には 39,083 万円/年となった。複合利用

時の発電電力量 7,403 万 kWh/yr の値を用いて単位電力量あたり発電コストを求めると、5.28 円/kWh となり、里山単独の場合の 11.1 円/kWh（第 4 章：4.4.2）と比較して 1/2 以下の単価となった。RPS 法にもとづく取引価格と比較すると、RPS 相当分と電力を併せて販売した際は、7.5～8.7 円/kWh で販売できるため、一定の経済性をもつようになる。電力は自家発電等で消費し、RPS 相当分のみを販売する場合（取引価格 4.8～5.2 円/kWh）は、取引価格とほぼ同様のコストで発電することになり、事業としての成立は困難だと考えられる。

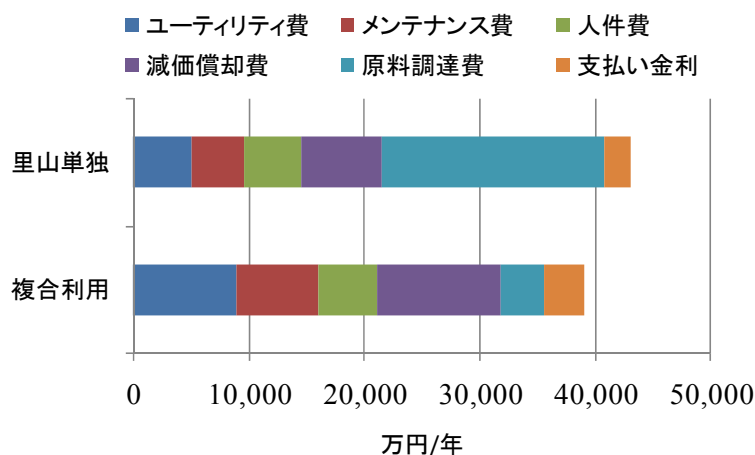


図 5-10 ランニングコストの比較

### 3) バイオマスの複合利用の実現へ向けて

京都議定書における削減目標の確実な達成に向けて、環境省は、2008 年 11 月からオフセット・クレジット（Japanese-Verified Emission Reduction : J-VER）制度を創設し、運用を始めている。同制度においては、国内における CO2 削減にかかわるプロジェクトのうち、J-VER 制度の対象として認められるプロジェクトに該当し、認定基準を満たすとされたものに対して、プロジェクトで実現された CO2 排出削減もしくは吸収量がクレジットとして認証される。クレジットとして認証されたものは金銭的な価値をもち、市場での流通が可能となり、主にカーボンオフセット等に活用される。2010 年 11 月現在、44 件のプロジェクトが登録されており、そのうち 40 件が森林管理もしくは木質バイオマス利用に関わるものである（環境省、2010）。

また、政府ばかりでなく、民間企業にあっても里山の CO2 削減効果に着目し、森林所有者と企業の間を仲立ちし、CO2 の吸収固定に基づいて発生する排出権の取引を、新たなビジネスチャンスとして捉えている事例も存在する（図 5-11）。

バイオマスの複合利用の事業性を高めていくためには、例えば 51,600t-CO2/yr 程度の削減が見込まれる CO2 の削減効果に着目し、排出権取引等のスキームを利用し、追加的な収入を得ることがひとつの策として考えられるだろう。本章では同スキームについての検討までには至らなかったが、このことにより複合利用の事業性が保障され、ひいては里山の管理再生につながっていくものと考えられる。

# 「里山の呼吸」売ります

環境機器ベンチャーのジュオン（広島市安佐南区）は四月から、庄原市内の森林が吸収する二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）量を排出権として企業に小口販売する。国内の森林をベースにした排出権取引は全国で初めて、という。これまで森林所有者側はCO<sub>2</sub>吸収量を表示する手段がなかった。温室効果ガス排出量の自主的な削減目標作りを進める企業側も、省エネ家電の導入やエアコンの温度調整などだけで目標達成は困難となっている。ジュオンは両者の橋渡しをする。

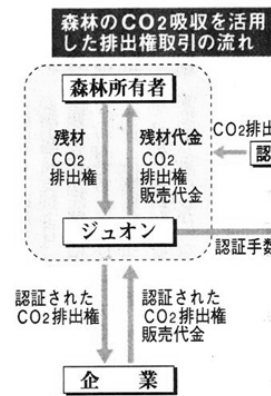
京都議定書では、新規の

## 森吸収のCO<sub>2</sub> 排出権に転換

### 広島のパベンチャー

植林だけでなく、既存の森林のCO<sub>2</sub>吸収を削減量として許容。ただし間伐など手入れをしない場合は対象とならない。CO<sub>2</sub>吸収量は、国連から認証機関として認められている東京都内の法人に認証してもらい、数値の信頼性を高める。吸収量は年間約九十ト。ジュオンは、中小企業や支店などを対象に一ト五万円で排出権として販売する。間伐などの手入れをした際に出る残材で排ガス浄化溶液を製造しているジュオンは、三月中旬に庄原市内の森林所有者と、三十秒分の

## 庄原の所有者と企業仲介



残材活用について契約する。森林所有者には残材代金を加えて、認証手数料などを引いたCO<sub>2</sub>排出権販売代金も支払う。認証手数料は数百万円と見込んでいる。西本徹郎社長は「森林整備には費用がかかるが、所有者に排出権取引で新たな収入が生まれる。国内の里山を再生するきっかけにしたい」と話している。（梨本晶夫）

**クリック**

排出権取引CO<sub>2</sub>などの温室効果ガスを排出する権利を、国や企業の間で売買すること。日本は京都議定書で、2012年までに1990年と比べて温室効果ガスの排出量を6%削減するよう義務づけられている。目標達成のために、途上国から権利を購入したり、風力・水力発電所の建設など大型事業に資金や技術を提供したりするケースが多い。

図 5-11 民間事業者による排出権取引（広島県広島市・ジュオンの事例）  
（中国新聞、2007年3月20日）

## 5.5 まとめと課題

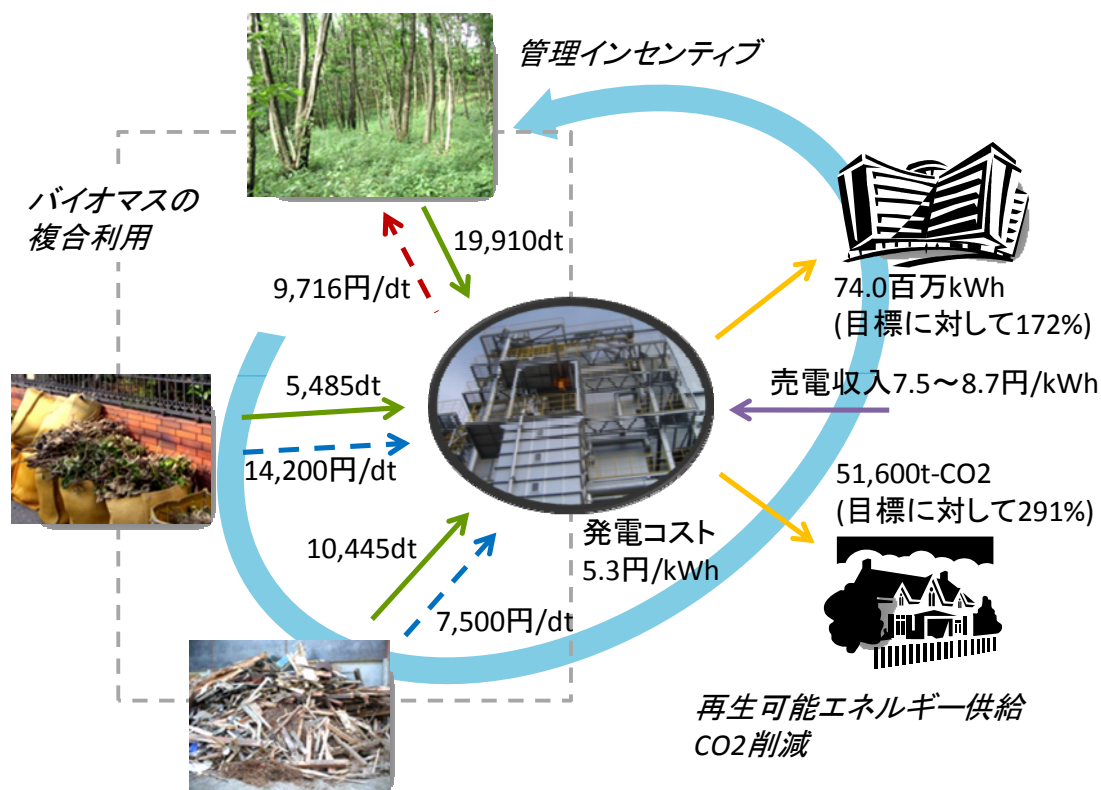


図 5-12 バイオマスの複合利用の数値的イメージ

本章で明らかにされた値を、複合利用のイメージ図に挿入して示した（図 5-12）。本章においては、収穫・輸送コストの高さから経済的な実現性が低いとされた里山のバイオマス利用に対して、総合的・複合的なバイオマスの利用システムのもとに里山のバイオマス利用を位置付け、コストの低減を図ることを提案し、同システムによる 1) バイオマス収集可能量、2) エネルギー供給可能量、3) CO<sub>2</sub>削減効果、4) およびシステムの経済性に関する実証的な検討を行った。その結果、以下の 4 点が明らかにされた。

- ・ 複合利用による木質バイオマス収集可能量は 35,840dt/yr となり、里山単独のバイオマス利用と比較して 1.9 倍であった
- ・ ガス化発電による電力供給可能量は 74.0 百万 kWh となり、この値は 16,800 世帯（研究対象地の 1.55%）の電力需要を満たすものであった。また、バイオマスエネルギーの導入目標値に対する達成率は 172%となった
- ・ CO<sub>2</sub>削減効果は 51,600t-CO<sub>2</sub>/yr と推定され、研究対象地における削減目標に対して 291%の達成率となり、CO<sub>2</sub>削減策としてポテンシャルが高いことが示された
- ・ 事業性に対する試算の結果、発電コストは 5.3 円/kWh となり、RPS 法に基づく電力取



引価格を下回るコスト（5.3 円/kWh）で電力の生産が可能となり、複合利用は事業性を有すると評価された。さらに事業性を高めていくためには、国内排出権取引制度等のスキームを活用することが有効であると考えられた

以上の検討により、バイオマスの複合利用が概念的なものではなく、数値的裏付けを伴ったものとして示され、事業性を伴ったものであると結論づけられた。木質バイオマスの複合利用は、都市近郊里山の管理に対して、原料取得費用（収穫・輸送コスト）に相当する経済的インセンティブを与えていくことに貢献し、里山管理の再生に向けた実効的な手段として位置付けられることが明らかとなった。

今後の研究課題として、1) 推定の精度を高めていくこと、および、2) 結果を空間計画へ反映するための検討を行うこと、の2点が考えられる。1) 推定の精度に関しては、今後は、直接計測を基本とした推定を重視することにより、精度の向上を図る必要がある。本章で行った推定値の大部分は、原単位の外挿にもとづいており、市町村単位のデータを基準に値を按分するといったように、間接的な手法にもとづく値の推定に留まっている。例えば、市街地から発生する剪定枝等のバイオマスについては、衛星画像の解析により直接的に樹冠被覆面積を推定する等、推定値の精緻化へ向けて、より直接的な手法を用いることが必要である。2) 結果の空間計画への反映については、例えば「どのような地域でバイオマスの複合利用を考えることが適切か、その際の空間の広がりほどの程度が適切か」という課題設定に対して、解をもとめていくことが考えられる。本章においては、研究対象地である東葛飾地域を基準として考えたため、地域性や地域の広がり的大小を反映した議論を行うには至らなかった。結果を空間計画へ反映させるためには、これらを変数として、計画の適用がより効果的な地域や、その広がりをもとめるような解析を行うことが必要だと考えられる。

## 第6章 計画の実現に向けた社会システムの検討

### 6.1 はじめに

前章までの議論において、1) 里山管理に伴うバイオマス発生量、2) 発生したバイオマスをエネルギー利用した場合の効果、3) 里山のバイオマス利用の収穫・輸送コストとその低減策、の3点が検討され、木質バイオマスのエネルギー利用から里山の管理再生を図るにあたっての基礎的な根拠が、数値上の裏付けをもって示された。本章においては、本研究全体を通じた目的である計画的基礎の提示に向けて、検討してきた内容の社会的な受容に関する議論を行い、バイオマスの利用による里山管理の再生を実現するための社会システムのあり方を提示する。

ここでいう社会システムは、「社会を構成する複数の要素と、要素間の関係によって成り立つ系」のことを示すものとする<sup>24</sup>。また、社会システムを構成する要素は、それ自体がシステムでもあり、上位のシステムの一部でもある特徴をもつものとし、社会システムのサブシステムとして捉える。前章までの検討内容を踏まえ、本章において提案する社会システムは3つのサブシステムから構成されるものとし、それぞれ、1) 里山管理システム、2) プラント運営システム、3) エネルギー利用システムとする。

本章の構成は以下のとおりである。まず、6.2「3つのサブシステムの概要」において、各サブシステムの概要と成立に向けた留意点について、近年の社会的動向等を踏まえながら検討を行う。続けて、6.3「里山管理システムの詳細検討」においては、とりわけ丁寧な議論が必要だと考えられる里山管理システムについて、研究対象地域内において確認された先進事例のケーススタディを通じた検討を行う。最後に、6.4「都市近郊里山の管理再生へ向けた社会システム」において、それら3つのサブシステムを包括的にまとめるものとして、バイオマスの利用による里山の管理再生に向けた社会システムを提示することを、本章の目的とする。

### 6.2 3つのサブシステムの概要

#### 6.2.1 里山管理システム

サブシステムにおける要素はシステムを構成する「主体」として考える。里山管理シ

<sup>24</sup> ここでいう「社会システム」は、社会学者タルコット・パーソンズ (Talcott Parsons)、ニクラス・ルーマン (Niklas Luhmann) らが提示した社会システム (Social system) の意では用いず、ある定められた範囲内の要素と要素間の関係の総体を示す「システム」の概念を、社会一般に適用したものとして捉える。

テムは、里山管理の担い手を主要な構成要素とし、そのほかに里山の所有者、地域住民、行政等の要素が存在し、それらの要素間を、森林計画や緑地計画等の公的計画が関連付けるシステムである。里山の管理を所有者自身が進めていくことは、たとえバイオマスの利用の観点から管理に対してインセンティブが与えられたとしても、労働力の点において困難だと考えられる。従って所有者以外の管理の担い手が必要となってくるが、第1章 1.1.1でも述べたように、既往の市民ボランティアの管理は限定的にならざるを得ず、新たな管理主体が必要とされる。この点に関しては、次節 6.3 において詳細に検討を行う。

