

平成26年度

東北創生研究所年次報告書



最上郡戸沢村の風景（白糸の滝と最上川舟下り）

平成27年9月

山形大学東北創生研究所

「平成 26 年度山形大学東北創生研究所年次報告書」の発行に寄せて

2011 年の東日本大震災から 4 年 6 か月が過ぎましたが、大地震、大津波、福島原発事故の後遺症からまだ東北地方は立ち直っていません。それどころか少子高齢化が加速していることが人口減少データから裏付けられました。山形大学の役割は高等教育、専門研究及び社会貢献ですが、東北地方、特に山形県における地域創生における山形大学の役割はより大きいものになっています。このため、2012 年 1 月 1 日付けで、大学本部直轄の組織として、「東北創生研究所」を設立した訳であり、その趣旨をもう一度確認し、実効性のある地域課題の解決のために英知を結集しております。

東北創生研究所を開設して以来、社会創生研究、産業構造研究、食料生産研究の 3 研究部門は各部門長を中心に多くの研究者、学生を巻き込んで活動を展開してまいりました。平成 26 年度の研究成果を冊子として取りまとめることが出来ましたので、関係各位にご報告申し上げます。

研究成果の一部は報道などでお知らせいたしておりますが、全体としてまとめた形を皆様にご報告します。詳しくは各部門の活動報告書をご覧ください。

合わせて今後の活動方針に関しても、下記のとおり決定しましたので、自治体の皆様にお知らせいたします。

今後の活動方針

- 1) 2014 年度まで活動してきた研究成果を生かして、今後は地域課題として 1) 耕作放棄地有効利用 2) 畜産業臭気対策 3) 高齢者環境整備 4) 再生可能エネルギーの 4 プロジェクトに重点的に取り組む。この部門横断的研究プロジェクトは今後の東北再生のモデルとなるべく、実効性のある事業成果を出すために真摯に取り組んでおります。
- 2) 山形大学では COC プロジェクトの発展形である COC+事業に申請していますが、地域創生の最優先課題は地域の高校生を地元の大学に入学させること、地域の重要性の意識付け教育をすること、更には地域課題の研究に参加する学生を増やすことにより、山形県の企業や自治体に就職する学生の割合を増やすことにも取り組まねばなりません。インターンシップ受け入れ企業の開拓や卒業研究の課題としての現場の提供などにより、地元山形県に就職する学生の割合を 10%増やすことを目指します。同時に新たな雇用を生み出す起業家育成にも取り組むことが東北創生研究所の大きな使命となります。

以上、実践的活動拠点をそれぞれの自治体に移して社会実装することで研究成果と課題解決の実践との摺り合わせや解決策の改善を繰り返しながら、成果のあがる活動と次世代人材育成を達成いたします。

今後とも、山形大学東北創生研究所の活動にご理解とご協力をお願い申し上げます。

山形大学東北創生研究所長
理事・副学長 大場好弘

目 次

「平成 26 年度山形大学東北創生研究所年次報告書」の発行に寄せて

第 1 部 社会創生研究部門

社会創生研究部門研究報告	9
--------------	---

はじめに	9
------	---

地域における個別化医療モデルの確立	11
-------------------	----

若年観光客をターゲットにした観光まちづくりの提案	15
--------------------------	----

航空機産業振興による雇用創出を通じた持続的な地域発展に関する調査研究	21
------------------------------------	----

地域社会の長期的動態を探るためのアンケート調査 調査報告書	26
-------------------------------	----

おわりに	31
------	----

第 2 部 産業構造研究部門

産業構造研究部門研究報告	35
--------------	----

はじめに	35
------	----

養豚場の建設に伴う影響調査	36
米沢市と連携した新しい防災用品の開発	41
排雪を利用した雪冷房システムの構築	46
雪国における利雪創エネ社会の構築に向けた地域連携教育研究モデル	52
米沢地域をモデルとした克雪地域における太陽光発電設備設置の指針確立	57
再生可能な地熱エネルギーを用いた発電技術開発	62
部門活動総括	66

第3部 食料生産研究部門

食料生産研究部門研究報告	69
はじめに	69
湿地および河川管理により得られる未利用資源「ヨシ」の水稲作への有効利用	71
下水処理水の再利用による飼料用米栽培に関する研究	74
微生物を利用した廃棄物処理と資源・エネルギーの生産～堆肥製造施設における悪臭抑制の試み～	79

低炭素社会に向けた未利用バイオマス資源活用	82
クズがマント群落を形成する要因と資源利用のための現存量の把握	86
稲わらおよび繁殖牛・乳牛飼料のカチオン・アニオンバランスに関する 研究.....	89
良質な飼料用米及び稲わら生産のための肥培管理方法の検討	92
真室川町秋山牧場を核とした周年預託事業、コントラクター、TMRセン ターによる地域農業支援の効果.....	95
1-メチルシクロプロペンを利用したセイヨウナシ果実の品質保持に関す る研究.....	98
上山市域の農業生態系における植物と送粉昆虫との相互作用の解析 ～被子植物の花色多型と送粉昆虫との関係～.....	101
おわりに.....	107

第 1 部

社会創生研究部門

社会創生研究部門研究報告

はじめに

社会創生研究部門は、地方中核都市と地方定住都市のあり方(地方における「まちづくり」)、医療・福祉や教育・文化の新たな社会モデルの構築等を主な研究テーマとしている。平成 26 年度は、「地域における個別化医療モデルの確立」「観光資源の有効利用と中心市街地の活性化」「航空機産業振興による雇用創出を通じた持続的な地域発展に関する調査研究」「地域社会の長期的動態を探るためのアンケート調査」という 4 つのテーマについて調査・研究を実施した。

地域における個別化医療モデルの確立

高島町における研究を通じて地域における至適個別化医療モデルを提示することができたが、さらに、今後は多地域にこのモデルを応用していき、さらに多地域の応用可能なモデルへと拡大していくことが、日本全体の予防医療の向上に求められている。そこで、平成 26 年度は、高島町における研究事業の継続をしながら、高島町で開発したモデルを東北創生研究所のモデル地区である上山市で応用することとした。

若年観光客をターゲットにした観光まちづくりの提案

山形大学の学生に若年観光客をターゲットにした観光コースを提案させ、その検証を通して上山市の観光政策に必要な課題を抽出するとともに、実現性の高い提案の商品化を進めた。その結果、学生からは 12 の観光コースが提案され、そのうちの 3 コースが商品化されることになった。

航空機産業振興による雇用創出を通じた持続的な地域発展に関する調査研究

本研究では、山形県のものづくり企業が航空機産業との連関をどの程度構築し、今後は拡大の可能性のあるのかという点について位置づけることにした。その上で、県内企業が新規参入・受注拡大を進めるための条件を抽出し、地方創生で求められている雇用創出の可能性を明らかにした。

地域社会の長期的動態を探るためのアンケート調査

本研究の目的は、地域社会の現状を把握するため定期的にアンケート調査を行い、これを通じて県内市町村の経年的変化の状況を分析・評価し、地域社会の安定化・活性化にむけた政策提言に活用するための基礎とすることである。本年度は前年度に行えなかった全国・都市部データとの比較、およびクロス集計を行った。

地域における個別化医療モデルの確立

山形大学大学院医学系研究科公衆衛生学講座

成松 宏 人

1. 研究の背景と概要

現在おこなわれている健康診断の実施方法や健康指導などは国で定められた基準に則りおこなわれており、指導の基準や指導方法は全国一律である。しかし、都市部や農村部、関西地方や東北地方など、それぞれの地域の現状やライフスタイルは異なっており、地域別にカスタマイズする余地が残されている。「地域包括ケアシステム」を構築していく上でも予防の役割は重要であり、東北という地域に合わせた健康診断のあり方、病気の予防法や指導方法の確立に向けた研究が求められてきた。

我々は、平成24年度から東北創生研究所事業「地域における個別化医療モデルの確立」としてこの課題に取り組んできた。高畠町のサポートも得て1)町民の健康データ解析および2)課題の抽出3)課題を解決するために必要なデータの収集4)地域にカスタマイズした予防医療プログラムの立案を行った。(平成24年度、25年度研究実施報告書参照)この成果は、地域における至適個別化医療モデルとして提示することができたが、さらに、今後は多地域にこのモデルを応用していき、さらに多地域の応用可能なモデルへと拡大していくことが、日本全体の予防医療の向上に求められている。

そこで、平成26年度は、高畠町における研究事業の継続をしながら、高畠町で開発したモデルを東北創生研究所のモデル地区である上山市で応用することとした。

2. 研究の目的

高畠町（山形県東置賜郡）の研究事業で提示した至適予防医療モデルを東北創生研究所のモデル地区である上山市において応用し、そのプロセス結果を記述し、東北地方全体の予防医療レベルの向上をはかるための予防医療施策を提示する。

3. 研究結果

1) 高畠町における予防医療介入モデルの評価

H26年度実施報告

高島町特定健診に参加した65歳以下(1216名)の方に調査内容を説明。
調査に協力いただける方に同意をいただきました。

同意者 854名 ※撤回者3名含まず

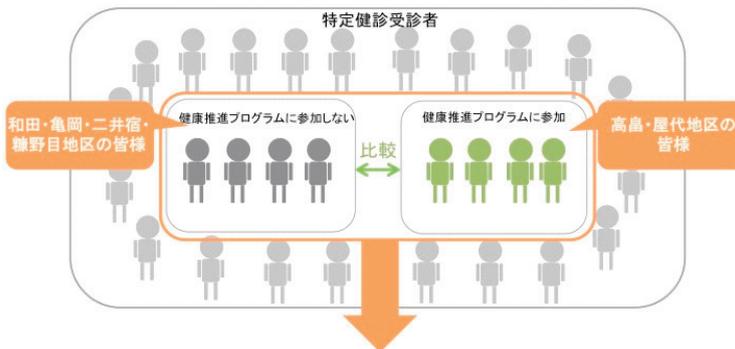
- 対象地区(高島・屋代)410名
※410名のうち昨年度(H25)同意者:198名
- 対象外地区(和田・亀岡・二井宿・糠野目)444名
※444名のうち昨年度(H25)同意者:220名

BMI25以上かつ糸球体濾過量90未満

- 対象地区(高島・屋代)100名
※100名のうち昨年度(H25)同意者:45名
- 対象外地区(和田・亀岡・二井宿・糠野目)121名
※410名のうち昨年度(H25)同意者:56名

介入対象者数100名⇒サンプル数として十分な数である。
H25年度同意⇒栄養及び生活習慣のアンケートデータがある。
栄養及び生活習慣の比較検討が可能。

対象となる方について



65歳以下でBMI25以上かつ糸球体濾過量90未満の方

※データ分析の結果、上記該当者を対象とさせていただきます。

平成25年度の結果と高島町でおこなわれている予防医療の実情を踏まえ、平成26年度は比較的若年者の適正BMIの維持に焦点をあてた非ランダム化クラスターをおこなった上での介入研究を実施した。(上図) 順調なリクルートを行い目標同意者数を達成した(下図)。来年度、該当者が再度受診することにより、その効果を評価することが可能である。この研究モデルは上山市でも適応可能と考えられた。

2) 上山市における応用

今年度まで実施した研究で蓄積したノウハウを利用して、上山市の健康情報を包括的に取得し、そのデータを解析することにより、上山市における予防医療上の課題を明らかにした。

まず2008年度と2013年度の特定健診のデータ解析により全体としては健診をうけている住民に関しては、それぞれの値に改善が見られていることが明らかになった。よって、おおむね、現在までの施策は有効であると評価できた。一方で、一部で、改善がみられなかった住民も存在するため、これらの方へのアプローチが今後必要になると考えられた。今後の解析によりこれらの方々の特性を明らかにすることがまず必要だろう。

医療費解析について下に示す。結果、60歳以下では、年齢、BMI、HbA1c、拡張期血圧、性別、が医療費と関連があるのに対して、61歳以上では、年齢、収縮期血圧、HbA1c、HDL、が医療費と関連した。このことから年齢によって、医療費と関連のある項目が違ふということが明らかになった。(以下：上市市報告資料)

60歳以下の男女で医療費と関連のある項目

	係数	P値
切片	3.151	-
年齢	2.2×10^{-2}	<0.0001
BMI	1.7×10^{-2}	0.1316
収縮期血圧	9.5×10^{-4}	0.6228
拡張期血圧	4.4×10^{-3}	0.1289
腹囲	2.1×10^{-4}	0.9593
HbA1c	6.3×10^{-2}	0.0323
HDL	-3.6×10^{-3}	0.3001
LDL	-9.4×10^{-4}	0.1742
性別	1.3×10^{-1}	0.0014
中性脂肪	-7.5×10^{-5}	0.8179

■特定健診データ : 2008年データ
 ■医療費データ : 2008年特定健診受診者の2011年～2014年の医療費

60歳以下の男女 で、年齢+性別+HbA1c+中性脂肪+HDLコレステロール+LDLコレステロール+収縮期血圧+拡張期血圧+BMI+腹囲 のなかで関連のある項目は何かステップワイズ解析で項目を取り出しました。

結果

結果、年齢、BMI、拡張期血圧、HbA1c、性別、が取り出されました。

	係数	P値
切片	3.0372	-
年齢	0.0217	<0.0001
BMI	0.0195	0.0015
拡張期血圧	0.0055	0.0010
HbA1c	0.0551	0.0530
性別	0.1201	0.0021

この結果から、実際に医療費はいくらになるか計算してみます。

医療費を求める式は、下記になります。

①医療費=切片(係数)+年齢(係数)×年齢+BMI(係数)×BMI+拡張期血圧(係数)×拡張期血圧+HbA1c(係数)×HbA1c+性別(係数)×性別

②上記で求めた医療費はlog(対数変換)としているため元に戻します。

10の上記で求めた数乗で計算します。

実際に計算してみます。

【年齢が50歳、BMIが20、拡張期血圧が80mmHg、HbA1cが5%、性別が男=1 の場合】

① $3.037 + 0.021 \times 50 + 0.019 \times 20 + 0.005 \times 80 + 0.055 \times 5 + 0.120 \times 1 = 5.262$

② $10^{5.262} = 182,810$ 円

医療費は182,810円が予測できます。

続いて、下記の場合を計算してみます。

【年齢が55歳、BMIが25、拡張期血圧が90 mmHg、HbA1cが6%、性別が女=2 の場合】

① $3.037 + 0.021 \times 55 + 0.019 \times 25 + 0.005 \times 90 + 0.055 \times 6 + 0.120 \times 2 = 5.687$

② $10^{5.687} = 486,407$ 円

医療費は486,407円が予測できることとなります。

61歳以上の男女で医療費と関連のある項目

	係数	P値
切片	3.151	-
年齢	2.2×10^{-2}	<0.0001
BMI	1.7×10^{-2}	0.4284
収縮期血圧	9.5×10^{-4}	0.1671
拡張期血圧	4.4×10^{-3}	0.9134
腹囲	2.1×10^{-4}	0.9776
HbA1c	6.3×10^{-2}	0.0011
HDL	-3.6×10^{-3}	0.0877
LDL	-9.4×10^{-4}	0.1733
性別	1.3×10^{-1}	0.9107
中性脂肪	-7.5×10^{-5}	0.6817

61歳以上の男女 で、年齢+性別+HbA1c+中性脂肪+HDLコレステロール+LDLコレステロール+収縮期血圧+拡張期血圧+BMI+腹囲 のなかで関連のある項目は何かステップワイズ解析で項目を取り出しました。

結果

結果、年齢、収縮期血圧、HbA1c、HDL、が取り出されました。

	係数	P値
切片	7.2494	-
年齢	-0.0318	<0.0001
収縮期血圧	0.0017	0.0351
HbA1c	0.0963	0.0009
HDL	-0.0018	0.0366

上記の結果から60歳以下と同じ計算方法で実際に計算してみます。

【年齢が61歳、収縮期血圧が130mmHg、HbA1cが5%、HDLが60 の場合】
 ① $7.249 + -0.031 \times 61 + 0.001 \times 130 + 0.096 \times 5 + -0.001 \times 60 = 5.908$
 ② $10^{5.908} = 809,095$ 円

医療費は809,095円が予測できます。
 続いて、下記の場合を計算してみます。

【年齢が65歳、収縮期血圧が140mmHg、HbA1cが6%、HDLが40 の場合】
 ① $7.249 + -0.031 \times 68 + 0.001 \times 140 + 0.096 \times 6 + -0.001 \times 40 = 5.91$
 ② $10^{5.91} = 812,830$ 円

医療費は812,830円が予測できることとなります。

60歳以下では、年齢、BMI、HbA1c、拡張期血圧、性別、が医療費と関連があるのに対して、61歳以上では、年齢、収縮期血圧、HbA1c、HDL、が医療費と関連あるようです。このことから年齢によって、医療費と関連のある項目が違ってしまうと言えます。

4. 上山市への提案

上山市には上記の研究事業の結果を踏まえ、以下の今後の予防医療介入立案のための追加解析の提案を行った。

- 1) 特定健診のデータが改善しなかった人たちの特徴（年齢や検査上の所見）を探索する解析
- 2) 医療費が多くかかっている人の特徴を探索する解析

さらに将来的に本研究が進み、東北、特に農村地域に適応可能な予防医療モデルが構築されることにより、東北発の地域にカスタマイズされた予防医療モデルを発信することにより、日本の予防医療の発展に寄与することが期待される。

若年観光客をターゲットにした観光まちづくりの提案

山形大学人文学部

山田 浩久

1 研究の概要

人口の少子・高齢化による経済活動の停滞を交流人口増によって補おうとする地方都市において、観光の産業化は喫緊の課題である。報告者は、平成 24・25 年度に山形県上山市を対象にして宿泊業経営者へのインタビュー調査及び宿泊者へのアンケート調査を実施し、同市における観光業の持続的発展のためには、若年観光客の開拓とそのリピーター化が必要であることを指摘した。

