

## 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利用の可能性

田中伸彦(森林総研)・寺田徹(筑波大システム情報工学)・雨宮護(森林総研・学振特別研究員)・横張真(東大新領域)

**要旨:** 茨城県恋瀬川流域における里山地域を対象に、レクリエーション機能の発現を考慮した森林整備について 4 種類の空間管理パターンを想定した。そして、それらの管理を行った際に林内から発生するバイオマス量を推定し、マテリアル利用、エネルギー利用など観点から資源の利用可能性を検討した。この様に、レクリエーションのための空間整備と資源利用を組み合わせた考察を行うことで、人間による空間利用および資源利用が滞りがちな現在の里山地域の森林に対する新たな管理の方向性を提示した。

**キーワード:** 森林レクリエーション, バイオマス資源, 茨城県恋瀬川流域, 里山

## I はじめに

レクリエーション(以下レク)のために森林を効果的に利用するためには、適切な森林整備を行う必要がある。

これまで、レクのための森林整備を行う際には、林内利用にせよ、風景鑑賞などの林外利用にせよ、どのような森林空間を創出するかという空間づくりの観点に重点がおかれることが多かった。しかし、これらの空間づくりを行う際でも除間伐や林床管理を行うため、必然的にバイオマス資源が生産される。そして、薪炭利用や混牧林経営、堆肥の利用などがほとんど行われない現在、レク整備の結果生み出された資源は、予定調和的に消費される可能性が極めて低い。そのため、これらバイオマス資源の有効活用について、検討を行うことが課題となっている。

既往のレクのための森林整備についての研究を見ると、レク林の管理実態・意識の調査(20)、レクのために森林管理すると効果的な場所の判定(21)、里山林の空間整備指針(14)、国有林における整備の実例(23)など、複数の観点からの研究蓄積があるものの、バイオマスの生産と利用との関連に踏み込んだものは見られない。

以上を鑑みて、本研究ではバイオマス資源の生産・利用まで計算に入れて、レクのために森林整備を行う可能性を考察することを試みた。

## II 対象・方法

**1. 調査地の概要** 対象地は、茨城県南部の恋瀬川流域である。恋瀬川は、旧八郷町の吾国山(518.2m)に源を發し、南流して旧千代田町などの里山地帯を流下し、石岡市高浜から霞ヶ浦に注ぐ 27.85km の河川で、流域面積は 212.6km<sup>2</sup> である。本研究では、統計情報等の取得の都合から、対象地は同流域を行政界内に含み平成の合併が行わ

れる前の旧市町村とした。具体的には茨城県土浦市、石岡市、旧千代田町(現かすみがうら市)、旧八郷町(現石岡市)、旧新治村(現土浦市)の 5 旧市町村である(図-1)。

**2. 方法** レクのための森林管理の方針については、井河原ら(6)などを参考に 4 種類想定し(表-1)、各管理で発生するバイオマス量を既往研究から推定し、マテリアル利用、エネルギー利用の両点から利用可能性を推定した。

(i) **バイオマス推定の区分** バイオマスは①主木部(中高木)の幹・枝、林床部の②ササ、③低木類に 3 区分し推定した。

(ii) **主木部の推定** ①主木部については、恋瀬川流域の近郊における実測調査データ(22)や、後述の既往研究の推定式および林分収穫表を用い、発生するバイオマスを推定した(図-2)。つまり、実測調査データを後藤らの乾燥重量推定式(3)に当てはめ、4 種類の管理方針ごとに発生バイオマスを求めた。また、管理は 60 年先までを想定し、総発生量の 1 年あたりの平均値をバイオマス発生量とした。

(iii) **ササ・低木の推定** 林床の②ササ、③低木については、実測調査による林床型の面積比率(22)に、下記の既往研究による年間発生量の原単位を乗じて求めた。原単位は、伐採前のササ型林床に対しては重松(16)を参考に 1.34t/ha/yr を、低木型については重松・高橋(17)を参考に 0.55t/ha/yr を用いた。また、伐採後は林床の光条件が向上してバイオマスが増加すると考えられるため、皆伐後 10 年間については、ササ型については浅沼(1)を参考に 9.30t/ha/yr を、低木型については糟谷ら(9)を参考に 3.32t/ha/yr を用いた。

(iv) **バイオマス総量の推定** 以上を通じて得られた発生量の原単位に、地域内の森林面積を乗じて発生するバイオマスの総量を求めた。森林面積は 2000 年林業センサスの「森林計画面積(民・国有)」(表-2)を用いた(12)。

