

農業残渣の利活用による
温室効果ガス削減の可能性について

40116030
鬼木香実

長崎大学環境科学部 [環境政策コース] 卒業研究

2019 年度

指導教員：松本健一

要 旨

近年、バイオマスエネルギーが世界中で注目されている。理由として、化石燃料をバイオマスエネルギーで代替することにより、二酸化炭素の発生抑制に寄与できるため地球温暖化の抑制効果が期待される点にある。我が国では、農業系未利用バイオマスのほとんどがエネルギー利用されず低位にとどまっていることから、利用拡大を図る余地がある。また、カーボンニュートラルの特性を活かすことができる農業由来のバイオマス資源を活用した地域循環型社会づくりを進めることによって、化石燃料に頼らないエネルギー社会を目指すことができ、このような地域の資源や特性を活かした循環型社会づくりが浸透していくことが期待される。未利用バイオマスの活用を推進するに際して、地域ごとの賦存量と農地の受入れ容量を把握するだけでなく、その具体的な物質フローをいかに把握するのが重要になる。

本研究では、稲わら・もみ殻といった農業残渣をエネルギー利用した場合に、全国的にどれほどのバイオマス賦存量と有効可能な熱量にできるか、また、ケーススタディにおいて、稲わら・もみ殻バイオマスは化石燃料と比較してどれほどの二酸化炭素排出量を削減できるか分析を行った。その結果、バイオマス発生量や賦存量、熱量を求めて都道府県ごとの賦存量が明らかになった。また、ケーススタディである長岡市の、化石燃料代替時の二酸化炭素排出削減量を求めることができた。分析の結果から、農業残渣のエネルギー利用は温室効果ガス削減対策に有効であると結論づけられた。しかし、収集・運搬に時間とコストがかかるため効率的な資源の回収が求められる。

分析の結論を踏まえて、今後、稲わら・もみ殻バイオマスが事業として普及していくためには、エネルギー利用の工夫、収集・運搬の時間とコストの低減、農家や自治体等が積極的に事業に関与していくことが重要であると考えられる。

本研究の課題は、運搬時に排出される二酸化炭素排出量のみを分析に用いたが、施設の建設費等のエネルギー生産に伴う温室効果ガスは別途排出量として考慮する必要があり、ライフサイクル全体での温暖化対策としての有効性を評価することが必要である。また、熱利用の面からしか評価していないため、熱利用と同じく燃焼処理から派生してできる電力としての活用も評価し分析を行うことが必要である。

目 次

第1章 序論.....	1
1-1 背景.....	1
1-1-1 バイオマスエネルギーへの注目.....	1
1-1-2 バイオマスの特性.....	1
1-2 目的・意義.....	3
1-3 論文の構成.....	3
第2章 農業系未利用バイオマスについて.....	5
2-1 農業系未利用バイオマス.....	5
2-1-1 活用状況.....	5
2-1-2 バイオマスのエネルギー変換方法.....	6
2-2 先行研究と近年の状況.....	7
第3章 分析方法.....	9
3-1 全国の稲わら・もみ殻バイオマス賦存量.....	9
3-2 稲わら・もみ殻バイオマス利用における二酸化炭素排出量.....	10
3-3 対象地域の概要.....	11
第4章 分析結果と考察.....	13
4-1 稲わら・もみ殻バイオマスの賦存量と熱量.....	13
4-2 長岡市における稲わら・もみ殻バイオマスの二酸化炭素排出量	15
第5章 結論.....	17
5-1 本論文のまとめ.....	17
5-2 結論と今後の展望.....	17
5-3 本研究の課題.....	18
参考文献.....	19
謝辞.....	21

図 表 目 次

図 1-1	我が国の廃棄物系バイオマス発生量と利用率	2
図 2-1	稲わらの利用状況	5
図 2-2	もみ殻の利用状況	6
図 3-1	長岡市の地図	12
表 4-1	都道府県別の稲わら・もみ殻賦存量と熱量	14
表 4-2	長岡市の稲わら・もみ殻の各量	15

第1章 序論

1-1 背景

1-1-1 バイオマスエネルギーへの注目

2011年に起きた東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、我が国の原子力発電所は次々と停止し、それを補う形で化石燃料の輸入が急増した（資源エネルギー庁，2015）。加えて、震災後から2014年夏にかけて国際的に原油価格が高騰し、化石燃料の輸入増加が貿易収支悪化の重要な要因となり、多額の国富が海外に流出した（資源エネルギー庁，2015）。火力発電の大幅な増加により、2011～2016年度の6年間で約15.5兆円の追加的な燃料費が発生している（資源エネルギー庁，2018）。東日本大震災以前の2010年の化石燃料海外依存度は62%であったが、震災以降の依存度は88%にのぼっており、一次エネルギーの自給率は大きく低下し、先進国の中で最低水準となった（資源エネルギー庁，2015）。また、環境面においても、2011年は震災前と比較して3.6%二酸化炭素排出量が増加している（環境省，2012）。原子力の再稼働等で二酸化炭素排出量は減少したが、原発稼働には反対意見も多い。そこで、自国で生産でき、環境負荷の少ないバイオマスエネルギーが注目されている。

国の施策として最初にバイオマスが取り上げられたのは、2002年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」である（農林水産省，2002）。その後、「京都議定書目標達成計画」（2005年閣議決定）等を経て、2009年にバイオマス活用施策の総合的かつ計画的な推進を目的とした「バイオマス活用推進基本法」が制定され、バイオマスの活用を促進させるための法的な裏付けとなった。さらに、バイオマスを活用した事業化を推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化のために2012年に「バイオマス事業化戦略」が策定された。同戦略では、原料生産から収集・運搬・製造・利用までの経済性が確保された一貫するシステムを構築し、バイオマス産業を軸とした環境に優しく、災害に強いまちづくり・むらづくりを目指す「バイオマス産業都市構想」の構築が推進されている。