本研究では、平成 24・25 年度の研究結果をもとに、山形大学の学生に若年観光客をターゲットにした観光コースを提案させ、その検証を通して上山市の観光政策に必要な課題を抽出するとともに、実現性の高い提案の商品化を進めた。その結果、学生からは 12 の観光コースが提案され、そのうちの 3 コースが商品化されることになった。以下では、理論的な課題抽出部分よりも成果部分を中心に研究結果を報告する。

2 研究の流れ

本研究は、学生の感覚を重視した若者目線での観光提案を中核とするものであるため、申請者が担当する授業の単元に上山市の調査を組み込む形で研究を進めた。

2014. 3 研究計画の策定

- 4 人文学部前期開講科目「地域構造論演習」の調査テーマに設定
- 5～6 教員引率による現地調査
- 7 上山観光のモデルコースの策定と学内報告会
- 8～9 補足調査
- 10 人文学部後期開講科目「地誌学」の事例研究テーマに設定
- 11 モデルコースごとのグループ編成
- 11～12 モデルコースの検討と体験調査の実施

- 2015.1 チェックシートによる改定コースの策定と学内報告会
- 2 上山市月岡ホテルにおいて現地報告会を開催
- 3 観光コースの商品化企画案を提出

3 学生提案の観光コース

平成 26 年の 7 月時点で 9 名の学生から下記の 12 のモデルコースが提案された。

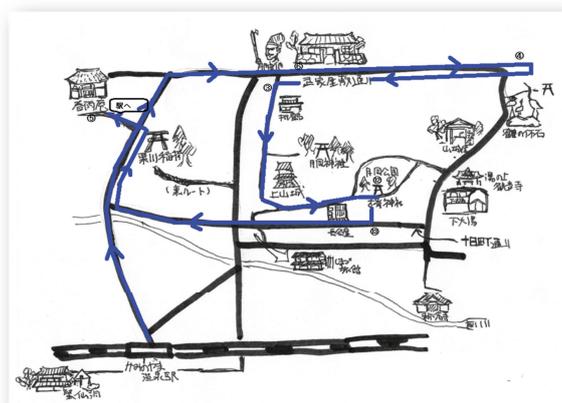
- (1) 女子美容コース
- (2) カップル向けコース
- (3) アートに触れる旅
- (4) フルーツ狩りサイクリングコース
- (5) かみのやま日帰り まちなかサイクリング
- (6) 自然をめぐるコース
- (7) かみのやま・蔵王ぐるーっとツアー
- (8) 坂道寺社巡り＋クアオルトウォーキング
- (9) かみのやまの人々を訪ねて
- (10) 湯町・城下町・宿場町 三つの顔を知る
- (11) 歴史散策コース
- (12) まちなかをレトロとともに歩く

紙面の都合上、ここで詳細な内容を提示することはできないが、学生が提示した地図だけをとってみても、彼らの感覚は多様であり、固定観念に囚われない自由な発想によって興味深いコースが提案された。(図 1)

これらのコースは、同年 10 月以降に提案者を含めた 53 名の学生が実際に体験し、その後はグループ・ディスカッションによって検証作業を進めた(写真 1)。検証作業はグループごとにポスターを描きながら行い(写真 2)、検証結果は平成 27 年 1 月の学内報告会、同年 2 月の現地報告会において報告した(写真 3)。なお、作業に使用したポスターは上山市の商店街に貸し出し、同年 2 月～3 月において同商店街の店舗内に展示された。



(a) フルーツ狩りサイクリングコース



(b) 歴史散策コース

図 1 提案されたコース図の一例



写真1. グループ・ディスカッション風景



写真2 コースの検証作業に用いたポスター



写真3 上山市での現地報告会

さらに、同年3月には、上山市の月岡ホテルと観光コースの商品化に向けた打ち合わせを開始し、上記(2)、(3)、(4)、(8)、(11)のコースを中心に実現性を高めた3コースを新たに考案、提出した。

商品化企画案の1例として、(2)を主体にしたコースの最終提案を示す（一部中略）。



恋人とこそいきたい！かみのやま日帰り温泉



「かみのやま温泉ならではの美味しい・楽しいを体験して恋人ともっと仲良くなりたい!!!」

かみのやま温泉駅出発！

はじめに向かう花咲山で使う南京錠と、記念撮影に便利な自撮り棒をGET！

↓（タクシー9分）

花咲山のふもとへ

花咲山展望台に向かう途中には、「抱きつ木」と呼ばれる大きな杉の木が2つ！片方は金運抱き杉で、もう片方は恋愛運抱き杉。どちらか片方に抱きつきながら「ついで」と10回唱えるとご利益があるらしい。恋愛運と金運、あなたならどっちを選びますか？

↓（徒歩20分）

花咲山展望台

山形県内唯一の恋人の聖地。天気の良い時はかみのやま温泉街を一望できるなど、景色はとっても素敵。幸せの鐘も鳴らすことができます。なんと、ここで結婚式を挙げたカップルもいるのだとか！恋人の聖地で結婚式…なんだか夢のある話ですね。

そして、駅で購入した南京錠は、ここで登場！花咲山展望台は「愛の南京錠」という儀式的場として使われていて、いたるところに恋人同士2人の名前が書かれた南京錠がつけられていて、恋人同士でかみのやま温泉に来たなら、花咲山展望台で2人の愛をロックしちゃおう！

↓

中略

↓

月岡ホテル到着！

1日中歩いて疲れた体を癒すのはやっぱり温泉！手軽な値段で心も体もリフレッシュできちゃいます。2人で温泉に浸かりながら今日の思い出を語り合うのも良いかも～。

入浴後は十五夜本店で作った和菓子をいただきながらほっと一息。二人の旅の思い出が詰まったアルバムをGETし、ゆったりしながら楽しかった一日を振り返りましょう♪

（所要時間：7時間半）

【記念撮影スポットの提案】

アルバム制作に写真が必要となるにあたり、以下のおすすめの撮影スポットを提案する。

- ①花咲山展望台…幸せの鐘の前に二人で立って一枚、愛の南京錠をロックする様子など。
- ②新湯地区の足湯…月岡ホテル付近にある足湯に、浴衣姿の二人が入っている様子
- ③栗川稲荷神社…鳥居の前、お稲荷様と一緒に、神社の境内で
- ④十五夜本店…二人で作った和菓子を持った写真

■このプランによるオリジナル特典

浴衣の貸し出しをいたします♪かみのやまは「浴衣が似合うまち」。2人で一緒に浴衣を選んで、温泉街を仲良く歩いたり、写真を撮ったりできます！

そして、この旅で撮った写真を使ったオリジナルのアルバム作成を楽しんでください（*^-*）スマホで撮った大切な思い出を残すお手伝いをいたします！

■予算：2人分

自撮り棒レンタル料 300円

南京錠 100～500円

タクシー代（かみのやま温泉駅～花咲山展望台入口）700円 CRESTON CAFE ランチ代 ～2000円

手造り工房さんぽ道 おそろいのもの ～2000円

タクシー代（手造り工房さんぽ道～月岡ホテル）700円 浴衣レンタル料（男性・女性）2000円×2

十五夜本店 和菓子づくり体験 1000円

月岡ホテル 日帰り入浴代 1000円×2

アルバム制作代 1000円×2

→合計 15200円（1人分 7600円）



4 研究成果の公表

報告会

2014年7月 山形大学において中間報告会

2015年1月 山形大学において最終報告会

2月 上山市月岡ホテルにおいて現地報告会

2～3月 上山市の商店街において検証作業に用いたポスターの展示

著作

2015年3月, 山田浩久, 『観光まちづくりによる中心市街地の再生』, 山形大学人文学部叢書8.

航空機産業振興による雇用創出を通じた持続的な地域発展に関する調査研究

山形大学人文学部

山本 匡毅

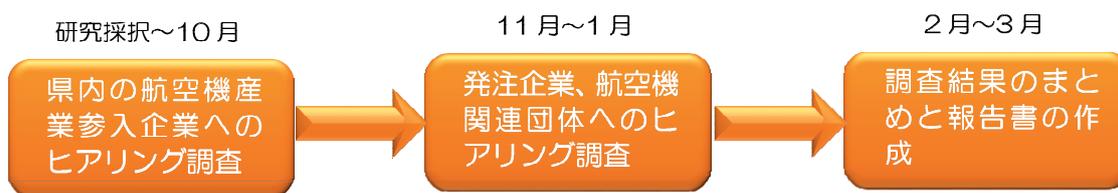
1. はじめに

本研究は、近年、地方圏における産業振興で注目されている航空機産業に着目し、当該産業が創出する雇用を基軸とした持続的な地域発展について研究を行ったものである。対象地域は山形県を中心とし、取引関係がある中部圏等の全国を対象とした。

航空機産業は、2013年を起点とした場合、2033年までの20年間に新規で約32,000機の需要が見込まれている。これらの需要は、多くが大手の航空機メーカーであるボーイング社やエアバス社、並びに新規航空機メーカーである三菱航空機等へ還元される。日本では既に航空機産業が中部圏を中心に根付いており、地方圏でも新規受注が拡大している。山形県においても技術力の高いものづくり企業が集積しており、航空機産業への潜在力は高いものがある。

そこで本研究では、山形県のものづくり企業が航空機産業との連関をどの程度構築し、今後は拡大の可能性があるのかという点について位置づけることにした。その上で、県内企業が新規参入・受注拡大を進めるための条件を抽出し、地方創生で求められている雇用創出の可能性を明らかにした。さらに航空機産業による雇用創出が持続的な地域発展に効果があることを理論的に指摘した。

【研究のフロー】



2. 研究の方法

本研究では、ヒアリング調査による定性的調査を基本とし、補完的には簡易なアンケート調査を実施した。当研究費では、以下の企業・団体に訪問した。

【訪問企業・団体】

2014年10月27日

・住友精密工業株式会社（兵庫県尼崎市）

・ Japan Aero Network（大阪府大阪市）

・ 旭金属工業株式会社（京都府京都市）

2014年10月28日

MHI エアロスペースシステムズ株式会社（愛知県名古屋市）

株式会社テックササキ（愛知県名古屋市）

玉川工業株式会社（愛知県春日井市）

2014年11月6日

一般社団法人中部航空宇宙産業技術支援センター（愛知県名古屋市）

このほか、県内企業の実態を明らかにするため、下記の企業に対して簡易なアンケート調査を実施した。

【アンケート実施日程】

2015年2月8日～14日

【対象企業】

株式会社丸範（山形市）

川西精密株式会社（山辺町）

株式会社スガサワ（寒河江市）

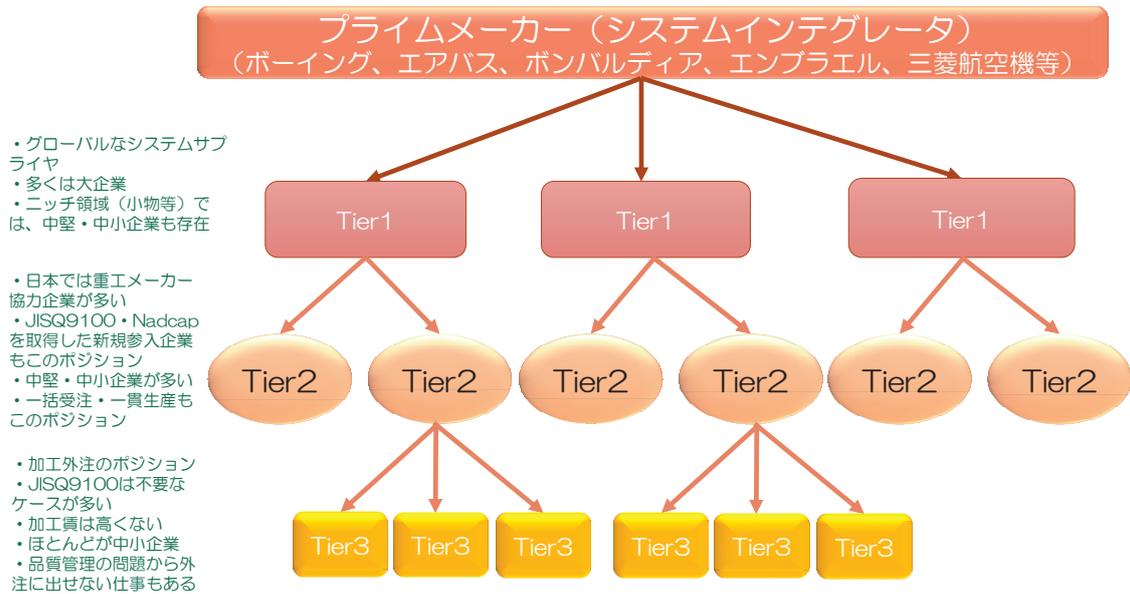
松岡株式会社（酒田市）

八千代田精密株式会社（米沢市）

3. 研究の結果概要

航空機産業は世界的な需要増加から、発注量を拡大している。この点は将来的な航空機需要予測のみならず、中部圏で実施した航空機関連企業からの聞き取り調査からも明らかになった。特に機械加工でのサプライヤー不足が深刻化していることが解明された。

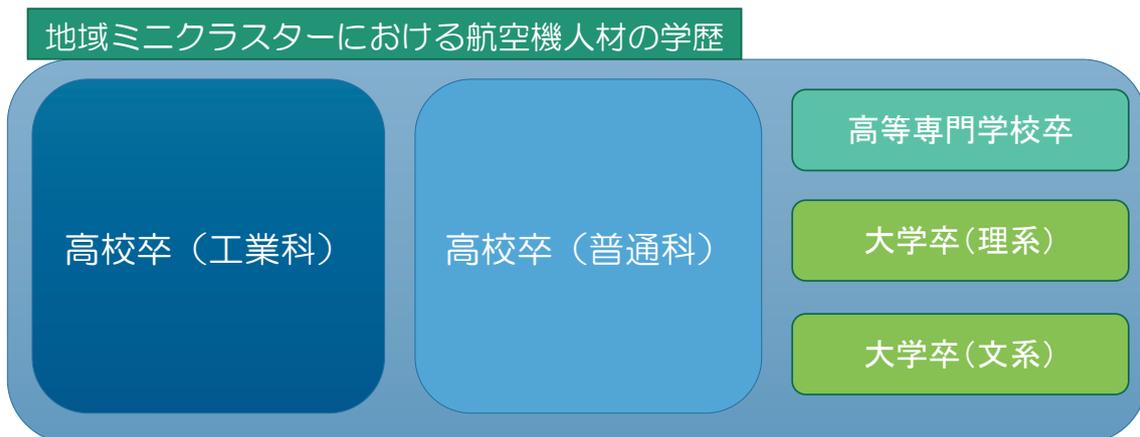
【航空機産業のサプライチェーン】



出所：ヒアリング調査より筆者作成。

他方で県内企業は、既に 20 社程度が航空機産業に参入しており、世界的なサプライチェーンの中で Tier3 のポジションを獲得している。受注内容は、B777 型機等の機体部品、B787 型機の内装品（ラバトリー、ギャレー）、MRJ の装備品（ランディングギア）、大手エアラインのビジネスクラスの座席など、多様であることが特徴的である。

【県内航空機産業の人材と学歴】

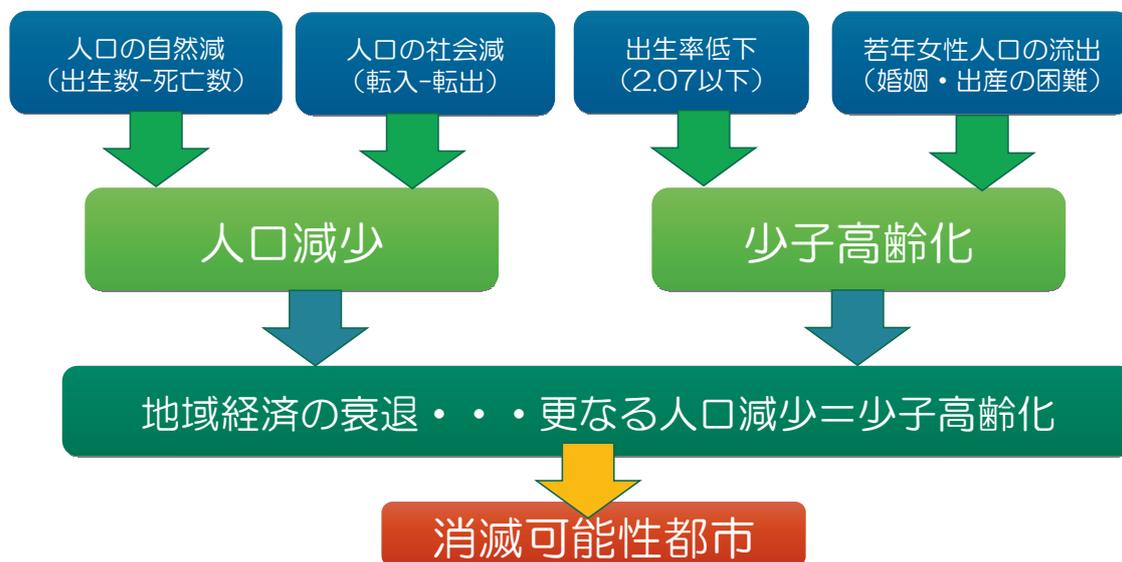


出所：アンケート調査より筆者作成。

県内企業の航空機産業への参入・拡大は、雇用創出にも好循環を与えている。アンケート調査によれば、対象企業 5 社での航空機関連雇用は 430 人に達している。また人材も従来の高卒者から大卒者へのニーズも増え始めている。かかる動きは、航空機産

