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

Ecological Potential of Golf Courses on *Satoyama* Hills for Biomass Energy Utilization

安田信太郎* 横張 真**

Shintaro YASUDA, Makoto YOKOHARI

摘要：里山管理から発生する植物性廃棄物をエネルギー資源として有効利用することは、二酸化炭素の排出量削減に向けた取り組みとして意義がある。本研究では、里山ゴルフ場から発生する刈り芝残さに着目し、その発生量を実測にもとづき推定した。5種の芝タイプにおける調査から、乾物量換算で年間 398 g/m²の刈り芝残さが調査対象ゴルフ場の管理芝地から発生していると推定した。また、ガス化・メタノール製造法により、398 gの刈り芝残さから175 gのメタノールが得られると推定した。さらに、より多くのエネルギーを得るための里山ゴルフ場の管理・誘導指針を、刈り芝残さの回収量の増加および刈高の変更から示した。

1. はじめに

「エネルギーとして利用できる植物資源」¹⁾と一般に定義されるバイオマスの利用は、これまでの大規模供給を主眼とする資源利用体系においては、発生源が広範囲に点在するために、コスト的に見合わないとされてきた。しかし、温暖化対策の目的財源として温暖化対策税の導入が検討されていることに見られるように、経済システムは環境保全に向けて見直されてきている²⁾。現行の資源利用体系において経済的価値をもたないとされる資源であっても、環境保全に向けた新たな資源利用体系の構築により、有効利用が推進されてくると考えられる。

バイオマス供給の中心となる可能性のある地域のひとつとして里山がある。ここでいう里山は、薪炭林や農用林などの二次林に加え、草地や柴地までを含めた、人為的な影響のもとで形成され管理されてきた緑被地をさす。薪や木炭などの需要低下に伴い管理放棄が進行した里山であるが、環境への負荷の小さい新エネルギーの供給源として新たに価値が生じると考えられる。

バイオマスエネルギーの導入において、最も供給可能性が高く現実的な利用が見込まれる原料は廃棄物系バイオマスである¹⁾。里山の廃棄物系バイオマスとしては植生管理から発生する植物性廃棄物がある。なかでも里山に数多く立地するゴルフ場（以下、里山ゴルフ場とする）から発生する刈り芝残さは、主要な廃棄物系バイオマスである。集約的なコース管理から発生する刈り芝残さは、モア（刈り機）による刈り込みにより、すでに粉碎された状態で発生し、無用の廃棄物として多くが回収、処分されている。回収や粗砕に新たなコストが生じる林地残材や農業残さなどと異なり、導入が容易なバイオマスであるといえる。また、汚泥や生ごみなどと同様に、すでに普及が進んでいるコンポスト化装置や炭化装置などでの処理が可能であるとともに、植物性廃棄物として、発酵法によるエタノール製造、ガス化による液体燃料製造などのエネルギー原料とすることができる。化石燃料代替のバイオマスエネルギーとして、その有効活用を検討することは、二酸化炭素の排出量削減に向けた取り組みとして意義をもつ。

ゴルフ場刈り芝残さをバイオマスエネルギー源として利用するためには、まずその発生量を正確に把握する必要がある。それにより、得られるエネルギー量やコストの推定、採算性の検討、エネルギー活用に向けた段階的な取り組み案の策定など、一連の作業が可能になる。そこで本研究では、ゴルフ場刈り芝残さの発生

量を、実測にもとづき把握した。また、刈り芝残さから得られるエネルギー量を推定した。さらに、より多くのエネルギーを刈り芝残さから得るための管理誘導指針を示し、里山ゴルフ場におけるバイオマスエネルギーの活用を展望した。

2. 研究の方法

(1) 調査対象の概要

調査対象は、埼玉県比企北丘陵内に位置するAゴルフ場（1995年開場）とした。約3,300haの比企北丘陵内（図-1）には、Aゴルフ場を含む5つのゴルフ場（513ha）が開場するほか、国営武蔵丘陵森林公園（304ha）が開園している。この地域は、標高100m前後のなだらかな丘陵地と多くの谷津を含む里山地域であり、戦後には、茅場、芝地、薪炭林など、さまざまな緑被地が空間的にも時間的にもモザイク状に分布していた³⁾。

