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 CO₂ 固定量/排出削減量の推定

Estimates of CO₂ Fixation and Reduction Based on Various Maintenance Scenarios and Woody Biomass Utilization in a Suburban Area

寺田 徹* 横張 真* 田中 伸彦**

Toru TERADA Makoto YOKOHARI Nobuhiko TANAKA

Abstract : Confronted with global climate change and steadily rising energy costs, the formation of a “Low Carbon Society” has become imperative. In this endeavor, green space maintenance and subsequent utilization of harvested biomass has an important role to play. Green space maintenance serve to fix carbon (CO₂), while woody biomass provides an essentially carbon neutral alternative energy source. In this study, we estimated the amount of carbon fixation and reduction in Kashiwa city, a suburban area of Tokyo, Japan based on three maintenance scenarios; a) “carbon fixation”, b) “biomass utilization and carbon fixation”, and c) “intensive biomass utilization”. Since various types of biomass resources are found in suburban areas, we assumed a mixed biomass utilization scenario which takes advantage of scale and enables cost-savings. Our results indicate that a total of 6,000-6,500 CO₂-t/yr could be fixed and reduced. In addition, we found that the different maintenance scenarios had negligible effect on the outcomes. The results of this research provide critical insight into how green space maintenance planning might not only enhance carbon fixation, but also reduce carbon emissions if appropriate woody biomass utilization methods can be implemented.

Keywords: Green space maintenance, Carbon fixation, CO₂ reduction, Woody biomass, Low-Carbon Society

キーワード : 緑地管理, 炭素固定, 二酸化炭素排出量削減, 木質バイオマス, 低炭素社会

1. はじめに

(1) 背景と目的

IPCC の第 4 次評価報告書をうけ、洞爺湖サミットにおいて各国首脳により CO₂ 排出量削減の必要性が確認された。今日、“低炭素化”は世界における共通の価値尺度¹⁾となっている。

京都議定書目標達成計画においては、CO₂ に代表される温室効果ガスの削減対策は、吸収源対策と排出削減対策とに分かれている²⁾。緑地による対策は、森林整備や都市緑化に代表される吸収源対策のみならず、管理時に発生する木質バイオマスのエネルギー利用に代表される、排出削減対策としても認められる³⁾。低炭素社会の実現に向け、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、最大限の低炭素化を図ることが重要である。

そうした取り組みを行うに有利な地域として、大都市郊外部が考えられる。同地域においては、市街地部にバイオマスエネルギーの需要が潜在的に存在する一方、施設系緑地である公園緑地や街路樹、非施設系緑地である里山等、木質バイオマス供給源としての緑地も、地域内に多数存在する。バイオマスの利活用体系が構築されれば、収集・運搬コストや環境負荷の少ない地域内エネルギー利用が展開できる可能性がある。さらに、建設発生木材のように、原料受け入れ時に処理費用を回収することのできる、逆有償の木質バイオマスも存在するため、それら産業由来の木質バイオマスとの共処理を行うことによって、スケールメリットの確保やコスト削減効果⁴⁾も期待できる。

一方、吸収源対策の観点からは、例えば CO₂ 排出量削減に関心のある企業といったような、管理の新たな担い手として期待される人的資源も多数存在し、木質バイオマスの利活用拡大に対応して、新たな管理を促していける可能性がある。すなわち、大都市郊外部においては、木質バイオマスの利活用と、緑地管理促進の相乗効果により、低炭素化と緑地環境改善を図った緑地管理・利用体系が構築できる可能性がある。

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⁵⁾、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⁶⁾、関東地方の平地林を対象として、管理手法ごとの木質バイオマス発生量と CO₂ 排出削減量を推定したもの⁷⁾、等がある。しかし、これらはいずれも特定の緑地を対象とし、また、吸収源対策と排出削減対策とを別に議論したものである。大都市郊外部において、低炭素化と緑地環境改善を図った緑地管理・利用体系の構築を検討するにあたっては、様々な種類の緑地や、木質バイオマス利用を含めた、総合的なシステムの検討が必要であるが、そうした問題意識に立脚した既往研究はみられない。

本研究では、首都圏郊外部の自治体のひとつである千葉県柏市を事例に、吸収源対策と排出削減対策とを一体的に捉え、緑地由来と産業由来の木質バイオマスとを共処理した場合の、CO₂ 固定量及び排出削減量を明らかにすることを目的とした。

具体的には、まず、柏市内に存在する施設系・非施設系緑地や木質バイオマス供給源の分布量を、空中写真や統計資料等を用いて把握した。緑地については、得られた値に、既往研究や林分収穫表に基づく木質バイオマス発生量の原単位を乗じ、木質バイオマスの潜在的発生量と、木質部への炭素固定量を求めた(第 2 章)。次に、柏市のエネルギー需要や資源分布状況に対応した木質バイオマス利活用シナリオを、国内先進事例を参考に設定した。そして、設定されたシナリオを実装した場合の潜在的なエネルギー供給可能量、CO₂ 排出削減量を推定した(第 3 章)。以上によって得られた結果をもとに、大都市郊外部における低炭素型の緑地計画の展開可能性について議論した(第 4 章)。