業が地域雇用の一つの柱になる可能性を示している。

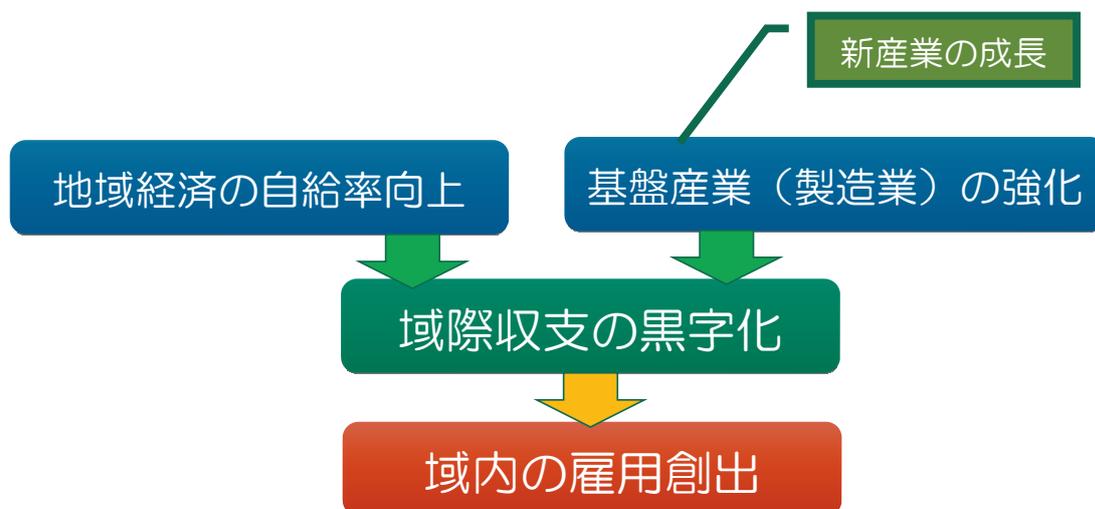
【地域経済の衰退要因】



出所：増田編（2014）をもとに筆者作成

航空機産業による雇用創出は、増田寛也らが提唱した『地方消滅』への一つのアンチテーゼになる可能性を有している。増田らは人口減少、特に地方圏における若年女性人口の流出が消滅可能性都市を生み出すとした。しかし地域経済論は、地域経済の自給率向上と基盤産業の強化による域際収支の黒字化が域内の雇用を創出し、地域経済が維持されることを理論的に明らかにしている。

【航空機産業の雇用創出と地域再生】



出所：筆者作成。

山形県の基盤産業の一つは製造業である。この製造業を振興させる一つの分野が航空機産業であり、当該産業の振興が結果として域際収支の黒字化に寄与することにつながる。したがって、航空機産業の活性化による雇用創出は、持続的な地域発展につながるということが明らかになった。

4. 成果の社会還元

本研究の推進では、山形県工業戦略技術振興課と公益財団法人山形県企業振興公社ものづくり振興部と連携しながら実施した。上記組織と連携した成果は、下記のセミナーを通じて社会に還元した。

【県との連携】

2014年山形県航空機参入拡大セミナー（2014年12月15日、メトロポリタンホテル）

このほか、下記のセミナーで成果を還元した。

【セミナー講師】

- ・公益財団法人全国中小企業取引振興協会取引支援事業に係る情報連絡会議（2014年12月4日、機械振興会館）
- ・岩手県立大学総合政策学部アイーナキャンパス講座（2014年12月16日、岩手県立大学アイーナキャンパス）
- ・長井市受注開拓推進事業ものづくり成長産業参入セミナー（2015年2月26日、TASホテル）
- ・平成26年度新産業集積創出基盤構築支援事業 航空機産業一貫生産人材育成セミナー（2015年2月20日、ダイテックサカエ 4F スターホール）
- ・一関工業高等専門学校第5回技術講演会（2015年3月、一関高専メディアセンター）

上記のセミナー講師の他、報告書として『航空機産業振興による雇用創出を通じた持続的な地域発展に関する調査研究』を2015年3月に刊行した。これは自治体等に配布している。

<参考文献>

増田寛也編（2014）『地方消滅』中公新書。

地域社会の長期的動態を探るためのアンケート調査 調査報告書

下平 裕之¹、村上 正泰²、齋藤 学³、
阿部 晃士⁴、村松 真⁵

¹ 山形大学人文学部、² 山形大学大学院医学系研究科、³ 山形大学地域教育文化学部、
⁴ 山形大学人文学部、⁵ 山形大学東北創生研究所

1 研究概要

山形県内の市町村はこれまで比較的安定した地域コミュニティが維持されていると考えられていたが、限界集落の増加・中山間地域の衰退・医師不足・学校統廃合などの諸問題が顕在化し、地域コミュニティの崩壊が加速しつつある。

そこで今後地域社会の現状を把握するため定期的にアンケート調査を行い、これを通じて県内市町村の経年的変化の状況を分析・評価し、地域社会の安定化・活性化にむけた政策提言に活用するための基礎としたいと考えている。本年度は前年度に行えなかった全国・都市部データとの比較、およびクロス集計を行った。

2 研究計画

県内市町村の地域社会の経年的変化を測るために、①社会関係資本（ソーシャル・キャピタル）、②教育、③医療・福祉、④総体的な幸福度を主な指標として設定する。そしてこれらの指標の経年的変化を測定するためのアンケート項目の選択、調査方法の設計を行った。特に25年度は①～③の指標に関わるアンケートについて検討した。そして村山・最上地域の市町村（上山市、真室川町、戸沢村）の協力を得て地区レベルでの試行を行い、その結果を検討・評価することにより、今後の本格的なアンケート実施のためのデータ収集を行った。

なおアンケート調査項目については以下の先行事例を参考とし、今回の調査対象地域及び目的に合わせ一部項目の追加、変更等を行っている。

- ・地域での活動に関するアンケート（問5～問12）：「社会生活」に関するアンケート調査 日本総研 2007年。

調査目的：市民の社会活動に関する参加度を調べることにより、地域コミュニティの安定化・活性化に寄与すると考えられる社会関係資本（ソーシャル・キャピタル）の実態を把握する。

- ・生涯学習に関するアンケート（問13～問20）：横須賀市教育アンケート（社会教育編） 横須賀市教育委員会 2010年。

調査目的：市民が生涯学習や社会教育に対して何を望んでいるのか、また、どのような考えを持っているのかを把握し、生涯学習の推進を図り今後の社会教育施策の参考とする。

- ・在宅医療に関するアンケート（問21～問26）：在宅医療に関するアンケート調査 新潟市 2011年。

調査目的：超高齢社会の進展により、長期にわたる療養や介護が必要とする方の増加が見込まれる中、在宅医療に係る意識やニーズを把握することにより、今後の在宅医療推進の施策検討等の基礎資料とする。

3 調査対象地域

- ・戸沢村蔵岡地区（130人）
- ・真室川町八敷代地区（108人）
- ・上山市金瓶地区（363人）

4 アンケート調査結果

4.1 単純集計の全国・他都市との比較

ここではまず本アンケートを作成する際に参照した先行事例（「社会生活」に関するアンケート調査、横須賀市教育アンケート、新潟市在宅医療に関するアンケート調査）と共通となっている質問項目を用い、調査対象地域（戸沢村、真室川町、上山市）との比較検討を行う。

地域での活動に関するアンケート

地縁的活動への参加度については、全国データでは「活動している」が約 20% であるのに対し、調査対象地域ではそれぞれ 50～60% となっており、活動が活発であることを示している。また頻度に関しては全国データでは「年に数回程度」「月に 1 回程度」「月に 2～3 回程度」の順となっており、調査対象地域では頻度順については同様の結果となっているが、「月に 2～3 回程度」の割合がいずれの市町村でも高いという特徴が見られる。

スポーツ・趣味・娯楽活動への参加度については、全国データ、対象地域データともほぼ同じ傾向となっている。活動頻度に関しては全国データでは「週に 1 回」「月に 2～3 回程度」「週に 2～3 日」の順となっているが、調査対象地域ではこれに比べ頻度が低いことがわかる。なお上山市のみ「月に 2～3 回程度」の割合が高いという特徴がある。

ボランティア等の市民活動への参加については、全国データと比べ各市町村とも比率は高く、地域住民の活動水準が高いことが明らかとなっている。また全国と比較し、活動頻度についてはやや低い傾向（「年に数回程度」の割合が一番高い）が見受けられる。

生涯学習に関するアンケート

人生を豊かにするための活動について質問したところ、横須賀市（「旅行」「スポーツ」「学習」の順）と比較して戸沢村、真室川町において「地域活動」「自然活動」の割合が高いことが特徴である。生涯学習に関する学習経験の割合は、調査対象地域全てが横須賀市に比べ低いことがわかる。その学習内容については、横須賀市については「趣味」「教養」「仕事」の順となっているが、真室川町で「仕事」が最上位に来ていることが特徴である。

学習成果の活用については、横須賀市と比べ調査対象地域において、「仕事」「地域活動」について「すでに活かしている」という回答の割合が高いという結果が見られる。

在宅医療に関するアンケート

在宅医療の希望に関しては、新潟市と調査対象地域との間において、大きな傾向の差は特に存在しない（「希望するし・実現可能だと思う」約 10%、「希望

するが、実現は難しいと思う」約 50%、「希望しない」約 15%)。また在宅医療を希望しないまたは実現が難しいと思う理由については、調査対象地域において「介護してくれる家族がないから」よりも「経済的に負担が大きいから」という回答が上位に来ている、という特徴が見られる。

4. 2 クロス集計の結果（年齢・性別）

次に調査対象地域におけるクロス集計分析の結果を示すが、調査対象数の制約により、年齢と性別についてのみ、クロス集計分析により特徴を捉えることができると考えられる設問について分析を行っている。

地域での活動に関するアンケート

地縁的活動に関する調査では、「年齢」についてはサンプル数の少ない若年層のデータを除くと、50代以上の層で「活動している」という回答の割合が高い傾向が見られる。「性別」については、すべての市町村で、男性の方が「活動している」と答えた割合が高くなっている。

ボランティア等の市民活動については、「年齢」についてはサンプル数の少ない若年層のデータを除くと、地縁的活動と同様に50代以上の層で「活動している」という回答の割合が高い傾向が見られるが、その割合はより低くなっている。「性別」についても地縁的活動と同様に、すべての市町村で男性の方が「活動している」と答えた割合が高くなっている。

生涯学習に関するアンケート

余暇の過ごし方に関する質問では、「年齢」については、高齢層の方が「満足」「どちらかと言えば満足」と答えている割合が高い。「性別」については、戸沢村を除き「満足」「どちらかと言えば満足」と答えた割合が男女ともほぼ同数であった。生涯学習の経験については、「年齢」については、真室川町の60・70代以外の階層において40～60%の学習経験があることがわかった。「性別」については、戸沢村、真室川町で男性の比率が高い一方、上山市では女性の比率が高くなっている。

学習成果の活用については、地域における社会教育実践との関連で、問 19-6（講師等）および問 19-7（学校ボランティア）についての結果を示す。

「講師等」に関する項目では、「年齢」については、「すでに活かしている」という回答の割合は戸沢村は高齢者層が多いのに対し、上山市では各年齢層に広く分布しているという特徴が見られる。「性別」については、「すでに活かしている」という回答の割合は各市町村で男女ともほぼ同じ比率であるが、上山市においては「今後活かしていきたい」という回答について男性の比率が高い。

「学校ボランティア」に関する項目では、「すでに活かしている」という回答について、「年齢」では各市町村とも高齢者層のほうがやや高い傾向が見られる。「性別」については、戸沢村、上山市で男性が、真室川町では女性が高くなっている。

在宅医療に関するアンケート

最期を迎えたい場所に関する質問に関し、「年齢」については、上山市では年齢層が高くなるにつれて「病院などの医療施設」という回答が高くなる傾向が見られるが、戸沢村、真室川町では必ずしも明確ではない。「自宅」という回答は一部の年齢層を除き30～50%代の回答となっている。

「性別」については、真室川町では男性で「病院などの医療施設」という回答が多いが、戸沢村、真室川町ではほぼ同じ割合となっている。また戸沢村で男性の「自宅」という回答の比率が高くなっている。

在宅医療の実現可能性に関する質問に関し、「年齢」については、「希望するし、実現可能だと思う」という回答が戸沢村では高齢者層に多いのに対し、真室川町、上山市では各年齢層に広く分布している。「希望するが、実現は難しいと思う」という回答は各市町村・各年齢層で約半数～約7割を占めている。

「性別」については、「希望するし、実現可能だと思う」という回答の割合について、戸沢村、上山市では男性の割合が高く、真室川町では女性の割合が高い。

おわりに

これまで各研究テーマの研究内容についてその要旨を紹介してきたが、最後に各研究テーマの成果および将来展望についてまとめておく。

地域における個別化医療モデルの確立

今年度まで実施した研究で蓄積したノウハウを利用して、上山市の健康情報を包括的に取得し、そのデータを解析することにより、上山市における予防医療上の課題を明らかにした。

まず2008年度と2013年度の特定健診のデータ解析により全体としては健診を受けている住民に関しては、それぞれの値に改善が見られていることが明らかになった。よって、おおむね、現在までの施策は有効であると評価できた。

医療費解析の結果、60歳以下では、年齢、BMI、HbA1c、拡張期血圧、性別が医療費と関連があるのに対して、61歳以上では、年齢、収縮期血圧、HbA1c、HDLが医療費と関連した。このことから年齢によって、医療費と関連のある項目が違ふということが明らかになった。

上山市には上記の研究事業の結果を踏まえ、以下の今後の予防医療介入立案のための提案が考えられる。

- 1) 特定健診のデータが改善しなかった人たちの特徴（年齢や検査上の所見）を探索する解析
- 2) 医療費が多くかかっている人の特徴を探索する解析

若年観光客をターゲットにした観光まちづくりの提案

平成26年の7月時点で9名の学生から12のモデルコースが提案された。学生が提示した地図だけをとってみても、彼らの感覚は多様であり、固定観念に囚われない自由な発想によって興味深いコースが提案された。さらに、平成27年3月には、上山市の月岡ホテルと観光コースの商品化に向けた打ち合わせを開始し、学生の提案したモデルコースを基に、実現性を高めた3コースを新たに考案、提出した。

航空機産業振興による雇用創出を通じた持続的な地域発展に関する調査研究

航空機産業による雇用創出は、『地方消滅』への一つのアンチテーゼになる可

能性を有している。人口減少、特に地方圏における若年女性人口の流出が消滅可能性都市を生み出すとされているが、地域経済論は、地域経済の自給率向上と基盤産業の強化による域際収支の黒字化が域内の雇用を創出し、地域経済が維持されることを理論的に明らかにしている。

山形県の基盤産業の一つは製造業である。この製造業を振興させる一つの分野が航空機産業であり、当該産業の振興が結果として域際収支の黒字化に寄与することにつながる。したがって、航空機産業の活性化による雇用創出は、持続的な地域発展につながるということが明らかになった。

地域社会の長期的動態を探るためのアンケート調査

本年度は全国・都市部データとの比較検討、年齢、性別に関するクロス集計を行った。

全国・都市部データとの比較により、以下のような結果が得られた。

- ・調査対象となった県内各市町村において地縁的活動・市民活動への参加度合いが全国よりも高く、ソーシャル・キャピタルがより充実していると考えられる。
- ・生涯学習活動については、生涯学習に関する経験は比較対象都市よりも低いが、その内容については自然・地域活動や仕事という回答の割合が高く、地域の特性に適合した形で学習活動が行われていると考えられる。
- ・在宅医療に関しては、在宅医療を希望しない理由として比較対象都市と比べ経済的理由の方が大きいことが明らかになった。

また、年齢・性別に関するクロス集計により、以下のような結果が得られた。

- ・地縁的活動・市民活動共に、調査対象地域において高齢層、男性の参加割合が高いことが明らかになった。
- ・余暇の満足度、生涯学習の経験については高齢者層の割合が高い。また学習成果の活用については高齢者層の方がやや高い傾向にある一方、性別についてはほぼ同じ傾向が見られる。
- ・在宅医療に関しては、年齢・性別ともに市町村により回答に差があり、特定の傾向は見出しにくい。

なお、これまでの調査は、住民の意向を尋ねる項目が中心であったが、今後は、新たな政策等に伴う地域の変化を見るための成果指標を加えた形のアンケートを設計することも検討したい。

第 2 部

産業構造研究部門

産業構造研究部門研究報告

はじめに

産業構造研究部門では、理学部、工学部の主に有機化学や高機能材料、物理化学や化学工学などを専門とする優れた研究者に参画頂き、プロジェクトを推進している。これらのプロジェクトは山形県、ひいては東北地域を活性化する産業の振興を目指している。特に昨年度より部門に加わって頂いたメンバーによる養豚場の建設に伴う環境影響評価に関して開発された手法、特に悪臭の飛散範囲の予測並びに地域の今後のあるべき姿の提案は山形県の多くの市町村が抱える問題の解決策を提示出来る物であり、今後は悪臭に関して積極的な解決策を提案すると共に、各市町村においては新たに畜産業を誘致する際に本手法による候補地の適正を検証するための活用が期待される。また、本年度の他のプロジェクトは「COC 地（知）の拠点整備事業」地域志向教育研究経費の補助を受けた物が多かったが、一昨年度実施した「Huck U 山形大学 in 石巻」事業の経験を十分に踏まえて行う事が出来、十分な成果が得られたものと考えている。その中でも特に本年度は豪雪地帯の特徴を生かした雪利用並びに山形県内に豊富に存在する温泉熱の活用について幾つかの提案を行っている。これらの中には27年度に向けて実証試験が行われるものも出てきている。来年度の成果に期待して頂きたい。