1-1-2 バイオマスの特性

バイオマスの環境へのメリットとしてカーボンニュートラルがあげられる。これはバイオマスが光合成による炭素循環のメカニズムを持っているためであり、これが働

く限り大気中の二酸化炭素濃度は増加しない。持続的なバイオマス生産は二酸化炭素排出量と吸収量が均衡し、二酸化炭素排出量が実質的にゼロになることから有効な気候変動対策である。また、太陽エネルギーや風力などの多様な再生可能エネルギーが普及する中で、バイオマスをエネルギーとして利用することの最大のメリットは、気体、液体、固体といった形状の可搬性燃料を製造・利用できる点にあり、この特徴は、エネルギーの安定供給に寄与する。

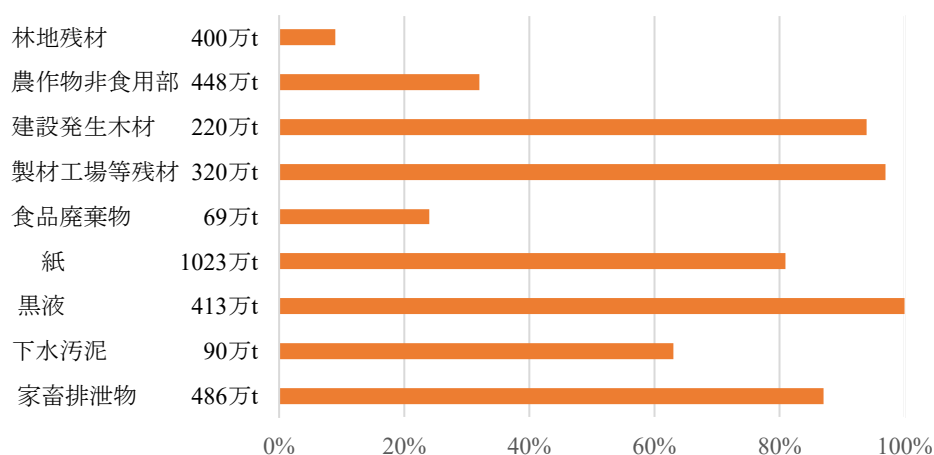


図 1-1 我が国の廃棄物系・未利用バイオマスの発生量と利用率（農林水産省（2016）に基づき筆者が作成）

2015年の我が国のバイオマス発生量は約2400万tで利用率は約70.6%である（農林水産省，2016）（図1-1）。家畜排泄物をはじめとする廃棄物系バイオマスの利用率は概ね高く、そのほとんどは堆肥や肥料等の非エネルギー利用である（農林水産省，2008）。また、その中で唯一黒液は、エネルギー利用が100%を占めている（図1-1）。一方、農作物非食用部や林地残材の未利用バイオマスは利用率が低く（農林水産省，2008）、その内稲わらやもみ殻、麦わら等の農作物非食用部の利用率は32%である（農林水産省，2016）。その利用方法は堆肥や飼料、家畜への敷料等のマテリアル利用で（農林水産省，2008）、エネルギー利用の割合は北海道等の一部地域を除いてほぼない。しかし、稲わら・もみ殻バイオマスは水陸稲の収穫後の不要な部分を利用するため、食料生産と競合しないという特徴がある。化石燃料の利用は、代金として最終的に国外に富が流出するが、地域社会において地域のバイオマス利用が盛んになると、地域内で資金が循

環し、地域経済の発展に寄与することが期待される。また、気候変動問題が深刻化していく中で、温室効果ガスを削減するためにバイオマスエネルギーの活用は問題緩和に欠かせない。未利用バイオマスで化石燃料を代替することで二酸化炭素の排出を抑制することが可能ならば、気候変動対策に有効であると考えられる。そこで、本研究では農業系未利用バイオマスに着目し、稲わら・もみ殻の熱利用までのプロセスにおける二酸化炭素排出量を分析し、農業残渣の利活用について考察する。

1-2 目的・意義

本研究の目的は、稲わら・もみ殻由来のバイオマスエネルギー利用によってバイオマス生産の際に生じる二酸化炭素排出量を化石燃料と比較することにより、稲わら・もみ殻由来のバイオマスの環境効果を明らかにすることである。本研究の意義は、今後、未利用バイオマスである農業残渣を活用するための情報を寄与することである。

1-3 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、研究の背景について述べる。第2章では、農業系未利用バイオマスについて説明し、先行研究のレビューをする。第3章では計算に用いたデータや計算方法について説明し、第4章で分析結果と考察を述べ、第5章でまとめと今後の展望について述べる。

第2章 農業系未利用バイオマスについて

2-1 農業系未利用バイオマス

未利用バイオマスは、稲わらやもみ殻、麦わらといった農作物非食用部、間伐材等の林地残材が主な種類である（農林水産省，2003）。我が国で稲わらやもみ殻といった農業系バイオマスの多くは再利用されているが、そのほとんどは農地への鋤き込みや家畜の敷料や堆肥といったマテリアル利用である（農林水産省，2008）。