Aゴルフ場は、167haの総面積に87haの管理芝地を含み、27ホールを有するゴルフ場である。管理芝地面積は丘陵内最大であり、平坦なプレーゾーンをもつ。特に限られた時間の中で、芝地管理およびプレーに配慮しながら実施しなければならない検体の回収に有利であると考え、Aゴルフ場を調査対象として選定した。また、2グリーンを有し、2種のグリーンに関する調査が可能であったことも選定理由である。管理芝地の内訳は表-1の通りである。刈り込み管理から発生した刈り芝バイオマスは、重油を補助燃料とし、焼却処分の対象となってきた。しかし、廃棄物処理法の改正に伴う野焼きの禁止により、2000年以降はゴルフ場敷地内において投棄処分されている。投棄処分用地をゴルフ場敷地内に継続的に確保することが困難なため、適切な処理法の導入が求められている。

図-1 Aゴルフ場が立地する比企北丘陵地域

*筑波大学大学院環境科学研究科 **筑波大学社会工学系

表-1 Aゴルフ場における芝刈り込み状況 (2000年度)

	面積 (ha)	年間刈込回数	刈込時期	刈高 (mm)
ベントグリーン	2.2	260	通年	4.0
ティフトングリーン	1.7	95	4月～11月	4.0
洋芝ティー	1.6	55	3月～1月	10.0
ティフトン高麗ティー	1.1	23	4月～11月	10.0
フェアウェイ	22.1	21	5月～10月	15.0
ラフ	57.9	16	5月～10月	40.0

(2) 刈り芝残さ発生量の推定

調査対象とした芝タイプについて1年を通したデータが得られるまで、2000年7月から2001年9月にかけてAゴルフ場で刈り芝残さを回収した。回収された刈り芝残さの一部を80℃の乾燥器で3日間乾燥させた後、乾燥重量を測定した。推定された単位面積あたりの刈り芝残さの発生量を、前回刈り込みからの経過日数で除することにより、1日あたりの発生量を把握した。なお、耕転作業後およびサッチ予防のためのバーチカルモア（密接した鉛直ブレードをもち、横に延びた芝を切断除去することで芝密度を低下させる特殊モア）の使用時に回収された検体、および目砂が少しでも混入した検体は無効とした。調査日数合計、無効とされた検体を除く有効検体数、および前回刈り込みからの平均経過日数は表-2の通りである。刈り芝残さの回収方法は、芝タイプごとの刈り込み管理仕様の違いに応じて、以下のとおりとした。

(i) グリーン

クリーピングベントグラス (*Agrostis palustris*) を使用するベントグリーンと、バミューダグラス (*Cymodom dactylon*) を使用するティフトングリーンの2種がある。グリーンでは精密な刈り込みと完全な刈り芝残さの除去が要求されるため、刈り込みと回収を同時におこなうモアが使用されている。刈り芝残さの発生量に応じて、1～5ホール程度のグリーンの刈り込みが連続しておこなわれ、モア付属のバスケットに刈り芝残さが回収されている。そのバスケット内の刈り芝残さを全てをプラスチックバッグに移し、測定対象とした。生草重量を測定したのち、300g～500g程度を抜き取り、乾物量を求める検体とした。推定乾物量およびAゴルフ場諸元一覧に記載されたグリーンの面積から、単位面積あたりの刈り芝残さ発生量を推定した。

(ii) ティー

ケンタッキーブルーグラス (*Poa pratensis*) を使用する洋芝ティーと、バミューダグラスと高麗シバ (*Zoysia matrella*) を混合使用するティフトン・高麗ティーがある。主に洋芝ティーがプレーに使用され、芝の張り換えや残暑期の生育の衰えに対する措置として、ティフトン・高麗ティーが使用される。そのため、刈り込み回数は洋芝ティーが年55回であるのに対し、ティフトン・高麗ティーは年23回である(表-1)。ティフトン・高麗ティーは刈り込み頻度が低く、ティー上での調査区の設置も不可能であったため、洋芝ティーにおける推定乾物量をもって、ティーの刈り芝バイオマスとした。Aゴルフ場内の総芝地面積に対するティフトン・高麗ティー面積は約1.3%にとどまっており、ゴルフ場全体の刈り芝バイオマスの推定における影響はほぼないものと考えられる。グリーンと同様、刈り込みには刈り込みと回収を同時におこなうモアが使用されており、回収およびバイオマス推定方法はグリーンと同一である。

