

農業地域での 複数バイオマス事業導入効果の評価 ー北海道A町のふん尿及び木質を対象にー

石井 一英¹・佐藤 昌宏²・藤山 淳史³・今池 祥平⁴

¹正会員 北海道大学教授 大学院工学院 (〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学助教 大学院工学研究院 (〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北九州市立大学講師 環境技術研究所 (〒808-0135北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail: fujiyama@kitakyu-u.ac.jp

⁴非会員 北海道大学修士課程 大学院工学院 (〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: imaike0514@gmail.com

本研究では、バイオガスプラント (BGP) と木質ペレット施設 (WPF) の導入による、循環利用率、温室効果ガス (GHG) 排出量、化学肥料・エネルギー購入削減量の変化を、北海道A町を対象として推計した。その結果、BGP導入により畑地・牧草地へ還元できるNの量が増えN, P, Kの循環利用率は向上するが、畑地・牧草地でのN需要量の限界により、BGP規模を拡大すると余剰ふん尿が発生し、むしろN, P, Kの循環利用率は減少した。木質ペレットをBGPの殺菌及び木質乾燥へ利用することにより外部からの灯油購入量を年間526,000 L削減できる。GHG排出量の削減はエネルギー代替よりも堆肥化量を削減する効果の方が大きく寄与することを示した。

Key Words : biogas plant for cow manure, wood pellets, flow of N, P and K, GHG emissions

1. 研究背景と目的

2007 年の 21 世紀環境立国戦略¹⁾では、循環型社会、低炭素社会、自然共生社会の 3 つ社会の形成を統合的に進めていくことにより持続可能な社会を目指すとした。2008 年には第 2 次循環型社会形成推進基本計画²⁾が策定され、循環資源の性質に応じて最適な規模の地域循環圏形成の考え方が提示された。2018 年の第 5 次環境基本計画³⁾においては、環境・経済・社会的課題の同時解決を実現し、特に地域の活力を最大限に発揮する地域循環共生圏の考え方が新たに提唱され、同年の第 4 次循環型社会形成推進基本計画⁴⁾においても、地域循環共生圏を形成し、資源の循環、生物多様性の確保、低炭素化、地域の活性化等を目指すとする。

バイオマスの地域内利用は、この地域循環共生圏の形成に大きく貢献しうるが、このような取組は一部の先進地域でその価値が見出され進んでいるものの、全国的な普及にまでは未だ至っていない。その一つの理由として、

バイオマス利用が、地域資源の循環、生物多様性の確保、低炭素化、地域の活性化等に具体的にどのような効果があるのか、検討段階での定量評価が十分に行われていないことが考えられる。本研究ではその定量評価を大目標として、特に本報では資源の循環と低炭素化、地域の活性化 (資金外部流出抑制) に及ぼす影響の評価を試みる。

再生可能エネルギーやバイオマス利活用による地域内の循環や経済効果の評価としては、地域産業連関表に基づく研究が数多く報告されている。特に木質バイオマスに関連した研究は多くあり、例えば、土谷ら⁵⁾及び中村ら⁶⁾、Madlener ら⁷⁾の解析がある。特に木質バイオマスの取組が有名な岡山県真庭市を対象として、Moon ら⁸⁾、伊佐ら⁹⁾、中村ら¹⁰⁾の研究がある。他の手法としてバリューチェーン分析モデルを用いた小川ら¹¹⁾の研究、中山らの研究¹²⁾など、再生可能エネルギー事業による地域の付加価値を評価する研究例もある。

物質フローの解析をベースに、温室効果ガス (GHG) 排出量削減及び地域経済効果を統合的に評価することを

目指して、市町村のバイオマス利活用システムを LCA で評価し、経済性のみならず物質フローの観点から評価した清水ら¹⁹⁾の研究もある。

一方、バイオガスプラント (BGP) 導入効果に関する研究としては、松本ら¹⁹⁾により、畜産と農地を中心とした地域における窒素収支の解析が行われている。三枝ら¹⁹⁾は、農地における窒素収支を圃場における実測値に基づき解析している。農林水産バイオリサイクル研究所「システム化サブチーム」¹⁹⁾は、地域における窒素 (N)、リン (P)、カリウム (K)、炭素 (C) の循環を解析する「バイオマス資源循環利用診断モデル」を作成している。このモデルでは、地域で発生する家畜ふん尿や食品廃棄物、し尿・浄化槽を対象に堆肥化施設や BGP を導入した場合の物質収支の変化を解析することができる。BGP 導入による地域経済効果に関しては、中村ら¹⁹⁾、矢萩ら¹⁹⁾をはじめ、プラントの事業収支を中心に多くの研究がなされているが、地域への経済効果に関する研究は行われていなかった。