また、里山管理システムは、プラント運営システムととくに密な関係をもつものである。プラント運営システムから里山のバイオマスに対して、原料調達費用（収穫・輸送コスト）として対価が支払われることにより、里山管理に対する経済的なインセンティブが働くことになる。こうした各サブシステム間の関係については、6.4 において検討を行う。

### 6.2.2 プラント運営システム

プラント運営システムは、廃棄物処理業者やエネルギー事業者等のプラント運営を担う中心的な主体を主要な構成要素とし、そのほかに建設解体業者や造園業者等のバイオマスの持ち込みに関わる主体、及び行政等の要素が存在し、それらの要素間を、木質バイオマスの複合利用に関する社会技術が関連付けるシステムである。同システムは、第5章において検討を行った「木質バイオマスの複合利用」を成立させるためのサブシステムである。

第5章においては、建設発生木材および緑地管理時剪定枝を対象とした複合利用について検討を行ったが、それぞれの取り扱いは法制度上異なっており、利用推進を阻害する律速要因のひとつとなっている。例えば建設発生木材は産業由来の廃棄物であり、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（通称「廃掃法」）にもとづき、産業廃棄物として扱われる一方、住宅地内の庭木から発生する剪定枝は、一般家庭から排出される廃棄物であり、通常一般廃棄物と呼ばれ、産業廃棄物とは別の取り扱いを受けることになっている。また、産業廃棄物は排出事業者処理責任がある一方、一般廃棄物は市町村に処理責任があり、両廃棄物を同一主体が併せて収集することには困難が伴う。なお里山から発生する間伐材については、本研究では有償価格での取引を想定しており、有価物として扱われるため、法律上、廃棄物とはみなされない。これらすべての木質バイオマスを一括して収集し、利用するシステムの構築に向けては、法制度間の整合を取り、手続きの煩雑化を防ぐための新たな社会技術の開発が必要とされるだろう。

### 6.2.3 エネルギー利用システム

エネルギー利用システムは、エネルギーの需要家である市民を主要な構成要素とし、そのほかに CO2 排出権取引に関わる企業や行政等の要素が存在し、それらの要素間を、再生可能エネルギーや排出権に関する市場を構成する諸制度等が関連付けるシステムである。同システムは、プラント運営システムによって生み出されたバイオマスエネルギーの利用を、社会に普及していくためのサブシステムである。

現在のところ、日本のエネルギー政策を牽引しているのは、RPS 法（電気事業者による

新エネルギー等の利用に関する特別措置法)にもとづく電気事業者への買取義務であるが、欧州各国と比較して日本の義務量はその10分の1程度と極めて低くおさえられており、導入を促す十分なインセンティブになっていないとの批判もある(飯田編, 2005)。これに対して、現在政府で検討が進められているのが、固定価格による再生エネルギー電力の全量買取制度である。固定価格制については、太陽光エネルギーに対して先行的に施策が進められているが、これをすべての再生可能エネルギー広げようというものである。資源エネルギー庁の試案によると、買取価格は一律20円/kWhとなっており(資源エネルギー庁, 2010b)、バイオマスの場合、現在のRPS法下における市場価格が7.5~8.7円であるため(資源エネルギー庁, 2010a)、新制度の下では経済性が格段に向上し、急速な導入が進む可能性がある<sup>25</sup>。しかし、この制度の実現に向けては国民負担が必須であり、再生可能エネルギーの導入に対する国民的理解が不可欠である。環境家計簿の普及を通じてCO2排出量の可視化を進め、温暖化に対するリスク認識や責任意識を高めたり、カーボンオフセット付き商品の販売推進等により排出権市場の内部経済化を進めたりする等、低炭素型のライフスタイルに関連した市場の整備や、新たな社会技術の開発も必要になってくると考えられる。第5章5.4.4で説明した、J-VER (Japanese-Verified Emission Reduction)等国内排出権取引制度のよりいっそうの推進も求められる。

### 6.3 里山管理システムの詳細検討

以上の整理を受けて、本節では、3つのサブシステムにおいてもとくに検討が必要だと考えられる里山管理システムについて、研究対象地において確認された先進事例の分析を通じて、具体的な仕組みを例示する。

以下では、森林法にもとづく「森林施業計画制度」を用いて都市近郊の里山管理を広範囲・面的に行っている、NPO法人こびすくらぶ(以下こびすくらぶ)の事例を取り上げる。こびすくらぶは、定年退職者を中心とした地域住民によって構成される里山管理団体である。後述するが、広範囲・面的な管理を実行している背景には、森林施業計画にもとづく森林所有者からの経済的支援がある。従って、こびすくらぶを中心主体とした里山管理システムは、一定の経済的なインセンティブにより、管理を円滑に進める仕組みを内包している点から着目されるが、管理によって発生したバイオマスの利用が課題となっている。

プラント運営システムとの適切な連携により、この部分に追加的なインセンティブを与えることができれば、より高度な管理や管理の面的拡大が期待され、里山再生に向けた社会システムの構築に資すると考えられる。以下、管理活動の実態把握や、管理を支えている制度についての調査から、上記の可能性について検討を行う。

<sup>25</sup> 現在でも輸入ペレットの取引量の増加していることが示唆するように、経済合理的に考えていくと、必ずしも国内の森林、とりわけ里山のバイオマスが優先的に利用の対象になるとは限らない。制度設計に向けては、国内の森林利用に対して適切な管理インセンティブがかかるように、その他バイオマス源との差異を図っておく必要がある。

なお具体的な調査は、1) 船橋森林施業計画に関わる主体へのインタビュー、2) こびすくらぶメンバーへの質問紙調査、3) 計画に関わる文献調査の3つであり、その概要は、以下の表 6-1 に示した通りである。以下の記述は、この3つの調査にもとづくものである。

表 6-1 こびすくらぶの活動に関する調査の概要

調査方法	対象	調査年月・時間	内容
インタビュー (直接面談方式)	① 行政担当者(県2名, 市1名) ② 森林所有者(船橋森林の会代表1名) ③ 里山管理団体メンバー (こびすくらぶ代表1名, 理事1名)	2009年4月-2010年4月 1人あたり平均2時間	① 団体等の概要 ② 活動の経緯 ③ 現状の課題
質問紙調査 (直接配布・後日郵送)	里山管理団体(こびすくらぶ) 主要メンバー25名 (役員および2010年度総会参加者) 配布数25, 回収数24(回収率96%)	2010年4月	① 入会のきっかけ・活動参加頻度 ② 重視する活動内容 (当該団体及びその他所属団体) ③ 活動の評価 (評定法: 余暇活動か労働か) ④ 現状の課題・考え
文献・資料調査	① 管理団体所有の作業日報 (2008年度および2009年度) ② 団体の定款・運営規程・総会資料・ 施業委託契約書 ③ 各種計画原本(船橋森林施業計画, 船橋森林整備計画書) ④ 船橋森林施業計画対象地図 (基図: 森林計画図)	2008年9月-2010年4月	① 活動場所の位置や面積の同定 ② 活動項目の把握 ③ 活動投下量, 作業効率の把握

### 6.3.1 NPO 法人こびすくらぶの概要



図 6-1 こびすくらぶの活動風景 (千葉県船橋市. 筆者撮影)

こびすくらぶは、千葉県船橋市において活動を行う、市民による里山管理団体である。「森林施業計画に基づく適正な森林の保全、整備及び育成」を主たる目的として、平成 17 年 2 月に、NPO 法人として設立された。同団体は、森林所有者 43 名から成る「船橋森林(もり)の会」と 10 年間の「森林施業受託契約」を結んでおり、同契約において、所有者から 1ha あたり 30,000 円の委託金を得て、里山管理を進めている。運営規定によると、メンバーには活動 1 時間あたり 700 円の謝金を与えることが定められており、活動は無償で行われてはいない。この点は、既往のボランティア団体と大きく異なる点だと考えられる。

こびすくらぶの初期メンバーは、船橋市において既に活動を行っていた 2 つの里山管理団体の所属者に対して、千葉県林業普及指導員（以下普及指導員）、船橋市担当職員の両名が声をかけ、有志を募ることにより集められた。その後、船橋市の事業である「森林整備養成講座・森林（もり）の学校」の卒業生らが新たに市民団体を立ち上げ、その中のメンバーの一部もこびすくらぶに加入することにより、現在の会員数は 46 名となっている（2010 年 4 月現在）。なお、こびすくらぶ専属のメンバーは 1 割にも満たず、9 割以上のメンバーが、かつて所属していた団体と兼務している状態にある。

現在の主要メンバー 24 名<sup>26</sup>の平均年齢は 64.5 歳であり、その 7 割が定年退職者である。メンバーのほとんどは管理対象とする里山が存在する地域から 5km 圏内に居住しており、地域住民といえる。地域住民 24 名中 13 名が労働安全衛生法に基づくチェーンソー講習を、19 名が同法に基づく刈り払い機講習を修了しており、さらに 5 名は自然観察指導員の資格を取得している。活動を通じて身につけていった技能も含め、メンバーは管理に関わる専門的技能を有していると考えられる。

### 6.3.2 船橋森林施業計画

森林施業計画は、森林法にもとづく森林計画のうち最も小スケールの計画であり、所有者自らが立案する、森林管理に関する実行計画である<sup>27</sup>。同計画の策定により、所有者は、計画に基づく森林管理を進めることが求められる一方、相続税等に対する税制優遇や施業に関わる補助金<sup>28</sup>を得ることができる。2001 年 7 月の森林法一部改正に伴い、森林所有者は、5 年以上の委託契約を結ぶことにより、施業計画の策定と実際の管理とを他者に託すことが可能となった。同改正を受けて、森林所有者とこびすくらぶとが受委託契約を結び成立した計画が、「船橋森林施業計画」である。なお、同改正に伴い、「森林と人との共生林」<sup>29</sup>に区分された森林に対しては、相続税の評価額が従来の 20%減から 40%減に優遇されることになった。これは、地価の高い都市近郊にあっては、所有者に対して有利な条件であり、所有者がこびすくらぶに対して支払っている謝金は、このことに伴う相続税の減免分を勘定し、支払われているものである。

<sup>26</sup> 2010 年度総会参加者及び役員を主要メンバーとした。表 6-1 の質問紙調査の回答者 24 名に該当する。

<sup>27</sup> 「森林所有者等が、自発的な意志に基づいて森林施業に関する 40 年以上の長期の方針と造林・保育・間伐・伐採などの 5 ヶ年計画を作成し、市町村長等の認定を受け、その計画に基づいて計画的かつ合理的な施行を行うことを期待するもの」である。

<sup>28</sup> 「税制」に関しては、所得税の軽減（20%控除）、相続税の軽減（ゾーニングの種類により 20～40%評価額減）、法人所有の場合は法人税に対する特別措置（植林費の損金への算出）がある。「融資」に関しては、農林漁業金融公庫融資のうち、造林資金、森林取得資金、施業転換資金に対する貸付利率、融資率等の優遇がある。「補助」については、森林整備事業（造林補助事業）の助成水準が優遇されるほか、森林整備地域活動支援交付金により、森林の現況調査等に対して交付金が交付される（林野庁、2005）。

<sup>29</sup> 森林の多面的機能の発揮を目的としたゾーニング区分の一種で、他に「水土保持林」「資源の循環利用林」がある。本研究の対象地である東葛飾地域の森林は、すべて「森林と人との共生林」に属している。

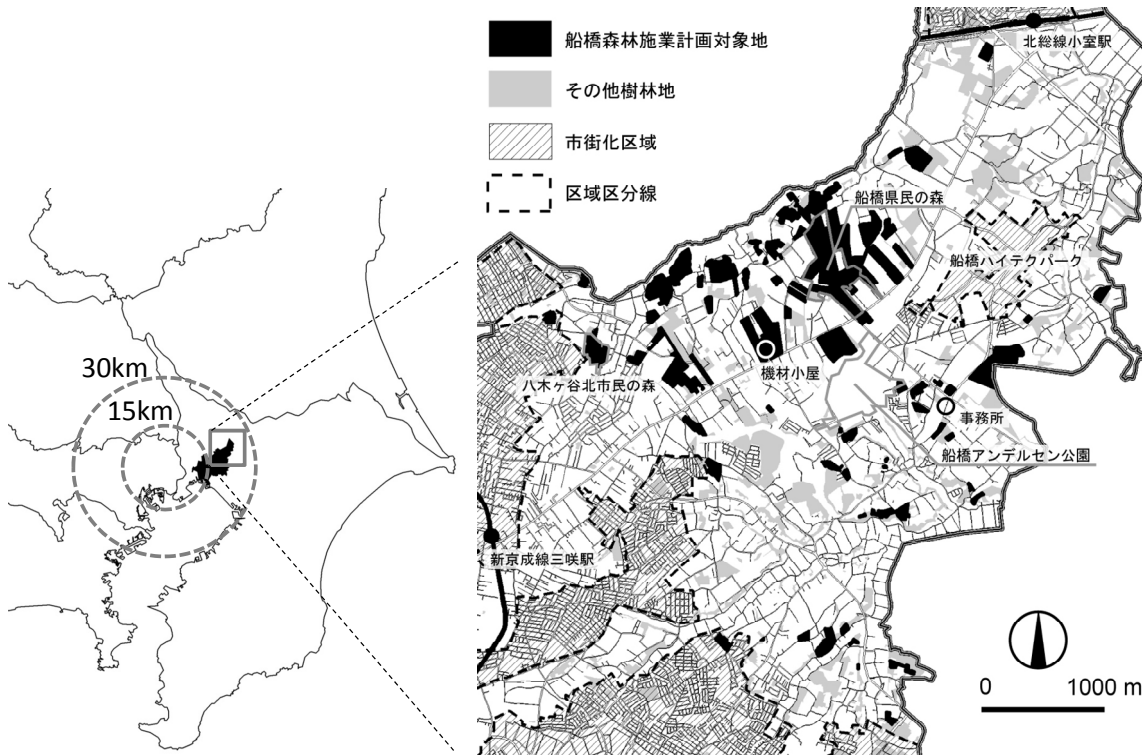


図 6-2 船橋森林施業計画の対象地

図 6-2 には、船橋森林施業計画の対象となっている里山の分布を示した。船橋森林施業計画は、2005 年 4 月 1 日に、船橋市北部の森林 96ha が認定を受けることによって樹立された（2010.4 現在 102ha に増加）。千葉県においては、2001 年の森林法改正後の現行制度において、延べ 73 箇所（延べ 10,771ha）の施業計画が認定を受けている。船橋森林施業計画はそのうち唯一、NPO 法人が委託を受け、策定、管理を行っているものである<sup>30</sup>。計画策定を働きかけたのは、現場の業務を担当していた千葉県林業普及指導員（以下普及指導員）と船橋市担当職員の両名であり、計画策定にあたっての団体間の調整や、計画書の作成補助、また実際の管理活動の技術指導なども行っている。