(iii) フェアウェイ

フェアウェイでは、高麗シバが使用されている。刈り込みと回収は別々におこなわれている。大型の乗用モアにより刈り込みがおこなわれ、放置された刈り芝残さはスパーにより適宜除去される。刈り込み前後に1m×1mの調査区をフェアウェイ中央部の平らで芝生がえぐられていない場所に一時的に設け、刈り芝残さを回収した。刈り込み前にも回収をおこなう理由は、前回の刈り込みで発生した刈り芝残さがスパーでは完全に除去され

表-2 Aゴルフ場における現地調査概要

	調査日数合計	有効検体数	平均経過日数
ベントグリーン	19	47	1.3
ティフトングリーン	11	35	1.8
ティー	12	29	6.3
フェアウェイ	9	61	11.4
ラフ	15	127	13.7

ることがなく、刈り込み後に回収される刈り芝残さに混入するからである。刈り込み前後の乾物量の差を算出し、その地点での刈り芝残さ発生量とした。なお、2つの隣接した調査区を設けることができた場合には、それらの乾物量の平均値をその地点での測定値とした。調査日数合計はフェアウェイの刈り込みに立ち会うことができた9日であり、調査地点述べ数は24であった。24調査地点のうち、刈り込み前後共に隣接調査区を設けることができたのは6地点であり、刈り込み前あるいは刈り込み後のいずれかに隣接調査区を設けることができたのは7地点である。残りの11地点は単調査区のみを設けた。なお、回収にはペット用ブラシと携帯掃除機を使用した。フェアウェイは、モアの進入前後に調査区を設け、進入前後に回収された刈り芝残さ発生量の差をもって、その地点での刈り芝残さ発生量としたので、図-5に示された実測値の数は表-2に示された有効検体数とは異なる。表-2の有効検体数61に対し、図-5に示された実測値の数は24である。

(iv) ラフ

ラフには、ノシバ (*Zoysia japonica*) が使用されている。フェアウェイ同様、モアによる回収とスパーによる刈り芝残さの回収が別々におこなわれている。しかし、刈高が40mmと他の芝タイプに比べて高く、刈り込み回数も年間16回と他の芝タイプに比べて少ないため、フェアウェイ同様の手法による刈り芝残さ発生量の推定では、推定精度は極めて低くなる。そこで、調査目的の刈り込みによる刈り芝残さ発生量の推定をおこなった。刈り込みには、実際のコース管理における刈り込み高に等しい40mmの高さをもつ0.100㎡の正方形の枠と芝刈り鋏を用いた(図-2)。調査枠上面には5cmおきにテグスが張られ、これより上部にはみ出した芝草を刈り取り、乾燥重量を求めた。

しかし、50haを超える広大なラフを、刈り込み調査のみで把握することには限界がある。そこで、草丈と刈り芝の乾燥重量の回帰式を求め、草高から乾燥重量を推定することにより、刈取り調査を補足した。草高は藤崎式芝生草高計を用いて測定した(図-3)⁴⁾。隣接した5箇所での草高計により計測された草高の平均値をもって、その地点での草高とした。回帰式は0.1%水準で有意であり、草高による刈り芝発生量の推定は十分に有効と考えられた(図-4)。ラフの調査区は、日射を遮る樹木の周りおよび過度の水分が供給される斜面下部の排水樹の周辺を避けてAラフ(傾斜角10度以下かつ樹林間隔が5m以上の芝地)上に設置した。また、50ヤード以上の間隔を保ち、限られた調査時間内でなるべくコース全体を網羅できるように設置した。総検体数は127であるが、96検体は草丈から間接的に求められたものである。