このような背景の下、北島ら²⁰⁾は酪農が盛んな 2 町を対象地域として、上述の「バイオマス資源循環利用診断モデル」¹⁹⁾を援用し、牛ふん尿を対象とした BGP 導入による地域全体の物質フローの解析によりエネルギー及び N、P、K といった肥料成分に着目した循環利用率の変化を解析し、さらにその変化による経済波及効果を地域産業連関表を用いて解析を行った。

農業が盛んな地域においては、家畜ふん尿を対象とした BGP と木質バイオマスの熱利用を同時に行える地域が多数あると考えられる。すなわち、1 つの地域において、BGP と木質ペレット製造施設 (WPF) 建設による事業を行う場合に、両事業のエネルギー連携を行うことで、地域外からのエネルギー購入量を更に削減することが可能であると考えられる。本研究では、BGP と WPF を一つの地域で建設し運転する場合に、木質ペレットを互いの施設の運転に必要な熱源として利用することで、より地域循環を促進できるのではないかと考えた。過去の研究では、これらの連携の効果の評価はされていない。

そこで本研究では、農業地域である北海道 A 町を対象として、①バイオガスプラント事業と木質ペレット事業を導入することによる効果を推計すること、②両事業が連携した場合の効果を考察することを目的とした。

2. 対象地域の概要とバイオマス利活用の現状

北海道 A 町を対象地域とする。A 町は人口が 6,969 人 (2018 年 7 月 31 日時点、2015 年時点では 6,990 人であり他の統計情報との年次をあわせるために、2015 年時点の人口を解析に用いた) で、地勢は概ね山麓をもつ

て構成され、面積は 1,408.09 km² である。産業に関しては、農業、酪農業が盛んであり、農業生産高 (2016 年度) は耕種 112 千万円、畜産 853 千万円 (乳牛、肉牛) の合計 965 千万円である。乳用牛の飼養頭数は約 9,000 頭である。林業経営体数は 82 経営体であり、法人経営体は 14 ある。そのため、木質および家畜ふん尿といったバイオマスが豊富に賦存している。

A 町では WPF を保有しており、森林から運ばれた林地残材等を原料として、年間約 700t のペレットを製造・販売している。また、今後牛ふん由来の 80t/日の BGP を導入予定であり、現在建設計画の段階にある。

3. バイオマス事業導入効果の解析手法

(1) 解析手法の概要

解析手法の概要を図-1 に示す。牛頭数に対して必要な飼料および敷料が決定され、それに応じて、家畜呼吸量やふん尿量が決定される。ふん尿は堆肥化あるいはバイオガス化され、堆肥や液肥として利用され、余剰分は廃棄扱いとした。堆肥化プロセスにおいて CH₄ や N₂O が GHG として排出され、BGP ではバイオガス発電が行われる。これら一連の計算を「バイオマス利活用診断ツール」¹⁹⁾を参考に計算した。堆肥・液肥及び地域外からの購入された化学肥料は地域内の牧草地や畑地で利用され、農作物の収穫時までに GHG 排出や地下への窒素溶脱が生じるが、圃場での C と N の挙動計算には「DNDC モデル」²⁰⁾を用いた。同様に、森林における C 固定量を加味した正味の GHG 排出量および窒素溶脱量を「Forest-DNDC モデル」²⁰⁾を用いて計算した。各モデルに関する詳細な説明は後述する。

表-1 に、本研究における評価指標と評価の内容を示す。基本的には、A 町の農業・畜産・林業に関連する部門のみを対象としている。循環利用率は N、P、K の量に着目した値として算出した。GHG 排出量については、牛舎 (牛のげっぷ) からの発生、堆肥化に伴う発生を考

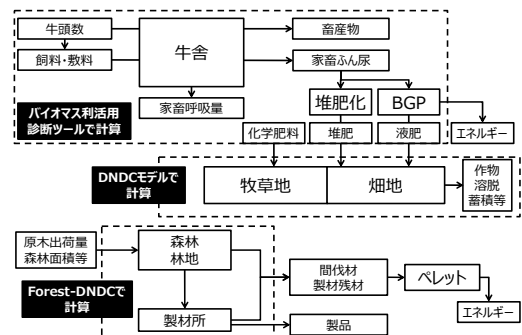


図-1 解析手法の概要

表-1 評価指標と評価内容

評価指標	内容
N,P,Kの循環利用率(%)	N, P, Kについての循環利用率/全利用量
GHG排出量(千t-CO ₂ /年)	牛舎、堆肥化、畑地、牧草地、林地、BGP、ペレット製造施設
窒素溶脱量(t-N/年)	畑地と牧草地への散布、廃棄に伴う地下水への溶脱量
化学肥料購入削減料(百万円)	それぞれ単肥の価格より推算(施設規模拡大前後を比較)
エネルギー購入削減料(百万円)	灯油価格より推算(連携の有無の比較)