(2) 対象地の概要

千葉県柏市は都心から北東に約 30km 圏内に位置する、人口約 39 万人、面積約 115km² の郊外都市である(平成 20 年 4 月 1 日現在)。高度経済成長期に大量の宅地開発が行われ、現在では住居系の用途地域が多い、ベッドタウン型の都市となっている。そ

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科 ** 独立行政法人森林総合研究所

素固定量の原単位（それぞれ 7.15, 6.86, 8.76t-CO₂/ha・yr）を、住宅地内庭木に関しては、中村ら（2000）⁶⁾ が千葉県松戸市の郊外住宅地を対象に作成したもの（2.16 t-CO₂/ha・yr）を用いた。

産業由来の木質バイオマスの年間発生量に関しては、千葉県（2004）¹³⁾ の調査から年間発生量を把握し、うち現状では単純燃焼または廃棄処分されているものを利用可能量とした¹⁴⁾。発生量に占める利用可能量の割合は、Murata et al (2006)¹⁵⁾ にもとづき、製材残材について 4.5%、木材工業系残材について 1.4%、建設発生木材については、国土交通省（2005）¹⁶⁾ にもとづき、21%とした。

（3）結果と考察

図－2 木質バイオマス発生量（上段）と炭素固定量（下段）

推定の結果を図－2 に示した。柏市においては、緑地管理に伴って年間約 700～2,100dry-t ほどの木質バイオマスが発生するとされ、年間炭素固定量は 2,000～3,900t-CO₂と推定された。

炭素固定重視のシナリオ A では、緑地管理による年間木質バイオマス発生量が 695dry-t であることに對して、炭素固定量は 3,951t-CO₂であり、逆に木質バイオマス利用重視のシナリオ C においては、年間バイオマス発生量 2,149dry-t、炭素固定量 2,001t-CO₂であり、それぞれが反比例の関係となった。なお、産業由来の木質バイオマスの場合、製材所廃材 9dry-t、木材加工廃材 92 dry-t、建設発生木材 1,680dry-t の年間利用発生量となり、特に利用可能な建設発生木材が多いことが明らかとなった。

柏市においては、施設系緑地が、樹冠被覆面積で 566ha 存在し、対象とした緑地全体の 36.8%を占めていた。このことは、公園整備を伴うような大規模開発や、庭を有する比較的地域規模の大きな住宅が多い、大都市郊外部の特性であると考えられる。同地域において発生量の多い建設発生木材と共に、有効利用を図っていく必要があると考えられた。

3. 木質バイオマス利用によるエネルギー供給可能量及び CO₂削減効果の推定

（1）大都市郊外部における木質バイオマス利活用シナリオ

木質バイオマスをエネルギー変換する方法は多岐にわたるが、効率よくエネルギーへの変換を行うためには、熱としての利活用が、エネルギーのロスが少なく望ましい¹⁷⁾。

木質バイオマスの熱利用は一般的に、木質ペレットやチップといった固形燃料に変換し、端末のボイラやストーブで燃焼させる場合と、配管等のインフラを敷設し、地域冷暖房や施設冷暖房のように、面的な熱需要に対して供給を行う場合との 2つの場合がある。また後者の場合は、電熱供給（CHP）プラントによって、発電を行うと同時に、発生する熱を有効利用する技術の確立が期待されている。第 2 章で明らかにされたように、柏市においては様々な種類の木質バイオマスが一定量発生しているため、それぞ

図－3 本研究で想定する木質バイオマス利活用シナリオ

れ、燃料としての質に見合った熱利用方法を選択することが、効率のよい化石資源の抑制に寄与すると考えられる。

そこで本研究においては、図－3 のように、ガス化発電 CHP プラントと、ペレット製造の 2つを組み合わせ、電力と熱を供給するシナリオを想定した。不純物がなく、高品質な燃料に変換可能な製材廃材、木材工業系残材、及び樹林地からの伐採材については、ペレット化し、公共施設や住宅地にボイラを設置し利活用する。一方で含水率が高い剪定枝や、不純物が含まれる建設発生木材については、それらの欠点を大きな問題としない、ガス化発電 CHP プラントにおいてエネルギー変換を行い、集中した熱需要が存在する集約団地において、電熱供給することを仮定した。

（2）推定の方法

エネルギー供給可能量の推定については、中川・松村（2004）¹⁸⁾ にもとづき、木質バイオマスの乾燥重量あたり熱量を 4,870Mcal/dry-t として熱量換算し、それぞれの利用シナリオごとのエネルギー変換効率を乗じて、供給可能量とした。