2-1-1 稲わら・もみ殻の活用状況

現在利用率が低い食品廃棄物や農作物非食用部等については、他の廃棄物系バイオマスよりも原料（燃料）として持続的な調達・利用の可能性が高いと考えられる。

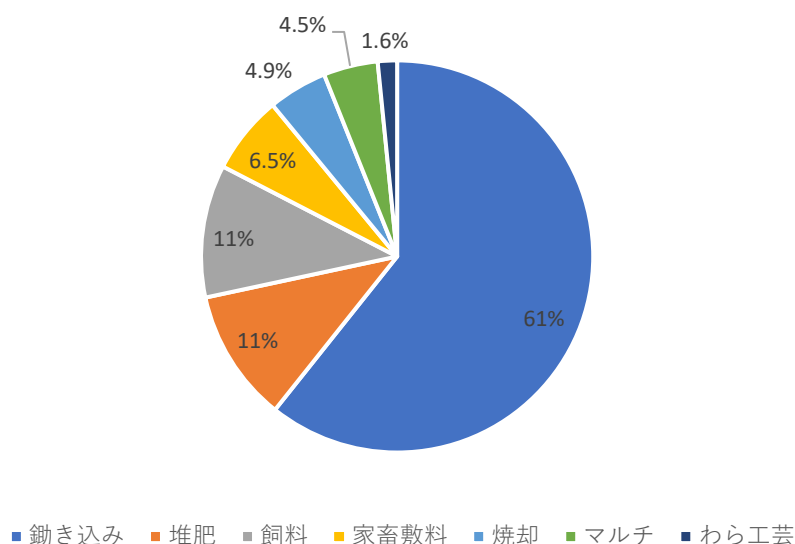


図 2-1 稲わらの利用状況（羽賀（2008）より筆者が作成）

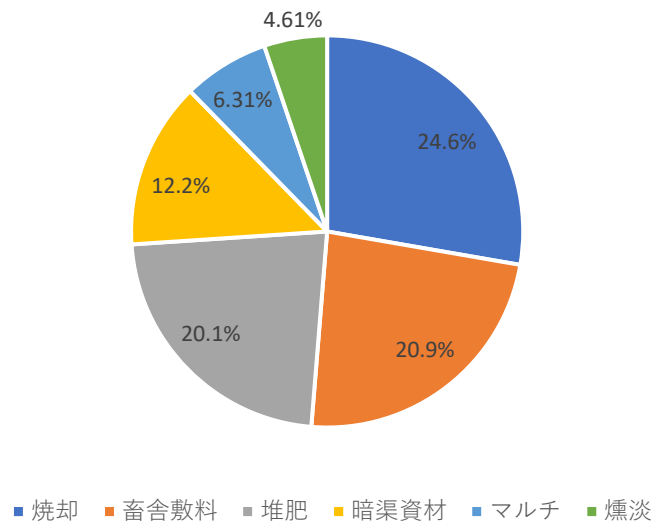


図 2-2 もみ殻の利用状況（羽賀（2008）より筆者が作成）

稲わらは、主に圃場への鋤き込み、畜産農家の敷料や堆肥原料、畑で作物を栽培するときに土壌の表面を資材で覆うマルチングとして利用されている（図 2-1）。もみ殻は、焼却や畜舎敷料、堆肥利用で半数以上を占めている（図 2-2）。稲わらの活用で最も多く利用されている鋤き込みは、根腐れや窒素飢餓等の悪影響も指摘されており、過剰な利用は望ましくない（渋川他，2013）。また、稲わらの一部は焼却処分されており、煙による視界不良や臭気、焼却灰の飛散等により、周辺環境の保全の妨げになっていることが課題となっている（南幌町，2014）。稲わら・もみ殻等をエネルギー資源として効率よく利用するためには、エネルギー変換プロセスで利用できる程度の量を収集する必要がある。農業廃棄物系バイオマスは身近に存在するものであり、燃料として有効活用できれば、資源調達に伴う化石燃料使用量の削減と地産地消によるエネルギー自給に繋がる。

2-1-2 バイオマスのエネルギー変換方法

稲わら・もみ殻の利活用技術には、マテリアル利用とエネルギー利用がある。まず、マテリアル利用には堆肥化と飼料化等がある。一方、エネルギー利用には直接燃焼、ガス化、炭化、固形燃料化、液化、メタン発酵、エタノール化等がある（環境省，2006）。すでに多くの農家で実施されているマテリアル利用を除き、エネルギー利用の中で実用化され、対応技術として適している方法は直接燃焼であるため（鈴木他，2017）、本

研究ではこの利用方法を検討する。

直接燃焼は、バイオマス資源を直接燃焼し、廃熱ボイラーから発生する蒸気の熱を利用したり、バイオマス資源を発酵させて発生したメタンガスを都市ガスの代わりに燃焼したりして利用することをいう（資源エネルギー庁，2016）。農業残渣のような低含水率のバイオマスを対象にすることがエネルギー効率として望ましい。得られる熱エネルギーは、住宅や公共施設での冷暖房機器やストーブ等の燃料として小規模利用や、温水プールや温泉加温熱源用燃料、または電力へと変換して利用される（環境省，2006）。熱エネルギーは循環型社会を形成していく上で、資源の有効活用、廃棄物の削減等のメリットをもたらす。

2-2 先行研究

これまで農業残渣をバイオマスエネルギーとして利用するに当たって、さまざまな研究がされてきた。松村他（2001）は、農業残渣のなかで最も発生量の多い稲わらを中心に、農業残渣が再生可能エネルギー源として利用するにあたっての資源収集から有効利用までのシナリオを定量的に評価し、求められている技術開発ならびに社会システムの実現を明確にし、これに基づいて農業残渣の導入ビジョンを提案している。

渋谷他（2013）は、稲わらの現在の利用状況として最も多くの割合を占める鋤き込みを排水不良田で行うことで土中に稲わらが嫌気分解され、大気中にメタンが放出し地球温暖化を促進させることを懸念した。その問題に対して、稲わらの有効な利活用として下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化によるバイオガス生産および乾燥汚泥燃料製造を想定し、エネルギー生産性および温室効果ガス抑制効果を明らかにするためにエネルギー収支および温室効果ガス収支の評価・検討を行った。その結果、稲わらと下水汚泥の混合消化とコージェネレーション発電を組み合わせたシナリオがエネルギー収支および温室効果ガス収支の両面からみて最も優れていると明らかとなった。