慮、畑地・牧草の発生は堆肥及び液肥施用を考慮、林地は森林成長に伴う炭素固定を考慮、BGP 及び WPF はその施設稼働に伴うエネルギー及びバイオガス発電、木質ペレット利用による燃料代替を考慮した。窒素用脱率は、堆肥、液肥、化学肥料を畑地及び牧草地へ散布した際の溶脱量を評価すると共に、余剰の堆肥や液肥が生じた場合にはその廃棄分を溶脱量に加えた。化学肥料購入削減料については単肥価格より推算し、後述する施設規模拡大前後の比較のみ示した。エネルギー購入削減量は灯油価格より推算し、後述するように両施設の連携有無の比較のみ示した。

(2) 地域バイオマス利活用診断ツールについて

地域バイオマス利活用診断ツールは、図-1 に示したように、牛頭数をベースに必要な飼料及び敷料、畜産物量(牛乳、牛肉)及び家畜ふん尿量を各原単位¹⁾を用いて計算する。排出された家畜ふん尿は、後述するシナリオ設定に従い、堆肥化施設あるいは BGP で処理され、製造された堆肥量及び液肥量が算出される。同時に BGP での創エネルギー量も計算される。以上の計算を、生重量、N, P, K, C ベースで計算した。なお、牛舎の暖房や搾乳機等及びふん尿の輸送等に係るエネルギー量や GHG 排出量は考慮していない。

(3) DNDC モデル及び Forest-DNDC モデルに関して

DNDC (Denitrification and Decomposition) モデル²⁾及び Forest-DNDC モデル²⁾は、土壌における炭素と窒素の動態を扱うプロセスモデルで、土壌からの GHG 発生を予測するために Li らによって開発された²⁾。本モデルは図-2 に示すように、土壌気象、作物育成、(有機物)分解、硝化、脱窒、発酵の6つのサブモデルから構成され、土壌中の炭素及び窒素の生物化学的及び地球化学的な反応をシミュレーションする。モデルへの入力データは、気象情報、土壌の理化学性データ、作物の種類、営農管理方法(播種日、収穫日、工期を行った日および深さ、施肥日および量等)である。モデルの出力は、土壌中の炭素および窒素量の変化、作物による炭素および窒素吸収量、各温室効果ガスの発生量、硝酸態窒素溶脱量等である。一方、Forest-DNDC モデルは林地土壌での挙動をそれぞれ計算することが可能である。DNDC モデ

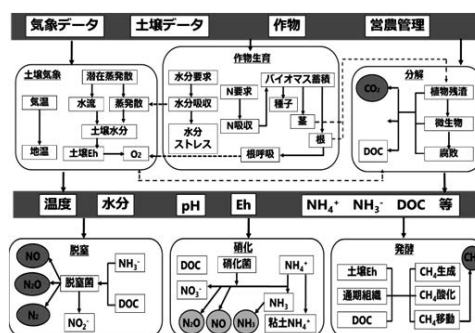
図-2 DNDC モデルの概要 (Li ら²⁾を参考に作成)

表-2 シナリオ設定

各シナリオ	BGPの施設規模	WPFの施設規模
シナリオ1	未導入(全量堆肥化)	未導入
シナリオ2(現状)	80 t/日(建設中)	700 t/年(現施設)
シナリオ3(規模拡大)	400 t/日	7,000 t/年
シナリオ4(規模拡大+連携)	400 t/日	7,000 t/年

ルは、中川ら²³⁾によって、日本の土壌における適用例が確認されているが、Forest-DNDC モデルは適用例が確認されておらず、今後検証が必要であると考えられる。

(4) シナリオ設定

本研究では、家畜ふん尿として牛ふんを対象とした。BGP の施設規模と WPF の施設規模のシナリオ設定を表-2 に示す。

シナリオ1はBGP および WPF 未導入であり、かつふん尿を全量堆肥化(各酪農家が所有する堆肥盤上での堆肥化)することとした。

シナリオ2はBGP と WPF 導入後であり、現状の施設規模(建設中含む)とした。

シナリオ3は規模拡大シナリオであり、BGP の施設規模を現状の5倍である400t/日(80t/日×5施設)、WPF の施設規模を現状の10倍の7,000t/年(施設規模の拡張)とした。これはA町に賦存する全家家畜ふん尿量の約50%を投入することが可能なBGPである。また、シナリオ4での両施設の連携を行うために十分な木質ペレットを製造できるWPFの施設規模設定とした。