東北創生研究所の3部門が協力し、かつ、地域の協力を得ることにより、山形の魅力ある地域資源や観光、産業、独自技術などを大きな枠組の中で活かして行く事が可能と考えている。本報告書では、平成26年度の活動における検討内容や実績を報告し、今後の課題や展開について述べることとする。

養豚場の建設に伴う影響調査

高橋 幸司¹・村松 真²・桑名 一徳³・渡部 徹⁴・高畑 保之⁵

¹ 山形大学大学院理工学研究科, ² 山形大学東北創生研究所, ³ 山形大学大学院理工学研究科,

⁴ 山形大学農学部, ⁵ 山形大学大学院理工学研究科

はじめに

米沢市では平成17年頃から市民により悪臭に関する苦情を訴えられるようになってきた。

悪臭の発生源としては米沢南工業団地にある堆肥製造事業所「笹子平高原」と南原にある畜産会社「村上畜産」である。笹子平高原の堆肥工場は、平成26年5月に産業廃棄物処理業にかかる許可の期限が切れるに当たり、更新手続きをしないことになった。堆肥の製造は中止となり、飼料保管場に転換されている。一方、村上畜産は養豚業者であり、同社が生産している「天元豚」は地元ブランドとして定着しているばかりではなく、米沢市の食肉処理公社の維持にも大きく貢献している。米沢市では悪臭が問題となる度に村上畜産に改善勧告を行い、村上畜産においては堆肥化工程、豚舎内の環境、そして排水処理施設等について改善を進めると共に、肥育頭数を減らす処置も行って来た。この処置はブランドの構築に伴う需要の拡大に相反する動きとなっており、山間部への豚舎移転を検討することとなった。

本調査は米沢市並びに村上畜産より委託を受け、移転先の候補地である板谷地区へ豚舎が移転した場合の環境影響の評価を行ったものである。今回の調査では最新のシミュレーションにより悪臭の拡散地域を明らかにするとともに、板谷地区の主要産業製品であるゼオライトの品質に及ぼす臭気物質の吸着、さらには豚舎を移築した場合の水環境への影響について専門的な知識ならびに実験を駆使して客観的に行った。

養豚場の建設に伴う影響の予測

1 臭気成分の大気拡散シミュレーション

移転候補地に養豚場が設置された場合の地域住民に及ぼす臭気の影響をシミュレーションした。まず現在の養豚場を対象にシミュレーションを行い、米沢市街地で発生している悪臭苦情の状況と比較することによりその妥当性を検証した。ついで同様のシミュレーションを移転候補地に対して行い、住民に与える臭気の影響を調査した。

シミュレーションの技法は数値流体力学（computational fluid dynamics, CFD）であり，計算には CFD 解析ソフトウェアである ANSYS Fluent を使用した。

臭気物質としては最も大量に発生するアンモニアを想定し，空気密度 1.2 kg/m^3 ，空気粘度 $1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，拡散係数 $2.9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ を条件に用いた。現農場で発生した臭気成分が移流・拡散した計算結果を Fig. 1 に示す。風向風速は南風 5 m/s を仮定し，臭気が $1/1,000$ になる範囲を図示した。結果は市に寄せられる苦情発生地域をうまく表現できている。

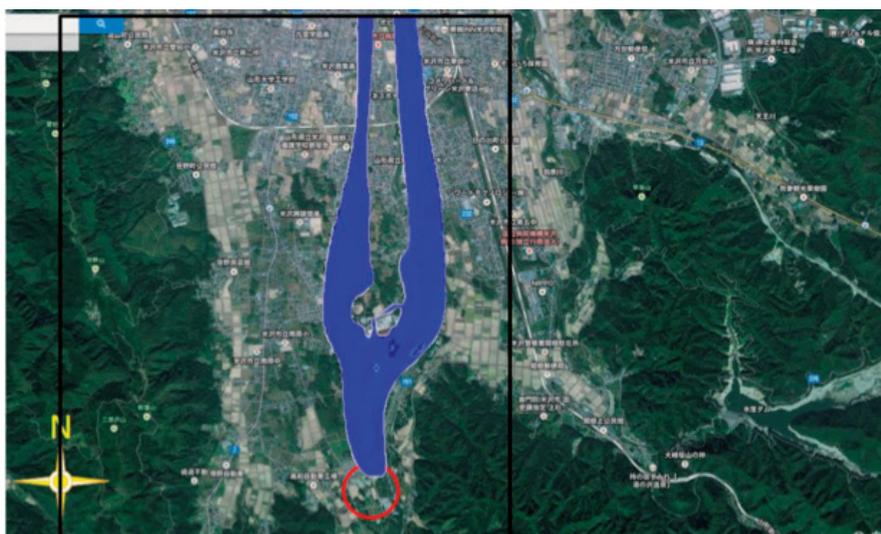


Fig. 1 現養豚場からの臭気の拡散状況のシミュレーション結果
南風 5 m/s . 臭気が $1/1,000$ になる範囲

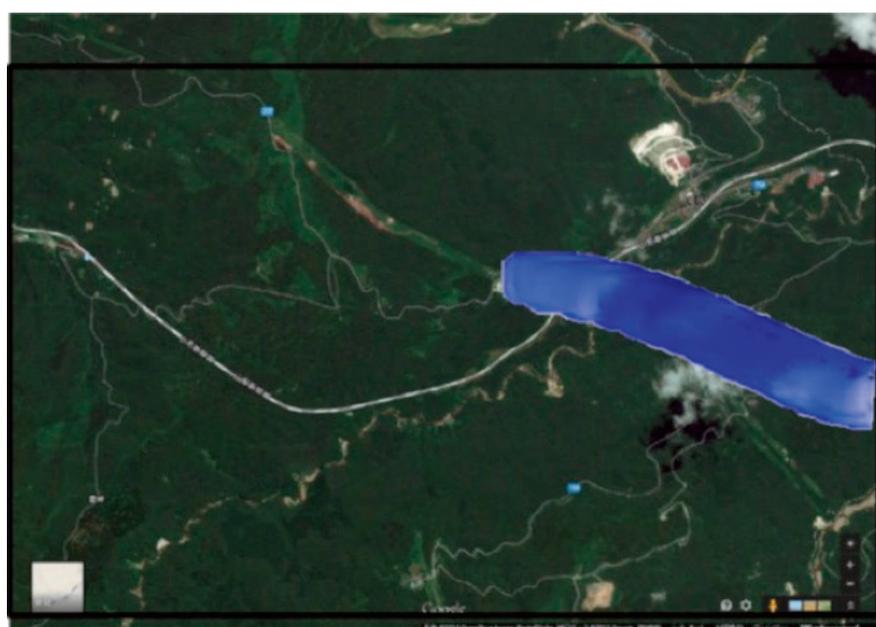


Fig. 2 養豚場移転予定地から発生する臭気拡散状況のシミュレーション結果
西風 5 m/s . 臭気が $1/5,000$ になる範囲

次に建設予定地での結果について説明する。計算条件として最も重要と思われる風向風速は、村上畜産が2013年8月29日から11月20日にわたって収集した板谷分校の風向風速データを参考にした。同期間の板谷分校における風速の最大値は12m/sを超えるものの、5m/sを超えるデータは稀であった。そして風速が5m/sを超える場合の風向は西風が最も多かった。そこで西風5m/sは集落に影響を与える可能性のある最悪の条件として設定した。加えて臭気物質の種類によっては極低濃度であっても悪臭苦情の要因になりうる。そこで臭気濃度が1/5,000になる様子の計算を行った。移転予定地の計算結果をFig. 2に示す。結果は、臭気成分は数キロメートル先まで到達し得ることを示しており、この距離は板谷地区の住宅地を含む。したがって、臭気成分が板谷地区の住宅地まで到達する可能性は否定できない。しかし、今回のシミュレーションでは、西風を設定したにもかかわらず、臭気成分の流れは住宅地をそれて谷側に移動するような結果が得られた。

2 ゼオライトへの臭気物質の吸着

板谷地区における最大の企業であるジークライト株式会社の主製品であるゼオライトは露天堀りされており、臭気成分の吸着が危惧される。そこでゼオライトへのアンモニアの吸着実験を行い、養豚場からアンモニアガスが発生し、大気拡散した場合の天然ゼオライトへの吸着能への影響について検討した。

板谷ゼオライトへのアンモニアガスの吸着容量の測定について流通型吸着筒を用いた破過曲線を測定する実験系で行った。その結果は、ジークライト社のカタログで保証しているゼオライトの吸着容量の5%以下であった。従って、ゼオライトへの臭気物質の吸着は否定できないが、ゼオライトの顕著な品質の低下を引き起こすほどではないものと考えられる。

3 水環境への影響予測

養豚場の移転にともなう周辺水環境への影響（特に、養豚場からの排水による河川水質への影響）を事前に評価した。

現在の養豚場から放流されている排水をサンプリングし、水質ならびに微生物の状態について調べた。その結果、現養豚場の排水の水質は、基準値をほぼクリアしているものの、タイミングによっては総窒素が基準を若干超過する可能性があることがわかった。その要因は脱臭装置からの排水である。なお、現時点では養豚場からの排水が、放流先である最上川の水質悪化を引き起こしているとは言えない。また、移転予定地における水環境についてフィールド踏査ならびに水質の測定を行った。移転予定地を流れる沢水は、野生動物の糞便による汚染が疑われたが、それが流れ込む河川（前川）の水質は良好であった。養豚場が移転後、沢水の水質悪化が懸念された。前川の水

表 2 水質分析の結果

サンプル採取地点	水温 ℃	pH -	EC mS/cm	DO* mg/L	BOD mg/L	SS mg/L	大腸菌群 CFU/mL	大腸菌 CFU/mL	総窒素 mg/L	総リン mg/L
養豚排水処理水	21.1	7.6	260	3.3	25	16.3	445	2.4	19	9.0
脱臭装置排水	25.9	8.2	163	2.8	22	5.3	340	0.02	206	0.09
最上川上流	19.2	4.8	20	5.3	0.1	4.5	0.02	<0.01	0.53	0.08
最上川下流	17.3	7.7	8.3	6.3	1.3	5.1	1.0	<0.01	0.44	0.05
沢水(大沢橋)	15.5	7.4	2.6	6.5	0.8	0.4	5.6	0.29	0.23	0.09
前川	16.3	3.8	26	6.6	0.6	<0.2	0.2	<0.01	0.17	0.11
排水基準値	-	5.8-8.6	-	-	160	200	3000	-	170**	25**

*サンプル採取後の静水状態で測定した参考値。流水中で測定するよりも小さく測定される傾向がある。

**養豚場に対する暫定排水基準値(内湾に河川等を通じて排水が流入する地域が対象)。その他の畜産施設は一般の事業場と同じく、総窒素120mg/L、総リン16mg/Lが定められている。また、これとは別に、対象地域を限らない窒素に関する基準値として、硝酸性窒素等700mg/L(一般排水基準値は100mg/L)が定められている。

質に対する影響については、養豚場から約 10 km 下流地点では軽微であると判断されたが、養豚場の付近では(流量データがないために)評価ができなかった。

なお、河川や沢水の流量や水質については、季節や天候によって大きく変化するため、年間を通して影響を評価するためには、同様の調査を継続的に実施することが望ましい。

今回の限定的な調査では、現農場は法律*を守っており、問題も起きていないようである。板谷地区でも同様だが、農場予定地近くの沢の水量が少ないため、局所的に影響が出る可能性がある。水量の多い水路または前川への排水が望まれる。

*平成 28 年 6 月に排水基準値の改定が予定されている点には注意が必要である。

4 板谷地区社会への影響

板谷地区は、古くから温泉地や交通の要諦として重要な地区であり、近年は立地企業と盛隆を共にした山間部としては珍しい特長を有する地域である。また温泉、鉱物、自然環境など、貴重な地域資源はあるものの、人口減少により、今後の集落の維持が懸念される。

板谷地区は高齢化が進んでいるため、ここに立地する企業は、地域運営機能の維持向上(祭事、通院、買い物、災害時対応など)を目指した地域貢献をする必要がある。

将来的には、移転する企業は地域内資源を活用した地域活性化に、積極的に参加すべきである。また、ゼオライトの利用に関する研究協力をしている研究者は山形大学米沢キャンパスに数多く在籍しており、畜産利用の研究への協力も期待できると考える。

村上畜産の現時点での移転計画では、年間出荷頭数約 15,000 頭、できれば将来的には、総飼養頭数 8,000 頭を目標に考えている。平成 28 年度に畜舎を建設し、平成 29 年度には飼育開始、平成 30 年度にはフル活動できるようにし、出荷に扱ぎ付けたいと考えている。

一方、村上畜産は小中学生の見学が可能な豚舎の建設に視野を向けている。その場合、山村地域にある企業の見学会は、全国的にもこのような山村は存在しないので大きな資源になると考えられる。この見学会は、産業廃棄物処分場のようにどちらかというに見学させたくないような施設についての見学も含めて、その必要性を訴えながら現実を見学し学習できるプログラムを地元の大学と協力しながら全国でも類を見ないような内容で構築するならば、板谷地区の持続的な存立と社会的貢献に益するであろう。

米沢市と連携した新しい防災用品の開発

山形大学大学院理工学研究科

落合 文吾

背景

2011年3月11日に起きた東日本大震災は未曾有の災害であり、東北地方太平洋側を中心に大きな傷を残した。これまでも日本では数多くの災害が起きてきたが、東日本の広い範囲を襲った現代の大規模災害としては初めてのものだったと言って良いだろう。4年が経過した本稿執筆時の現在でさえ被災地の課題はなお残り、かつ拡大しているものさえ有る。従って、被災地への継続的な支援が必要である。また、これまでなおざりにしてきた災害への備えの重要性が叫ばれるようになったが、具体的な方策や製品は未だ十分と言えない。

これらの背景から、①災害を風化させずに継続支援すること、②災害への啓蒙のために常に災害を意識できるようにするためのものづくり・ことづくり、③継続性の確立に向けた地域を活性化させる事業としての実施、という3つの柱を掲げながら活動を行っている。平成25年度には石巻市にてYahoo! JAPANと連携したHack U 山形大学 in 石巻を開催したが、この後継事業として米沢市との連携により、米沢市の資源を生かした防災用品を開発することとした。

今年度の取組

① 学生による防災用品の開発とこれに向けたビジネス教育

米沢市とのインターンシップという形式を取り、学生を募集したところ、学部生3名、および大学院博士前期課程4名が応募し、本事業に参加した。活動は10月から開始し、月に2-4回程度の活動を行った。災害と米沢の活性化の両方に関連することを必要条件とし、学生に取り組むべき課題を探索させた。この際、デザイン思考の手法のいくつかの修得を目指した事前教育も行った。

当初は良案がまとまらずに迷走したものの、約3回の活動ののちに米沢の食材を生かした防災食の開発にターゲットを定めた。日頃から通常の保存食と同じ場所に置き、いつでも食べられるおいしさと、被災時の暖かさを両立できるプレミアム感のある保存型弁当を第一のコンセプトとして、現在商品企画を続けている。米沢市の農林課、商工課、観光課よりもアドバイスを頂いており、今後の共同開発を目指して企画を詰めているところである。



図1 マトリックス図を用いたブレインストーミングの様子

福島における被災時の状況を知るために、避難者支援センターおいでを12月19日に訪問し、自身も避難者でいらっしゃるが避難者の支援をされている上野様にお話を伺った。

また、ユーザーからの意見を求められる環境を作るため、2015年4月2日に米沢市理科研修センターにて、親子向け科学教室を実施した。理科研修センター教員の遠藤浩先生ご指導の下で電気パンを作る実験を学生が修得し、学生が主体となって教室を企画・開催した。7家族12名が参加し、非常に好評を得た。また、非常食へのアンケートも取ることができると共に、全ての家族から今後の製品試食などへの参加に対する前向きな回答も頂くことが出来た。

表1 アンケートで頂いた意見の例

実験の感想	かんたんなものでパンがつくれてびっくり、おもしろかったです。子供たちもおもしろかったようです。
	子供が実験に興味があるので、またこのような機会があったら参加したいです。
	日常生活にも使える事を知りたい。いつも遊んでいるものに何かをプラスすると、ビックリする事がおこるとか、子供があきないものが良い。
子供を対象とした防災グッズは必要と感じますか？	全員が「はい」と回答
非常の食の試食会があったら参加したいですか？	全員が「はい」と回答
自由記載	家でもできる実験も楽しいかも。学生さんたち、子どもの対応すばらしく感心しました。ありがとうございました。
	みなさんととても優しく楽しく上手にすすめてくれて大満足でした！学生さんなのに子供の相手も上手ですばらしい！ほんとうにありがとうございました。
	定期的に行っていただけるとうれしいです。

② 今後の取組に向けた連携協議

3月18日に今後の連携に向けた協議、ならびに活動に向けたアドバイスを頂くため、東京大学 i.school プログラムディレクター(アアルト大学卒)の Miikka Lehtonen 博士ならびにアアルト大学 International Design Business Management の Anna Salo-Toyoki 女史において頂いた。東北創生研の活動のゼロから1を作る過程としてのユニークさと被災地への支援を両立しようとしていることを高く評価して頂いた。一方、投資家や実業家との連携による実践という点での強化が必要という意見と、今後国際的なビジネスへと展開していくべきという意見を頂いた。

③ 外部発表

今年度ならびに昨年度の取組を平成27年2月11日から3月23日まで行われた「災害関連グッズ展示会」(新潟県長岡市長岡震災アーカイブセン

謝辞

本活動は米沢市との連携により行われた。調整ならびにご指導頂いた総合政策課・渡辺勅孝様をはじめとする米沢市の皆様、避難者支援センターおいでの皆様、山形育児サークルランド土屋清美様、ままかふえサロンご参加の皆様、米沢市理科研修センター遠藤浩先生にお礼申し上げます。また、本活動の一部は平成 26 年度「COC 地（知）の拠点整備事業」地域志向教育研究経費の補助を受けて行った。ここに深く感謝いたします。