Nobuhiko TANAKA (For. Forest Prod. Res. Inst.), Toru TERADA (Grad. Sch. of Sys. and Info. Eng. Univ. of Tsukuba.), Mamoru AMEMIYA (For. Forest Prod. Res. Inst./JSPS Fellow), and Makoto YOKOHARI (Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo) Possibility of Forest Biomass Energy Utilization Derived from Forest Management for Recreational Activities

(v)バイオマス利用法のシナリオ バイオマスの利用面からの評価は、マテリアル利用として遊歩道や森林公園などへの敷材用の木質チップへの変換を、エネルギー利用としてバイオマスのガス化発電、エタノール化を想定し、それぞれの変換量を求めた。

敷材用のチップについては、乾燥重量で評価されたバイオマスの値に対して、森林総合研究所(19)によって得られた気乾密度の逆数を樹種別に乘じ、さらに茨城県造園建設業組合(5)を参考に、チップ化にともなう容積の増加割合を乗じて、容積で評価した(下式)。

$$\text{チップ容積 (m}^3\text{)} = \text{バイオマス (t)} \times$$

$$1/\text{気乾密度 (m}^3\text{/t)} \times \text{チップ化に伴う容積増加割合}$$

発電については、新エネルギー・産業技術総合開発機構(18)を参考に発電効率を25%に設定し、中川・松村(11)より得られた単位重量あたりエネルギー量を乗ずることによって、重量から電力量へ単位変換した(下式)。

$$\text{電力量 (Mcal)} = \text{バイオマス (t)} \times$$

$$\text{単位重量あたりエネルギー量 (Mcal/t)} \times \text{発電効率 (0.25)}$$

エタノールは、大聖・三井物産(株)(13)を参考に、樹木、ササに含まれるセルロース・ヘミセルロースを加水分解して糖を生成し、エタノール発酵するプロセスを想定し、化学反応式の分子量より理論値を算出した(下式)。なお、樹木については柴田・木谷(15)のセルロースおよびヘミセルロースの割合(針葉樹71%、広葉樹・低木78%)を、ササはISHII(7)の構成糖の割合(61.8%)を使用した。プロセス全体のロスとして、糖の収率を85%、エタノールの発酵収率を90%、分離・回収の効率を95%とした。

$$\text{エタノール生産量 (kl)} = \text{バイオマス (t)} \times \text{ホロセルロース割合} \times 1.111 (\text{加水分解}) \times 0.85 (\text{糖の収率}) \times 0.514 (\text{エタノール発酵}) \times 0.9 (\text{発酵収率}) \times 0.95 (\text{分離・回収率}) \times 1.27 (\text{比重の逆数})$$

バイオマス発電とエタノール化に関しては、バイオマスをエネルギー利用した場合のCO<sub>2</sub>の削減量を、化石燃料を代替した際の見かけ上の削減量(バイオマスの代わりに化石燃料を使った場合に放出されるCO<sub>2</sub>)で評価した。エタノール化の場合は、ガソリンに数%混合して利用する場合を想定し、環境省(8)に基づきガソリン燃焼時のCO<sub>2</sub>発生量(2.38kg-CO<sub>2</sub>/l)を削減量とした。なお、エタノールはガソリンに比べて単位容積あたりのエネルギー量が低いため、熱量の比(0.67)を乗じ、代替可能なガソリンを算出したのちに、燃焼時のCO<sub>2</sub>発生量を推定した。ガス化発電の場合は、電力事業連合会(2)より、化石燃料を用いた発電の排出量実績値(0.421kg-CO<sub>2</sub>/kWh)を削減量とした(図-3)。

### III 結果と考察

#### 1. 管理手法ごとに発生するバイオマス

表-3に、求められた管理手法ごとの原単位を示した。これらの値を用いてバイオマス推定を行った結果、管理手法ごとに表-4のようになった。

恋瀬川流域にて発生するバイオマスは、管理手法によって年間約10,000t~50,000t発生するという結果になった。ただし、この値は森林管理が行われていない現状を初期値にスタートした場合なので、循環的資源利用が安定すると、バイオマス発生量は下方に推移されると考えられる。

#### 2. マテリアル・エネルギーへの変換可能量

4種類の管理手法ごとのバイオマス発生量について、チップ化、発電、エタノール化した場合の変換可能量を求めた。管理によって発生するバイオマスをチップに変換した場合、管理手法ごとに約28,000~195,000m<sup>3</sup>が生産可能と推定された。また同様に、約19×10<sup>6</sup>kWh~86×10<sup>6</sup>kWhの電力に変換可能であり、約4,000kl~17,600klのエタノールが生産可能であると試算された。