シナリオ4は、シナリオ3に両施設の連携を加えた。地域内で利用されなかった木質ペレットは、地域外に販売されるが、その一部をBGP施設やWPFにて利用することを両事業の連携とする。BGP施設内の殺菌棟では熱エネルギーの不足が想定される(A町ヒヤリング調査より)。また、WPFの木材乾燥プロセスにおいて、多量のエネルギーを要する。以上のエネルギーは、通常、地域外部から購入する灯油により賄われるが、シナリオ4では木質ペレットを利用することで、両施設間の連携の効果を示すこととした。

BGP で発生したバイオガスを用いて発電された電気、及び WPF で製造された木質ペレットは、地域内でできる限り利用することとした。具体的には、電気に関しては BGP 施設内で利用し、余剰分を地域で利用することとし、その分 GHG 排出量削減すると考えた。なお、施設内利用量は発電量の 50%とした（S 町ヒアリングより）。

(6) 畑地・牧草地での施肥方法の設定

製造された堆肥と液肥は施肥基準量を超えない限り、地域内で生産される作物の圃場に散布することとした。優先順位としては、まず液肥は全量牧草地に散布し、余剰分があれば、イネ科の畑にも散布することとした。次に堆肥を牧草地とそれぞれの畑地に散布し、余剰分が出た場合には廃棄分として窒素溶脱量に加えた。なお、不足分は化学肥料（単肥で散布）で補うこととした。

表-4、表-5、表-6 に、バイオマス利活用診断ツール、DNDC モデルおよび Forest-DNDC モデルに対する入力データを示す。入力データは統計的データの入手可能性から 2015 年の北海道 A 町のデータを用いた。なお肉牛頭数は足寄町における性別・年齢別のデータが入手できなかったため、北海道全体での牛頭数に対する性別・年齢別の割合を用いて計算した。

なお、DNDC モデルおよび Forest-DNDC モデルはシミュレーション年数を 30 年とした。出力結果としては、4 年目から 30 年目に得られた定常状態結果の平均を求めた。

施肥基準 (kg/10a)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦	8	12	8
大豆	2	16	9
小豆	3	16	9
にんじん	12	15	15
ごぼう	18	15	18
やまのいも	20	20	20
さやいんげん	6	10	8
未成熟トウモロコシ	14	19	11
馬鈴薯	6	16	11
てんさい	15	15	15
イネ科	6	8	8
青刈トウモロコシ	14	19	11
放牧草地	6	4	5

○人口		○作物毎の作付面積及び収穫量		
農家人口	591	人	作物	作付面積 (ha) 収穫量 (t)
非農家人口	6399	人	小麦	903 5,020
○面積	1408.09	km ²	大豆	75 156
○飼養頭数			小豆	381 858
搾乳牛(牛乳)	9,384	頭	にんじん	20 515
肉牛(雄1歳未満)	2,346	頭	ごぼう	14 372
肉牛(雄1歳)	1,724	頭	やまのいも	7 310
肉牛(雄2歳以上)	6,179	頭	さやいんげん	231 942
肉牛(雄1歳未満)	2,215	頭	未成熟 トウモロコシ	42 395
肉牛(雄1歳)	1,284	頭		
肉牛(雄2歳以上)	422	頭	馬鈴薯	66 2,400
○畑地・森林面積			てんしん	563 15,800
普通畑	3,830	ha	イネ科	10,400 35,710
牧草地	9,580	ha	青刈りトウモロ コシ	433 22,500
森林	118,404	ha		
○作付面積				
麦類	903	ha	工芸農作物	423 ha
雑穀	34	ha	飼肥料用作物	10833 ha
豆類	704	ha	その他作物	578 ha
野菜	34	ha		

1) Climate conditions			2) Soil conditions		
Latitude		43.2	Land-use	(1)Upland crop field	
Simulated years		30	Texture	(3)Sandy Loam	
Climate File	A町2010年気象庁データを利用		Clay fraction		0.08
			Bulk density		0.75
			Field capacity (wfps: Water-filled pore space)		0.69
			Permeability(m/h)		0.1213
			Soil pH		6.2
			Wilting point(wfps)		0.34
			Porosity		0.69
			SOC at surface soil (kg C/kg soil)		0.12

3) Cropping conditions						
Crop	イネ科	ごぼう	きやいんげん	てんさい	にんじん	やまのいも
Crop type	20	68	29	19	68	18
Planting month	5/15	5/25	6/1	5/1	7/1	5/31
Harvest month	9/30	11/7	9/1	11/1	10/15	11/30
Crop	小豆	小麦	トウモロコシ	大豆	馬鈴薯	牧草地
Crop type	29	6	1	3	18	10
Planting month	7/1	9/15	6/1	6/30	5/1	-
Harvest month	10/15	8/1	9/1	11/15	8/15	-