排雪を利用した雪冷房システムの構築

山形大学大学院理工学研究科

樋口 健志

1. 概要

豪雪地域の多くの自治体では除雪コストが財政上の負担になっており、例えば米沢市における除雪対策事業費の平成 24 年度決算額は 13.4 億円にもなる一方で雪は天然の冷熱源であり、県内では舟形町や川西町、飯豊町などで農産物低温貯蔵庫や公共施設の冷房への利用実績がある。しかし一般に雪の冷熱利用は土地の確保からインフラ整備まで必要な初期投資が大きく、本格的な普及に至っていないのが現状である。

そこで本テーマでは除排雪を活用した利雪技術として、雪山による簡易冷房システムの構築を目指すこととした。これは屋外に簡易な断熱材で被覆した雪山を設置して循環水等で熱交換を行い、隣接した建物の冷房を行うものである。冬季の排雪場を雪山として活用することにより、除雪・利雪双方のコスト削減を狙ったものである。

本年度においては、まず豪雪地の既存公共施設を対象に構内排雪による雪冷熱の賦存量と建物の所要冷房量を推算し、雪冷房の導入可能性を検討した。次いで冷房需要期までに必要量の雪を保存することを意図して実験用雪山を造成し、雪山の保存性を調査した。今後引き続き、雪山内部の温度データ及び気象データを用いて、雪山を被覆する断熱材による断熱効果を定量的に明らかにする予定である。

2. 研究成果

2.1. 既存施設での雪冷房導入可能性調査

米沢市内の公共施設（すこやかセンター，米沢市西大通 1 丁目）における雪冷房導入可能性を調査した。当該施設は図 1 に示すように敷地北側に冷房対象となる建物，中央と西側に除雪区域となる駐車場，南側に排雪の堆積場となる公園が配置されている。公園部に 2 箇所図示した青色の四角形は排雪により雪山が形成される位置であり，ロータリー除雪車による投雪によって形成される。

2.1.1. 雪山残存状況

排雪により形成された雪山の残存状況を図 2 に示す。気温が低く排雪量の多い 1～2 月では雪山の高さは増加を続けて 2 月下旬に最大に達し，写真からおおよそ 7.8m と推定された。その後は日を迫うごとに融解が進み，5 月下旬には完全に消失した。除雪業者への聞き取り調査では例年 5 月上旬ころに消失するとのことである。したがって年による変動を考慮しても，特段の保存措置を講じない場合の雪山の保存の限度は 5 月下旬であると考えられる。

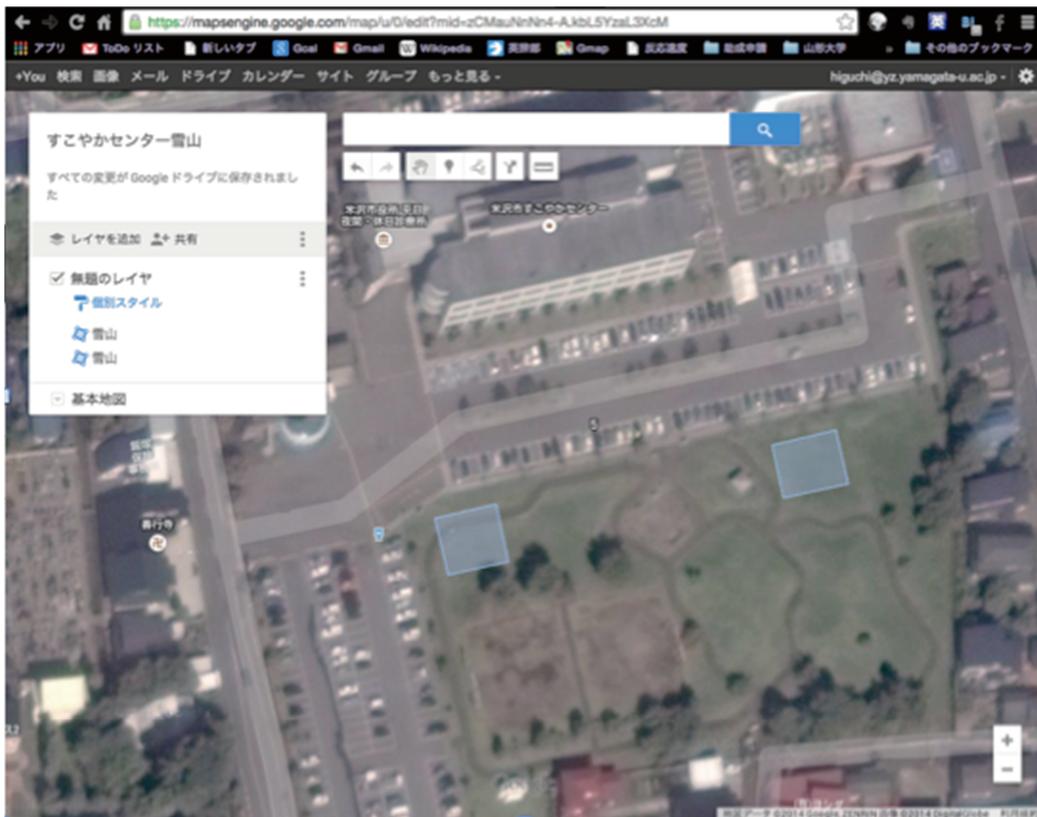


図 1 すこやかセンター俯瞰図



図 2 すこやかセンター敷地内における排雪による雪山残存状況

2.1.2. 冷熱賦存量・所用冷熱量試算

すこやかセンター敷地内で発生する排雪の冷熱賦存量を次のように推算した。

1. 過去 5 年間の気象データから得られる積雪量を平均化し、これに除雪区域面積を乗じて排雪の残存量の推移を推算した。
2. 尾花沢市役所における簡易雪冷房[1]のデータ（4 年分）から、雪山を造成して断熱材で被覆した場合の雪山残存体積の推移を推算した。
3. 上記 2 つから排雪堆積期から雪山保存期にかけての雪の残存量の推移を求め、残存冷熱量を算出した。
4. JRA 標準規格[2]に従ってすこやかセンター建物の年間冷房所要冷熱量を算出し、上記で得た雪冷熱量と比較した。

推算結果を図 3 に示す。3 月は雪山の融解が進むため、雪山を造成し断熱被覆する時期が早いほど多くの冷熱量を保存できる。3 月中旬の時点で残存冷熱量は建物の所要冷熱量とほぼ同等であり、この時期に雪山造成した場合、冷房需要期の始まりである 6 月上旬には所要冷熱量の半分程度が残存する計算結果となった。従って、最大で需要量の半分程度の冷熱量を敷地内の排雪から賄うことができるということになる。

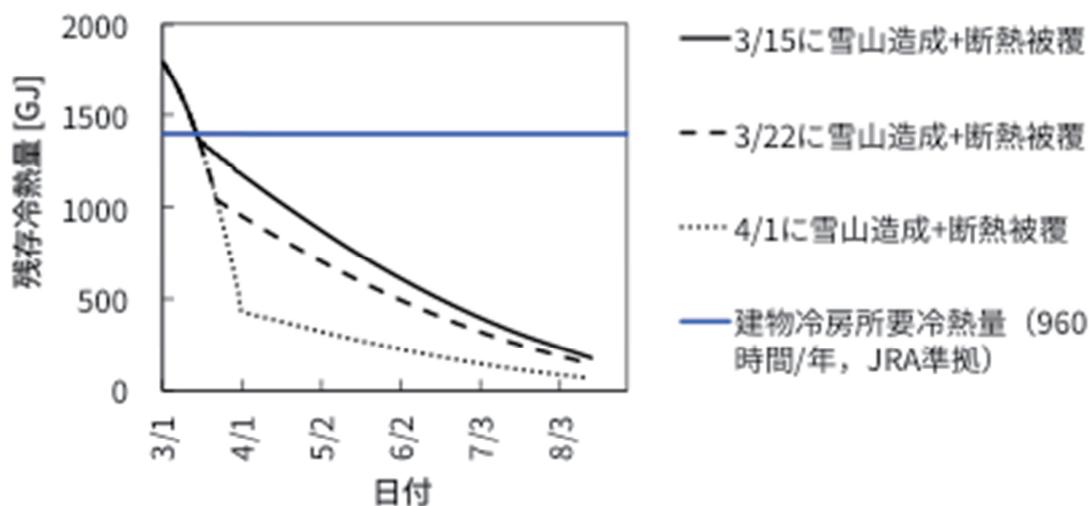


図 3 すこやかセンター敷地内排雪から得られる冷熱量の経時変化（推算値）

2.2. 冷房用冷熱源としての雪山保存実験

2.2.1. 雪山造成

前項で得た雪山残存量の経時変化は尾花沢市でのデータを元にした推算値であるので、筆者らにおいて実際に雪山を造成し残存量データを取得した。造成地点は山形大学工学部運動場（米沢市太田町）である。地表は土であり、周囲には雪山に影を落とすような構造物はない。雪山は図 4 に示す通り平面

形状が1辺6 mの正方形，高さ1.6 m，上辺2 mの台形であり，その上に木材チップを厚さ30 cmで敷いて断熱層とし，さらにアルミシートを掛けて遮光した。造成作業は2015年3月11日に行った。

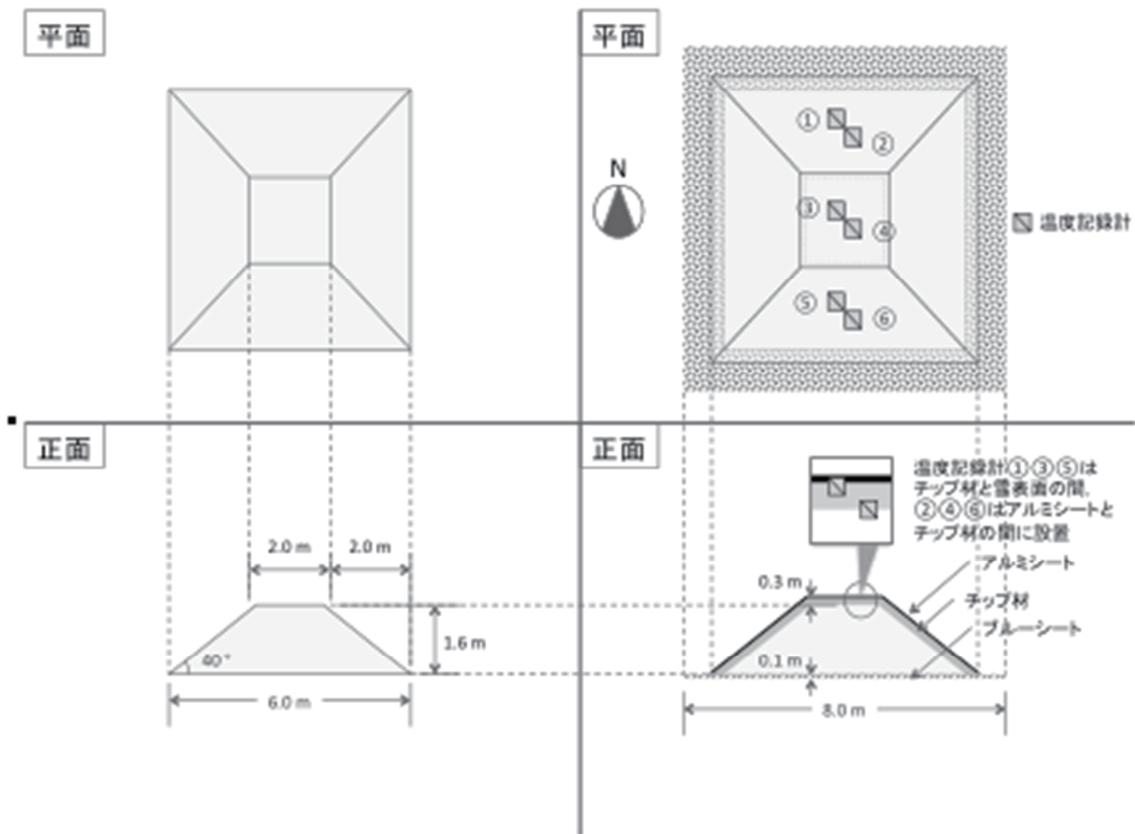


図 4 実験用雪山の寸法と構造

2.2.2. 雪山残存状況

雪山の残存状況の経時変化を図 5 に示す。図中の体積値は雪山の各辺長から推定した残存体積である。日数の経過とともに，稜の形状が崩れ，全体として丸みを帯びた形状へと変化した。また雪山の体積変化（図 6）は，尾花沢での事例[1]の変化曲線と良好に一致した。雪山を被覆する断熱材について，尾花沢ではアルミ蒸着シートと断熱シート等の組み合わせであるのに対し，本実験雪山ではアルミシートと木材チップ層である点で大きく異なるが，雪山の保存性が概ね同一であった点は興味深い。今後，気象データ及び断熱層の伝熱特性を検証して具体的な融解メカニズムを明らかにする予定である。

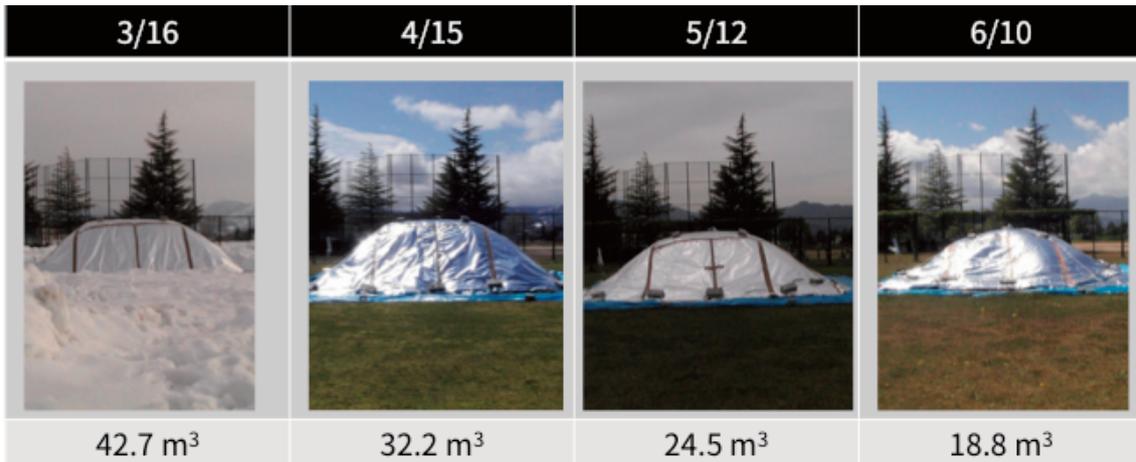


図 5 実験用雪山の残存状況

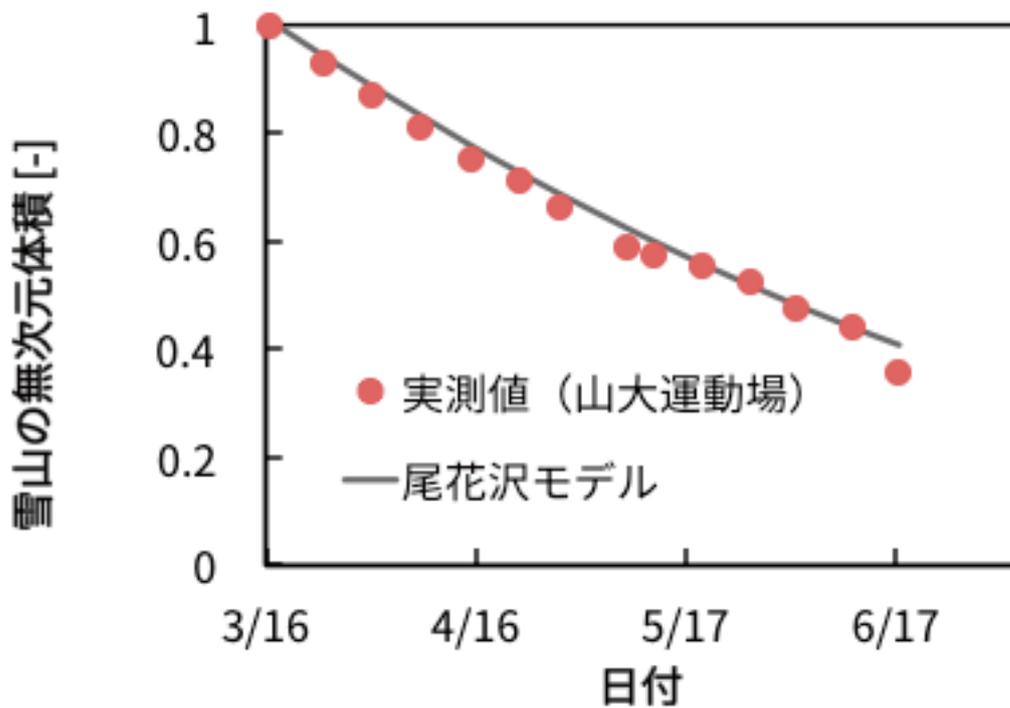


図 6 実験用雪山の残存体積の経時変化

3. 提言

3.1. 除雪事業への経済性効果

米沢市が設定している排雪場は全て河川敷に所在するため、シーズン終了後に堆積した雪を早期に削って処分せねばならず、排雪運搬と合わせて二重にコストが掛かっている。本研究で取り上げたすこやかセンターでは敷地内で排雪を処分しているが、病院・学校等の比較的敷地の広い公共施設でも同