計画書によると、管理の基本的な目的は、保健休養や景観保全を中心とした環境保全機能の維持増進とされる。これら基本目的に基づき、5 ヶ年ごとの伐採材積、造林面積が計画されている。除伐・間伐は第 I 分期（1 年目～5 年目）に多く、主伐は第 V 分期（26 年目～30 年目）に多い。従って、既に管理が終了している第 I 分期（2005～2009 年）は、主伐・更新を伴う本格的な管理の前の初期整備、保育期間であり、管理放棄によって繁茂した植生や不法投棄されたゴミを取り除き、管理が容易な、見通しのよい里山への誘導する期間だといえる。当面、10 年間で 102ha の初期整備を完了することが目標となっている。

なお、先述した森林所有者 43 名から成る「船橋森林の会」は、2004 年 2 月に解散となっ

<sup>30</sup> 千葉県森林・林業統計書に基づく。一部担当者へのヒアリングにより補足した。

た旧船橋市森林組合の後継団体として設立された団体である。旧組合員 103 名のうち、森林施業計画に参加する意志を示した 43 名によって設立された。このことを踏まえ、図 6-3 には、船橋森林施業計画と関連する主体との関係を示した。

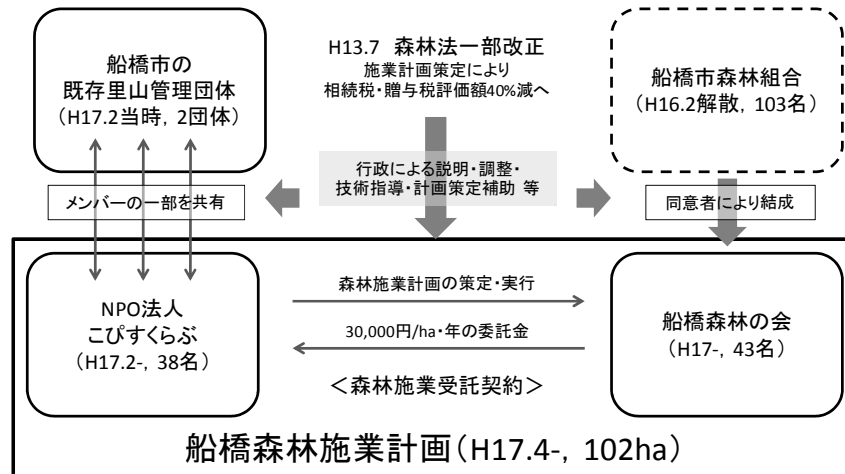


図 6-3 船橋森林施業計画と計画に関連する主体

### 6.3.3 管理活動の実態

森林施業計画にもとづくこびすくらぶの里山管理は、策定期間（5年）内における計画的実行が求められるが故に、既往の市民ボランティアによる管理と比較し、面的・広範囲なものになっていることが予想される。以下、1) 活動内容、2) 活動投下量、3) 作業効率の3点から管理活動の実態を把握した。

#### 1) 活動内容

2008年度と2009年度のこびすくらぶの作業日報に見られた活動内容を、表 6-2 に示した。各活動をさらに上位の項目にまとめた結果、「事前調査」「初期整備」「保育作業」「生産・環境整備」「その他」の5つに分類された。この分類を踏まえると、こびすくらぶの管理活動は、①里山に対する専門的調査により管理指針を決定し、②初期整備を経たのち、③保育作業を行い、④その間に発生した木材や竹材を、薪や防護柵等に加工するといったように、管理に関連する一連の流れに特化し、専門性を有した高度なものであると理解することができる。

#### 2) 活動投下量

図 6-4 には、2008年度及び2009年度の作業日報をもとに、各活動の投下量を集計した結果を示した。夏季と冬季とで活動に違いがみられると考えられたため、集計は、4月から9月までと、10月から3月までとの二期に分けて行った。また、

表 6-3 には、活動日数を基に、1日あたりの活動投下量を算出した結果を示した。管理面積は、団体計画担当者の集計（年次別延べ管理面積）に基づいている。



表 6-2 作業日報への記載が確認された活動の一覧

大項目	作業日報への記載内容	活動内容
事前調査	植生調査・作業前調査	標準地において、主要な高木の同定、樹高・胸高直径の測定を行うとともに、階層別に主な構成種を同定し、目標林型・管理指針を定める
	境界測量	測量機器を用いて、多角(トラバース)測量により、林分の面積を正確に測量する作業
初期整備	除伐・つる切り	チェーンソー・刈り払い機・ナタ・ノコギリを用いて、不要な中高木、枯死木、低木・ササ、ツル植物等を取り除く作業
	伐竹	林種転換を行うため、チェーンソー・ノコギリを用いて竹林を皆伐する作業
保育作業	地拵え・植栽	刈り払い機を用いて、雑草、雑木等を取り除いた上で、広葉樹(クヌギ・コナラ等)や、針葉樹(抵抗性アカマツ・スギ等)の苗木を植栽する作業
	下刈り	刈り払い機を用いて、植栽後の数年間、幼木の成長を阻害する下草等を刈り取る作業 ※森林成立後のササ・低木等の除去は、「除伐」に含まれる
	間伐	残存木の成長を促すために、針葉樹林の立木密度を疎にする作業 主にチェーンソー、必要に応じて刈り払い機等を用いて行われる
	枝打ち	節のない付加価値の高い材を得るために、針葉樹の下枝や枯枝を切り落とす作業、ノコギリを用いた手作業で行われる
生産・環境整備	生産	薪割り機を用いて伐採木を薪へ加工したり、原木シイタケやタケノコの生産を行う作業
	防護柵設置	伐竹作業によって発生したタケを利用し、柵を編み込み、設置する作業 周囲からの見通しがよく、目立つ林分に対して設置される
その他	特になし	ゴミ拾い、絆の森整備事業検査・書類作成、イベント片づけ、テップならし・砂利敷き 等

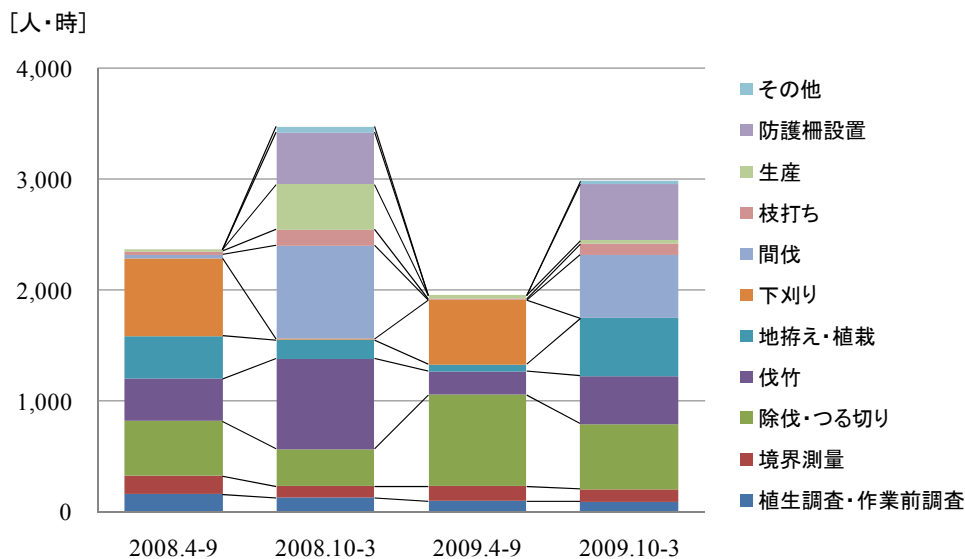


図 6-4 活動投下量の推移

活動投下量は、夏季が約 2,000~2,400 人・時、冬季が 3,000~3,500 人・時であり、季節によって差が見られた。これは、8 月は休暇とし、活動を行わないため、夏季は活動日数そのものが少ないことと、間伐や枝打ち、防護柵設置等、冬季に集中して行う作業が存在することが関係していると考えられる。活動日数は、2008 年度が 95 日、2009 年度が 84 日であり、概ね年間 90 日間の活動を行っていた。月あたりの活動日数は、約 8 日間である。市民団体が管理活動を行う平均的な頻度は、月に 1~3 回とされるため（日本自然保護協会、

2002), こびすくらぶにおいては, 他団体と比較して高頻度で活動が行われ, それに応じて年間の活動投下量も高い値になっていると考えられた.

日当たりの活動投下量には各年度, 季節によってそれほど大差はなく, 平均値は 60.38 人・時であった. こびすくらぶの管理活動は 1 日 5 時間であるため, 1 日の標準的な活動参加人数は 12.1 人である. 年間管理面積をこの値で除すると, 1 人あたり年間約 1.55ha の管理を進めてきた計算となる. 市民ボランティアの場合, 1 人あたり年間約 0.1ha の管理が目安とされるため (中川, 1996), この結果は, ボランティア活動と比較して, 施業計画に基づいたこびすくらぶの活動投下量が極めて多いことを示しており, 同時に施業計画の実効性の高さを示している.

表 6-3 活動日数と一日あたり活動量

年	月	活動投下量 (人・時)	活動日数 (日)	1日あたり投下量 (人・時)	管理面積 (ha)
2008	4-9	2365.5	36	65.7	16.0
	10-3	3469.5	59	58.8	
2009	4-9	1950	34	57.4	21.5
	10-3	2982	50	59.6	

### 3) 作業効率

表 6-4 には, 活動投下量が多かった除伐・間伐作業について, 活動の効率を比較した結果を示した. 比較対象は, 市民参画型の里山管理の効率の把握を目的とした谷崎ら (2005) と, 千葉県におけるプロの林業事業体 (森林組合等) とし, 極力条件が近い作業を比較対象として選択した. 林業事業体の作業効率は, 千葉県下の作業員による平均値が記された千葉県資料 (作業歩掛り表) から算出した.

表 6-4 除伐・間伐の作業効率の比較

活動	参考	作業効率	内容
除伐 (下草刈りを含む)	谷崎ら, 2005 (一般の市民団体)	209 m <sup>2</sup> /人・日	刈り払い機を全員使用. 平均傾斜度31.5度のクスギ・コナラ林に対して, 下草を刈り取る
	こびすくらぶ	308 m <sup>2</sup> /人・日	チェーンソー・刈り払い機を併用. ほぼ平坦地の落葉広葉樹二次林, スギ・ヒノキ植林に対して, 不要な樹木を除去し, ササ・低木類を刈り取る
	千葉県資料 (林業事業体)	573 m <sup>2</sup> /人・日	チェーンソー・刈り払い機を併用. 傾斜20度未満のスギ・ヒノキ林に対して, 森林組合等プロの技能者が間伐した場合を想定
間伐	谷崎ら, 2005 (一般の市民団体)	6.59 本/人・日	チェーンソー・刈り払い機を併用. 平均傾斜度19度, 平均高木・亜高木立木密度3800本/haの広葉樹林・針広混交林に対して, 本数間伐率30%で間伐が行われたことを仮定
	こびすくらぶ	13.3 本/人・日	チェーンソー・刈り払い機を併用. ほぼ平坦地, 高木密度990本/haの針広混交林に対して, 本数間伐率30%で間伐
	千葉県資料 (林業事業体)	30.1 本/人・日	チェーンソー・刈り払い機を併用. 傾斜20度未満のスギ・ヒノキ林に対して, 森林組合等プロの技能者が間伐した場合を想定

比較条件を統一する事が今後の課題だが、こびすくらの作業効率は、一般の市民団体に対して約 1.5~2.0 倍、プロの林業事業体に対して約 1/2 といったように、一般の市民団体とプロの林業事業体との中間にあることが示唆された。この値は、施業計画に基づいた迅速な管理の遂行が求められた結果、一般の市民団体の効率は大きく上回ったが、メンバーの高齢化や一定のゆとりを求める活動姿勢等を原因として、プロの効率には及ばなかった結果と考えられる。

### 6.3.4 活動に対するメンバーの評価と課題

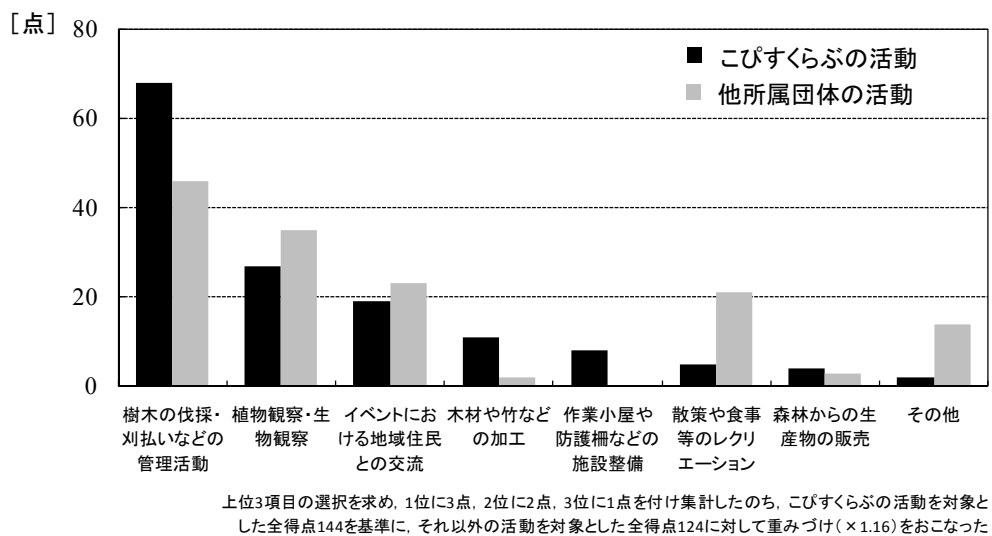


図 6-5 重視する活動内容の比較

上記のような活動実態に対する評価を得るため、質問紙調査により、こびすくらの主要メンバーに対して、こびすくらと、他の所属団体とにおいて、それぞれ重視する活動を尋ねた(図 6-5)。結果をみると、両者共に「樹木の伐採・刈払いなどの管理活動」を最も重視しており、いずれも管理を主目的とした団体であることが分かる。しかしながら、他の所属団体においては、「植物観察・生物観察」「イベントにおける地域住民との交流」「散策や食事等のレクリエーション」も相対的に重視されており、こびすくらは、より管理に特化した団体であることが分かる。また、別の質問項目にて、それぞれの団体における活動が「労働(5)」であるのか「余暇活動(1)」であるのかについて、評定法にて5段階評価を求めたところ、こびすくらの活動が平均評点 3.5 で労働に近い一方、他所属団体における活動は評点 1.9 と、余暇活動に近いものであった。

これらの結果から、施業計画に基づく管理活動の内容は、専門性を有した高度なものである一方、余暇的な側面が少なく、労働に近い特徴を有するものであるといえる。このような活動内容に対して、メンバーからは、「お金を預かっているので、労働として責任を果