表-6 Forest-DNDC モデルのインプットデータ
(他のパラメータはデフォルト値を利用)

1) Climate conditions	
Latitude	43.2
simulated years	30
Climate file	A町2010年気象庁データを利用
2) Hydrological conditions	
Land type	Upland
3) Forest conditions	
Site fertility class	3
Age	1,15,30,60 years
4) Management conditions	
Cut fraction	0.017

4. バイオマス事業導入効果の推計結果と考察

(1) 推計結果と考察

シナリオ 1（施設未導入）、シナリオ 2（現状）及びシナリオ 3（規模拡大）における物質収支の推計結果をそれぞれ図-3、図-4、図-5に示す。飼料、敷料及び化学肥料を外部から購入し、牛舎で発生した家畜ふん尿を堆肥化およびバイオガスプラントで処理し、できた堆肥と液肥をそれぞれ牧草地と畑地で利用した場合の、生重量(W)、窒素(N)、リン(P)、カリウム(K)、炭素(C)を示している。

a) N, P, Kの循環利用率

施設未導入であり家畜ふん尿を全量堆肥化するシナリオ 1 と施設導入のシナリオ 2 を比較すると、BGP を導入することで、N, P, K の循環利用率は 28.3% から 29.0% に向上した。特に畑地の N 投入量の削減が大きかった。P 及び K の投入量が増えたのは、設定条件上、液肥の P 及び K の含有率が堆肥に比べて相対的に小さいことを反映している。

一方、シナリオ 3 において、施設規模の拡大を行うと、堆肥が牧草地、畑地で利用しきれず、余剰分が発生してしまい、循環利用率が 28.3% に減少し、余剰ふん尿が増えてしまう結果となった。これは、BGP で処理対象となる家畜ふん尿が増えたことにより堆肥化されるふん尿量が減り、堆肥化時にガスとして排出されていたアンモニアや亜酸化窒素等の窒素分がアンモニア態窒素として液肥の中に留まることで実質的に窒素量が増えたことによる。ふん尿由来の窒素量は、シナリオ 1 で 1,250 t (堆肥 1,250 t+液肥 0 t) であるのに対して、シナリオ 2 では 1,350 t (1,150 t+200 t)、シナリオ 3 では 1,452 t (412 t+1,040 t) となる。すなわち、A 町の畑地や牧草地の面積や作物種に対して散布できる液肥が増えること

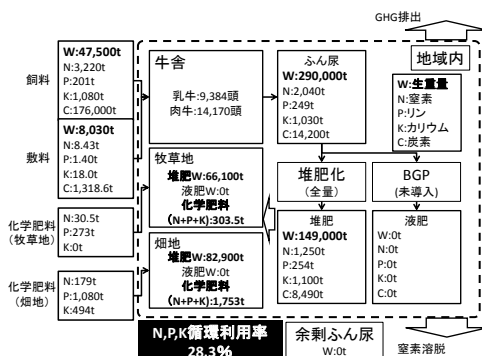


図-3 シナリオ 1（施設未導入）における物質収支

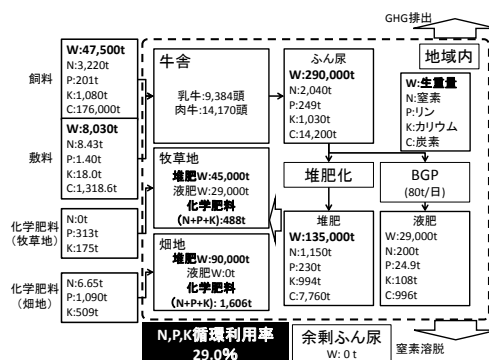


図-4 シナリオ 2（現状）における物質収支

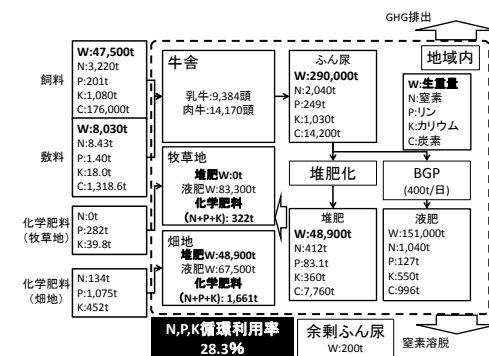


図-5 シナリオ 3（規模拡大）における物質収支

で窒素過多となり、液肥を優先して散布することにしたので堆肥廃棄分が増加した。それに伴って、廃棄されてしまった P および K 分を補うための購入化学肥料が増加したことが原因だと考えられる。

b) 両施設のエネルギー連携

図-6 にはシナリオ 4 の規模拡大後に両施設の連携として、製造した木質ペレットをバイオガスプラント施設内の殺菌棟の加温に 942 t/年、ペレット製造のための乾燥に 303 t/年利用する連携を行った場合の連携無から連