様に敷地内で処分を完結させられれば、排雪場への搬入量を減らすことができる。さらに雪冷熱利用によって冷房需要期のエネルギー源の分散にも資することができる。

3.2. 運用コスト

尾花沢の事例では断熱材の年間コストが 26 万円であるのに対し、規模が異なるので一概に比較できないものの、本研究では木材チップで 1 回の使用で 10 万円、アルミシートで 2 万円程度である。再利用性の検討が必要であるものの、安価な方法として期待できる。

3.3. 施設レイアウト・設計上のポイント

新規に建設される施設の場合は、建物の北側に雪山エリアを確保するとともに、主たる除雪区域となる駐車場と近接させるか、十分な動線を確保しておくようにレイアウトすることが望ましい。また、傾斜地や段差がある地形の場合、図 7 に示すように低地側を排雪エリアとすることで、雪山造成コストの低減および日射面積の減少による保存性の向上が期待できる。

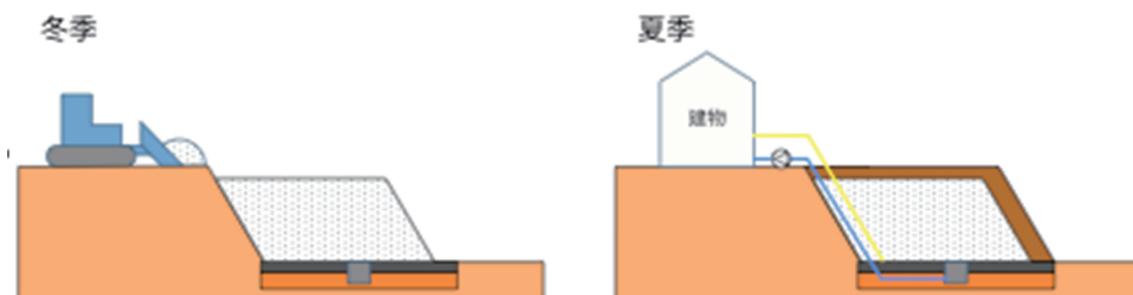


図 7 排雪場に隣接した建物の雪冷房システム

謝辞

本研究遂行にあたり下記機関・企業にご助力・助成いただいた。記して謝意を表す。

株式会社菊地組，一般財団法人前川報恩会，有限会社丸光建設工業，山形大学 COC 推進室，米沢市企画調整部総合政策課，米沢市建設部土木課（五十音順）

参考文献

- [1] 尾花沢市役所，平成 20 年度 NEDO 成果報告書「雪山による簡便冷房システム実証試験事業」，NEDO，2008 年 9 月
- [2] 日本冷凍空調工業会標準規格 パッケージエアコンディショナの期間エネルギー消費効率，日本冷凍空調工業会，2006 年 3 月

雪国における利雪創エネ社会の構築に向けた 地域連携教育研究モデル

山形大学理学部物質生命化学科 近藤 慎一
山形大学理学部物質生命化学科 臼杵 毅
山形大学理学部物質生命化学科 栗原 正人

【はじめに】

日本でも有数の豪雪地帯である山形県において、冬季の除雪作業等への居住者の身体的・心理的負担は大きく、また、多くの自治体では除雪コストが財政上の大きな問題となっている。この雪を利活用する方法として、氷室や夏期の冷房用冷却材などがあげられ、一定の成果が報告されてきた。一方で、氷が水に相変化する際の融解熱は 80 kcal/kg であり、これは 1 kg (1 L)の水を 0 °C から 80 °C に温める熱量に相当する。この潜熱を有効に利用する方法、特にエネルギー源とする方法の開発は、雪をネガティブに捉えるのではなく、より積極的な雪の利活用、すなわち利雪としてポジティブに利用することに他ならない。本課題では、この利雪の観点から新たなエネルギーを生み出し活用する利雪創エネ社会の構築を志向した地域連携教育研究モデルを提案することを目的としている。雪が有する潜熱を利活用するには、対応する高温が必要であるが、室環境などを熱源とするわけにはいかない。平成 25 年度林業所得統計報告書¹によれば、山形県は木材生産額では都道府県別で 22 位と中位に位置するものの、未活用の木質材料が多く存在すると考えられる。山形県に存在する木質バイオマスの熱源として有効利用が可能であれば、雪との温度差を利用した温度差発電を行うことが可能であれば、利雪の一つとなりうると考えた。そこで本年度は、学部学生とともに木質バイオマスを利用している施設、特に豪雪地帯である県北部の施設を複数箇所見学、視察し、山形県における現状を実際に五感で感じてもらうことから始めた。

一方で、温度差を利用した発電としては、バイナリー発電、オーガニックランキンサイクル(ORC)、熱電素子(ゼーベック素子)発電などが考えられる。本年度は、機械的可動部がないためメンテナンス等も楽であると考えられる熱電素子を用いた極小規模発電装置を自作し、温度差を利用した発電と LED 点灯まで可能であるかを実験した。

¹ 生産額は 297 千万円。1 位は北海道で、東北地方においては岩手、秋田、青森、福島、宮城につき最下位である。

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001133789>

【施設視察】 2015年3月16～17日に、理学部物質生命化学科の3年生5名とともに、山形県北部の木質バイオマス利用施設の見学を行った。まず、真室川町の庄司製材所を訪問し、旧及位中学校内に設置されているバークボイラーと熱湯パイプラインを見学した。見学の際には庄司社長より、装置の概略や実際の利用状況などについて説明をいただき、各所の温度なども測定しながら全体像の把握に務めた。また、製材工場についても見学させていただき、廃棄される木質バイオマスから経済的に熱エネルギーを取るための一つの解について理解を深めた。チップボイラーは旧及位中学校の体育館内に設置されており、製材の際に廃棄される木の皮部分であるバークを乾燥せずに燃料として利用しており、経済的に合理的な燃料となっている。後述するが、上の写真のようにパイプラインを経由して80℃程度のお湯が旧中学校の教室の1階部分に通されている。

当日は真室川町内にある梅里苑に宿泊し、参加した学生と再生エネルギーなどについて議論を行った。翌朝には梅里苑に併設されている木質チップボイラーを見学した。木質チップは外部から購入しており、ボイラーで生じた熱を館内の暖房や源泉の加温など梅里苑の熱源として利用しているとのことであった。



チップボイラー本体



バークの供給



熱湯パイプライン



製材工場とバーク堆積場

その後村山市へと移動してやまがたグリーンパワー株式会社の木質バイオマス発電施設に移動し、館内や発電設備について詳細な説明を受けた後、発電所内を見学した。当発電所は他の発電所とは異なり、木質バイオマスをガス化してこれを発電機のエンジン燃料として利用している国内でも珍しい設備であり、同じバイオマスを利用した発電との比較は意味のあるものであった。また、多量に排出される木酢酢などについてその有効利用が課題であることも、木質バイオマスを利用した施設に特有の課題であり、興味深かった。

参加した学生からは後日、レポートの提出を受け、理解度についてチェックをした。意外とこれまで環境や再生可能エネルギーに対する理解度が少ないことがわかり、これは今後の教育における課題としてあげられる。



やまがたグリーンパワーの発電用チップ



発電機本体



梅里苑チップボイラー本体



チップ

【極小規模発電装置の試作】

本年度はさらに、市販されているペルチェ素子をゼーベック素子として利用することで、発電とLEDの点灯を試みた。シリコングリースを塗布した二つのヒートシンクを用いて、ゼーベック素子を挟み込み、一方には氷を一方には実際に利用可能な80℃程度の湯を用いて発電を行ない、回路を組んだLEDを点灯させた。赤色LEDのみならず、青色、白色のLEDについても並列に3つ程度であれば十分に点灯可能であることを確認した。また、電圧はお湯の温度が低下せず、氷を供給することで安定して2.3V程度を維持することが可能であり、LED光源の電源としては十分に有効であることも確認した。

旧及位中学校内では山形大学農学部野堀嘉裕教授らの研究グループがバークボイラーから発生する熱湯を熱源として、空き教室において植物工場が実行可能かを検証している。野堀教授の現地における通年の輝度測定などの結果、植物工場として利用するためには冬季における光源が圧倒的に足りず、なんらかの光源を設置する必要があることがわかった。先に示したヒートパイプを用いたお湯を熱源とし、旧及位中学校が位置する真室川町で冬季において多量に存在する雪を冷却に用い、今回試作した温度差発電によるLEDを光源に組み込むことによって、冬季の光源不足を解決できる可能性がある。

【おわりに】

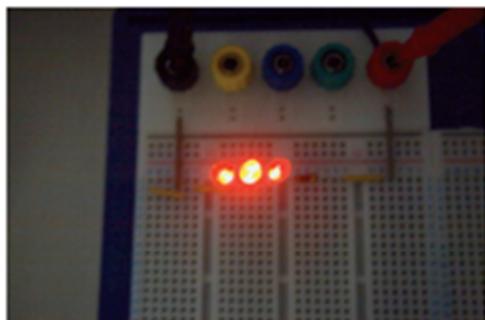
3つの施設の見学の結果、山形県においてバークなど木質バイオマスを燃料として用いたボイラーの排熱を利用した小規模発電が有効であることが強く示唆された。特に植物工場など発電施設に消費施設を併設させることで、カーボンニュートラルな新たな産業創出の可能性が見られたことは今年度の研究における大きな成果の一つである。



使用したペルチェ素子



作成した装置



赤色 LED が点灯



装置で発生した電圧

【謝辞】

本研究は平成 26 年度「COC 地（知）の拠点整備事業」地域志向教育研究経費の補助を受け、行った。ここに深く感謝いたします。また、施設への見学受け入れをしていただいた株式会社庄司製材所の庄司和敏社長、まむろ川温泉梅里苑、やまがたグリーンパワー株式会社の関係者に厚く御礼申し上げます。

米沢地域をモデルとした克雪地域における 太陽光発電設備設置の指針確立

山形大学大学院理工学研究科

増原 陽人

1. 概要

化石燃料や原子力発電に頼らない次世代の発電手法が求められる現在、太陽光発電が次世代発電手法のひとつとして注目されている。その結果、我が国のみならず、世界的規模で太陽光発電利用拡大のための取り組みがなされている。特に我が国では、東日本大震災後の電力供給不足への懸念などと相まって、再生可能エネルギー、特に導入までに要する期間が比較的短い太陽光発電システムの大量導入実現が期待されている。太陽光発電は“エネルギー資源問題”と“環境保全”双方の社会的課題を解決する手段として注目され、また有効な一次エネルギー源として年々その重要性を増しており、2100年までには世界の一次エネルギー供給の過半を太陽エネルギーの利用で占めるとの予測もある。これに対応する重要技術の1つでもある。太陽光発電の大量導入実現に向け、これまで発電コスト低減を主軸に材料開発研究等が推進されてきたが、大量導入を実現する上では、導入先となる設置場所及び用途を拡大していくことも重要である。このような背景から目標とする“デバイス性能”のみならず“経済性の改善”についても同時に求められている。太陽電池モジュールやシステム機器等の高性能・低コスト製造技術、安価なシステムの設計や設置工事の簡素化等の研究開発が盛んに行われているものの、従来の概念では画期的な進展にも限界があり、市場ニーズを満たす製品開発にはなお一層のブレークスルーが必要とされている。設置に関しては、平坦な地面や住宅の屋根等、従来から導入されている設置環境においては、導入量が増え続けている一方で、技術的に導入が困難であり、導入コストが従来型環境に比べて高い等の理由により導入が進まない分野・環境が存在している。

本テーマでは、米沢市をモデル地域と設定し、米沢市、地域企業（高山工務店等）と連携し、休耕田となっている農業振興地での発電と農業生産を可能とするコプロダクションシステムを設計し克雪地域における太陽光発電設置の指針確立を目指した。

2. 米沢地域における調査結果

大手企業・自治体がメガソーラの建設・実証を行いつつあるが、その殆どが風圧・積雪といった気象条件を鑑みた過度に頑丈な架台の使用や、発電効率を向上させるための電池パネルの電動での角度制御装置の使用など、高価なモジュールでの太陽光発電設備である。今後の売電価格低下を考慮すると、イニシャルコスト・ランニングコストの考慮なしには太陽光発電はビジネス

として成り立たない。

米沢市にある高山工務店では、2009年より一般住宅への太陽光発電設備を取り付け始め、同社が手掛けるほとんどの住宅に太陽光発電設備を設置してきた。この背景には、太陽光発電へ関心を持つ顧客が増加していることや、平成23年3月の福島第一原発の原発事故や太陽光で発電された電力の電力会社買取義務という環境も後押ししていると言える。2012年4月からは、社有地1500坪に1枚あたり長さ1.5メートル、幅1メートルの太陽光発電パネルを1188設置し、発電量は最高で300kW/h（一般的な4人家族、35坪の家での電力使用量は3～4 kWから計算すれば、最大75軒分に相当）を達成してきている。中小企業が独自設計で太陽光発電施設を建設することは希であり、またその建設コストは、現時点で100 kW/h、3000万円を達成し、これは一般的な大手企業の建設コストよりも30%程度も低い。建設コストの圧縮は、太陽光発電ビジネスにおけるインシヤルコスト圧縮へと直結するため、競争の激しい当該分野において主導権を握ることを意味する。

今後太陽電池関連の事業化は、材料合成、パネル作製、施設建設、メンテナンスそれぞれが独自に行って利益を生み出すことは難しく、新材料の開発からパネル実装、設備建設までをシステムとして売り出す必要がある。このような太陽光発電施設をシステムとして売り出すことができれば、パネル価格の低下や売電価格の低下にも充分対抗でき、これまで敗北の一途を辿ってきた日本の太陽電池政策において一筋の光明となる。さらに、これまでの太陽電池発電事業は、発電のみに注視していることから、パネル設置後の土地利用は殆ど考えられてこなかった。日本国の国土は狭く、山林の割合も多いことから、遊休地に太陽電池パネルを設置することは、さらなる土地の狭小化を意味する。実際、農業施設を利用した分散型太陽光発電事業や克雪型太陽光システムの実証試験など多くの地方自治体・大企業がプロジェクトを立ち上げ、実施しているが、農業施設を利用する場合、太陽電池パネルの架台設置による耕作面積の減少や農作物への日照範囲狭小化の問題から、パネルを設置するのは、農作物集出荷施設等の建て屋上であることが多い。また、克雪型太陽光シス

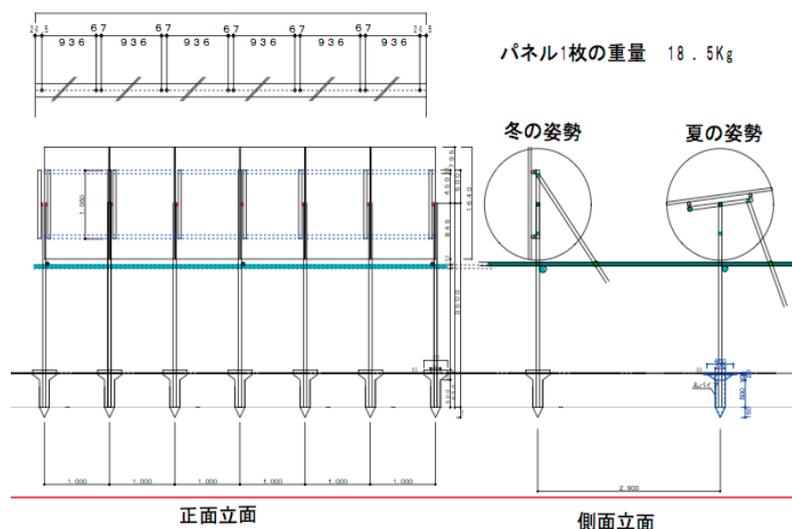


図1. 電池パネル架台の設計概要図

テムの実証では、積雪に耐えうるパネル架台の耐久性を考慮し、過剰な強度を誇る架台の導入や、夏期・冬期の日照角度を考慮した太陽光自動追尾やパネル角度調整装置を用いる等、どれも売電収入を考慮すると実用・普及促進といった点で投資コストが割に合わないと言える。

高山工務店では、実際に開発している既に 100 kW/h 建設コスト 3000 万円の太陽光発電設備の建設・稼働を達成している。従来の大手企業によるキロワットソーラーでは、100 kW/h 建設コスト 4000 万円程度であり、設備投資費を約 1000 万円も減少させることに成功してきた。これは今後世界中で必要とされる分散型電源の一つとなる太陽光発電所としては、非常に大きい設備投資の軽減となる。また申請者らの居住地域が多雪・耕作地域という背景から、積雪に対応した高さ 5 m の簡便な架台設計を行い（図 1）その結果、通常の太陽電池設備では達成し得なかったパネル下部への日照面積・時間を同時に達成している。

上記のような太陽光発電設備建設費の大幅なカット・設置場所に対する自由度の向上は太陽光発電普及の為の最も重要な要素であり、国内のみならず海外へも与えるインパクトは大きい。

3. 他地域と米沢地域における比較調査結果

実地研修では、雪国における太陽電池性能の data 比較を行った。雪国での太陽光発電における重要なポイントは、積雪量・日射量・パネル角度・パネルの積雪耐性・融雪機能の 5 点である。同じ雪国である金沢市や新潟市と比較し、米沢市では、冬季(12 月～2 月)の積雪量が 3 倍もしくは 3 倍以上であるのにも関わらず、南方位 0° の時斜面日射量(kwh/ m²・day)は、最も高くなる。よって米沢市は今回比較した都市の中で積雪量が最も多いのにも関わらず、発電に必要な日射量が最も多いことがわかった。日射量に関してのみ言えば、図 2 に示した様に東京と米沢は年平均全天日射量の平均値が同じであった。