古市（2013）は、未利用廃棄物の利活用システムとして、稲わらペレットの含水率と発熱量および歩留まり率の関係を示した。稲わらペレットの発熱量は発熱量ベースの価格解析により、将来的に重油および灯油ともに 1L 当たり 20 円高騰した場合、十分に代替燃料として使用可能であることを明らかにした。さらに、稲わらペレットの実ボイラー燃焼試験の結果、木質ペレットと混合燃焼することでクリンカ生成による燃

焼障害を改善できることから、木質ペレットボイラーで十分に稲わらペレットの燃焼が可能であることを示している。また、矢萩他（2010）は、北海道南幌町において町内で最もバイオマス量の多い稲わらに着目して、稲わらペレットを作り、ボイラーでエネルギーを得る取り組みが行われている。稲わらの熱利用システムを構築し、需要に応じた施設規模や燃料の利用形態についてシナリオを想定し、事業採算に及ぼす影響要因の検討と二酸化炭素排出削減における環境影響を試算した。その結果、燃料の使用量と使用形態が事業採算性に影響すること、二酸化炭素排出削減量は事業前より40%から67%の削減が見込めることを示した。

上記の先行研究より、これまで農業残渣の稲わら・もみ殻に着目した研究は複数存在するが、稲わらやもみ殻等の全国的なバイオマス賦存量や、代替できる具体的な化石燃料使用量や温室効果ガス削減量の研究事例は少ない。また、稲わら・もみ殻バイオマスが事業化されているものは少なく、その理由として、稲わらはすでに鋤き込みやマテリアル利用で活用されており、広域な土地から資源を収集する時間とコストがかかることが挙げられる。環境問題が深刻化していく中で、身近な資源で有効に活用できる可能性がある農業残渣はバイオマスエネルギーとしてポテンシャルが高いと考えられる。

そこで、本研究の分析では先行研究や各省庁からデータから、稲わら・もみ殻バイオマス生産から熱利用までのプロセスにおける化石燃料との比較によって二酸化炭素排出量の削減効果を評価する。

第3章 分析方法

本研究では、まず、稲わら・もみ殻バイオマスの都道府県ごとの賦存量（理論的に算出できる潜在的エネルギー量）および熱量（システム等を考慮した利用可能なエネルギー量）を算出し、熱量がどれほどの化石燃料に代替できるかを示す。次に、対象地域で稲わら・もみ殻バイオマスの活用事業を進めると仮定し、対象地域における稲わら・もみ殻バイオマスの賦存量、熱量、および化石燃料代替量を算出し、バイオマスを収集・運搬・燃焼過程で発生する二酸化炭素排出量と化石燃料の使用時に発生する二酸化炭素排出量を比較分析する。

3-1 全国の稲わら・もみ殻バイオマス賦存量

本研究では、全国の稲わら・もみ殻のバイオマスエネルギーの賦存量と熱量を算出する。算出に当たっては、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の新エネルギーガイドブックと最新の統計データや行政機関等から入手した資料等の値を用いる。また、算出に当たって下記の4つの式（鹿児島県薩摩川内市商工観光部次世代エネルギー課）を用いる。

稲わらの賦存量の算定には、次の式3-1を利用する。

$$S = a \times t \times (100\% - m_1) \times c_1 \quad (3-1)$$

S : 稲わら賦存量 (GJ/年)、 a : 水稻作付面積 (ha)、 t : 1ha 当たりの稲わら発生量 (t/ha・年)、 m_1 : 含水率 (%)、 c_1 : 低位発熱量 (GJ/t)

稲わらの熱量の算定には、次の式3-2を利用する。

$$Y = s \times u \times b \quad (3-2)$$

Y : 熱量 (GJ/年)、 s : 稲わら賦存量 (GJ/年)、 u : 未利用率 (%)、 b : ボイラー効率 (%)

もみ殻の賦存量の算定には、次の式3-3を利用する。

$$H = x \times (1 - g) \times (100\% - m_2) \times c_2 \quad (3-3)$$

H ：もみ殻賦存量 (GJ/年)、 x ：全もみ収穫量 (t/年)、 g ：粗玄米粒数歩合、 m_2 ：含水率、 c_2 ：低位発熱量

もみ殻の熱量の算定には、次の式 3-4 を利用する。

$$Z = h \times u \times b \quad (3-4)$$

Z ：熱量 (GJ/年)、 h ：もみ殻賦存量 (GJ/年)

米生産量と作付面積のデータは農林水産省 (2018) に基づく。低位発熱量 (c_1) は稲わら 13.6 GJ/t、(c_2) はもみ殻 14.2 GJ/t とし、含水率 (m_1) は稲わら 15%、(m_2) はもみ殻 13.9% とする (NEDO, 2011)。また、稲わら・もみ殻ともに未利用率は 15% (NEDO, 2011) で、賦存量のうち堆肥・飼料・家畜敷料・農地へのすき込み等に利用されているものを除いた量であり、ボイラー効率は 85% (NEDO, 2008) とする。

3-2 稲わら・もみ殻バイオマス利用における二酸化炭素排出量

バイオマスはカーボンニュートラルの性質を持つため、稲わら・もみ殻バイオマスの燃焼時に発生する二酸化炭素排出量はゼロとする。そのため、稲わら・もみ殻バイオマス利用による二酸化炭素排出量は、バイオマスエネルギーの収集・運搬時において排出される二酸化炭素量のことを指す。この時の二酸化炭素排出量は資源エネルギー庁 (2005) から、原油の排出係数 (0.0187 tC/GJ)、単位発熱量 (38.2 GJ/kl) の値を用いて燃料法の以下の式で算出する。

$$CO_2 = k \times j \times e \times \frac{44}{12} \quad (3-5)$$

CO_2 ：二酸化炭素排出量 (t/CO₂)、 k ：燃料使用量 (kl)、 j ：単位発熱量 (GJ/kl)、 e ：排出係数 (t-C/GJ)