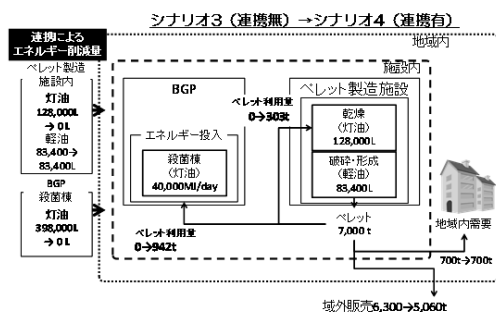


図-6 事業連携の有無によるエネルギー利用の変化

携有への変化を示している。BGP の発電については連携による変化は無いため記載しておらず、熱のみ記している。BGP の殺菌棟で 128,000 L 及びペレット製造施設の乾燥で 398,000 L の灯油が年間削減できるため、合計 526,000 L の灯油の削減が最大で可能となる。2018 年 6 月時点での灯油価格（北海道、ローリー）を 93.3 円/L（消費税込み）²⁹⁾を用いると、49.1 百万円/年の削減となる。

c) GHG 排出量の削減

図-7 および図-8 は、各シナリオにおける GHG 排出量の変化を、エネルギー代替に由来する分と農業やふん尿の処理に由来する分に分けて示したものである。また、各シナリオの正味の GHG 排出量を数値で示している。

図-7 から両施設の導入や施設規模の拡大を行うことによって、エネルギー由来の GHG の排出量の削減が見られた。シナリオ 2 ではペレット利用による削減分の寄与が大きい。規模拡大のシナリオ 3 では BGP 発電による寄与が大きくなる。これはペレットを増産しても、地域内の需要が変わらないと仮定しているためであり、地域内のペレット需要が増えれば、GHG 排出量の更なる削減は期待できる。また、両施設の連携を考慮したシナリオ 4 では、BGP の殺菌及びペレット製造施設の乾燥に必要な熱量を代替できる効果が大きく現れている。

一方、図-8 の農業由来の GHG 排出量と比較すると、エネルギー由来で発生する GHG 排出量は極めて小さな値となる。さらに、GHG 削減に最も大きく寄与するのは、堆肥化処理に伴って発生する CH₄ と N₂O であると推察される。堆肥化処理に伴うメタンや亜酸化窒素が GHG 排出量への寄与が大きいことは既往の研究においても明らかにされている²⁹⁾。GHG 排出量削減を優先する施策する場合には、ふん尿の積極的なバイオガス化が有効となる。

d) 化学肥料購入削減料

シナリオ 1 を基準として、シナリオ 2 及びシナリオ 3（シナリオ 4 はシナリオ 3 は同じ）の化学肥料購入費

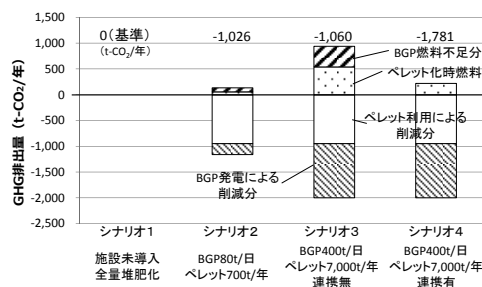


図-7 エネルギー由来の GHG 排出量

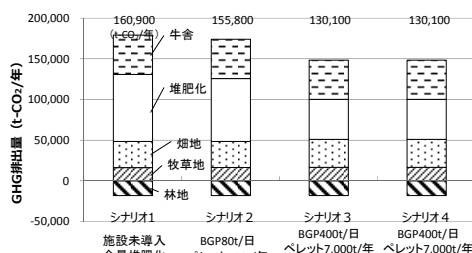


図-8 農業由来の GHG 排出量

表-7 評価指標の結果まとめ

評価指標	(参考) 未完全堆肥の散布	シナリオ1 施設未導入 全量堆肥化	シナリオ2 現状	シナリオ3 施設規模 拡大	シナリオ4 規模拡大後 事業連携
N, P, K の循環利用率 (%)	12.6	28.3	28.0	28.3	28.3
GHG 排出量 (農業由来) (千 t-CO ₂ /年)	—	161	156	130	130
GHG 排出量 (エネルギー代替由来) (千 t-CO ₂ /年)	—	基準	-1,026	-1,060	-1,781
窒素溶分量 (t-N/年)	1,512	817	817	841	841
化学肥料購入費 (百万円/年)	—	基準	+37.6	-14.7	-14.7
エネルギー購入料 (百万円/年)	—	—	—	基準	-49.1