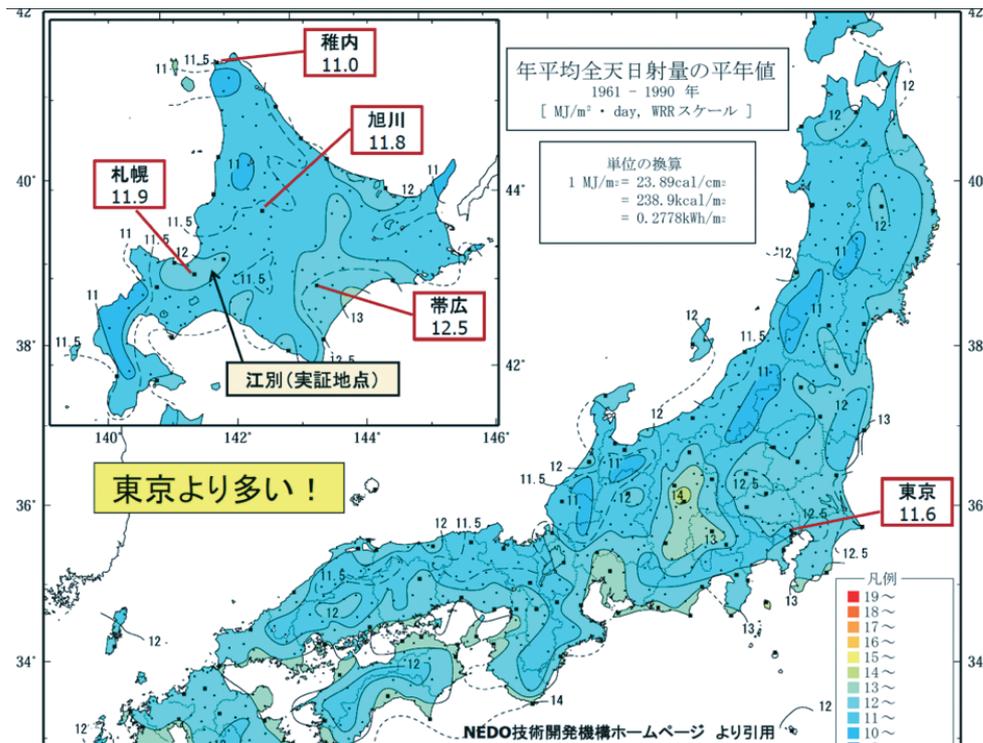


図 2. 日本国内における年平均全天日射量の平均値

一方で、米沢市は春先まで残雪があることから、春先もパネル上の雪を除くことは欠かせない。よって他の雪国よりも積雪量が多いことを考慮してパネル角度を上げ、更に積雪耐性・融雪機能が必須である。特に米沢の冬期の気温や積雪量は他移動のそれを凌ぐ程過酷な環境であることが分かる(図 3)。そこで南方位 0° の時に各水平面角度を変えて斜面日射量の測定を行い、他の都市と data の比較を行った。結果、どの水平面角度においても米沢市の斜

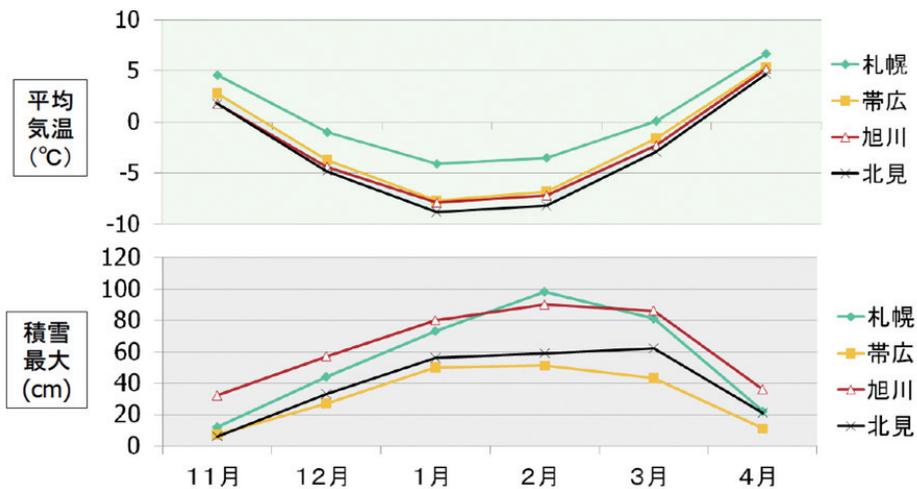


図 3. 北海道における積雪と気温の月別平均値 (気象庁 1971-2000 年)

面日射量は他の2都市を上回った。中でも水平面角度が 50° ～ 70° の時に最も高い斜面日射量を示し、これは雪国でない都市で用いられている一般的なパネル角度のおよそ4倍にあたる。結果としてパネル上の雪を落とす為にパネル角度を上げる必要があったことから、パネル角度を上げた時に高い斜面日射量を得られることは、非常に有効な結果である。今後実用化に向けて、水平面角度が 50° ～ 70° である時のパネル上の積雪量及びパネルへの負担を考慮し、発電効率の最も良い条件を見出す。

4. 謝辞

最後に、太陽電池パネル設置に関し、情報をご提供頂きました有限会社高山工務店 代表取締役 高山栄氏に深く感謝致します。

再生可能な地熱エネルギーを用いた発電技術開発

山形大学大学院理工学研究科

松田 圭悟

概要

地熱は、地球内部から得られる膨大な熱エネルギーであるため、エネルギー利用にともなう温室効果ガス（GHG）の排出が少なく、太陽光や風力のような自然エネルギーと比較して天候にされないため、クリーンなエネルギー源として発電から熱のカスケード利用まで幅広く活用されている。地熱発電は、200℃程度の熱源をベースにした蒸気発電と100℃程度の熱源をベースにしたバイナリー発電の方式に大別されており、最近では低温熱源を用いたバイナリー発電方式に注目が集まっている。ここでは地熱をベースにした発電システムの道筋とバイナリー発電技術の応用展開について報告する。

緒言

地殻を構成する岩石中に含まれる放射性元素が崩壊する際に発生する熱が地熱である。特に U^{238} , Th^{232} が発生する熱エネルギーが大きく、地球内部は6,000℃程度になっており、そこから地表面まで約6,000kmの伝熱が生じている。このようにして生じた熱エネルギーは地球上の場所や位置によって水を媒体として発電や熱として利用されている（言い換えるならば、原子力エネルギーの有効利用）。地熱発電（主に蒸気発電）は、地熱によって生じた水蒸気を用いて蒸気タービンを回し電力を発生させるため、運転に際してGHGの発生が火力発電に比して少なく、資源の枯渇などの問題が少ない。また、太陽光、風力、水力などを用いた再生可能エネルギー発電と異なり、天候、季節、昼夜によらず安定した発電を行うことが可能である。また、その稼働率は70%と高く、GHG排出量は石炭火力発電の1/30とされている¹⁾。

1904年にイタリアのラルデレロで地熱発電が始まった後に、現在、世界30カ国弱でこの発電技術が利用されており、世界の総発電量は1000万kW超となっている。日本では、1925年に大分県別府市の別府温泉で試験運転が実施され、1966年に岩手県八幡平市（旧松尾村）の松川地熱発電所が建設され、現在、約20カ所が稼働しており、その総発電量は50万kW超となっている。また、日本の地熱資源はアメリカ、インドネシアに次いで世界第3位の約2000万kW超になっており、これは原子力発電所20基以上に相当する。しかしながら、導入までのタイムスケール、コスト、規制などいくつかの要因によって国内の地熱発電は約15年新設稼働が無い状態となっている。地熱発電は技術的な課題、法整備もしくは規制緩和、周辺環境、地震誘発の懸念、温泉枯渇の懸念などハード・ソフト的にいずれの側面からも若干の問題があり、今後すぐに新設稼働が難しい状況が続いている。その一方で、新たに温泉井戸

を掘削することなく噴出した温泉の熱エネルギーを利用することで発電可能なバイナリー発電技術に注目が集まっている。日本には約 25,000 程度の温泉源が存在すると言われており、そのエネルギー賦存量は 500MW 超と推算される。バイナリー発電は 100°C 程度の高温熱源と数十°C の低温熱源により熱機関を作動させることで発電が可能なるため、比較的低温の地熱のみならず産業分野からの廃熱をも有効利用することが可能である²⁾。

地熱発電技術ならびに周辺技術は、地球温暖化問題やエネルギー安全保障問題等の解決の一助となるクリーンな国産エネルギーを生産する一つのツールであると言えることが出来る。

温泉熱バイナリー発電

バイナリー発電（バイナリーサイクル発電とも言う）は、地熱資源（蒸気や熱水）の温度が 150°C 以下で蒸気を生じない（もしくは自噴困難）場合や、強酸性の場合など、地熱資源を直接プロセス側へ導入しタービンを回すことが困難な場合に、2 次媒体に熱のみを伝達し、2 次媒体をプロセス流体として用いることにより発電を行うシステムである。バイナリー発電に使用される 2 次媒体は水よりも低沸点なもの（ペンタンやイソブタンのような炭化水素純成分系や代替フロン（HFC245fa）（ランキンサイクル）やアンモニア-水系（カリナサイクル））が用いられるため、低温熱源からの発電が可能となるが、蒸気発電（数 MW/基～数十 MW/基）に比してその発電量は数 kW/基から数 MW/基と小さい。つまり、バイナリー発電技術は、地熱資源からのみ発電出来る技術ではなく、低温廃熱等も有効利用可能な一つの省エネルギー技術である。地熱を熱源として、バイナリー発電を行うにはいくつかの方法があるがここでは温泉熱を用いた温泉バイナリー発電について説明する。図 1 にそのシステムの概略を示す。温泉バイナリー発電は、熱交換器、蒸気タービン、ポンプから構成されている。温泉熱を熱交換器で受取り、2 次媒体が蒸発し、タービンを回し電気を得ることが出来る。温泉の源泉温度範囲は広い一概には言えないが、80-100°C 程度の源泉温度がえられるならば、新たに掘削することなく発電を行えることが最大の利点である。しかしながら、浴用利用のために、下限温度は 60°C 程度となり温度差を得にくく、そのため一般的なランキンサイクルに比して発電変換効率が

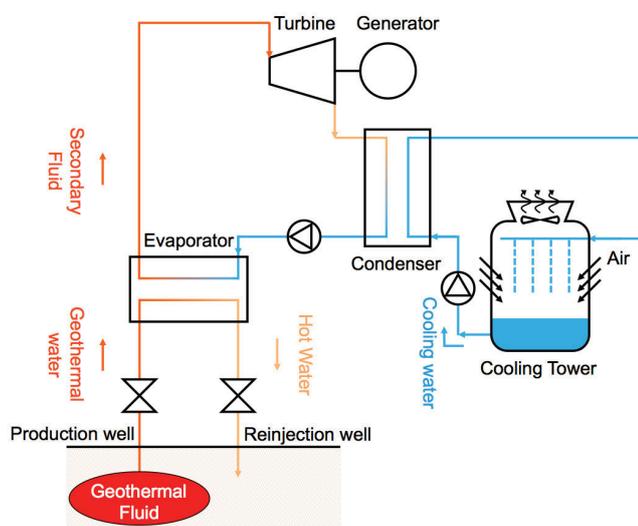


Fig.1 バイナリー発電方式

上がりに難しいという問題も有している（2-5%程度のカルノー効率しか得られない）。また、蒸気発電同様に温泉由来のスケール問題、2次媒体漏洩対策としてのシールや設備問題等も同様に有している³⁾。

地熱発電普及のための問題点

上述したように、エネルギー安全保障等の観点から、国レベルでの地熱発電技術開発は重要である。しかしながら、日本は地熱資源に恵まれているものの、それを有効利用することが出来ていないと言えるかも知れない。Eharaによると、発電コスト問題（他の再生可能エネルギーに比して国主導での導入促進が少なく、技術開発が低迷）、国立公園問題（国立公園内で地熱発電開発が出来ない。国立公園を管轄する環境省と経済産業省の縦割り行政）、温泉問題（地熱発電が行われると源泉に悪影響を及ぼす等の社会授与性）という日本が抱える3つの問題が地熱発電（バイナリー発電を含む）普及の障害となっているとしている²⁾。

展望

日本の地熱発電開発は、1999年の東京電力・八丈島地熱発電所が運転稼働して以来新規開発は行われていないが、2010年以降に新潟県松之山温泉、長崎県小浜温泉等を中心として温泉バイナリー発電所の実証試験・開発が行われている。地熱発電は課題も大きいが開発余地が最も大きく残っている。

地熱発電開発はソフト的、ハード的な環境計測調査から始まるため、他の発電所に比してリードタイムが長すぎるという問題がある。現在は、2012年の規制緩和後から環境保護の重要度が低い地域に限って国定公園内でも条件付きで発電所の建設が認められつつある。実際に電源開発株式会社、三菱マテリアル株式会社、三菱ガス化学株式会社の共同出資により2012年に設立した湯沢地熱株式会社は秋田県湯沢市で42MW蒸気発電プラント建設するべく山葵沢地熱発電所（仮称）設置計画・環境影響評価準備書」を経済産業大臣に届出るとともに、秋田県知事、湯沢市長へと送付致し2020年開所を目指して進行中である。また、温泉熱バイナリー発電についても福島県の土湯温泉（数百kWからMWクラス）では地元の温泉協同組合が中心になって開発を進めており、地元信用金庫を窓口として国による債務保証を受けて資金を調達している。同様に大分県の九重町では町と民間の共同で菅原バイナリー地熱発電事業（5,000kW）を立ち上げ国の債務保証のもと2015年運転開発を目指している。この他、東北北海道を中心とした調査・開発段階にある地熱発電のプロジェクトは全国で数十カ所に広がっている。

今後、2020年までに地熱エネルギーを用いた発電利用目標は100万kW以

上（サンシャイン計画時目標：280万kW(2010年)）として、温泉バイナリー発電の普及シナリオならびに地熱発電所建設のための地中の環境計測調査によるマップおよび導入シナリオが明示される必要がある。具体的には、蒸気フラッシュ発電プラントは、地下貯留槽の状況によって熱エネルギー量が動的に変動するひとつのダイナミックプロセスであることと、基本的にその資源が汚れ系であるためプロセスのメンテナンス周期が他の発電所に比して大きいため、発電単価（現在、16円/kWhと試算）と安定性をキープすることがやや困難であるとの向きがある。発電単価を下げるためには、投入される設備費と運転費（メンテナンス費含む）が抑えられる必要があるため、地下資源の性状を正確に予測することが出来れば今後の普及が加速すると思われる。また、異なる性状をもつ地下資源に対応する耐食性・耐浸性（特にスケール対応）を有する高性能材料の開発よりもこれらはさらに向上すると思われる。また、温泉バイナリー発電は低沸点で潜熱が多く安全性の高い熱媒が開発され、膨張機の性能が向上するに比して温泉バイナリー発電の普及は加速すると思われる。さらに、東北・北海道エリアの温泉地域ではバイナリー発電後の源泉を浴用し、排湯を融雪やビニールハウスなど地域熱供給の形で熱としてカスケード利用することが可能である。つまり、直接的な発電を行わずとも発電量換算で大きな省エネルギーを実施することが出来る。

References

1. Heat Transfer Society of Japan ed.; "Energy New Technology (Kankyo to Syoenerugi notameno Enerugishingijyutsutaikei in Japanese)," NTS, Tokyo, Japan (1996)
2. Ehara, S.; "Geothermal Energy (Chinetsu Enerugi in Japanese)," Ohmusa, Tokyo, Japan (2014)
3. Science and Technology Co. Ltd. Ed.; "The Effective Utilization of Unharne ssed Waste Heat from Factory and Their a Practical Applications (Miriyouk oujyohainetsu no Yukouriyogijyutsu to Jitsuyoutenkai in Japanese)," Science and Technology Co. Ltd., Tokyo, Japan (2014)

部門活動総括

産業構造研究部門は、地域における新産業創生を推進する足がかりとしての役割を担うことを目的に活動を進めてきた。展開したプロジェクトは、地域産業の振興と地域のエネルギー開発に分けられ、いずれもこれからの山形の発展に欠かせない。これらの研究プロジェクトを柱に、自治体や地域中小企業者との連携や支援を行ってきた。平成 24 年度から行ってきた産業構造部門の活動は、徐々に認知が広まっており、以下にメディア等で紹介された取組を一部紹介する。

まず平成 24-25 年度に Yahoo! JAPAN と実施した「Hack U 山形大学 in 石巻」の中から発案された防災グッズ「d. a. t.」は大きな注目を集め、平成 26 年 3 月にはワールドビジネスサテライトで、同 9 月には NHK 総合・おはよう日本「まちかど情報室」で紹介された。又、新聞にも数多く取り上げられたほか、平成 26 年の蛸雪時代 6 月号、平成 27 年の女性セブン 5 月 7 日号にも掲載された。また、平成 27 年 2/11~3/23 に長岡震災アーカイブセンターきおくみらいで行われた「災害関連グッズ展示会」に「d. a. t.」を出展し、地域住民による質問があいついだ。このことから現在も継続展示されている。本活動の内容は 6 月末に長野県諏訪市にて開催された産学連携学会第 12 回大会にて発表しており、当防災グッズチーム学生が発表した「石巻復興をめざした d. a. t. プロジェクトの創生と製品化プロセス」は奨励賞を獲得した。

その他、同 10 月に名古屋の愛知工業大学にて開催された日本経営学システム学会にて当学生による“下請型中小企業の自立化におけるビジネスモデル分析～山形県米沢市 S 社の新商品開発事例をもとに～”に関する発表が高い評価を得た。

ここまで述べたプロジェクト以外にも、地域創生の足掛かりとして現在も連携及び支援を進めている、地元企業製造の木製玩具は 2 回にわたる、学生の首都圏幼稚園ヒアリングにより木製玩具が子供たちにどのような反応や影響を与えるか、等の指標を知る足がかりとなった。