たすべき」<sup>31</sup>といった声が多く聞かれ、労働に対する責任の念をもって活動していると考えられる。その一方、「作業に追われている」「仕上がりの達成感を味わう間もなく、次々に森を渡り歩いている」等の意見も同様に多く聞かれ<sup>32</sup>、活動内容には改善を求めている側面が見受けられた。つまり現状では、施業計画に基づき適正に管理を実行することに殆どの労力が使われており、活動の振り返りや、改善点のフィードバック、あるいは管理活動を生業としたときのマイナーサブシステム<sup>33</sup>等に対する機会が確保されていないため、労働的な活動に対する充実感や達成感が十分に得られていないものと考えられる。また、メンバーの一部からは、「それでも楽しみながら、余暇気分もどこかにある」「森での作業が楽しいのが本心」との意見も聞かれたため<sup>34</sup>、労働的な活動の中にも一定の余暇的要素を見出すことも可能であると考えられる。施業計画に基づく管理をより充実したものにしていくためには、上記のような点に留意する必要があると考えられた。

### 6.3.5 バイオマスの利用



図 6-6 林内に山積されるバイオマス

上記のような高頻度の活動を行っているため、こびすくらの管理に付随して、すでに大量のバイオマスが発生している。バイオマスの活用方法としては薪としての販売が考案されており、既に一定量が加工されているが、地域の需要と結びついていないために、有効に活用されていない（図 6-6）。こうした状況は、活動のより広域な展開や、皆伐を伴う高度な管理の実行を妨げる一要因になっているものと考えられる。これに対して、本研究で検討してきたように、地域におけるバイオマス利用の一端として、収穫・輸送コストに

<sup>31</sup> 質問紙調査の自由回答欄への記載内容に基づく。

<sup>32</sup> 同上。

<sup>33</sup> 主たる生業活動（サブシステム）に対する言葉で、副次的な生業活動のことを指す。鬼頭（1999）は、現在里山が見直されていることの意味を、「経済性重視の農業や林業の形態の中で軽視され見失われてきたマイナー・サブシステムを、その地域の自然とのかかわりという点からもう一度見直し、その地域での自然に関わる「遊び」などの文化と関連づけながら再考していくこと」だと述べている（鬼頭，1999）。

<sup>34</sup> 質問紙調査の自由回答欄への記載内容に基づく。

関して一定の経済的支援を行うことができれば、こびすくらの活動に対して追加的なインセンティブが与えられ、活動の発展が可能になるものと考えられる。

### 6.3.6 まとめと展望

以上より、こびすくらの行っている里山管理は、森林施業計画に基づき森林所有者との協力関係を築いた上で、一定の経済的インセンティブのもと、高頻度、高効率で行われているものであった。その労働力は、プロの森林組合と、ボランティアとの中間に位置づけられ、既存の市民ボランティアとは異なった特徴をもつものと考えられた。船橋市における里山の面積は、第1章(1.6.3)に示したように、約700ha(クヌギ・コナラ林およびスギ林の合計)である。このうちの100ha、約15%が既にこびすくらぶによって管理されている事実は、見過ごしてはならないだろう。

こうした先進的な活動をバイオマス利用の観点から支援することにより、さらに、残りの都市近郊里山の面的管理の実現が期待される。なお、こびすくらの活動に関連する里山管理システムの成立要件としては、1) 市民による既存の管理活動の存在、2) 旧森林組合等の森林所有者のネットワークの存在、3) 両者のコーディネートと計画策定・管理活動の支援を行う行政官の存在、の3点が重要であったと考えられる。とりわけ、森林所有者と市民とをコーディネートする役割を担う行政官の存在は重要である。実際に、こびすくらの成立を支援した行政官が、実際に本研究対象地内の別箇所において支援を行い、こびすくらぶと類似した仕組みの下で団体を立ち上げている<sup>35</sup>。同様の活動を他地域に波及していくためには、このような社会的条件を整えていくことが必要である。

## 6.4 都市近郊里山の管理再生へ向けた社会システム

図6-7には、バイオマスのエネルギー利用による都市近郊里山の管理再生の実現へ向け、これまでの検討内容をまとめ、「里山管理システム」「プラント運営システム」「エネルギー利用システム」の3つのサブシステムを包括した社会システムを提示した。ここでは、各サブシステムが社会システムを構成する要素として捉えられ、要素間の関連づけがなされている。

里山管理システムは、こびすくらの事例を通じて示されたように、NPO 法人を中心的な主体として、森林施業計画や所有者との受委託契約等の仕組みによって構成されるサブシステムである。同システムは、とくにプラント運営システムと密接な関係をもつ。プラント運営システムは、プラント運営を行う企業を中心主体として、バイオマスの複合利用

<sup>35</sup> 柏市旧沼南町にて活動を行う「手賀沼森友会」が、2006年9月に設立されている。同団体は、森林所有者と森林法にもとづく森林施業実施協定を結び、法にもとづいたかたちで森林管理の担い手となっている。より多くの森林所有者の賛同を得て、管理対象となる森林が設立条件の30haに達することができれば、将来的にはこびすくらぶと同様に、森林施業計画の策定を見通している。

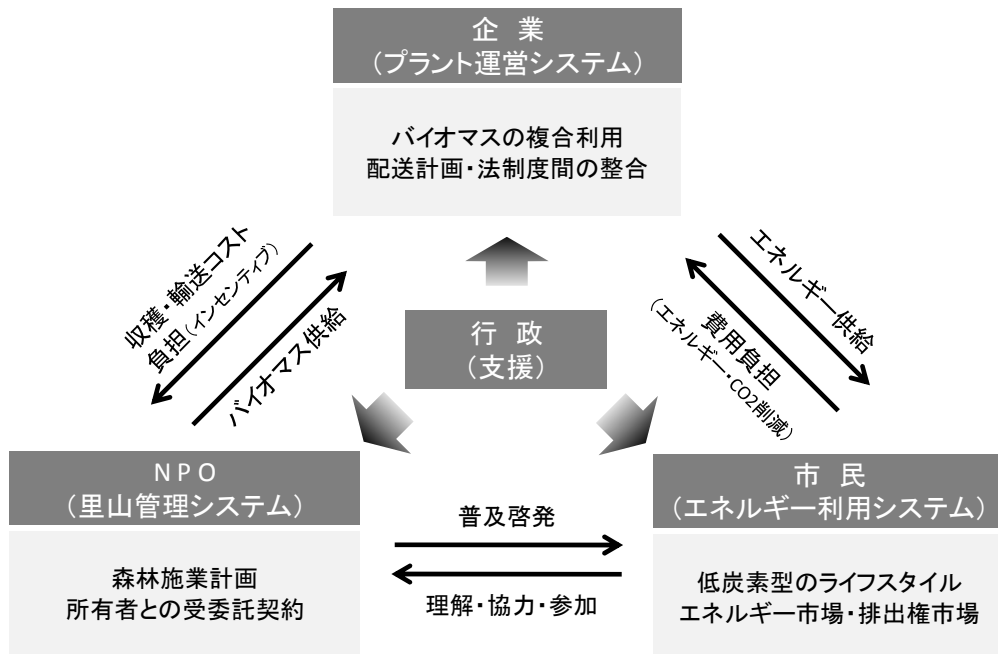


図 6-7 都市近郊里山の再生へ向けた社会システム

の推進を目的とし、複合利用の実現に向けた法制度間の整合、バイオマス配送計画等の社会技術によって構成されるサブシステムである。同システムが機能することにより、第5章で検討を行ったように、里山管理システムに対して経済的なインセンティブが付加される。同インセンティブにより、里山管理システムはより広範に適用され、バイオマスの安定供給に資するようになる。エネルギー利用システムは、再生可能エネルギーの主な需要家である市民を中心主体として、低炭素型のライフスタイルに支えられ、エネルギー市場や排出権市場とそれに関連する制度によって構成されるサブシステムである。同システムは、プラント運営システムから供給されるエネルギーに対する需要を創出するためのシステムであり、プラント運営システムに対して費用負担を行う。里山管理システムとエネルギー利用システムとは、里山管理システムの中心主体であるNPO法人が、エネルギー利用システムの中心主体である市民に対して間接的、直接的な普及啓発を行ったり、逆にそれに対する対応として、市民がNPO法人の活動に対して、理解、協力、または参加を行う相互関係にある。この2つのサブシステム間の関係は、バイオマスエネルギーの需要家がバイオマスの供給源に対する理解を深める上で重要であり、鬼頭（1996）の「社会的リンク論<sup>36</sup>」における「切り身の構造」に至らないようにするためには、不可欠な関係だと言える。

<sup>36</sup> 社会的リンク論は、「切り身」と「生身」という2つの概念を用いて、人と自然との関係のあり方についての規範的な構造を明らかにしようとする理論である。ここでは、自然に働きかけ、そこから糧を得て再生産を繰り返そうとする、経済的・社会的なリンクと、自然に対する精神的な思いや価値、その表象としての文化的・社会的リンクとが存在し、2つのリンクがトータルに結びつき、統合性（integrity）がある状態を「生身の構造」として、

なお、提示された社会システムの実装に向けては、以下の2つが重要になると考えられる。ひとつは、行政の支援である。3つのサブシステムは多様な部局の担当下にあり、例えば、農政、緑政、都市計画、環境政策、環境保全、新エネルギー、廃棄物等の部局による公的支援が不可欠である。具体的には、里山管理システムにおいては、所有者への相続税の減免措置、ゾーニング指定による計画的な位置づけの獲得と維持管理に対する費用負担など、プラント運営システムにおいては、プラント建設費用の補助、廃棄物収集ネットワークの援用など、エネルギー利用システムにおいては、需要家の環境意識向上のためのソフト政策、排出権の認証機関の組織化などの支援が考えられる。

もうひとつは、3つのサブシステムの連携を強めるための、総合的、包括的な計画の存在である。同計画は、地域環境向上計画や、地域のサステナビリティ（持続可能性）向上計画といったように、3つのサブシステムの連携によって達成される、環境保全、環境負荷の低減を含めた総合的な計画として運用されることが望ましい。同計画の主な目的は、各サブシステムにおける個々の計画の調整にあると考えられる。また、行政間の連携のための計画的プラットフォームとしても機能すると考えられる。

本研究で提示した社会システムは現実のものとして実装されるには至っておらず、今後社会実験等を通じて、範囲を限定した上で実証的な検討を進めていくべきものと考えられる。そのためには、まず、各サブシステムを構成する要素の洗い出しを行い、現状における要素間の関係を整理し、システム構築に向けた道筋をたてる必要がある。さらに、総体としての社会システムの構築に向けては、あるひとまとまりの地域を単位として、サブシステムどうしが連携するように設計を進めていくことが必要だと考えられる。地域を限定することにより、各サブシステムの中心主体が、地域環境の向上という共通目的に対して行動することが期待される。

本章において提示された社会システムは、とくに都市的特徴を有する地域において、現代的なバイオマスの利用により里山管理の再生を考えていく際のひとつの具体的解として位置付けられる。提示したシステムを具体化し、一般化していくためには、環境学的アプローチにもとづき、自然科学、社会科学の両側面を含めた総合的な検討が不可欠だと考えられる。

---

規範的な理念系として捉えている。一方、とりわけ産業革命以後、いわゆる自然の収奪、搾取を繰り返してきたなかで、生物資源の経済的な価値、とくに市場経済的な価値を生み出す機能的な側面に着目し、それを最大限得ようとする試みを「切り身の構造」としている。切り身の構造では、市場経済のなかで社会的・経済的リンク台頭し、文化的・宗教的リンクが切断された状態になっており、統合性もなくバラバラな状態にある。生身の構造は伝統社会において比較的広範にみられるが、ここでは理念系としての規範的な構造として捉えているため、伝統社会における生活を取り戻すのではなく、新たなリンクの構築を含めて、理念系としての規範的構造を取り戻すことが重要となる（鬼頭、1996；2009）。

## 第7章 結論

### 7.1 本研究の結論

各章を通じて得られた知見を以下にまとめる。

第1章では、社会背景の整理から、都市近郊里山の管理放棄の問題に対して、木質バイオマスのエネルギー利用によるインセンティブの付与による解決可能性を検討する必要性を指摘した。さらに、既往研究のレビューから、人の管理に基づく都市近郊里山のバイオマス発生量の評価、バイオマスのエネルギー利用面からの評価、バイオマス利用に関する実現可能性の評価の3点が不足していることを指摘した。そして、本論文の目的として「里山管理に伴うバイオマス発生量の解明」、「発生したバイオマスをエネルギー利用した場合の効果の解明」、「里山のバイオマス利用のコスト面からの評価とその低減策の検討」の3点を設定し、それらの検討を通じて、木質バイオマスのエネルギー利用を通じた都市近郊里山の管理再生についての計画的基礎を提示することを、本研究の目的として掲げた。

第2章「里山管理に伴う木質バイオマス発生量の推定」は、本研究の第1の目的に対応している。ここでは、発生量を推定するにあたり、まず、里山のバイオマス現存量を、現地調査、林業センサス、収穫表、および相対成長推定式を用いて明らかにし、次いで、複数の里山管理シナリオを設定し、それらのシナリオを実行した際のバイオマス発生量について、林分成長シミュレーションによる推定を行った。

現存量の値は、既往のデータが不十分であるクヌギ・コナラ林に対しては現地調査を基本とした推定を行い、スギ林に対しては林業センサスや収穫表の値を用いた推定を行った。その結果、研究対象地である千葉県北部・東葛飾地域を代表するモデル林分を想定した場合、クヌギ・コナラ林は139dt/ha、スギ林は164dt/haの現存量を有していると推定された。データの蓄積が不十分なクヌギ・コナラ林に対しては、既往研究の成果と概ね一致したことにより、推定の妥当性が確認された。

次いで、得られた値をシミュレーションモデルの初期値として入力し、60年間の林分成長シミュレーションにより、里山管理時のバイオマス発生量を明らかにした。管理シナリオは、様々な環境保全機能の発現を意図して、「景観保全」、「休息レクリエーション」、「運動レクリエーション」、「ランドスケープ多様性」の4パターンを設定した。バイオマス発生量の原単位は、クヌギ・コナラ林に対して管理シナリオごとに0.50~3.91dt/ha・yr、スギ林に対して0.37~4.54dt/ha・yrとなり、成長のよさから、スギ林のほうが高い潜在性を有していた。さらに、研究対象地における総発生量は、管理シナリオごとに2,380~19,910dt/yとなり、シナリオにおける人為の強さとバイオマス発生量が比例する関係が確認され、立