の削減分を求める。単肥での硫酸価格（N21%）1,027 円/20kg²⁷⁾、過リン酸石灰（可溶性リン酸 17%）価格 1,531 円/20kg²⁷⁾、塩化加里（可溶性 K60%）価格 2,250 円/20kg²⁸⁾を利用して、245 円/kg-N、1,031 円/kg-P（P₂O₅ 換算）、188 円/kg-K を得てこれを単肥価格単価として用いて計算したところ、シナリオ 1 からシナリオ 2 への増分は 37.6 百万円、シナリオ 1 からシナリオ 3 へは 14.7 百万円の削減となった。

e) 評価指標の総括

表-7 は、各シナリオにおける評価指標の総括である。参考として、もっとも実状を反映していると考えられる牛ふん尿を堆肥として牧草地のみへ還元し、畑作には還元しない場合を示した。家畜ふん尿を堆肥や液肥として畑地利用することが、N,P,K の循環利用率及び窒素溶脱量を改善する効果があることが分かる。

シナリオ 1 とシナリオ 2 を比較すると、両事業の施

設導入することによって、N,P,Kの循環利用率及びGHG排出量が改善されたが、化学肥料購入量はPとKの購入量が増えたため増加した。

シナリオ2とシナリオ3を比較すると、施設規模の拡大によって、GHG排出量の大幅な削減が見られたが、N,P,Kの循環利用率の低下、窒素溶脱量の増加（廃棄量増加に伴う）が見られた。化学肥料購入費は、畑地での液肥利用が増えたことから畑地での化学購入費削減効果により地域全体では低下が見られた。

シナリオ3とシナリオ4を比較すると、両事業の連携を行うことで、大幅なエネルギー購入料削減が見られた。

5. 結論と今後の課題

(1) 結論

北海道A町を対象として、バイオガスプラント事業と木質ペレット事業を導入することの効果を推計したところ、次の結論が得られた。

- ①バイオガスプラント事業の導入により堆肥が液肥に置き換わることによるGHG排出量削減の効果を示せた。
- ②両事業の連携として、木質ペレットを両施設で利用することによって、エネルギー購入料の削減を示すことができた。

なお、A町の畑地・牧草地の条件下では、N、P、Kのバランスのためにバイオガスプラント規模拡大による循環利用率の向上は見られなかった。

(2) 今後の課題

今回のA町のケーススタディでは、バイオガスプラント導入によるN,P,Kの循環利用率の向上及び外部からの肥料購入費用の削減効果については、予想しているよりも下回った。それは、畑作での作物種や肥料利用形態等に寄るところがある。A町では窒素量が制約であった。すなわち、牧草地も含めた畑地面積と作物種が決まると、その地域の窒素需要量が決まる。その窒素需要量が制約となり、地域の酪農の飼養頭数やふん尿の処理方法を適切な規模で設定していくことが重要であることが分かった。今後の課題は、地域の窒素などの元素利用量から、環境保全を考慮した農業・酪農業のあり方も考える必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたりA町の関係者に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省: 21世紀環境立国戦略, 2007
- 2) 環境省: 第2次循環型社会形成推進基本計画, 2008
- 3) 環境省: 第五次環境基本計画, 2018
- 4) 環境省: 第四次循環型社会形成推進基本計画, 2018
- 5) 土屋哲, 谷本圭志, 長曽我部まどか, 高澤靖: 地域経済分析による持続可能な地域資源利活用施策の評価, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol. 55, 2017
- 6) 中村良平, 中澤純二, 松本明: 木質バイオマスを活用したGHG削減と地域経済効果 地域産業連関モデルの構築と新たな適用, 日本地域学会年次大会学術発表論文集(CD-ROM), Vol. 48, 2011
- 7) Madlener, R. and Koller, M.: Economic and CO2 mitigation impacts of promoting biomass heating systems: An input-output study for Vorarlberg, Austria, Energy Policy, Vol. 35, No. 12, pp. 6021-6035, 2007
- 8) Moon, D., Yagishita, T., Minowa, T.: The regional economic impacts on the development of wood chip utilization in Maniwa city, J. Wood Sci., Vol. 59, No. 4, pp. 321-330, 2013
- 9) 文多美, 柳下立夫, 美濃輪智朗: 木質バイオマス資源を用いた高付加価値製品の普及が林業部門に及ぼす効果: 真庭市の事例を中心に, 日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM), Vol. 63, 2013
- 10) 伊佐亜希子, 美濃輪智朗, 柳下立夫: 産業連関表を用いた真庭市における木質バイオマス利活用事業の波及効果分析, バイオマス科学会議発表論文集, Vol. 7, pp. 128-129, 2012
- 11) 中村良平, 柴田浩喜, 松本明: 木質バイオマス資源の地域内循環における価格形成と地域経済効果, 日本地域学会年次大会学術発表論文集(CD-ROM), Vol. 49, 2012
- 12) 小川祐貴, Raupach-sumiya, J.: 再生可能エネルギーが地域にもたらす経済効果-バリュー・チェーン分析を適用したケーススタディ-, 環境科学会誌(Web), Vol. 31, No. 1, pp. 34-42, 2018
- 13) 中山琢夫, 諸富徹, Raupach-sumiya, J.: 日本における再生可能エネルギーの地域付加価値創造—日本版地域付加価値創造分析モデルの紹介, 検証, その適用—, サステナビリティ研究(Web), No. 6, pp. 101-115, 2016
- 14) 清水夏樹, 柚山義人, 中村真人, 山岡賢: バイオマス利活用システムのライフサイクルを対象とした経済性の評価, 農村工学研究所技報, No. 212, pp. 53-96, 2012
- 15) 松本成夫: 地域における窒素フローの推定方法の確立とこれによる環境負荷の評価, 農業環境技術研究所報告, 第18号, pp. 81-152, 2000
- 16) 三枝俊哉: 物質循環から見た北海道の畜産, 北海道家畜管理研究会報, 第39号, pp. 6-9, 2004
- 17) 農林水産バイオリサイクル研究所「システム化サブチーム」: バイオマス利活用システムの設計と評価, 2006