また、電力については、関東地方の一般家庭の消費電力平均値としての4,413Mcal/世帯/年を用いて、何世帯分の電力が供給可能であるかを推定した。また、求められた世帯数の対象地全体に占める割合も併せて示した。対象地全体の世帯数は、旧千代田町については平成12年(合併前)の国勢調査の値を、その他の市町村については平成17年の国勢調査の値を用いた。その結果、管理手法ごとに年間約4,200~19,400世帯に電力供給が可能で、対象地域内における全世帯に対して約5~20%と試算された。

エタノール化については、ガソリンとの混合を想定し、国内・海外の導入・検討事例を参考に、混合率を3%(E3)、5%(E5)、10%(E10)、25%(E25)、100%とし、それぞれ代替可能な乗用車台数、および対象市町村内における自動車保有台数に占める割合を推定した。

まず、乗用車一台あたりの年間ガソリン使用量を求め、設定した混合率を乗じた値に、ガソリンとエタノールの熱量比(1.49)を乗じ、それぞれのケースの場合に必要な年間一台あたりエタノール量とした。さらに、茨城県(4)より、対象市町村における自動車保有台数(64,780台)を得て、保有台数に対する供給可能台数の割合を示した。

乗用車一台あたりの年間ガソリン使用量は、国土交通省(10)より、全国における乗用車の年間ガソリン消費量(43,151,403kl)を乗用車の保有台数(42,776,178台)で除した値として、1008.771/台を用いた。

その結果、E3燃料への代替を考慮した場合は、管理手法ごとに年間約88,600~390,000台への代替が可能であり、地域内の保有台数に対しても約140~600%と、地域内自給が可能な範囲に収まった。同様に、E5の場合は約53,100~234,000台(約80~360%)、E10の場合は約26,600~117,000台(約40~180%)、E25の場合は約10,600~46,800台(約16~72%)、100%エタノールの場合は約2,700~11,700台(約4~18%)への代替が可能な値であった。

#### 3. エネルギー利用によるCO<sub>2</sub>削減量

バイオマスのエネルギー利用(発電及びエタノール化)

については、炭素削減量も併せて求めた。

バイオマス発電を行った場合は、管理手法ごとに年間約7,800~36,100tのCO<sub>2</sub>が削減可能であり、エタノール化を行った場合は年間9,500~41,900tのCO<sub>2</sub>が削減可能であることが明らかとなった。

#### IV まとめと今後の課題

以上、恋瀬川流域における森林レク利用に伴い発生するバイオマスを試算し、人間による空間利用および資源利用が滞りがちな現在の里山地域の森林に対する新たな管理・利用の方向性を提示することができた。

従来のバイオマス資源利用に関する試算は、林地残材の利用など従来型の林業を念頭に行われたものが多いことを考えると、今回里山地域を対象にしたこと、さらに森林空間づくりの発想からバイオマス資源利用の可能性を検討し、考察したことに意義が見いだせると考えている。

しかしながら、今回の試算は特定のシナリオでレクのための森林整備を行った際に、必然的に発生するバイオマス量を推定し、それを廃棄等せずに最大限利用した場合の利用ポテンシャルを検討しているため、現実の利用可能量はこれより少なくなる。そのため、今後森林の多面的機能を総合的に考慮した管理に発想を拡張することや、その際のコスト面の検討などの検討課題が残されている。今回の考察結果は、その様な一定の限界があることに留意して値を捉えなくてはならない。一方で、今回行った研究のような空間管理と資源管理を融合させた研究の蓄積が、将来の森林の計画的な管理を充実させるためにますます必要になると予測される。そのため、今後もこのような観点を視野に入れた研究を進展させ、深めていきたい。

#### 引用文献

- (1)浅沼晟吾 (1986) アズマネザサ群落の刈り取り様式と再生について. 日本林学会関東支部論文集 38:1-82.
- (2)電力事業連合会 (2003) : 電気事業における環境行動計画 : 電気事業連合会ホームページ<<http://www.fepc.or.jp/index.html>>,2003.9.19 更新,2006.9.4 参照.
- (3)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.
- (4)茨城県 (2004) : 茨城県統計年鑑-平成 16 年度-.<http://www.pref.ibaraki.jp/tokei/tokeisyo/nenkan16/index.htm>.
- (5)茨城県造園建設業協会 (2005) 循環型社会形成への提案-緑のリサイクル解説書-,93pp.,(社)茨城県造園建設業協会,茨城.
- (6)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.
- (7)ISHII, T. and TANAKA, J.(1984) Enzymatic Hydrolysis of

woods. Chemical composition and enzymatic hydrolysis of bamboo grass, Mokuzai Gakkaishi 30(3), 230-236.