木の皆伐を伴うランドスケープ多様性型の管理において、発生量が最大となった。

第3章「里山由来バイオマスによるエネルギー供給可能量・CO<sub>2</sub>削減効果の推定」は、本研究における第2の目的に対応し、第2章で得られた発生量の値を、バイオマス発電による電力供給、CO<sub>2</sub>削減効果の2点から評価することにより、エネルギー利用時の効果を解明した。その結果、里山管理によって発生する2,380~19,910dt/haのバイオマスは、ガス化発電プラントにおける発電を考える場合、3.7~39百万kWhの電力へ変換可能であり、その際の電力供給可能世帯数は、830~8,800世帯となった。この値は対象地の全世帯に対して0.08~0.82%であり、エネルギー自給という観点からは限定的な値であったが、バイオマスエネルギーの導入目標値に対しては、8.5~90%となり、とくにランドスケープ多様性型の管理において高いポテンシャルが確認された。

次いでCO<sub>2</sub>削減効果からの評価を行った。バイオマス利用によるCO<sub>2</sub>排出量の削減と、CO<sub>2</sub>吸収固定量とのあいだにはトレード・オフの関係がみられたが、その収支で評価した際の削減可能量は、管理シナリオごとに10,363~21,048t-CO<sub>2</sub>となり、ランドスケープ多様性型の管理シナリオが、最もCO<sub>2</sub>を削減しうるシナリオとして評価された。また、その際のCO<sub>2</sub>削減目標値に対する達成率は58~119%となり、ランドスケープ多様性型の管理においては削減目標を達成可能であった。ランドスケープ多様性型のシナリオは、とくにクヌギ・コナラ林に限っていえば、かつて里山で行われていた農用林、薪炭林としての管理手法に類するものであり、歴史的な管理手法に近いものである。長年日本において営まれてきた歴史的な資源管理の手法が、現代的な課題であるCO<sub>2</sub>削減の観点から、最も高く評価された。

第4章および第5章は、本研究における第3の研究目的である、「里山のバイオマス利用のコスト面からの評価およびその低減策の検討」に対応している。第4章では、バイオマス利用の実現に向けた障害としてまず挙げられる収穫・輸送コストに着目し、里山由来のバイオマスを利用する際のコストの推定を行った。第5章では、コスト低減策のひとつとして、木質バイオマスの複合利用を掲げ、バイオマス発生量、エネルギー供給可能量、CO<sub>2</sub>削減効果、および事業性の観点から評価を行った。

第4章「里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストの推定」においては、山間部の森林との相対的な比較と、管理シナリオを適用する際のコストおよびプラント運営の事業性の2点から検討を行った。下総台地の里山（平地林）と秩父地域の森林をケーススタディに選び比較したところ、下総台地の里山はバイオマスの収集距離については劣位であった一方、平均傾斜度や集材距離に対して優位であり、結果として収穫・輸送コストの平均値は、秩父地域に対して約15%（1,600円/dt）優位であった。また、東葛飾地域の里山を対象に、最も高いポテンシャルを有するランドスケープ多様性型のシナリオを適用した場合のコストを推定したところ、すべての里山から19,910dt/yrのバイオマスを収穫し、輸送することを想定した場合、コストの総額は19.4百万円であり、単位重量あたりの平均コスト

は 9,716 円/dt であった。この値をもとにバイオマスプラントの運営に係るランニングコストを推定したところ、バイオマスの収穫・輸送に関わるコストは、全コストの 45% を占めており、単位電力量あたりの発電コストは 11.1 円/kWh となった。現行 RPS 法にもとづく取引価格 (7.5~8.7 円/kWh) との比較から、バイオマスプラント運営の事業性は低いと判断され、コストの削減や追加的な収入確保についての検討が不可欠だと結論づけられた。

第 5 章「木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果の推定」においては、里山のバイオマス利用の実現可能性を高めるために、総合的・複合的なバイオマスの利用システムのもとに里山のバイオマス利用を位置付けるという提案を行い、同システムによるバイオマス収集可能量、エネルギー供給可能量、CO<sub>2</sub> 削減効果、およびシステムの経済性に関する実証的な検討を行った。その結果、まず、複合利用による木質バイオマス収集可能量は 35,840dt/yr となり、里山単独のバイオマス利用と比較して 1.9 倍のバイオマスが収集可能だとされた。さらにその際の電力供給可能量は 74.0 百万 kWh となり、この値は 16,800 世帯 (研究対象地の 1.55%) の電力需要を満たすものであり、バイオマスエネルギーの導入目標値に対して 172% の達成率をとった。CO<sub>2</sub> 削減効果は 51,600t-CO<sub>2</sub>/yr と推定され、研究対象地における削減目標に対して 291% の達成率となり、CO<sub>2</sub> 削減策としてポテンシャルが高いことが示された。最後に、事業性に対する評価を行った結果、RPS 法に基づく電力取引価格を下回るコスト (5.28 円/kWh) で電力の生産が可能となり、複合利用は事業性を有すると評価され、里山のバイオマス利用の実現可能性が示唆された。さらに事業性を高めていくためには、国内排出権取引制度等のスキームを活用することが有効であると考えられた。木質バイオマスの複合利用は、里山のみならず、公園緑地や街路樹、公共施設内の緑地や民有緑地といった様々な緑地の管理促進にもつながると考えられ、地域に分布する緑地全体の質の向上にも資する可能性をもつものである。経済的な視点に加え、このような環境保全上の多様なメリットを踏まえた上で、里山のバイオマス利用を総合的なバイオマス利用システムの下に位置付けていくことにより、里山の管理再生に対する実効的なインセンティブが確保されるものと考えられた。

最後に、第 6 章「計画の実現に向けた社会システムの検討」においては、前章までの検討内容の社会実装に向けた課題を検討するものとして、木質バイオマスのエネルギー利用による都市近郊里山の管理再生を実現するための具体的な社会システムを、「里山管理システム」「プラント運営システム」「エネルギー利用システム」の 3 つのサブシステムの総体として提示した。

これらの検討により、第 1 章で述べた 3 つの研究課題を通じて基礎的な知見が得られたものと考えられ、さらに、第 6 章において里山の管理再生に向けた社会システムのあり方を提示したことにより、本研究の目的である、木質バイオマスのエネルギー利用による都市近郊里山の管理再生に関する計画的基礎の提示がなされたものと考えられた。

## 7.2 今後の課題

木質バイオマスのエネルギー利用の観点からの都市近郊里山の管理再生という命題は、未だ緒についたばかりであり、本研究では、里山管理の再生に向けた最も基礎的な課題の検討が行われたにすぎない。従って、今後の研究に向けた課題は、本研究で使用した評価の枠組みのブラッシュアップ、および一般性の獲得に向けたケーススタディの積み重ねにあると考えられる。

具体的にいくつかの課題を述べる。まず、バイオマス発生量の推定に関しては、里山の管理を考えるにあたり重要な項目である、林床管理に対する推定の精度を上げる必要がある。従来、里山の林床管理は、レクリエーションや景観保全、もしくは生物相の保全等、環境保全の観点から論じられてきたこともあり、バイオマスの発生という観点にたったときの研究資料が不足している。また林床管理は、立木の管理と密な関係をもつため、2つの管理は本来複合的に捉えられるべきである。本研究では、データの不足から立木管理と林床管理とを独立にとらえざるを得なかったが、今後は現地における管理実験を繰り返し、モニタリングを行うなどして、両管理を併せて捉えるための基礎的なデータの取得が必要となるだろう。

また、バイオマス利用に関するコストの推定に関しても、同様に里山を対象とした検討が不足しており、本研究においても山間部森林に適用された既往の推定式を援用せざるをえなかった。今後は、都市近郊という立地を考え、林業事業者のみならず、第6章で提示したようなNPO法人による管理をも想定した上で、バイオマスの収穫や輸送に関わるコスト算定式を開発すべきであろう。その際、プロの管理とは異なるため、施業の効率性のみを求めるのではなく、里山環境の享受を活動の目的に含み、その際の適切な労働力の算定を行えるように工夫するなど、産業としての林業とは異なった観点の下で、コスト算定式を開発することが必要となるだろう。こうした研究課題に対しても、まずは基礎的なデータの取得が積み重ねられる必要がある。

本研究で用いた手法のひとつに、第2章で提示した「里山管理シナリオ」の評価があるが、本研究では、バイオマス利用の観点から最もポテンシャルの高いシナリオの同定を目的とし、個々のシナリオの地域への面的展開を仮定した評価を行った。今後の研究の方向としては、バイオマス利用と様々な生態系サービスとの調和を図るために、生態系サービスの最大化を目的としたシナリオを設定し、同シナリオの実行によるバイオマス発生量の推定を行うことが考えられる。本研究で用いたシミュレーション手法を応用することにより、様々な生態系サービス<sup>37</sup>の発揮を意図した管理を設定することができるため、同推定は、

---

<sup>37</sup> 供給サービス（食糧、淡水、木材および繊維、燃料、その他）、調整サービス（気候調整、洪水制御、疫病制御、水の浄化、その他）、文化サービス（審美的、精神的、教育的、レク

本研究の成果を活かした継続的な研究課題として位置付けられる。なお、生態系サービスの考え方については、国連ミレニアムエコシステム評価において検討が進められているため(国連ミレニアムエコシステム評価編, 2007), 現実施策との対応をとるという意味でも, 研究課題の重要性が指摘できる。

最後に, 本研究の結果は, 地域特性に大きく依存する事項を扱っているため, 東葛飾地域という対象地の特性に大きく依存している。本研究が遂行されたことの学術的意義は, 普遍的な値の算出ではなく, 里山の管理再生を, 木質バイオマスのエネルギー利用から評価するための枠組みを提示したことにあつたと考えている。しかし, 同様の評価の枠組みが他地域において通用するか否かについては, 異なる地形条件, 社会条件, 自然条件を有した様々な地域におけるケーススタディの遂行が不可欠であり, 研究手法の適用範囲の同定と, 現実施策への反映に向けた継続的な研究が必要だと考えている。

---

リエーション的, その他), 基盤サービス(栄養塩の循環, 土壌形成, 一次生産, その他)の4つのサービスから成る(国連ミレニアムエコシステム評価編, 2007)。本研究における「管理シナリオ」との関係を考えてみると, 例えばバイオマスの収穫は供給サービスの重視につながる一方, 過度な収穫は土壌有機物の減少につながるとして, 基盤サービスを損なう可能性をもっている。従って, 生態系サービスの最大化を狙う場合は, 里山自身の生態的特徴や, 周辺環境の特性を判断材料とした, 様々な管理シナリオの組み合わせに関する兼用が必要になると考えられる。

## 初出一覧

本研究に関連する論文（全編査読付き）の初出は以下のとおりである。なお、以下の論文は、本論文に収録する段階で大幅な加筆・改定・再構成を施している。

### 第2章 里山管理に伴う木質バイオマス発生量の推定

1. 寺田 徹・横張 真・田中伸彦（2007）：バイオマスエネルギーの活用からみた平地林管理シナリオの評価，ランドスケープ研究 70(5)，673-676
2. 田中伸彦・寺田 徹・雨宮 護・横張 真（2008）：レクリエーションのための森林空間整備に伴うバイオマス資源利用の可能性，関東森林研究 59，13-16

### 第3章 里山由来バイオマスの利用によるエネルギー供給可能量・CO<sub>2</sub>削減効果の解明

3. Terada, T., Yokohari, M., Bolthouse, J., and Tanaka, N.: "Refueling" Satoyama Woodland Restoration in Japan: Enhancing Restoration Practice and Experiences through Wood Fuel Utilization, Nature and Culture 5(3), 251-276.

### 第4章 里山のバイオマス利用に伴う収穫・輸送コストの推定

4. 寺田 徹・横張 真・田中伸彦：収穫・輸送コストからみた都市近郊部平地林の木質バイオマス利用の可能性，ランドスケープ研究 73(5)，663-666

### 第5章 木質バイオマスの複合利用によるコスト低減効果の推定

5. 寺田 徹・横張 真・田中伸彦（2009）：大都市郊外部における緑地管理及び木質バイオマス利用による CO<sub>2</sub> 固定量／排出削減量の推定，ランドスケープ研究 72(5)，723-726

### 第6章 計画の実現に向けた社会システムの検討

6. 寺田 徹・横張 真・ジェイ ボルトハウス・松本 類志：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，農村計画論文集 29，179-184.

## 引用文献・HP

## [A]

- ・ 秋山俊夫 (1980) : 木質系エネルギー活用促進調査. 森林計画研究会会報 251, 30-34.
- ・ 青柳みどり (1989) : 森林の持つ生活環境保全機能の評価に関する研究－住民意識にもとづく評価指標の作成－. 農村計画学会誌 8 (2), 22-34.
- ・ 有賀一広・吉岡拓如・櫻井 倫 (2006a) : 中山間地域における木材および森林バイオマス資源の長期的な利用可能性－ランダムサーチを用いた収穫量の平準化－. 森林利用学会誌 21 (1), 49-59.
- ・ 有賀一広・田坂聡明・吉岡拓如・櫻井 倫・小林洋司 (2006b) : 中山間地域における木材および森林バイオマス資源の長期的な利用可能性 (2)－最適エネルギープラント規模の検討－. 森林利用学会誌 21 (3), 185-192.
- ・ 有岡利幸 (2004) : ものと人間の文化史 里山 I. 法政大学出版社, 262pp.

## [B]

- ・ Buckley, G. P. eds. (1992): Ecology and Management of Coppice Woodlands. Springer, 352pp.

## [C]

- ・ Calster, H, V., Endels, P., Antonio, K., Verheyen, K., and Hermy, M. (2008): Coppice Management Effects on Experimentally Established Populations of Three Herbaceous Layer Woodland Species. Biological Conservation 141(10), 2641-2652.
- ・ Chiba, K. (1977): A Study of Soil Respiration. 123-132. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) JIBP Synthesis 16. University of Tokyo Press. Tokyo.
- ・ 千葉幸弘 (2004) : CO2 収支評価における森林構造と動態. 地球環境 9 (2), 213-220.
- ・ 千葉県 (2004) : 千葉県モデル・バイオマスタウン設計業務調査報告書. 千葉県環境生活部, 153pp.
- ・ 千葉県 (2006) : 千葉県地球温暖化防止計画. <<http://www.pref.chiba.lg.jp/kansei/keikaku/kankyouseikatsu/ondanka-h18/index.html>>, 2010/11/28 閲覧.
- ・ 千葉県森林課 (2007) : 千葉県北部地域森林計画. <<http://www.pref.chiba.lg.jp/shinrin/keikaku/nourinsuisan/documents/h19hhon.pdf>>, 2010/11/18 閲覧, 50pp.

## [D]

- ・ Dornburg, V. and Faaij, A. (2001): Efficiency and Economy of Wood-Fired Biomass Energy Systems in Relation to Scale Regarding Heat and Power Generation using Combustion and Gasification Technologies. Biomass and Bioenergy 21(2), 91-108.