図-2 調査枠

図-3 草高計

図-4 ラフにおける草高と刈り芝発生量の回帰直線

図－5 刈り芝残さ発生量の年間推移（単位面積あたり 1 日）

3. 研究の結果

それぞれの芝タイプにおける単位面積あたり 1 日の刈り芝残さ発生量の年間推移を図－5 に示す。図中の点は実測値を示し、実線は平均値の推移を示す。なお、冬季中の刈り込み作業の休止期については、刈り芝残さの発生量をゼロとした。

すべての芝タイプに共通の傾向として、春季に刈り芝残さ発生量が増加し、夏季から冬季にかけて減少することが認められた。全管理芝地平均での単位面積あたり刈り芝残さ発生量の年間推移を、芝タイプ別の刈り芝残さ発生量に各管理芝地面積を乗じ、それらの合計を総管理芝地面積で除することから得た（図－5）。調査日あたりの測定結果におけるバラツキは、日照条件および傾斜や灌水などによる水分条件の違いによるものと考えられる。

また、刈り芝残さ年間推定発生量を、1 日の平均刈り芝残さ発生量に年間日数 365 を乗ずることから得た。表－3 がその結果である。なお、ここでいう 1 日の平均刈り芝残さ発生量とは、図－5 に示される刈り芝残さ発生量の年間推移を積分したものを各芝タイプ別の調査期間内日数で除したものである。

以上より A ゴルフ場全体では、年間約 345 t の刈り芝残さが発生していると推定した。この A ゴルフ場全体の年間発生量を総芝地面積で除し、単位面積あたりでは、年間 398 g / m² の刈り芝残さがゴルフ場の管理芝地から発生していると推定した。刈り芝残さ発生量をより正確に把握するためには、刈り込み作業日数に対する調査日数や調査日あたりの検体数の不足による誤差、および発生量の年次変動などを踏まえた調査がさらに必要である。他のゴルフ場でも、使用されている芝の種類および刈高などに大きな違いはないとされるが⁵⁾、推定値に一般性をもたせるためには、本研究と同様の視点で他のゴルフ場にもアプローチする必要がある。

4. 考察

単位面積あたりの年間刈り芝残さ発生量には、芝タイプ別に相違が認められた。この要因としては、施肥量、灌水回数、および刈高などの違いが考えられる。実際に、施肥量および灌水回数の多いベントグリーンおよびティーでは、単位面積あたりの年間刈り芝残さ発生量がティフトングリーンやフェアウェイに比べ、多くなっている（表－3）。

一方、刈高は、芝草の LAI（葉面積指数）に影響を与える。大きい LAI は、光合成量の増加につながり、生長量を増大させる。施肥量が少なく、灌水回数が低いにもかかわらず、ラフの単位面積あたり年間刈り芝発生量が多いのは、他の芝タイプに比べて刈高が特に高いことによるものと考えられる（表－1 および表－4）。

表－3 刈り芝残さ年間推定発生量

	単位面積あたり (g/m ²)	A ゴルフ場全体 (t/87ha)
ベントグリーン	522	12
ティフトングリーン	214	4
ティー	358	10
フェアウェイ	248	55
ラフ	458	265
(平均 398g/m ²)		(合計 345t)

表－4 コース管理実績（2000 年度）

	施肥回数	施肥量 (g/m ²)			作業回数	
		N	P	K	目土	灌水
ベントグリーン	24	25.0	19.6	39.6	8	55
ティフトングリーン	7	5.7	4.1	5.8	2	6
洋芝ティー	13	21.4	19.3	22.0	4	29
フェアウェイ	3	11.0	11.0	11.0	0	4
ラフ	2	5.2	5.2	5.2	0	0