- (8)環境省 (2002) 平成 14 年度 温室効果ガス排出量算定方法検討会 エネルギー・工業プロセス分科会報告書 : 地球環境局ホームページ< <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1408/index.html>>,2002.更新,2006.9.4 参照.
- (9)糟谷重夫・佐倉詔夫・鈴木保・粕谷伊佐義 (1986) スギ, ヒノキ幼齢造林地における下刈り施業実験. 日本林学会関東支部論文集 38:87-90.
- (10)国土交通省 (2006) 自動車輸送統計年報,情報管理部交通調査統計課ホームページ< <http://toukei.mlit.go.jp/search/excelhtml/06/06200400a00000.html>>,2006.10.10 閲覧
- (11)中川重年・松村正治 (2004) : 神奈川県産樹木 15 種のバイオマス燃料としての特性評価,神奈川県自然環境保全センター報告 1:21-28.
- (12)農林水産省統計情報部 (2002) : 2000 年世界農林業センサス第 1 巻 茨城県統計書 (林業編) CD-ROM,農林統計協会,東京.
- (13)大聖泰弘・三井物産(株)編 (2004) バイオエタノール最前線,253pp.,工業調査会,東京.
- (14)沢田佳宏・赤松弘治(2007) " 都市山 " 六甲山の植生管理マニュアル. 32pp.,兵庫県神戸県民局・兵庫県立人と自然の博物館,兵庫
- (15)柴田一雄・木谷収編 (1992) バイオマス 生産と変換 (下),250pp.,学会出版センター,東京.
- (16)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.
- (17)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.
- (18)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, 252pp.,新エネルギー技術開発部,茨城.
- (19)森林総合研究所 (2005) 改訂 4 版 木材工業ハンドブック,pp1234 丸善,東京.
- (20) 田中伸彦・香川隆英・宮林茂幸・関岡東生(1993)森林レクリエーションと環境林整備に関する研究.日本林学会論文集 104:285-290
- (21)田中伸彦・渡辺貴史(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.
- (22)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.
- (23)由田幸雄(2007)森林景観づくり事業 -地域ニーズに応えた事業実施. (魅力ある森林景観づくりガイド,奥敬一・香川隆英・田中伸彦編, 273pp.,全国林業改良普及協会,東京).237-269.



図-1.対象地位位置図(茨城県志瀬川流域)

表-2.針広別の森林面積

市町村(当時)	森林計画面積 (ha)		
	広葉樹	針葉樹	計
土浦市	205	292	497
石岡市	140	432	572
八郷町	2,497	4,428	6,925
千代田町	324	424	748
新治村	285	303	588
計	3,451	5,879	9,330

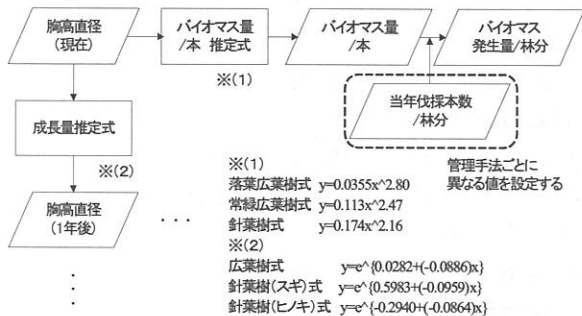


図-2.主木のバイオマスの推定方法

表-1.設定した管理手法

目標	対象樹林タイプ	具体的な管理のシナリオ
林床景観重視	すべての林種	年1回の下草刈りを、60年間継続的に行う。
レク(休息型)	すべての林種	年1回の下草刈りに加え、樹木を間伐する。目標立木密度を600本/haに設定し、60年後にこの密度になるように、一定量ずつ間伐する。
レク(運動型)	すべての林種	年1回の下草刈りに加え、樹木を間伐する。目標立木密度を300本/haに設定し、60年後にこの密度になるように、一定量ずつ間伐する。
伝統的な 里山景観の維持 (生物多様性重視)	落葉広葉樹林	樹林地全体を15の林分に分け、それぞれ15年を伐期として、林分ごとに1年ずつ皆伐期をずらして皆伐を行うことにより法正林を目指す。間伐は皆伐してから10年目に行い、下草刈りは年1回行う。
	常緑広葉樹林	管理を行わず、陰樹の林として保存する。
	針葉樹林	60区画に分け、60年伐期で林分ごとに1年ずつ皆伐する法正林を仮定する。間伐は皆伐後20年目を開始年とし、10年に一度計4回行う。皆伐後8年は下草刈りを行う。