## [E]

- ・ 江成卓史 (2000) : 都市住民による山林・農地管理への課題と展望ー里山の市民活動フィールドとしての比較から. ランドスケープ研究 63 (3), 186-189.
- ・ 遠藤 展・吉田兼之・板垣博一・千葉洋市・野崎兼司・佐藤 真 (1985) : 木質ペレット燃料の性能と燃料性について. 林産試験場月報 396, 11-18.

## [F]

- ・ ファーストエスコ (2010) : 株式会社ファーストエスコホームページ. <<http://www.fesco.co.jp/>>, 2011/2/5 閲覧.
- ・ 藤野純一・久保山裕史・安藤範親・藤井重雄 (2005) : 日本の森林の有効利用ーどうすれば国産材の競争力を高められるかー. 日本エネルギー学会誌 84 (12), 967-972.
- ・ フジテックス (2010) : 環境事業部ホームページ : 中型チップパー (自走式). <<http://www.fjtex.co.jp/kankyo/19tree/index.html>>, 2010/11/25 閲覧.
- ・ 藤原宣夫・山岸 裕・田中 隆・新島啓司・中居恵子 (2003) : 剪定管理が都市緑化樹木の CO2 固定に与える影響に関する考察. 日本緑化工学会誌 29 (1), 45-50.
- ・ 藤原宣夫 (2004) : 都市緑化による CO2 削減量の評価ー東京都豊島区におけるケーススタディー. 環境情報科学論文集 18, 241-246.
- ・ 藤本和弘 (1978) : 樹木のレクリエーション利用とそのイメージに関する基礎的研究. 造園雑誌 42 (2), 23-29.
- ・ 深田健二・亀山 章 (2003) : 雑木林における上層木の伐採が林床草本の生育に及ぼす影響. ランドスケープ研究 66 (5), 525-530.
- ・ 深町加津枝・佐久間大輔 (1998) : 里山研究の系譜ー人と自然の接点を扱う計画論を模索する中で. ランドスケープ研究 61 (4), 276-280.
- ・ 深町加津枝・奥 敬一・笹岡達男・横張 真 (1996) : 近畿地方のブナ林の残存形態に関する考察. ランドスケープ研究 59 (5), 101-104.
- ・ 深町加津枝・奥 敬一・下村彰男・笹岡達男・横張 真 (1999) : 京都府上世屋・五十河地区における里山ブナ林の管理手法と生態的特性. ランドスケープ研究 62 (5), 688-692.

## [G]

- ・ GIO (温室効果ガスインベントリオフィス) (2010) : 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, 564pp.
- ・ 後藤義明・小南裕志・深山貴文・玉井幸治・金澤洋一 (2003) : 京都府南部地方における広葉樹二次林の地上部現存量及び純生産量. 森林総合研究所研究報告 2(2), 115-147.

## [H]

- ・ 半田真理子・手代木純 (2005) : 地球温暖化防止に資する都市緑地の評価. 都市緑化技

術 56, 27-31.

- ・ 半田真理子・手代木純・船橋 学・岡崎亮太・加藤順子・森口俊宏 (2005) : 大規模公園におけるレーザスキャナを用いた樹木計測からの CO2 固定量の算出に関する研究. ランドスケープ研究 68 (5), 889-892.
- ・ 原 勉・新宮宏昭・片田 正弘・吉川邦夫・テジン ミン・波岡知昭・松原弘直 (2004) : 木質バイオマスガス化発電システムの発電特性. 日本エネルギー学会誌 83 (10), 815-820.
- ・ 原田寿郎 (2000) : 森林由来のバイオマス資源のエネルギー利用. 農林水産ジャーナル 23 (6), 39-44.
- ・ 原科幸爾・武内和彦 (2004) : 長野県佐久市を事例とした地域循環型の生物資源利用システムに関する研究. ランドスケープ研究 67 (5), 741-744.
- ・ Harmer, R. and Howe, J. (2003): The Silviculture and Management of Coppice Woodlands. UK Forestry Commission, 88pp.
- ・ 長谷川訓子・沢田治雄 (1984a) : 空中写真による広葉樹のバイオマス量推定 (II) - 林分のバイオマス量推定 -. 日本林学会大会論文集 95, 139-140.
- ・ 長谷川訓子・沢田治雄 (1984b) : 空中写真による広葉樹のバイオマス量推定 (III) - 林分のバイオマス量推定 -. 日本林学会関東支部論文集 36, 37-38.
- ・ 畠瀬頼子・藤原宣夫・小栗ひとみ・百瀬 浩・宇津木栄津子・大江栄三・井本郁子 (2007) : 国営みちのく杜の湖畔公園における森林管理と林床植物の開花状況の関係. ランドスケープ研究 68 (5), 659-664.
- ・ 林 公彦 (1974) : 首都圏経済の拡大と森林保全. 林業技術 382, 19-23.
- ・ 「平地林」調査グループ (1989) : 地域アメニティの保全からみた平地林の役割. 昭和 63 年度 農林水産省農業環境技術研究所 所内プロジェクト報告, 66pp.
- ・ 堀内美緒・深町加津枝・奥 敬一・森本幸裕 (2006) : 明治後期の日記にみる滋賀県西部の里山ランドスケープにおける山林資源利用のパターン. ランドスケープ研究 69 (5), 705-710.
- ・ 堀内美緒・深町加津枝・奥 敬一・森本幸裕 (2007) : 明治後期から大正期の滋賀県西部の里山ランドスケープにおける山林資源利用の変化. ランドスケープ研究 70 (5), 563-568.
- ・ 細田和男・家原敏郎・松本光朗・小谷英司 (2004) : 間伐は人工林のバイオマス成長を促すのか? 森林総合研究所平成 16 年度研究成果選集, 26-27.

#### [I]

- ・ Ichikawa, K., Okubo, N., Okubo, S. and Takeuchi, K. (2006): Transition of the Satoyama Landscape in Urban fringe of the Tokyo Metropolitan Area from 1880 to 2001. *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 398-410.
- ・ 市村恒士・岡田孝幸・柳井重人・丸田頼一 (1999) : 都市公園における樹木の二酸化炭素固定効果に関する研究. 都市計画論文集 34, 1-6.
- ・ 市村恒士・柳井重人・丸田頼一 (2000) : 街路樹の二酸化炭素固定量の推定に関する研



- 究. 環境情報科学論文集 14, 267-272.
- ・ 市村恒士 (2006) : 樹冠被覆面積にもとづいた都市緑地の二酸化炭素固定量の推定に関する研究. ランドスケープ研究 69 (5), 613-616.
  - ・ 一ノ瀬友博 (2007) : 生物多様性保全と緑地計画. 都市計画 56 (5), 37-42.
  - ・ 井手久登・武内和彦 (1985) : 自然立地的土地利用計画. 東京大学出版会, 227pp.
  - ・ 井手 任 (1992) : 生物相保全のための農村緑地配置に関する生態学的研究. 緑地学研究 11, 120pp.
  - ・ 井川原弘一・香川隆英・田中伸彦・斎藤和彦・阿部由美子 (1997) : 都市近郊林におけるレクリエーション空間としての立木密度に関する研究. 日本林学会論文集 108, 189-192
  - ・ 飯田哲也編 (2005) : 自然エネルギー市場－新しいエネルギー社会のすがた. 築地書館, 327pp.
  - ・ 今森光彦 (1995) : 里山物語－SATOYAMA In Harmony with Neighboring Nature. 新潮社, 159pp.
  - ・ 犬井 正 (1982) : 武蔵野台地北部における平地林の利用形態. 地理学評論, 55 (8), 549-565.
  - ・ 犬井 正 (1996) : 関東平野の平地林の歴史と利用. 森林科学 18, 15-20.
  - ・ 石橋整司 (1989a) : 天然林の成長予測 (I) シミュレーションモデルの作成. 日本林学会誌 71 (8), 309-316.
  - ・ 石橋整司 (1989b) : 天然林の成長予測 (II) シミュレーションモデルによる長期予測. 日本林学会誌 71 (9), 356-362.
  - ・ 石井 宏 (1981) : 里山地域 (中山間地域) 開発における農業的土地利用計画について. 農村計画 9 (2・3), 34-42.
  - ・ 石井正人・中越信和 (1997) : 森林公園計画における二次林の林冠木個体群構造と植生管理に関する研究. ランドスケープ研究 60 (5), 543-546.
  - ・ 石井幸夫・千葉春美 (1971) : 下刈りに関する研究 (I). 日本林学会誌 53 (3), 86-89.
  - ・ 石井幸夫・富岡甲子次・山路木曾男・千葉春美 (1974) : 下刈りに関する研究 (II). 日本林学会誌 56 (3), 97-101.
  - ・ 石川幹子 (2007) : 都市再生戦略としての「緑の基本計画」. 都市計画 56 (5), 15-21.
  - ・ 糸賀 黎・藤井英二郎 (1979) : 二次林・平地林の保全を考える (上). グリーン・ページ 64, 38-44.
  - ・ 井内正直 (2004) : バイオマスエネルギー利用計画支援システムの開発－賦存量データベース及び収集コスト評価モデル－. 電力中央研究所報告 Y03023, 26pp.
  - ・ 岩見千津子・谷川寛樹 (2002) : 人工林活性化を目指した木材資源活用シナリオの導入に関する研究. 環境情報科学論文集 16, 91-96.
  - ・ 岩尾俊男 (1983) : バイオマス資源ペレット燃料の物性と燃焼試験－木質ペレット燃焼の特性－. 農業機械学会誌 29, 915-924.
  - ・ 岩尾俊男 (1987) : バイオマス資源ペレット用燃焼機械に関する研究－渦流形ペレット

だき燃焼機の燃焼性能. 島根大農学部研究報告 21, 122-128.

- ・ 井筒耕平・高野雅夫・高橋冬樹・西村信哉 (2005) : 山間地域における熱エネルギー自給のための木質ペレット燃料供給モデルの構築－豊根村を事例として－. 森林利用学会誌 19 (4), 275-278.

## [J]

- ・ Jansen, P. and Kuiper, L. (2004): Double Green Energy from Traditional Coppice Stands in the Netherlands. *Biomass and Bioenergy* 26(4), 401-402.
- ・ JFE エンジニアリング (2007) : 木質バイオマスガス化発電システム. <<http://www.jfe-eng.co.jp/>>, 2010/11/25 閲覧.
- ・ 住環境計画研究所 (1999) : 家庭用エネルギーハンドブック. 省エネルギーセンター, 237pp.

## [K]

- ・ 香川隆英 (1992) : 里山二次林そして自然性の高い森林におけるアメニティ. 造園雑誌 55 (5), 217-222.
- ・ Kakubari, Y. (1977): Beech Forests in the Naeba Mountains II .Distribution of Primary Productivity along the Altitudinal Gradient. 201-212. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) *JIBP Synthesis 16*. University of Tokyo Press. Tokyo.
- ・ 鎌田磨人・中越信和 (1990) : 農村周辺の 1960 年代以降における二次植生の分布構造とその変遷. 日本生態学会誌 40, 137-150.
- ・ 亀山章編 (1996) : 雑木林の植生管理－その生態と共生の技術. ソフトサイエンス社, 303pp.
- ・ 環境庁・国土庁 (1976) : 国土利用計画 (全国計画). <http://www.mlit.go.jp/common/000020096.pdf>, 2010.11.15 閲覧.
- ・ 環境省 (1995) : 第一次生物多様性国家戦略. <[http://www.biodic.go.jp/cbd/pdf/nbsap\\_1995.pdf](http://www.biodic.go.jp/cbd/pdf/nbsap_1995.pdf)>, 2010/11/14 閲覧.
- ・ 環境省 (1999) : 第 5 回自然環境保全基礎調査. <[http://www.biodic.go.jp/kiso/vg/vg\\_kiso.html](http://www.biodic.go.jp/kiso/vg/vg_kiso.html)>, 2010/11/15 閲覧.
- ・ 環境省 (2001a) : 日本の里地里山の調査・分析について (中間報告). <<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/chukan.html>>, 2010/11/15 閲覧.
- ・ 環境省 (2001b) : 木くずの現状について. 中央環境審議会, 廃棄物・リサイクル部会資料, <<http://www.env.go.jp/council/03haiki/y0312-01/mat03.pdf>>, 2010/12/01 閲覧.
- ・ 環境省 (2002) : 温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果. <<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1408/>>, 2010/11/25 閲覧.
- ・ 環境省 (2005) : 京都議定書目標達成計画. <<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kakugi/050428keikaku.pdf>>, 2010/11/16 閲覧.
- ・ 環境省 (2008) : 改定議定書目標達成計画. <<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaku>>

- gi/080328keikaku.pdf>, 2010/11/16 閲覧.
- ・ 環境省 (2009) : 平成 20 年度の電気事業者別実排出係数・調整後排出係数等の公表について. <<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11956>>, 2010/11/27 閲覧.
  - ・ 環境省 (2010a) : 生物多様性国家戦略 2010. <[http://www.env.go.jp/nature/biodic/nbsap2010/attach/01\\_mainbody.pdf](http://www.env.go.jp/nature/biodic/nbsap2010/attach/01_mainbody.pdf)>, 2010/11/16 閲覧.
  - ・ 環境省 (2010b) : オフセット・クレジット (J-VER) 案件一覧. <<http://www.4cj.org/jver/project/anken02.html>>, 2010/12/02 閲覧.
  - ・ 環境林整備検討委員会編 (1993) : 環境林の整備と保全. 日本造林協会, 151pp.
  - ・ 関西自然保護機構会報編 (1980) : シンポジウム「環境保全と二次林」特集号. 関西自然保護機構, 44pp.
  - ・ 関東地方建設副産物再利用方策等連絡協議会 (2005) : 千葉県における建設発生木材リサイクル促進行動計画, 19pp.
  - ・ Kawaguchi, H. and Yoda, K. (1985): Carbon-Cycling Changes during Regeneration of a Deciduous Broadleaf Forest after Clear-Cutting: I. Changes in Organic Matter and Carbon Storage. *Japanese Journal of Ecology* 35(5), 551-563.
  - ・ Kira, T. and Shidei, T. (1967): Primary Production and Turnover of Organic Matter in Different Forest Ecosystem of the Western Pacific. *Japanese Journal of Ecology* 17(2), 70-87.
  - ・ 岸本定吉 (1982) : 森林エネルギーを考える. 創文, 196pp.
  - ・ 鬼頭秀一 (1996) : 自然保護を問い直すー環境倫理とネットワーク. ちくま新書, 254pp.
  - ・ 鬼頭秀一 (1999) : 「里山をまもる」ことの意味とは. 野鳥 624, 12-13.
  - ・ 鬼頭秀一 (2009) : 環境倫理の現在ー二項対立図式を超えて. 鬼頭秀一・福永真弓編「環境倫理学」, 東京大学出版会, 287pp, 1-22 に所収.
  - ・ 小島健一郎 (2008) : 木質ペレット利用の現在. 森林環境研究会編「森林環境 2008」, 朝日新聞社, 214pp, 122-135.
  - ・ 国土交通省 (2006) : 国土審議会第 1 回首都圏整備部会議事次第. <[http://www.mlit.go.jp/singikai/kokudosin/shutoken/1/shutoken\\_shiryuu.html](http://www.mlit.go.jp/singikai/kokudosin/shutoken/1/shutoken_shiryuu.html)>, 2011.1.20 閲覧.
  - ・ 国連大学高等研究所・環境省 (2010) : 里山イニシアティブホームページ <<http://satoyama-initiative.org/jp/>>, 2010.11.10 閲覧.
  - ・ 国連ミレニアムエコシステム評価編 (2007) : 生態系サービスと人類の将来. 横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会訳, オーム社, 241pp.
  - ・ 小宮山宏・迫田章義・松村幸彦 (2003) : バイオマス・ニッポン 日本再生へ向けて. 日刊工業新聞社, 252pp.
  - ・ Konijnendijk, C, C. (2008): *The Forest and the City: The Cultural Landscape of Urban Woodland*. Springer, 246pp.
  - ・ 腰塚武志・小林純一 (1983) : 道路距離と直線距離. 都市計画論文集 18, 43-48.
  - ・ 久保山裕史・西園朋広・家原敏郎・奥田裕規 (2004) : 林業・林産バイオマスのエネルギー利用の可能性についてー岩手県遠野市を事例としてー. *日本林学会誌* 86 (2), 112-120.