ガス化発電 CHP における電力への変換については、JFE エンジニアリング（2006）¹⁹⁾ にもとづき、発電端効率を 30%とした。また、施設内電力利用分を差し引くため、NEDO（2005）²⁰⁾ にもとづき、送電端/発電端の平均的な値を 0.8 とし、送電端効率 24%とした。熱については、JFE エンジニアリング（2006）¹⁹⁾ にもとづき、熱利用効率を 50%、配管利用によるエネルギーロスを 10%と見積もり、変換効率 45%とした。ペレット製造は、ペレットクラブ（2004）²¹⁾ にもとづき、製品完成までの総合効率を 75%とした。

CO₂排出削減量については、化石燃料を代替した場合の見かけの削減量を計算した。CO₂排出係数は、環境省（2002）²²⁾ にもとづき、電力について 0.357kg-CO₂/kWh、熱利用については A 重油との代替を考え、69.3g-CO₂/MJ とした。

（3）結果と考察

表－2 には、図－3 の木質バイオマス利用シナリオによる、供

表－2 供給可能エネルギー量と CO₂排出削減量

	管理	CHP (電力)	CHP (熱)	ペレット (熱)	計
供給可能 世帯数 (世帯/yr)	A	617	877	346	-
	B	715	1,017	561	-
	C	814	1,158	1,288	-
CO ₂ 排出 削減量 (t-CO ₂ /yr)	A	679	1,347	532	2,558
	B	787	1,561	861	3,209
	C	896	1,778	1,444	4,118

図－4 木質バイオマス利用と炭素固定による CO₂削減効果

供給可能エネルギー量と、CO₂排出削減量を示した。供給可能エネルギー量は世帯数で換算した²³⁾。ガス化発電 CHP においては、約 620～810 世帯へ電力供給が可能であり、同時に約 880～1,160 世帯への熱（冷暖房）供給が可能であった。本シナリオの下においては、電力供給可能世帯数に対して、熱供給可能世帯数が過剰である結果が示されたため、CO₂を最大限削減するためには、余剰分の熱エネルギー（260～344 世帯分）を有効利用する必要があることが示唆された。ペレットによる熱供給は、シナリオによってやや差がみられ、約 350～1,290 世帯に供給可能であった。これら木質バイオマス利活用による CO₂排出削減量は、約 2,560～4,120t-CO₂/yr とされ、炭素固定量の 2,000～3,950t-CO₂/yr を上回った。

図－4 には、木質バイオマス利用による CO₂排出削減量と、炭素固定との和を示した。管理シナリオ A が、その他と比較してやや削減効果が高いものの、シナリオによって大差はなく、固定重視か利用重視かに関わらず、年間約 6,000～6,500t-CO₂の削減が可能であることが明らかとなった。この結果から、地域の低炭素化に向けて、吸収源対策の観点のみならず、木質バイオマス利活用の観点からも、緑地を積極的に位置づけていくことができる可能性が示唆された。

本稿が対象とした大都市郊外部の緑地は、施設・非施設系を問わず、恒常的に適切な管理下におかれるべき存在である。しかし、管理費の削減や経済的価値の喪失により、その多くで現在、管理放棄が進行している。管理に伴い発生する木質バイオマスの利活用は、各緑地に本来求められる管理を再生する意味からも、重視すべきシナリオである。伐採木材の炭素評価方法については、現在気候変動枠組条約において議論がなされており、第 2 約束期間以降は、評価の対象になる可能性がある²⁴⁾。本稿で明らかにした点は、こうした議論の流れを支持し、将来に向けて、木質バイオマス利用も含めた、より柔軟な緑地の管理・利用体系が構築できる可能性を示唆するものと考えられた。

4. 大都市郊外部における低炭素緑地計画の展開可能性

本研究で明らかにされた、年間約 6,000～6,500t-CO₂の削減量は、柏市全体の CO₂排出量（2,378 千 t-CO₂：平成 16 年度実績）の 0.25～0.27%にあたり、柏市地球温暖化対策計画における削減目標値（478 千 t-CO₂）の 1.3～1.4%となる。

また、同条例における個別対策との比較をみると、木質バイオマスの利活用は新エネルギー導入の一環として受け止められ、既存の戸建住宅の 1%に対する導入が目標とされている。本研究の各シナリオによるエネルギー供給可能世帯数の合計は 1,840～3,260 世帯であるが、これは柏市の戸建住宅世帯数の 2.4～4.3%に相当し、十分に導入目標に届く量の木質バイオマスを得ることが可能である。