3-3 対象地域の概要

本研究では新潟県長岡市をケーススタディとして設定する。長岡市は総面積が

890.9km²、総人口 275133 人、世帯数 100143 世帯（長岡市，2018）で、米生産量は新潟県内で新潟市に次いで 2 番目に多く、全国でも 4 番目の収穫量である（農林水産省，2019）。本市は新潟県のほぼ中央にあり、新潟平野の南端に位置する。市のほぼ中央を流れる信濃川を挟んで沖積平野が広がっており、その東西には山間部や丘陵地がある（長岡市，2007）。同市ではバイオマスタウン構想等はなされておらず、未利用バイオマスの活用ポテンシャル量は公表されていない。また、市内での稲わらの焼却が問題になっている（長岡市，2015）。東北・北陸地方のような積雪寒冷地での圃場への鋤き込みについては、稲わらの腐敗が進まず、メタンガスが発生することなどから、鋤き込みをしない方が望ましいという見解もある（塩野他，2016）。そのため、豊富な農業残渣のバイオマス資源があり、バイオマス活用をすることで地域資源を好循環させる一助になると考えられる。得られるエネルギーは、施設や家庭で使用する暖房機器や給湯、温泉施設や農業用ハウスの加温等に利用することを想定する。

そこで、本研究では長岡市のバイオマスポテンシャル量を算出し、バイオマス利用によって削減される二酸化炭素排出量を定量的に表すことによって、長岡市で稲わら・もみ殻バイオマスを活用した際の環境影響を評価する。

計算に当たっては式 3-1 から 3-5 を使用し、同市の水稻作付面積と収穫量（農林水産省，2018）を用いる。同市の稲わら・もみ殻の未利用率のデータはなかったが、同県がエネルギー利用化の検討をしていることから（新潟県，2019）、本研究では、鋤き込み量等の利用されているものを除いた量である未利用率を全国平均である 15%（NEDO，2011）として分析をする。

圃場での収穫物である稲わらおよびもみ殻はトラックでバイオマス変換プラントに運搬される。発生した稲わらはロールベラーを用いることを想定する。施設は稲作地帯の中心地にあると仮定し、市街地と信濃川を囲むように存在する同市の稲作地域から施設までの距離は約 20km であるとした。また、稲わら・もみ殻は、物理的な可搬性はあるものの、かさ張ることから運搬費が割高になるため、市内を越えるような大規模収集は行われないと想定する。

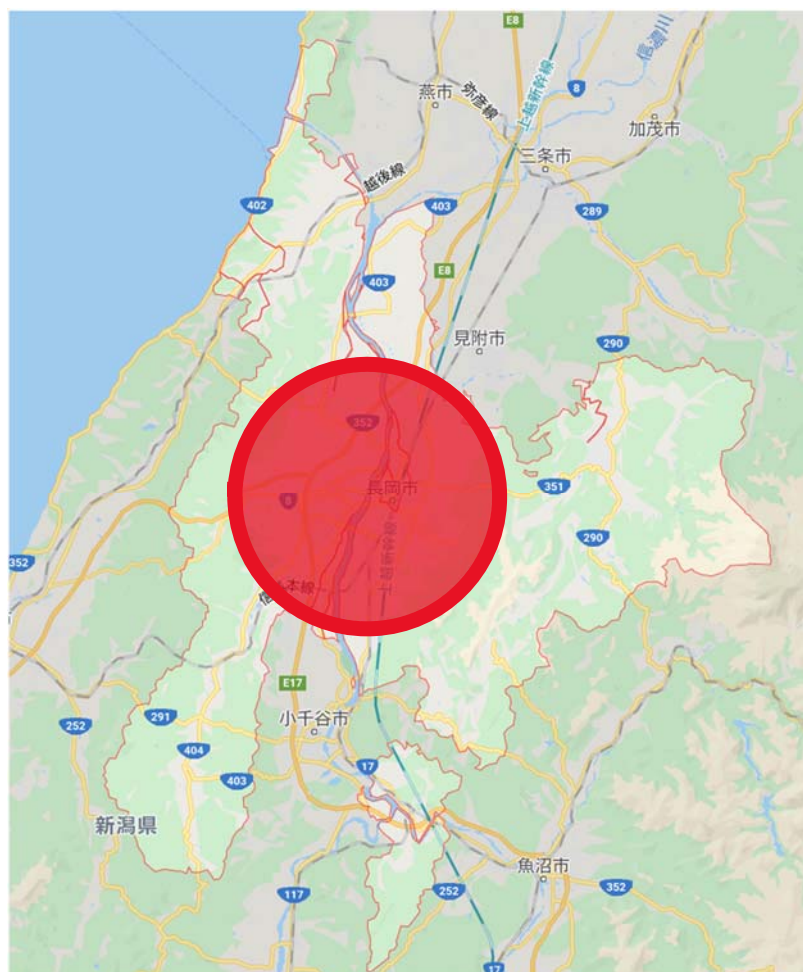


図 3-1 長岡市の地図（Google Maps より引用）（範囲は大まかな稲作地帯）

第4章 分析結果と考察

4-1 都道府県別の稲わら・もみ殻バイオマスの賦存量と熱量

まず、式 3-1・3-3 を用いて稲わら・もみ殻それぞれのバイオマス賦存量を算出し、式 3-2・3-4 を用いてそれぞれの熱量を算出すると以下の表 4-1 の結果になった。なお、東京都と沖縄県ではもみ殻の粗玄米粒数歩合のデータが見つからなかったため、もみ殻の賦存量・熱量を算出していない。