- ・ 熊崎 実 (2005) : 木質バイオマス発電への期待. 林業改良普及双書, 182pp.
- ・ 国木田独歩 (1949) : 武蔵野. 新潮社, 309pp.
- ・ 黒田慶子 (2009) : ナラ枯れ増加から見えてきた「望ましい里山管理」の方向－枯れる前に資源として使う. 林業技術 809, 2-7.
- ・ 黒岩澄雄 (1966) : 植物の物質生産. 川那部浩哉ら著「岩波講座 現代の生物学」第 9 卷 : 生態と進化, 岩波書店, 252pp, 71-100 に所収.
- ・ 黒岩澄雄 (1990) : 物質生産の生態学－光合成から繁殖まで. 東京大学出版会, 147pp.
- ・ 楠本良延・山本勝利・大黒俊哉・井手 任 (2007) : 利根川流域の水田周辺における植物群落の多様性と景観構造の関係. ランドスケープ研究 70 (5), 445-448.
- ・ 九州沖縄農業研究センター (2004) : 小型可搬式・低コスト高効率の新しい熱・電エネルギー供給システム「農林バイオマス 3 号機」の開発. <<http://konarc.naro.affrc.go.jp/pre ss/20040319/>>, 2010/11/26 閲覧.

## [L]

- ・ Lasserre, B., Chirici, G., Chiavetta, U., Garfi, V., Tognetti, R., Drigo, R., DiMartino, P. and Marchetti, M. (2010): Assessment of Potential Bioenergy from Coppice Forests through the Integration of Remote Sensing and Field Surveys. Biomass and Bioenergy, In Press.
- ・ Lettens, S., Muys, B., Ceulemans, R., Moons, E., Garcia, J. and Coppin, P. (2003): Energy Budget and Greenhouse Gas Balance Evaluation of Sustainable Coppice Systems for Electricity Production. Biomass and Bioenergy 24(3), 179-197.

## [M]

- ・ 真鍋靖司・増田 昇・安部大就・金 範洙 (1990) : 大規模公園・緑地内の樹林評価に関する研究. 造園雑誌 53 (5), 359-364.
- ・ Marland, G. and Schlamadinger, B. (1997): Forests for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis. Biomass and Bioenergy 13(6), 389-397.
- ・ 丸木英明・田代順孝 (2004) : 三富新田集落における雑木林の管理の状態と所有者の居住地の関連性. ランドスケープ研究 67 (5), 803-808.
- ・ Maruyama, K. (1977): Beech Forests in the Naeba Mountains. I. Comparison of Forest Structure: Biomass and Net Productivity between the Upper and Lower Parts of Beech forest zone, 186-201. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) JIBP Synthesis 16. University of Tokyo Press. Tokyo.
- ・ 松田 智 (2000) : バイオマスのエネルギー変換利用可能性を評価する視点. 農林水産研究ジャーナル 23 (6), 22-28.
- ・ 松本成夫・三輪睿太郎 (1989) : 森林動態モデルを用いた平地林管理評価. 農業環境技術研究所資源・生態管理科研究集録 5, 54-66.
- ・ 松本光朗 (2008) : 地球温暖化と森林－IPCC 第 4 次評価報告が描く森林の貢献－. 森林科学 52, 4-8.

- ・ 松本類志・横張 真・寺田 徹：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，投稿中。
- ・ 松村幸彦・美濃輪智朗・堀尾正靱（2005a）：日本の森林の有効利用－エネルギー学としてのアプローチ．日本エネルギー学会誌 84（12），958-966.
- ・ 松村幸彦・石田宏洋・大谷 繁・岡田久典・泊みゆき・日野俊之（2005b）：日本の森林の有効利用－廃棄物との共処理を用いた地域システムの検討－．日本エネルギー学会誌 84（12），985-989.
- ・ 松浦俊也・横張 真・東 淳樹（2002）：数値地理情報を用いた谷津の景観構造の把握によるサシバ生息適地の広域的推定．ランドスケープ研究 65（5），543-546.
- ・ Matthews, R, W. (2001): Modelling of Energy and Carbon Budgets of Wood Fuel Coppice Systems. *Biomass and Bioenergy* 21(1), 1-19.
- ・ McKenney, D, W., Yemshanov, D., Fraleigh, S., Allen, D. and Preto, F. (2010): An Economic Assessment of the Use of Short-Rotation Coppice Woody Biomass to Heat Greenhouses in Southern Canada. *Biomass and Bioenergy*, In Press.
- ・ 宮脇 昭編（1986）：日本植生誌 関東．至文堂，641pp.
- ・ 守山 弘（1988）：自然を守るとはどういうことか．人間選書，260pp.
- ・ 両角光男（1987）：ネットワークの解析モデル．日本建築学会編「建築・都市計画のための調査・分析手法」，井上書院，244pp，194-200 に所収.
- ・ 村上健太郎・森本幸裕（2000）：京都市内孤立林における木本植物の種多様性とその保全に関する景観生態学的研究．日本緑化工学会誌 25（4），345-350.

## [N]

- ・ 中川重年（1996）：神奈川県内における市民参加の森作りにおける植生管理．第7回日本環境教育学会要旨，119.
- ・ 中川重年（2000）：イラスト 里山の手入れ図鑑．全国林業改良普及協会，98pp.
- ・ 中川重年（2001）：里山保全の全国的パートナーシップ．武内和彦・鷺谷いずみ・恒川篤史編「里山の環境学」，東京大学出版会，257pp，124-135 に所収.
- ・ 中川重年（2004）：森づくりテキストブッカー市民による里山林・人工林管理マニュアル．山と溪谷社，223pp.
- ・ 中川重年（2005）：エネルギー源としてみた自然環境保全センター周辺里山地域の森林バイオマス．神奈川県自然環境保全センター報告 2，53-58.
- ・ 中口毅博・青木雅樹（2006）：全国における再生可能エネルギー導入候補市町村の抽出とその分布特性．環境情報科学論文集 20，463-468.
- ・ 永田恵十郎（1988）：地域資源の国民的利用－新しい視座を定めるために－．農林漁村文化協会，369pp.
- ・ 中村友治・野島義照・岡田 潤・柳井重人・丸田頼一（2000）：千葉県松戸市の住宅地における CO2 吸収固定量の推定．ランドスケープ研究 63（5），539-542.
- ・ Nakane, K. and Yamamoto, M. (1983): Simulation Model of the Cycling of Soil Organic

- Carbon in Forest Ecosystems Distributed by Human Activities: I. Cutting Undergrowths or Raking Litters. *Japanese Journal of Ecology* 33(2), 169-181.
- Nakane, K., Tsubota, H. and Yamamoto, M. (1987): Simulation of Soil Carbon Cycling Following Clear Cutting in a Japanese Red Pine Forest. *Journal of Japanese Forest Society* 69, 417-426.
  - 中西正和・小木知子 (2005) : 木質系バイオマスを用いた地域分散型小型発電システムの検討. *日本森林学会誌* 87 (1), 45-51.
  - 中島敏博・田代順孝・古谷勝則 (2007) : 都市近郊住民の利用および保全参加しやすい緑地と生活圏の距離. *ランドスケープ研究* 70 (5), 579-584.
  - NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (2005) : バイオマスエネルギー導入ガイドブック. 124pp.
  - Nielsen, A. B., and Møller, F. (2008): Is Coppice a Potential for Urban Forestry? The Social Perspective. *Urban Forestry and Urban Greening* 7(2), 129-138.
  - 日本林業技術協会 (1971) : 林業百科事典. 丸善株式会社, 1236pp.
  - 日本自然保護協会 (2002) : 里山における自然とのふれあい活動一人とのふれあいの観点からの里地自然の保全方策策定調査報告書一. 日本自然保護協会, 315pp.
  - 西上 愛 (2010) : 広葉樹再生林の林分動態解析と成長予測一栃木県唐沢山における実証的研究一. *東京大学農学部演習林報告* 122, 65-127.
  - 西川匡英・神戸喜久・長谷川訓子 (1985) : 広葉樹バイオマス資源の利用可能量の推定方法について. *日本林学会大会論文集* 96, 131-132.
  - 西山嘉寛・阿部剛俊 (2002) : 長伐期施業に対応する森林管理技術の研究一高齢林内における下層植生の現存量の推定と林分収穫予想表の作成一. *岡山林業試験場研究報告* 18, 33-66.
  - Noss, R. F. (1990): Indicators for Monitoring Biodiversity -A Hierarchical Approach-, *Conservation Biology* 4, 355-364.
  - 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」(2006) : バイオマス利活用システムの設計と評価. 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」, 267pp.
  - 農林水産技術会議事務局 (1985) : 生物資源の効率的変換技術の開発に関する総合研究 (バイオマス変換計画) 研究実施計画. 農林水産技術会議事務局, 463pp.
  - 農林水産省 (2000) : 2000 年世界農林業センサス. <[http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/report\\_arcgives.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/report_arcgives.html)>, 2010.11.15 閲覧.
  - 農林水産省 (2006) : バイオマス・ニッポン総合戦略. <[http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18\\_senryaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf)>, 2010.11.12. 閲覧.
  - 野崎兼司・佐藤 真・吉田兼之・遠藤 展 (1987) : 木質廃材のペレット化 (第 1 報) 一成型, 流動性試験. *林産試験場報告* 1 (3), 23-30.

[O]

- ・ 小笠原隆三・山本知治・有田智郎（1987）：コナラ二次林の現存量および生産量. 広葉樹研究 4, 257-262.
- ・ 小笠原隆三（1987）：広葉樹二次林の有効利用と森林施業に関する基礎的研究－クヌギ二次林について－. 広葉樹研究 4, 85-118.
- ・ Oikawa, T. (1985): Simulation of Forest Carbon Dynamics Based on a Dry-Matter Production Model: I. Fundamental Model Structure of a Tropical Rainforest Ecosystem. Botanical Magazine Tokyo 98, 225-238.
- ・ 大島誠一（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 63, 23-36.
- ・ 大久保悟・加藤和弘（1996）：分断された二次林の内部における植生の空間分布と遷移管理に関する研究. ランドスケープ研究 59 (5), 97-100.
- ・ 大黒俊哉・佐々木寛幸（1988）：ヤマモモ自生地の群落構造とその植生管理に関する研究. 造園雑誌 51 (5), 192-197.
- ・ 大政正隆編（1978）：森林学. 共立出版, 553pp.
- ・ 大隅眞一（1987）：森林計測学講義. 養賢堂, 287pp.
- ・ 大澤義明（1996）：地域施設計画モデルにおける計画施設数と最適配置及び最適距離との関係. 日本建築学会計画系論文集 482, 165-174.

## [R]

- ・ 林野庁（1978）：里山地域開発保全計画調査報告書（総括編）. 290pp.
- ・ 林野庁（1985）：里山高度利用化対策調査報告書. 148pp.
- ・ 林野庁（2005）：森林施業計画のしおり. 林野庁, 6pp.

## [S]

- ・ 櫻井 倫・楯雄太加・吉岡拓如・仁多見俊夫・大野輝尚・小林洋司（2006）：山岳森林地域における森林バイオマスのエネルギー利用の可能性と基盤整備の効果. 森林利用学会誌 21 (3), 193-204.
- ・ 三瓶由紀・武内和彦（2005）：東京圏における里地保全に関連する条例の規定内容の把握. ランドスケープ研究 68 (5), 863-866.
- ・ 三瓶由紀・武内和彦（2006）：里地保全に関連する市町村条例の類型化に関する考察. ランドスケープ研究 69 (5), 763-766.
- ・ 佐野 寛・島田荘平・鈴木嘉彦・三浦秀一・美濃輪智朗（2005）：日本の森林の有効活用におけるエネルギー変換の検討. 日本エネルギー学会誌 84 (12), 980-984.
- ・ 澤口勇雄（1996）：山岳林における林道路線評価と林道規格に関する研究（第1報）－林道路線評価パラメータの特性－. 森林総合研究所報告 372, 1-110.
- ・ 四手井綱英（1998）：ものと人間の文化史 森林Ⅱ. 法政大学出版局, 301pp.
- ・ 重松敏則・高橋理喜男（1982）：レクリエーション林の林床管理に関する研究－アカマツ林における下刈りが現存量に及ぼす効果－. 造園雑誌 45 (3), 157-167.