本研究の成果のうち、明らかにされた値そのものについては柏市の地域特性に依存しているが、炭素固定量と CO₂排出削減量のバランスといった相対的關係は、様々な資源がバランスよく存在する大都市郊外部の特徴であるといえる。同地域において低炭素に資する緑地計画を展開するにあたっては、様々な種類の木質バイオマスの複合利用を推進し、様々なセクター間の連携のもとで、緑地管理・利用体系を構築することが不可欠であるといえよう。

一例として、北九州・福岡大都市圏の郊外部に位置づけられる山口県下関市においては、全国初の取り組みとして、民間企業が NEDO、県森林企画課と連携し、県下の人工林間伐材から製造された木質ペレットを燃料とした、集中冷暖房付きの郊外住宅地を開発している²⁵⁾。CO₂削減効果について、現在は値の算定のみで留まっているということであったが²⁶⁾、こうした事例が広がる

とともに、地球温暖化対策や緑地計画との位置づけを明確にし、低炭素型の緑地管理・利用体系を構築していくことが求められる。

なお、本稿において明らかにした値は、地域において最大限の緑地管理・利用体系が構築された場合を想定したものであった。こうした潜在的な値が、現実にとどこまで顕在化できるかについては、緑地管理や木質バイオマス利用に関わる様々なセクターの連携体制や、相互補完的なインセンティブ構築に関する検討、また、各シナリオのエネルギー消費、コスト面からの検討が不可欠であるとの認識のもと、今後の重要な研究課題としたい。

謝辞

山口県森林企画課山田氏、安成工務店宮崎氏には、インタビューの際にお世話になりました。ここに記して謝辞とさせていただきます。

補注及び引用文献

- 1) 小澤一郎（2008）：低炭素都市づくりと都市計画の役割：地域開発 525, 19-24
- 2) 環境省（2008）：京都議定書目標達成計画：地球環境局ホームページ、<http://www.env.go.jp/houdou/gazou/5937/6699/2278.pdf>, 06/07/11 更新, 08/08/18 閲覧
- 3) 松本光朗（2008）：地球温暖化と森林-IPCC 第 4 次報告書が描く森林の貢献：森林科学 52, 4-8
- 4) 松村幸彦他（2005）：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, 985-989
- 5) 藤原宣夫（2004）：都市緑化による CO₂削減量の評価-東京都豊島区におけるケーススタディ：環境情報科学論文集 18, 241-246
- 6) 中村知治他（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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 藤原宣夫他（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
- 10) 施設内緑地について「公共施設（243 敷地、抽出率 36.7%）」「事業所（369 敷地、4.00%）」の 2 クラス、住宅地内庭木について「市街化区域内戸建住宅（382 敷地、0.546%）」「調整区域内戸建住宅（357 敷地、6.95%）」「集合住宅（362 敷地、5.92%）」の 3 クラスの計 5 クラスを抽出した。各クラスターの母数は、ゼンリン ZmapTown II（旧柏市 2003 年、旧沼南町 2002 年）に基づいた。
- 11) 田中和博（1996）：森林計画学入門：森林計画学会出版局, 192pp
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 製材廃材について、H13 年度製材基礎統計を用い、素材生産量から出荷量を引きいたものを残材発生量とした。これを木材登録業者名簿の製材工場馬力で按分し、市町村別の値とした。木材工業系残材について、ヒアリングに基づき発生量原単位（1,450t/yr）を設定し、市町村別事業所数を乗じて求めた。建設発生木材については、建設副産物実態調査（千葉県：H12）のデータを引用した 13)。
- 15) Murata, K., Ikami, Y. and Tonosaki, M. (2006) : Estimate of material recycling flow in the Japanese wood industry, Bulletin of FFPRI, Vol.5 No.1, 85-91
- 16) 国土交通省（2005）：平成 17 年度建設副産物実態調査：総合政策局ホームページ、http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/01/011208_2_.html, 06/12/08 更新, 08/08/20 閲覧
- 17) 三浦秀一（2008）：バイオマスを中心とした再生可能エネルギーによるカーボンニュートラルなまちづくり：地域開発 2008.6, 25-28
- 18) 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
- 19) JFE エンジニアリング（2006）：JFE フェルント式 木質バイオマスガス化発電システム, 4pp
- 20) 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：新エネルギー技術開発部, pp124
- 21) ペレットクラブ（2004）：木質ペレットの価値：ペレットクラブホームページ、<http://www.pelletclub.jp/index.html>, 2008.6.19 更新, 2008.9.03 閲覧
- 22) 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：温室効果ガス排出量算定方法検討会, 45pp
- 23) 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, pp237
- 24) FCCC（2003）：Estimation, Reporting and Accounting of Harvested Wood Products, Technical Paper of Framework Convention on Climate Change, 44pp
- 25) 安成信次（2008）：ペレットボイラーによる地域熱供給－安岡エコタウンの取組み：地域開発 525, 52-55
- 26) 安成工務店（08.8.18）、山口県森林企画課（08.8.20）へのインタビューに基づく