計算結果から、稲わらの熱量は新潟県、北海道、秋田県、山形県に、もみ殻の熱量は北海道、新潟県、秋田県、福島県に多く賦存することが明らかとなった。したがって、バイオマス賦存量の多いことに加え、東北地方と北陸地方のような寒冷地帯は鋤き込みに不向きであるとされることから、鋤き込み量を減らしてバイオマス資源としての活用が適していると考えられる。

日本全国では、稲わら・もみ殻の熱量はそれぞれ約 1185 万 GJ/年、約 133 万 GJ/年を得られることが明らかとなった。熱量は賦存量と未利用率とボイラーを乗じたものであるため、この時の熱量を得るために必要なバイオマスの賦存量を原油換算すると約 267 万 kl である。また、ボイラー効率をバイオマスの熱量生産時のボイラー効率に合わせて 85%とすると、原油で同じ量のエネルギーを生産する時に約 40 万 kl が必要になる。従って、バイオマス賦存量は原油 40 万 kl 分を代替できることに相当する。そして、この時の二酸化炭素排出量は式 3-5 を用いて約 105 万 t-CO₂であり、バイオマスエネルギーを使用することで約 105 万 t-CO₂削減できると考えられる。

2017 年度の我が国の温室効果ガスの総排出量は 12 億 9200 万 t (二酸化炭素換算)であったため (環境省, 2017)、0.0009%に相当する。

表 4-1 都道府県別の稲わら・もみ殻賦存量と熱量（2018）

	賦存量（GJ/年）		熱量（GJ/年）	
	稲わら	もみ殻	稲わら	もみ殻
北海道	6688616.0	1342514.0	852798.5	171170.5
青森	2974388.0	399052.7	379234.5	50879.2
岩手	3139696.0	285243.0	400311.2	36368.5
宮城	4265640.0	324448.4	543869.1	41367.2
秋田	5958024.0	553877.7	759648.1	70619.4
山形	4568512.0	328180.4	582485.3	41843.0
福島	4118828.0	487327.2	525150.6	62134.2
茨城	4190500.0	416123.9	534288.8	53055.8
栃木	3663364.0	278638.8	467078.9	35526.4
群馬	899368.0	114011.2	114669.4	14536.4
埼玉	1810296.0	149167.1	230812.7	19018.8
千葉	3536204.0	325001.6	450866.0	41437.7
東京	7271.2	—	927.1	—
神奈川	178024.0	12788.4	22698.1	1630.5
新潟	7844616.0	580094.4	1000188.5	73962.0
富山	2492336.0	115847.9	317772.8	14770.6
石川	1580252.0	201995.0	201482.1	25754.4
福井	1552508.0	164007.2	197944.8	20910.9
山梨	315588.0	29671.5	40237.5	3783.1
長野	2358240.0	206773.6	300675.6	26363.6
岐阜	1247324.0	193698.2	159033.8	24696.5
静岡	971040.0	116942.1	123807.6	14910.1
愛知	1668108.0	248469.0	212683.8	31679.8
三重	1665796.0	232286.9	212389.0	29616.6
滋賀	1968668.0	272441.2	251005.2	34736.2
京都	883184.0	87701.7	112606.0	11182.0
大阪	309808.0	41892.0	39500.5	5341.2
兵庫	2143224.0	235466.9	273261.1	30022.0
奈良	528292.0	78132.4	67357.2	9961.9
和歌山	394196.0	53719.4	50260.0	6849.2
鳥取	766428.0	48579.3	97719.6	6193.9
島根	1080860.0	90203.9	137809.7	11501.0
岡山	1872720.0	185964.3	238771.8	23710.5
広島	1479680.0	153187.3	188659.2	19531.4
山口	1242700.0	161473.2	158444.3	20587.8
徳島	662388.0	105661.9	84454.5	13471.9
香川	775676.0	114719.5	98898.7	14626.7
愛媛	833476.0	103016.8	106268.2	13134.6
高知	624240.0	65944.8	79590.6	8408.0
福岡	2085424.0	299614.1	265891.6	38200.8
佐賀	1493552.0	239824.1	190427.9	30577.6
長崎	687820.0	127157.5	87697.1	16212.6
熊本	2058836.0	328418.5	262501.6	41873.4
大分	1241544.0	174438.7	158296.9	22240.9
宮崎	967572.0	131856.6	123365.4	16811.7
鹿児島	1172184.0	201842.4	149453.5	25734.9
沖縄	26588.0	—	3390.0	—
計	92993599.2	10407416.9	11856683.9	1326945.7

4-2 新潟県長岡市における稲わら・もみ殻バイオマスと化石燃料代替量

長岡市の作付面積は 12800ha、米の収穫量 67700t（農林水産省，2019）であることから、長岡市の稲わら・もみ殻の発生量、バイオマス賦存量、および熱量を求めると表 4-2 に示すとおりとなった。

表 4-2 長岡市の稲わら・もみ殻の各量(2019)

	項目	数値
稲わら	発生量 (t/年)	81.2
	賦存量 (GJ/年)	782612
	熱量 (GJ/年)	99783
もみ殻	発生量 (t/年)	20.3
	賦存量 (GJ/年)	59706.7
	熱量 (GJ/年)	7612.6

熱量は賦存量と未利用率とボイラーを乗じたものであるため、この時の熱量を得るために必要なバイオマスの賦存量を原油換算すると約 21732kl である。また、ボイラー効率をバイオマスの熱量生産時のボイラー効率に合わせて 85%とすると、原油で同じ量のエネルギーを生産するときに約 3260kl が必要になる。従って、バイオマス賦存量は原油の約 3260kl に相当する。そして、この時の二酸化炭素排出量は式 3-5 を用いて約 8539t-CO₂という結果になった。