- ・ 重松敏則 (1985) : ネザサ型林床の植生管理に関する研究. 造園雑誌 48 (5), 145-150.
- ・ 重松敏則 (1989) : 二次林のレクリエーション的活用に関する生態学的研究. 造園雑誌 53 (1), 16-23.
- ・ 重松敏則 (1991) : 市民による里山の保全・管理. 信山社サイテック, 74pp.
- ・ 資源エネルギー庁・総合資源エネルギー調査会 (2001) : 新エネルギー部会報告書ー今後の新エネルギー対策のあり方についてー. <<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g10705bj.pdf>>, 2010/11/27 閲覧, 36pp.
- ・ 資源エネルギー庁 (2002) : RPS 法ホームページー新エネ等情報管理システムー. <<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/main.html>>, 2010/11/16 閲覧.
- ・ 資源エネルギー庁 (2010a) : RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格の調査結果について. <[http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/pdf/chosa\\_kekka\\_H21.pdf](http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/pdf/chosa_kekka_H21.pdf)>, 2010/12/01 閲覧.
- ・ 資源エネルギー庁 (2010b) : 再生可能エネルギーの全量買取制度の大枠について. <<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004629/framework.html>>, 2010/12/01 閲覧.
- ・ 新エネルギー財団編 (2008) : バイオマス技術ハンドブック 導入と事業化のノウハウ. オーム社, 722pp.
- ・ 森林総合研究所 (2010) : 森林による炭素吸収量をどのように捉えるかー京都議定書報告に必要な森林吸収量の算定・報告体制の開発ー. <<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/index.html>>, 2010/11/16 閲覧.
- ・ 穴戸寿雄 (1961) : 経済成長とエネルギー革命. 日本機械学会誌 64, 1238-1241.
- ・ Shugart, H. H. and West, D. C. (1977): Development of an Appalachian Deciduous Forest Succession Model and its Application to Assessment of the Impact of the Chestnut Blight. *Journal of Environment Management* 5, 161-179.
- ・ Shugart, H. H. (1984): A Theory of Forest Dynamics: The Ecological Implications of Forest Succession Models. Springer-Verlag, 278pp.
- ・ 総務省統計局 (2000) : 平成 12 年国勢調査. <<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2000/index.htm>>, 2010/11/16 閲覧.
- ・ 角南勇二 (1998) : 緑地保全制度と里山. *ランドスケープ研究* 61 (4), 290-292.
- ・ スプレイグ デイビッド・後藤徹寛・守山 弘 (2000) : 迅速測図の GIS 解析による明治初期の農村土地利用の分析. *ランドスケープ研究* 63 (5), 771-774.
- ・ 鈴木武彦・加藤和弘 (1997) : 皆伐後のコナラ林の植生回復過程に関する研究. *ランドスケープ研究* 60 (5), 535-538.

## [T]

- ・ 田端英雄 (2009) : 里山林の木質バイオマス利用と里山林の保全. *環境技術* 38 (3), 37-44.
- ・ 只木良也・蜂屋欣二 (1968) : 森林生態系とその物質循環. 林業科学技術振興所, 64pp.
- ・ 只木良也・平野綾子・参鍋秀樹・河口順子・平泉智子・星野大介 (2004) : 名古屋大学構内広葉樹二次林の純生産量. *名古屋大学森林科学研究* 23, 9-13.



- ・ 只木良也 (2005) : 里山二次林の遷移と物質生産・その利用－東海地方を例として－. PREC Study Report 11, 18-23.
- ・ 武内和彦 (1981) : 自然立地的土地利用計画の方法論的研究. 造園雑誌 44 (3), 137-154.
- ・ 武内和彦・梶浦一郎・大黒俊哉 (1989) : 野生果樹遺伝資源の現地保存と自生地の植生管理. 造園雑誌 52 (5), 151-156.
- ・ 武内和彦・鷺谷いずみ・恒川篤史編 (2001) : 里山の環境学. 東京大学出版会, 257pp.
- ・ 武内和彦 (2002) : 現代ランドスケープ・プランニングを捉える構図. ランドスケープ研究 65 (3), 188-191.
- ・ Takeuchi, K., Brown, R. D., Washitani, I., Tsunekawa, A. and Yokohari, M. (2002): Satoyama: The Traditional Rural Landscape in Japan. Springer, 229pp.
- ・ Takeuchi, K. (2010): Rebuilding the Relationship between People and Nature: The Satoyama Initiative. Ecological Research 25, 891-897.
- ・ 田中和博 (1996) : 森林計画学入門. 森林計画学会出版局, 192pp.
- ・ 田中伸彦 (2000) : 流域レベルの森林観光・レクリエーションポテンシャルの算定. ランドスケープ研究 63 (5), 607-612.
- ・ 田中伸彦 (2005) : 地域森林計画における観光レクリエーション機能の評価に関する研究. 東京大学博士学位論文 (未公刊), 283pp.
- ・ 田中貴宏・久木 裕・田中 陽・吉田 聡・佐土原聡 (2003) : 持続的な森林バイオマスエネルギー利用の潜在能力評価への GIS の活用. GIS－理論と応用－11 (1), 45-52.
- ・ 立石友男 (1972) : 関東平野における平地林の分布とその利用－農業的土地利用から都市的土地利用へ－. 地理誌叢 13, 10-26.
- ・ 寺田 徹・横張 真・佐々木貴弘・手代木純 (2008) : 公園内バイオマス循環システムの可能性－国営みちのく杜の湖畔公園を事例として－. 2008 年度農村計画学会学術研究会要旨集, 31-32.
- ・ 泊みゆき・石田宏洋・大谷繁・岡田久典・日野俊之・松村幸彦 (2005) : 日本の森林の有効利用－地域経済における政策, 方向性提案－. 日本エネルギー学会誌 84 (12), 985-989.
- ・ 東京営林局 (1979) : 現実林分収穫予想表. 東京営林局計画課, 49pp.
- ・ 津布久 隆 (2008) : 補助事業を活用した里山の広葉樹林管理マニュアル. 全国林業改良普及協会, 108pp.
- ・ 辻 誠治・星野義延 (1992) : コナラ二次林の林床管理の変化が種組成と土壤に及ぼす影響. 日本生態学会誌 42 (2), 125-136.
- ・ 恒川篤史 (2001) : 里山における戦略的な管理. 武内和彦・鷺谷いずみ・恒川篤史編「里山の環境学」, 東京大学出版会, 257pp, 204-218 に所収.

## [U]

- ・ 上原三知・重松敏則 (2001) : 地域資源の保全と有機的活用による循環型地域システムの確立に関する基礎的研究. ランドスケープ研究 64 (5), 831-834.

- ・ 上原三知・重松敏則・朝野 景 (2005) : 都市近郊里地・里山林の保全・活用による潜在的生産力とその循環型地域モデル. ランドスケープ研究 68 (5), 545-550.
- ・ 梅田三樹男・辻 隆道・井上公基 (1982) : 標準功程表と立木評価. 日本林業調査会, 140pp.
- ・ UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2001) : Report of the Conference of the Parties on its Seventh Session, Held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. <<http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf>>, accessed 17 November 2010.
- ・ 魚住侑司編 (1995) : 日本の大都市近郊林－歴史と展望－. 日本林業調査会, 301pp.
- ・ うしく里山の会 (2002) : コジユケイの森管理計画. うしく里山の会団体内資料, 6pp.

## [W]

- ・ 若松加寿江・松岡昌志・杉浦正美・久保純子・長谷川浩一 (2005) : 日本の地形・地盤デジタルマップ. 東京大学出版会, 104pp (CD-ROM).
- ・ 鷺谷いづみ・矢原徹一 (1996) : 保全生態学入門－遺伝子から景観まで. 文一総合出版, 270pp.
- ・ Wien energy (2006) : Love of nature with a competitive edge－Generating electricity and heat from woody biomass. Wien energy, 19pp.

## [Y]

- ・ 養父志乃夫・重松敏則 (1985) : 野生草花の導入による林床景観の形成手法－キキョウの生育と光条件及び刈り取り時期との関係－. 造園雑誌 48 (3), 176-182.
- ・ 八木久義 (2003) : 我が国の広葉樹二次林における生産量および炭素固定機能の評価. 平成12年度～14年度科学研究費補助金(基盤研究A-1)研究成果報告書, 69pp.
- ・ 山本勝利・糸賀 黎 (1988) : 茨城県南西部におけるアカマツ平地林の森林型とその分布. 造園雑誌 51 (5), 150-155.
- ・ 山本勝利 (1991) : 茨城県南部の都市近郊農村における樹林地の分布. 造園雑誌 54 (5), 245-250.
- ・ 山崎 寛・青木京子・服部 保・武田義明 (2000) : 里山の植生管理による種多様性の増加. ランドスケープ研究 63 (5), 481-484.
- ・ 安田信太郎・横張 真 (2002) : バイオマスエネルギーの活用からみた里山ゴルフ場の役割. ランドスケープ研究 65 (5), 497-500.
- ・ 安田 肇 (2005) : デンマークフェルント社 木質バイオマスガス化発電システム 運転状況. FSRJ News 15, 9-12.
- ・ 依田恭二・佐藤治雄 (1967) : 林木の呼吸測定法の検討. 四手井綱英編「天然林の一次生産力の比較研究班中間報告」, JIBP-PT-F, 317pp, 51-60 に所収.
- ・ 依田恭二 (1971) : 森林の生態学, 築地書館, 331pp.
- ・ 横張 真 (1986) : 大都市近郊樹林地の環境保全的機能に関する基礎的研究－愛知県知

多地域を事例に一. 農村計画学会誌 5 (2), 18-32.

- 横張 真 (1994): 農林地の環境保全機能に関する研究. 緑地学研究 13, 172pp.
- 横張 真 (1998): 居住快適性機能. 陽 捷行編「環境保全と農林業」, 朝倉書店, 216pp, 119-131 に所収.
- 横張 真・入江彰昭 (2002): 特集「ランドスケープ・プランニングの現在」にあたって. ランドスケープ研究 65 (3), 187.
- 横張 真・栗田英治 (2001): 里山の変容メカニズムー埼玉県比企丘陵地域を例に. 武内和彦・鷺谷いずみ・恒川篤史編「里山の環境学」, 東京大学出版会, 257pp, 72-82 に所収.
- Yokohari, M. and Bolthouse, G. (2010): Keep it Alive, Don't Freeze it: A Conceptual Perspective on the Conservation of Continuously Evolving Satoyama Landscapes. Landscape and Ecological Engineering, Online FirstTM, 16.
- 横山伸也・中村悦郎 (1983): 木質バイオマスのガス化. 燃料協会誌 62 (2), 396-407.
- 横山伸也 (2001): バイオエネルギー最前線. 森北出版, 167pp.
- 横山伸也 (2005): 木質系, 廃棄物系バイオマスの現状と展望. エネルギー38 (10), 68-72.
- 横山伸也・芋生憲司 (2010): バイオマスエネルギー. 森北出版, 166pp.
- Yoshioka, T., Iwaoka, M., Sakai, H., and Kobayashi, H. (2000): Feasibility of a Harvesting System for Logging Residues as Unutilized Forest Biomass. Journal of Forest Research 5(2), 59-65.
- 吉岡拓如・小林洋司 (2006): 中山間地域におけるエネルギー利用可能な森林バイオマス資源量と収穫・輸送コスト. 関東森林研究 57, 335-338.

## あしがき・謝辞

山陽地方の田舎に育った筆者にとって、故郷の風景は、当時はそれとは認識していなかったもの、今思えばまさしく里山であった。誰が名づけたか知らないオオマサコと呼ばれた近所の里山で、幼少時はゴリやハヤなどの川魚を釣って遊んだ。釣竿は乾いた笹竹が丁度よかった。餌のミミズは祖母が耕していた畑から採ってきた。15年ほど前まで、自宅には五右衛門風呂があり、釜風呂に井戸水を張り、薪をくべて温めていた。7~8年前までは家族と親戚で協力して、米作りに励んでいた。コンバインの乗り方は父から自然と教わった。4~5年前には祖母が足腰を悪くして、日常的に畑に行くことが難しくなり、畑が荒れた。毎年春には裏山へタケノコを取りにいったが、それもできなくなった。最近、イノシシやサルが山から降りてくるようになった。

こうした体験が体のどこかに染みついていたからだろう。筑波大学で都市計画を専攻した筆者にとって、近代都市計画の実験場ともいえる筑波研究学園都市での生活は、確かに便利で快適なものある一方、何かに欠乏し、不安を感じさせるものであった。おぼろげな問題意識を、資源循環系を内包した都市づくりに関する研究を行いたいという動機に結び付け、緑地環境計画研究室の門をたたいた当時、恥ずかしながら初めて知った言葉が「里山」であった。資源循環という言葉の裏には、原体験として残る、里山における人と自然との豊かなかかわりがあったわけである。しかし、筆者の田舎がそうであるように、一度失われたかかわりは、そう簡単には取り戻せない。むしろ感傷的に過去を回帰するのではなく、未来に向けて、緑地計画という文脈の下に新たなかかわりを創りだすことこそ、計画分野を志した筆者の果たすべき役割だと思ふようになっていった。

6年間の研究成果を曲がりなりにもひとつの論文にまとめることができたのは、研究を通じて知り合った多くの方々のご指導とご支援のおかげです。

資源循環システムを内包した環境負荷の少ない地域のあり方を描きたいという、私の抽象的な意向に対して、バイオマス利用による里山保全という具体像を示していただき、その実現に向けた研究をまとめることをご指導下さったのは、指導教員である横張真先生です。横張先生には、筑波大学時代から一貫して懇切丁寧なご指導、激励を賜り、本論文の執筆にあっても、全体構成から細部の文章表現に至るまで、貴重なご意見を賜りました。ここに厚く御礼を申し上げます。

論文の審査に際しては、山本博一先生、福田健二先生、鬼頭秀一先生、大黒俊哉先生の各先生方には、専門的な見地から示唆に富むご指摘をいただきました。学融合を標榜する新領域創成科学研究科において、まさに様々な分野の先生からご指導をいただき、大変贅沢なことであったと思っております。厚く御礼を申し上げます。頂いたご指摘のすべてを

論文に反映することはできませんでしたが、今後の研究の中で答えを出していきたいと考えております。

東海大学の田中伸彦先生には、森林総合研究所にお勤めのころから、林学というご専門の立場から、様々なご指導を賜りました。本論文に関する学術論文の執筆に対しても、共著者として数多くの有益なご指摘をいただきました。修士論文の執筆にあつては、筑波大学の斎尾直子先生に建築学の立場からご指導をいただきました。筑波大学の村上暁信先生先生には、ゼミを通じて博士論文の指導をしていただきました。長崎大学の渡辺貴史先生、東京大学の雨宮護博士には、研究室の先輩として、公私にわたり多くのご助言、ご支援をいただきました。

また、東京大学自然環境形成学分野の皆様、筑波大学緑地環境計画研究室の皆様、同地域施設計画研究室の皆様、同緑地計画研究室の皆様には、ゼミという場を通じて、本研究の根幹をなす様々なアイデアやご指摘をいただきました。その議論のひとつひとつが血肉となり、本研究があるものと考えます。

現地調査を行うにあたっては、東葛飾農林振興センターの鈴木明氏をはじめ、NPO 法人こびすくらぶの皆様、NPO 法人ちば里山トラストの皆様、現場で活動されている多くの方の恩義を受けました。現場から学ぶことなくしては、本研究の完成はできませんでした。

すべての皆様のお名前をここに挙げることはできませんでしたが、本研究を通じて知り合ったすべての皆様方に対して厚く御礼を申し上げる次第です。

最後に、これまでの人生を支えてもらい、研究活動に集中して取り組める機会を与えてくれた両親と家族に感謝の意を捧げます。

2011年3月

寺田 徹