表-3.管理手法ごとの年間バイオマス発生量原単位

管理手法	年間バイオマス発生量原単位 (t/ha)			
	幹・枝(広葉樹)	幹・枝(針葉樹)	下草(ササ)	下草(低木)
景観重視	0.239	0.426	0.638	0.254
レクリエーション(休息型)重視	0.93	1.12	0.638	0.254
レクリエーション(運動型)重視	2.27	2.09	0.638	0.254
生物多様性重視	4.66	3.31	1.04	0.225

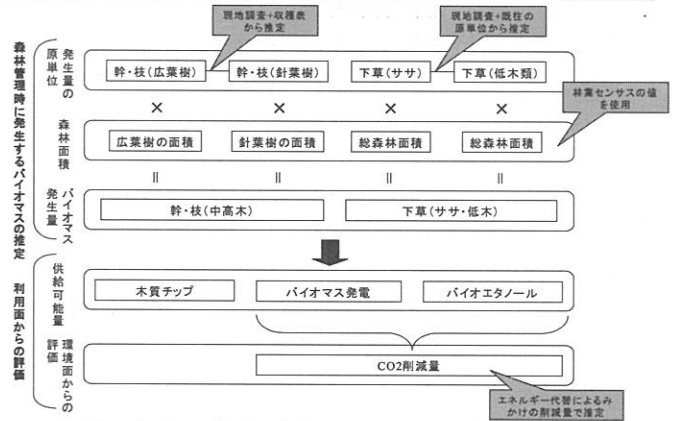


図-3.バイオマス推定の全体フロー

表-4.推定される年間バイオマス発生量と利用可能ポテンシャル

里山管理手法	年間バイオマス発生量	木質チップ生産	ガス化発電	エタノール化
<b>景観重視の管理</b> <input type="checkbox"/> 年に1回下草(ササ・低木)を刈り取る。 <input type="checkbox"/> 自然枯死木を回収。 <input checked="" type="checkbox"/> 見通しのよさを確保。	<b>11,652t</b> 幹・枝 3,329t ササ 5,953t 低木 2,370t	<b>28,207m<sup>3</sup></b> (56.4ha分)	<b>18.6×10<sup>6</sup>kWh</b> (4,215世帯分= 全世界の4.8%) CO2削減量=7,831t	<b>3,994kl</b> (E3: 88,574台分(137%) E10: 26,572台分(41%)) CO2削減量=9,506t
<b>レクリエーション(休息型)重視の管理</b> <input type="checkbox"/> 年に1回下草(ササ・低木)を刈り取る。 <input type="checkbox"/> 立木密度600本/haを目指して間伐。 <input checked="" type="checkbox"/> 散策・休憩に適するように、林内空間の広がりを確保。	<b>18,116t</b> 幹・枝 9,793t ササ 5,953t 低木 2,370t	<b>64,090m<sup>3</sup></b> (128ha分)	<b>31.8×10<sup>6</sup>kWh</b> (7,206世帯分= 全世界の8.2%) CO2削減量=13,388t	<b>6,500kl</b> (E3: 144,150台分(223%) E10: 43,245台分(67%)) CO2削減量=15,470t
<b>レクリエーション(運動型)重視の管理</b> <input type="checkbox"/> 年に1回下草(ササ・低木)を刈り取る。 <input type="checkbox"/> 立木密度300本/haを目指して間伐。 <input checked="" type="checkbox"/> 運動・自然遊びに適するように、林内空間の広がりを確保。	<b>28,443t</b> 幹・枝 20,121t ササ 5,953t 低木 2,370t	<b>118,855m<sup>3</sup></b> (238ha分)	<b>52.1×10<sup>6</sup>kWh</b> (11,806世帯分= 全世界の13.4%) CO2削減量=21,934t	<b>10,533kl</b> (E3: 233,589台分(361%) E10: 70,044台分(108%)) CO2削減量=25,069t
<b>生物多様性重視の管理</b> <input type="checkbox"/> 皆伐も含めて管理を行う。 <input type="checkbox"/> 林分ごとに伐期をずらして、多様な成長段階の林分をつくる。 <input checked="" type="checkbox"/> 景観の多様性に考慮する。	<b>47,334t</b> 幹・枝 35,541t ササ 9,703t 低木 2,099t	<b>195,453m<sup>3</sup></b> (391ha分)	<b>85.7×10<sup>6</sup>kWh</b> (19,420世帯分= 全世界の22.0%) CO2削減量=36,080t	<b>17,593kl</b> (E3: 390,158台分(602%) E10: 117,047台分(181%)) CO2削減量=41,871t