長岡市における稲わらの発生量は 81.2 t/年、もみ殻の発生量は 20.3 t/年であるため、ここから鋤き込みや堆肥等に利用されているものを除いた量（未利用率：15%）は稲わら約 12.2 t/年、もみ殻約 3 t/年となる。これらの稲わらともみ殻の収集・運搬を 4t トラックで行う。田園地帯は市街地から信濃川を挟んで約 20km に広がっており、施設までの運搬はおよそ東西南北に 4t トラックで 20km を 4 往復で回収できると想定する。この時に発生する二酸化炭素排出量は、トンキロ法により約 0.43t-CO₂と算出した。また、稲わらの鋤き込みの量次第で稲わらのバイオマス発生量が変わるため、稲わらのバイオマス賦存量は更に多くなる可能性が考えられる。

稲わら・もみ殻バイオマスの原油換算時の二酸化炭素排出量の合計から、輸送時に

排出される二酸化炭素量 0.43t-CO_2 を引いた数値は約 8539t-CO_2 となり、特に変化はなかった。このことから、化石燃料の使用と比較して約 8539t-CO_2 の二酸化炭素排出量を削減できることが明らかになった。また、2017 年度の家庭からの二酸化炭素排出量は約 $4480\text{kg-CO}_2/\text{世帯}^1$ であることから（環境省，2019）、年間約 1906 世帯分の二酸化炭素排出削減量に相当する。家庭や公共施設等で利用する化石燃料をバイオマスで得られる熱エネルギーと代替することで、二酸化炭素排出量の削減に寄与することができる。したがって、稲わら・もみ殻バイオマスは再生可能エネルギーとして温室効果ガス削減の役割を果たしていると考えられる。

¹ 二酸化炭素排出量は、インベントリの家庭部門、運輸（旅客）部門の自家用乗用車、一般廃棄物処理からの排出量、および水道からの排出量を足し合わせたもので、それぞれ電気 48.6%、ガソリン 22.3%、灯油 9.5%、都市ガス 8.5%、LP ガス 4.8%、ゴミ 3.5%、水道 1.8%、軽油 1%の割合である。

第5章 結論

5-1 本論文のまとめ

日本国内で生産され、広域に存在し、食糧と競合しない稲わら・もみ殻といった農業残渣の未利用バイオマスはほとんどがエネルギー利用されず低位にとどまっていることから、利用拡大を図る余地は大きく、事業化にも期待できる。また、カーボンニュートラルの特性を活かすことができるバイオマス資源を活用した地域循環型社会づくりを進めることによって化石燃料に頼らないエネルギー社会を目指すことができる。しかし、バイオマスの特性から経済的・エネルギー的効率性の低下の問題をはらんでいる。そのため、需要者側にいかに安定的な供給を行うかが課題である。バイオマスの利用は、それぞれの地域で異なることから適正規模で処理し、得られたエネルギーを地域で循環させるバイオマスエネルギーの地産地消が必要になる。

本研究では、全国の稲わら・もみ殻バイオマスの賦存量と熱量を算出した。また、新潟県長岡市をケーススタディに設定し、稲わら・もみ殻バイオマスの発生量、賦存量、熱量を算出した。

分析の結果、全国における稲わら・もみ殻の熱量はそれぞれ約 1185 万 GJ/年、約 133 万 GJ/年を得られることが明らかとなった。長岡市では稲わら・もみ殻の熱量はそれぞれ約 10 万 GJ/年、約 7613 GJ/年得られ、化石燃料と代替して利用することで 1181 t-CO₂ 二酸化炭素排出量を削減できることが明らかになった。

5-2 結論と今後の展望

本研究から、稲わら・もみ殻といった農業残渣は堆肥や飼料といったマテリアル利用だけでなくエネルギー利用もでき、化石燃料使用時と比較して二酸化炭素排出量が削減されることから、温室効果ガス削減対策に有効であることが明らかとなった。各地域が農業残渣の利用促進に取り組むことでその効果も大きくなると考えられる。しかし、エネルギーを生産するための施設の建設費や維持費、広大な面積から稲わらを収集・運搬する作業には多大なるコストと時間を要する。燃焼機器の高効率化と低価格化、燃焼機器の導入、開発をして地域熱供給の効率化、普及、拡大を図ることが重要である。そのため、稲わら・もみ殻バイオマスの生産を安定して行える地域で、農家・

農業法人、JA、民間企業、市町村が一体となって取組むことが事業として成立するために必要であると考えられる。バイオマスエネルギーは他の化石燃料等のエネルギーに比べてコストがかかるが、他の燃料と同等の価格で提供できるようになればバイオマスエネルギーの普及は進むと予想される。安定的な供給・環境問題・コストといったそれぞれの側面で、エネルギー資源が乏しい日本で、資源をいかに確保するかといった問題とともに、地球環境に配慮しながら、長期的に安定してエネルギーをつくることが大きな課題となっていく。化石燃料のようなエネルギー資源は世界の資源消費量の増加、中東での政情不安等により今後も大きく変動する可能性がある。自国で発生する農業残渣を効率的に活用することで環境にも配慮したエネルギーの安定供給が可能になると考えられる。