5. 刈り芝残さから得られるエネルギー量の推定

里山ゴルフ場では、刈り芝残さに加え、樹木剪定や樹林地管理からもさまざまな植物性廃棄物が発生している。そこで、あらゆる植物性廃棄物を原料とできる、ガス化・メタノール製造法⁶⁾を用いた場合の刈り芝残さの活用に向けた検討をここではおこなう。ソルガム茎葉部をこの製造法の原料とした際、対バイオマス乾物重の低位発熱量（実際に装置を動かした場合に得られる発熱量）で 15.15MJ/kg、メタノール重量収率（原料に対するメタノール生産重量の比率）で 44% の値が報告されている⁷⁾。メタノール重量収率は、炭素含量が 48.3～51.1% と高い米糠や杉木粉で 55～56% の高い値が、炭素含量が 36.9～40.0% と低い稲藁や粕穀で 36～39% の低い値が確認されている。刈り芝残さの炭素含量は高麗シパで 42.1%、ベントグラスで 46.5% など⁸⁾、ソルガム茎葉部の炭素含量 44.4% に近い値を示している。そのため、ソルガム茎葉部のメタノール重量収率を刈り芝残さに適用した。その結果、ゴルフ場管理芝地における 1 m² あたりの年間刈り芝発生量 398 g（表－3）からは、理論値で 175 g のメタノール（6.03MJ 相当）が得られると推定された。メタノールは燃料電池車やアルコールエンジン車の燃料として利用することができる。次世代のゴルフカート、モア、および他のコース管理用車両などの燃料として有望視される。

メタノール製造の排気処理段階においては、副生物として粉末状の硝安、硫安を生成できる電子ビーム排煙処理技術⁹⁾などを導入し、肥料の生産を同時に進めるべきであろう（図－6）。刈り芝残さ由来の肥料を化学合成肥料に代替させることは、化学合成肥料の製造や運搬におけるエネルギー消費を削減することになる。刈り芝残さの直接的なエネルギー利用と同様に、二酸化炭素の排

図-6 刈り芝残さのエネルギー活用体系

出量削減に向けた取り組みとして意義をもつ。

6. ゴルフ場の管理・誘導指針

刈り芝残さのエネルギー活用に向けては、プレーへの配慮とコース管理との兼ね合いが重要である。現状で既に回収されている刈り芝残さの活用からはじめ、無理のない範囲で、段階的に多くのエネルギーを得るための取り組みに着手するべきであろう。

より多くのエネルギーを得るには、現状で全回収されていないフェアウェイおよびラフの刈り芝残さを少しでも多く回収することと、刈り芝残さの発生量自体を増やすことが有効である。ただし、刈り芝残さ回収の際には、芝草が土壌から吸収した養分を補い、地力を維持するために、回収した刈り芝残さが含む養分を芝生地に還元する必要がある。さきに述べた刈り芝残さ由来の肥料を活用するべきであろう。また、さらなる回収には新たなコストが生じるが、刈り芝残さから得られる燃料や肥料の導入により製品の購入を削減できることから、消却できると考えられる。

刈り芝残さの発生量自体を増やすためには、刈高を高くすることにより LAI を増加させ、芝草の生長を高めることが有効である。とくに、管理芝地面積の約 2/3 を占めるラフの生長を高めることにより、ゴルフ場全体の刈り芝残さ発生量を効果的に増加させることができる。このことは二酸化炭素固定量を増加させる取り組みとしても意義がある。2001 年 9 月に、A ラフのうち、日中に陰とならない中間的な草勢をもつ場所の 5 地点から得た検体の LAI を測定したところ、 1.54 ± 0.19 (標準偏差) という低い値が得られた。現状のコース管理では、ラフが一様に 40mm で刈り込まれており、全体的に LAI の増加が制約を受けていると考えられる。

フェアウェイに近いラフでは、プレーの円滑な進行をはかるため、刈高を高くすることは難しい。しかし、ゴルフボールがあまり飛んでいくことのないフェアウェイから離れたラフでは、刈高を高くすることができる。すなわち、フェアウェイから遠ざかるにつれ、段階的にラフの刈高を高くしていくことが可能である。

また、現状で刈高が 15mm であるフェアウェイについても、刈高を 20mm 程度に変更することで、刈り芝残さの発生量を増加させることができると考えられる。フェアウェイの刈高では、15mm よりも 20mm の方が明らかに雑草の発生が少ないことが確認されており¹⁰⁾、除草剤の施薬量の減少にもつながる。施薬量の削減は、除草剤の製造や運搬に使用される化石エネルギーを節減することから、間接的な二酸化炭素の排出量削減効果も期待される。