- 18) 中村稔: 酪農バイオガスシステムにおけるメタン発酵由来消化液の活用効果, *Journal of the College of Dairying, Cultural and social science* 36(2), pp. 77-122, 2012
- 19) 矢萩健太, 古市徹, 石井一英, 翁御棋: 地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討, 第40回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 153-162, 2012
- 20) 北島弘, 石井一英, 藤山淳史, 佐藤昌宏: 北海道酪農地域における物質循環・経済から見たバイオガスプラント導入効果に関する研究, *土木学会論文集G, Vol. 73, No. 6*, pp. II_53-62, 2017
- 21) The DNDC Model : <http://www.dndc.sr.unh.edu/>
最終閲覧日 : 2018.8.4
- 22) Li, C., Frohking, S., and Frohking, T.A. : A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events, 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research* 97, pp. 9777-9783, 2000
- 23) 中川陽子, 凌 祥之: DNDCモデルの硝酸態窒素溶脱量予測における適合性の検とモデルシミュレーションの応用, *農業工学研究所技報*, 第204号, 2006
- 24) 北海道農政部: 北海道施肥ガイド2015, 2015
- 25) 平井康宏, 柿沼公二, 出口晋吾, 酒井伸一: 温室効果ガスを考慮したバイオ資源・廃棄物等の最適利用システムに関するケーススタディ, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 284-286, 2006
- 26) 北海道経産局: 北海道の灯油価格について,
<http://www.hkd.meti.go.jp/hokno/touyu/h3006.pdf>
最終閲覧日 : 2018.8.5
- 27) 肥料経済研究所: 肥料の農家購入価格情報,
http://www.hi-kei-ken.jp/hiryou/price/hiryou_1.html
最終閲覧日 : 2018.8.5
- 28) 塩化加里20kg価格,
<https://joyfulhonda.jp/item/26129>
最終閲覧日 : 2018.8.5

(2018. 8. 24 受付)

REGIONAL EFFECTS OF INTRODUCING MULTIPLE BIOMASS BUSINESS IN AN AGRICULTURAL AREA -A CASE STUDY FOR MANURE AND WOOD BIOMASS IN A TOWN, HOKKAIDO-

Kazuei ISHII, Masahiro SATO, Atsushi FUJIYAMA and Shohei IMAIKE

This study attempted to estimate changes in cyclical use rate, GHG emissions, purchase costs for chemical fertilizer and energy by introducing biogas plants (BGP) and wood pellet production facilities (WPF) through a case study in A town, Hokkaido. Introduction of BGP for cow manure supplied more nitrogen to farmland and pasture as liquid fertilizer than composting, resulting to increase in the cyclical use rate regarding to N, P and K. However, further increase in the number of BGP decreased the cyclical use rate because of limited demand of nitrogen in this area. Utilization of wood pellets for a sterilization process in BGP and a wood drying process in WPF reduced the amount of kerosene of 526,000 L per year. The reduction in GHG emissions depended significantly on changing the treatment way of cow manure from composting to anaerobic digestion more than on replacing fossil fuel energy.