5-3 本研究の課題

本研究では、運搬時に排出される二酸化炭素排出量のみを分析に用いたが、施設の建設費等のエネルギー生産に伴う温室効果ガスは別途排出量として考慮する必要がある。また、ライフサイクル全体での温暖化対策としての有効性を評価することが必要である。また、熱利用の面からしか評価していないため、熱利用と同じく燃焼処理から派生してできる電力としての活用も評価し分析を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 環境省 熱利用エコ燃料の普及拡大について 参考資料 (2006)
〈https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biofuel/materials/rep_h1808/09.pdf〉, 2020.1.30.
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁「2005 年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改訂値について」〈http://www.j-lpgas.gr.jp/nenten/data/co2_ichiran.pdf〉, 2019.12.6.
- 3) 農林水産省 〈https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_town/manual/pdf/3.pdf〉, 2019.12.4.
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁 (2015)
〈https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2015.pdf〉, 2019.12.6
- 5) 北海道庁 (2008) 農業系未利用バイオマスの利用促進に関する検討報告書
〈http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/jss/grp/04/bionetH20_siryous3_3.pdf〉, 2019.12.18.
- 6) 羽賀清典 (2008) 有機廃棄物のリサイクル及びバイオマス利用. (独) 農研機構畜産草地研究所研究管理監 (畜産環境研究分野)
- 7) 鈴木剛・稲野一郎・関口建二・青田善弘・松井麗樹 (2017) 富良野圏域における農業系バイオマスの賦存量とエネルギー利用モデルの検討. 第 12 回バイオマス科学会議 P-09
- 8) 農林水産省統計情報 (2019) 〈<http://www.maff.go.jp/j/tokei/index.html>〉, 2019.12.15.
- 9) 鹿児島県薩摩川内市商工観光部 次世代エネルギー課次世代エネルギーウェブサイト
5-5-2 農業系バイオマス
〈<http://jisedaienergysatsumasendai.jp/wpcontent/uploads/downloads/2013/03/1f9bda51d8d783db7f8f1c131384b94e.pdf>〉 2019.12.6
- 10) 農林水産省 (2006) 新たなバイオマス・ニッポン総合戦略のポイント
〈http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_data/pdf/bio_point.pdf〉, 2019.12.3.
- 11) 石油連盟 (2013) 換算係数一覧 〈<https://www.paj.gr.jp/statis/kansan/>〉, 2019.12.16.
- 12) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 バイオマスエネルギー導入ガイドブック 〈<https://www.nedo.go.jp/content/100859993.pdf>〉, 2019.12.14.
- 13) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2011) バイオマス賦存量・有効可能利用量の推計 〈<http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/>〉, 2019.12.15.
- 14) 塩野宏之・齋藤寛・今野陽一・熊谷勝巳・永田修 (2016) 積雪寒冷地低地土稲わらすき込み水田における耕起法の違いが翌年のメタン, 一酸化二窒素発生量に及ぼす

- 影響. 日本土壌肥料学雑誌 87 卷 (2016) 2 号
- 15) 森本英嗣・橋本禪・星野敏・九鬼康彰 (2010) バイオマスタウンを軸とした木質バイオマスの広域利用に関する評価:兵庫県宍粟市を中心とした地域を対象に. 農村計画学会誌 29 卷論文特集号
 - 16) 井上陽仁・松藤敏彦 (2013) 未利用廃棄物系バイオマスの総合的な地域内利活用における温室効果ガス排出削減効果. 土木学会論文集 G (環境), 69 (1), pp. 37-45
 - 17) 松村幸彦・美濃輪智朗・山本博巳 (2002) 稲わら (農業残渣) のバイオエネルギー利用ビジョン
 - 18) 成澤道則 (2018) 新たに提供できる環境関連技術の紹介. 神鋼環境ソリューション技報 Vo15, No2
 - 19) 渋川洋・井上明大・姫野修司・小松俊哉 (2014) 下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化によるバイオガス生産に向けた稲わら収集・運搬体系の検討:新潟県長岡地域における事例. 農作業研究, 49 卷 2 号 p.69-78
 - 20) 北海道 南幌町 (2014) 稲わらペレットを利用した地域循環システムの構築に向けて <http://www.town.nanporo.hokkaido.jp/mpsdata/web/2472/000_report.pdf>, 2020.2.2.
 - 21) 新潟県長岡市ウェブサイト <<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/>>, 2020.1.23.
 - 22) 「新潟県バイオマス活用推進計画」令和元年度中間評価関連資料 <<https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/195415.pdf>>, 2020.1.23.
 - 23) Google Maps 新潟県長岡市 <<https://www.google.co.jp/maps/@37.3619657,139.1864422,10.85z>>, 2020.2.4.
 - 24) KEYENCE 省エネ工場 (2020) エネルギーの換算方法 <<https://www.keyence.co.jp/ss/products/process/energy-saving/basic/conversion-method.jsp>>, 2020.2.5.
 - 25) 資源エネルギー庁 トンキロ法 <http://www.logistics.or.jp/green/report/pdf/06perform_2.pdf>, 2020.2.5.
 - 26) JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センター (2019) <https://www.jccca.org/chart/chart04_06.html>, 2019.2020.2.3.

謝 辞

本論文を締めくくるに当たり、2年間指導教員としてご指導ご指摘くださいました松本健一先生には心からの感謝を申し上げます。院生の方の指導や出張等でご多忙の中、貴重な時間を割いて私たちゼミ生の指導に当たってください、心から感謝の意を表します。

同じゼミ生であるゆいぽん、たけさんとは苦しいときも励まし合い、和気あいあいとした時間を過ごせました。おかげで卒論を乗り越えることができました。また、同じゼミ室の宇野木くん、遥ちゃん、中野さんにもたくさん助けられました。本当にありがとうございました。アドバイスをくださったり、優しく声をかけてくださった柳瀬さん、山本先生にも心より感謝申し上げます。

最後に、大学に通わせてくれた両親と4年間苦楽をともにした友人にも感謝の意を表したいと思います。おかげで充実した大学生活を送ることができました。学んだことを活かして社会に貢献できるように精進していきます。

皆様、本当にありがとうございました。