7. 里山ゴルフ場におけるバイオマスエネルギーの活用に向けて

里山ゴルフ場では、連日の芝地管理から発生する刈り芝残さに加え、樹木剪定や樹林地管理から、落ち葉や剪定枝類などが不定期に回収されている。樹林地管理から発生する植物性廃棄物は、生物相の保全に向けた二次林の維持管理³⁾から、将来さらに増加する可能性もある。ただし、不定期に回収されるバイオマスは、そのままでは処理設備の導入や利用システムの構築が困難であり、計画的な利活用をおこなうことはむずかしい。しかし、そうしたバイオマスについても、日常的な刈り芝残さのバイオマス利用に組み込むことで、実際の利用に結びつけることができると考えられる。また、樹木剪定や樹林地管理から回収されるバイオマスは里山管理に共通するものである。バイオマス利用の実例を里山ゴルフ場で先駆的に示すことにより、里山でのバイオマス利用を検討する際の足がかりを築くことができる。

8. 今後の課題

本研究では、実際の刈り芝バイオマスのエネルギー活用における採算性についてまでは言及することができなかった。初期設備、運搬、処理などの刈り芝バイオマス利用にかかるコストや、無料の原料から得られる代替エネルギーなどの利益を試算し、実用に向けて、さらに検討を加えていく必要があると考える。

謝辞

本研究は、日本生命財団研究助成による「里地自然保全戦略の構築」の一環として実施された。畜産草地研究所の鶴見義朗氏および中川仁氏、明治大学の興水肇教授、産業技術総合研究所の横山伸也氏、千葉県農業総合研究センターの真行寺孝氏には貴重なアドバイスを頂いた。A ゴルフ場の関係者各位、滑川町の木村俊彦氏および松本由紀夫氏には多大なる協力を頂いた。この場を借りて感謝の意を表し、厚く御礼を申しあげたい。

参考文献

- 1) 横山伸也 (2001): バイオエネルギー最前線: 森北出版, 167pp
- 2) 環境省 地球温暖化防止のための税の在り方検討会 (2001): 地球温暖化防止のための税の論点報告書, 122pp
- 3) 栗田英治・横張真 (2001): 里山ランドスケープの保全に果たすゴルフ場の役割とその管理手法: ランドスケープ研究 64(5), 589-594
- 4) 藤崎健一郎 (2001): 外観の生育状態 (地上部, 地下部) の調査, 日本芝草学会編, 最新芝生・芝草調査法: ソフトサイエンス社, 396pp. 46-57 に所収
- 5) 北村文雄・眞木芳助・柳久・大久保昌・野間豊 (1997): 芝草・芝地ハンドブック: 博友社, 348pp
- 6) Sakai, M. and Kaneko M. (1996): Biomass Fuel for the 21st Century: Proceedings of MAFF International Workshop on Versatile Use of Agricultural Products, 13-22
- 7) Nakagawa, H., M. Sakai, T. Harada, Y. Kitamura, K. Taniwaki, and A. Hashimoto (2000): Biomethanol Production and CO₂ Emission Reduction from Various Forms of Biomass: Proceedings of the 4th International Conference on EcoBalance, 405-408
- 8) 吉田重方・堀達雄 (2000): 刈取り芝草残さの分解特性とコンポスト化に関する基礎的研究: 資源環境対策 36(1), 81-86
- 9) 田中雅・小倉義己・杉浦恒彦 (1996): 電子ビームによる排煙処理技術の開発: 火力原子力発電 47(12), 77-83
- 10) 千葉県農業試験場 (1999): 芝草の無農薬管理に関する研究 (中間報告), 344pp

Summary: Summary: It is worth utilizing the plant waste from plant management in hilly areas as a bio-energy source in the reduction of CO₂ emissions. This study looks at the turf management of golf courses in hilly areas. The biomass of mown turfgrass was analyzed for five turf species in a studied golf course located in the Northern Hiki hill region in the center of Saitama prefecture from July 2000 to September 2001. 299 samples were collected and the vegetative production from the turf management was estimated at 398g/m² per year. It was also estimated that 175g of bio-methanol could be produced from the 398g of mown turfgrass by a method of gasification. Eco-management schemes for golf courses were discussed with a view to utilizing bio-energy by referring to the vegetative production. Effective management schemes consist of increasing the collected amount of mown turfgrass and increasing the mowing height to promote the growth of turfgrass.