これらの活動を地域創生の足掛かりとして今後も進めて行く所存である。

また、多くの部門の活動に当たり「COC 地（知）の拠点整備事業」地域志向教育研究経費の補助を頂いた。ここに感謝の意を表す。

第 3 部

食料生産研究部門

食料生産研究部門研究報告

はじめに

2012年1月に設立された東北創生研究所において、食料生産研究部門は、自立分散型社会システムにおける食料基地を構築するために、次の4つのテーマを掲げて研究をすすめてきた。

- ① 地域資源循環型食料生産システムの構築
- ② 安全・安心で高付加価値な食料供給システムの構築
- ③ バイオマスのカスケード利用による資源・エネルギーの自給
- ④ 里山生態系管理と食料生産の両立による自然との共生

その中で研究拠点では、「未利用資源」あるいは「廃棄物処理」をキーワードとして研究を展開している。これまで「未利用資源」については、イネ科ヨシ属の多年草のヨシ、キク科アキノキリンソウ属多年草のセイタカアワダチソウ、マメ科クズ属多年草のクズなどを研究対象として取り上げてきた。一方、「廃棄物処理」では、下水処理水の再利用や、微生物を利用した廃棄物処理について検討してきた。

モデル地域の真室川町では、水田生産力と畜産を融合させる「耕畜連携」をキーワードとして、自然科学と社会科学の両面から研究を進め、地域資源循環型食料生産システムを確立することを目指している。もう1つのモデル地域である上山市では、高付加価値な農産物・食品を供給するための流通システムとして、セイヨウナシやブドウなどの園芸作物の新たな流通体系の確立を目指すとともに、上山市域の農業生態系における植物と送粉昆虫との相互作用を解析してきた。

平成26年度は、第1クールの3年間の総括として、農学部のある研究拠点鶴岡市ならびにモデル地域の真室川町と上山市において、以下の研究を実施した。

研究拠点

- ① 地域資源循環型食料生産システムの構築
 - ・湿地および河川管理により得られる未利用資源「ヨシ」の水稲作への有効利用
 - ・下水処理水の再利用による飼料用米栽培に関する研究
- ② バイオマスのカスケード利用による資源・エネルギーの自給
 - ・微生物を利用した廃棄物処理と資源・エネルギーの生産～堆肥製造施設における悪臭抑制の試み～
 - ・低炭素社会に向けた未利用バイオマス資源活用
- ③ 里山生態系管理と食料生産の両立による自然との共生

- ・クズがマント群落を形成する要因と資源利用のための現存量の把握

モデル地域 真室川町

① 地域資源循環型食料生産システムの構築

- ・稲わらおよび繁殖牛・乳牛飼料のカチオン・アニオンバランスに関する研究
- ・良質な飼料用米及び稲わら生産のための肥培管理方法の検討
- ・真室川町秋山牧場を核とした周年預託事業、コントラクター、TMR センターによる地域農業支援の効果

モデル地域 上山市

① 安全・安心で高付加価値な食料供給システムの構築

- ・1-メチルシクロプロペンを利用したセイヨウナシ果実の品質保持に関する研究

② 里山生態系管理と食料生産の両立による自然との共生

- ・上山市域の農業生態系における植物と送粉昆虫との相互作用の解析
～被子植物の花色多型と送粉昆虫との関係～

研究課題名

湿地および河川管理により得られる未利用資源「ヨシ」の 水稲作への有効利用

山形大学農学部食料生命環境学科

森 静香

1. なぜ水稲作に「ヨシ」なのか？

水稲に不可欠な養分としてケイ酸がある。水稲は養分の中でケイ酸を最も多く吸収する。水稲へのケイ酸の供給源は灌漑水、土壌、ケイ酸質資材である。近年、灌漑水中のケイ酸濃度の低下、ならびに、資材原料価格高騰や農業従事者の高齢化による労力不足での資材施用量の減少により、水稲へのケイ酸供給が不足し、異常気象や病害などのストレスに対する抵抗性の低下、それに伴う収量や高品質確保の不安定化などが問題となっている。そこで、ケイ酸供給資源として、イネ科植物「ヨシ」の利用に着目した。水稲と同じイネ科植物に属するヨシは、水稲と同様にケイ酸を多量に吸収するが、水稲へのケイ酸養分として利用されたことはない。湿地や河川域に生息しているヨシを放置せず、定期的にヨシを刈り出すことは、湿地から草地などへの遷移の進行速度を遅らせ環境保全にもつながる大事な行為である。2008年にラムサール条約に登録された山形県鶴岡市に位置する都沢湿地では、定期的にヨシを刈り出しているが、有効利用されることなく、費用をかけて運搬・焼却処分されてきた。また、山形県庄内地方を流れる一級河川（最上川、赤川）流域にもヨシが約94ha生息している（国土交通省）が、それらのほとんどが刈り出されることなく草地化や低木化が進み河川域管理が困難となる恐れがある。ここでは、ヨシを定期的に刈り出すことにより環境保全・維持との調和を図りながら、工業的に製造したケイ酸質資材だけに依存することなく、ヨシを水稲へのケイ酸供給資源として有効利用するために行った研究成果について紹介する。

2. 研究成果とその実用化への展望

「ヨシ」を水稲へのケイ酸供給に利用するにあたり、以下の4点について主に検討を行ってきた。すべての項目において現在進行中であり、(1)と(2)は平成25年度、(3)は平成24年度の本研究所報告書に関連結果を一部掲載した。平成26年度については(4)について当該年度に得られた結果を申し上げる。なお、本研究所研究員の任期期間（平成24～26年）以降は引き続き、学術研究助成基金助成金（基盤研究(C)、平成27～31年度、課題番号15K07270）により、実用化に向け

た研究を継続して行っている。

(1) ヨシの資材化方法

ヨシを水稻のケイ酸供給に利用するには、養分として吸収できる形態（可溶性ケイ酸）に人為的に変える必要があり、その方法として燃焼がある。ヨシの燃焼灰を利用するために、実験室レベルの電気炉により燃焼条件を行ったところ、燃焼温度 400～700℃、温度維持時間 3 時間が可溶性ケイ酸を最も多く得られた（図 1）。生産現場において、燃焼器材の選定やその規模の違いなど、燃焼条件を検討することでヨシの資材化が可能になる。

(2) ヨシから得た燃焼資材の水稻への施用法とその効果

ヨシの燃焼灰を育苗用培土に混合して育苗することにより、水稻苗中のケイ酸吸収量は向上する（図 2）。水稻苗のケイ酸吸収量の向上は、気象変動や病害に強い苗づくりにつながる。図 2 における A と B がヨシの燃焼灰を施用した区である。A と B のケイ酸吸収量の違いは燃焼条件の違いと、燃焼灰の現物量中の可溶性ケイ酸量の違いによる結果であり、資材化の燃焼条件とその資材の施用量を今後も検討を行い、実用化につなげていきたい。さらに、稲わらの灰施用も有効であり、その実用化も期待できる。

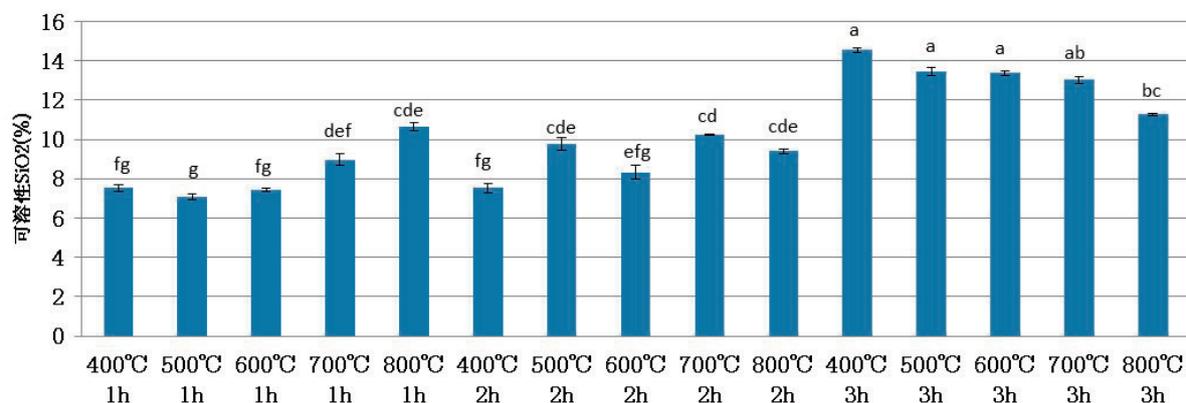


図 1 燃焼条件の違いと可溶性ケイ酸

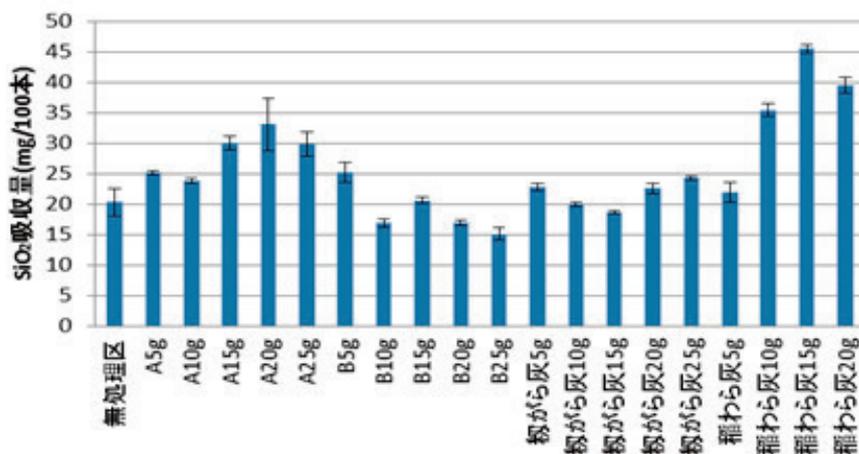


図2 施用資材・施用量の違いと水稻苗中のケイ酸吸収量

(3) 山形県庄内地方の一級河川（最上川・赤川）流域におけるヨシの資源量の把握と水稲利用への可能性について

当該流域に生息するヨシを資材化して水稲苗育苗に利用した場合、約 4000ha の水田作付面積に利用可能と見込まれる（表 1）。また、地点ごとにヨシの生育量が異なり、その違いから資源量を正確に把握することが重要である。さらに、ヨシを利用するには、刈り出しの作業・機械等の検討も要する。

表 1 ヨシによる水稲へのケイ酸供給量・供給水田面積の試算

地点	最大乾物重 g/m ²	ヨシ生息面積 m ²	得られる灰量 kg	灰中ケイ酸量 kg	利用可能水田面積 ha
櫛引	603	9211	555	278	28
三川	1393	51790	7212	3606	361
赤川河口	1393	177565	24742	12371	1237
松山	474	35883	1701	850	85
平田	814	51790	4214	2107	211
酒田河口	720	610382	43974	21987	2199
合計		936621	82398	41199	4120

注) ヨシを燃焼して得られる灰（灰分率10%、ケイ酸成分50%）を育苗箱当たり100g施用し、育苗箱20枚/10aを移植した場合

(4) 環境維持と資材原料確保を考慮したヨシの刈取時期の選定

6月から9月にかけて1ヶ月毎に刈取時期を変えた場合、翌年の生育と養分確保量は、刈取時期が遅いほど多くなった（データ省略）。ヨシは地上部の光合成により下茎を伸ばし、生産した炭水化物を下茎に転流し、その炭水化物を翌年下茎の各節から芽を出すためのエネルギーとして利用する。資源量を常に確保するには、地上部での光合成期間を十分に確保することが重要である。

3. 謝辞

本研究の実施にあたり、鶴岡市自然学習交流館の皆様、国土交通省東北地方整備局酒田河川国道事務所の皆様、山形県庄内酒田農業技術普及課の皆様からご協力・ご助言をいただいた。深く感謝申し上げます。

4. 業績（本年度の学会発表・論文等）

(1) 論文

中島宏和・森静香*・藤井弘志 (2014) : 山形県庄内地域における有機栽培水稲の生育、養分吸収、収量構成要素の特徴、日本土壌肥料学雑誌、85(3)、200-214 (* : Corresponding Author)

(2) 学会発表

佐藤侑・森静香・松本由美・藤井弘志 (2014) : イネ科植物ヨシ燃焼資材の水稲育苗の養分供給利用、および資材評価に関する研究、日本土壌肥料学会講演要旨集、60、98

研究課題名

下水処理水の再利用による飼料用米栽培に関する研究

山形大学農学部食料生命環境学科

渡部 徹

1. はじめに

前年度（結果の詳細は、村松ら（2014）、Muramatsu et al.(2015)に掲載）に引き続き、耐倒伏性に優れ、多肥栽培が可能な飼料用米の栽培に下水処理水を循環して灌漑利用することで、処理水の水質浄化と水稻の収量の両立を目指した研究を行った。前年度は、下水処理水中の窒素の除去は見られたが、処理水の投入回数が少なく水稻の生育途中で灌漑用水中の窒素濃度が低い状態が続いたことで、収量が目標値に至らなかった。そこで、本年度は、下水処理水の投入回数を増やし、灌漑用水の窒素濃度を高く保ちながら飼料用米を栽培することで、下水処理水からの更なる窒素除去と収量増加に挑戦した。さらに、新たな試みとして微生物燃料電池による発電も行った。過去の実験（Kaku et al, 2008）で水田での微生物燃料電池による発電は実証されているが、本研究は、下水処理水とともに有機物を水田に供給することで発電量の増加の可能性を検証した。

2. 方法

(1) 水稻の品種、土壌、灌漑用水

実験には、飼料用米「べこあおば」を用いた。土壌は、山形大学農学部附属農場の水田の表土層を使用した。灌漑用水は、鶴岡市浄化センター内の下水処理放流水を用いた。

(2) 実験装置

循環灌漑する水田を模した実験装置（昨年度と同一の装置）を使用した。実験装置は、循環方法の違いによる影響を検証するために3系列準備した。系列Aは貯水タンクに灌漑用水を貯め、その灌漑用水をポンプアップし、水田模型に連続的に投入した。水田の下部には暗渠を設置し、貯水タンクに戻るようにした。また、土壌表面から5cmのところには放流口を設置し、田面水位を5cmに維持した。系列Bは貯水タンクに貯めた灌漑用水をポンプアップし、水田模型の暗渠へ連続的に投入した。水田土壌を浸透した灌漑用水は土壌表面に溜まり、放流口から越流した水が再び貯水タンクに戻るようにした。系列Cでは循環灌漑を行わず、蒸発散による田面水位の減少分だけ、水位が5cm程度となるように灌漑用水を補充した。

(3) 灌漑用水と施肥の管理

水稻の生育とともに貯水タンクの下処理水の窒素濃度が1~2mg/L程度まで低下した時に、下処理水を追加した。施肥については、リンとカリウムを、化学肥料で投入した。下処理水の追加時には、リンをN:P=3:4(重量比)になるように追加した。

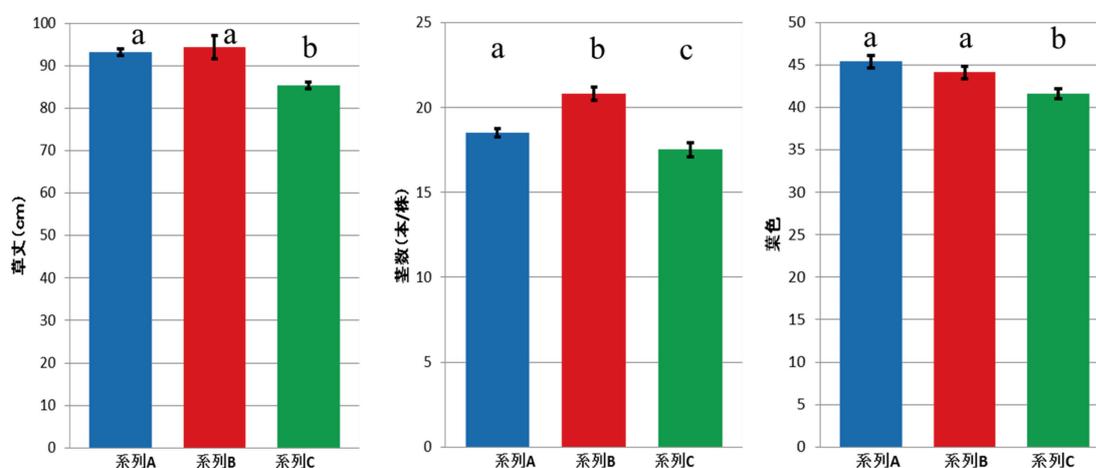
(4) 微生物燃料電池

微生物燃料電池の電極には、正極・負極ともカーボングラファイトフェルトを使用した。負極は土壌表面から10cmの深さに設置し、正極は発砲スチロール片を取り付け水面に浮かべた。両極間の電位差(抵抗100Ω)を連続計測し記録した。

3. 結果および考察

(1) 水稻の生育

各系列の草丈、茎数、葉色の最大値を図1に示す。最大値でみると、草丈では、A-C間、B-C間に有意差が見られたが、A-B間では有意差は見られなかった。すなわち、循環灌漑を行うことで草丈が循環灌漑を行わない系列よりも高くなることが言えるが、循環方法の違いによる影響は見られなかった。茎数は、全系列間で有意差がみられ、系列Bで最大値を得ることができた。循環灌漑を行うこと、それも暗渠から上向きに土壌を浸透するように循環を行うことが、茎数を増加させることがわかった。



異なるアルファベット間に有意差がある (p<0.05, Tukeyの方法による多重比較)

図1. 各系列における草丈、茎数、葉色の最大値

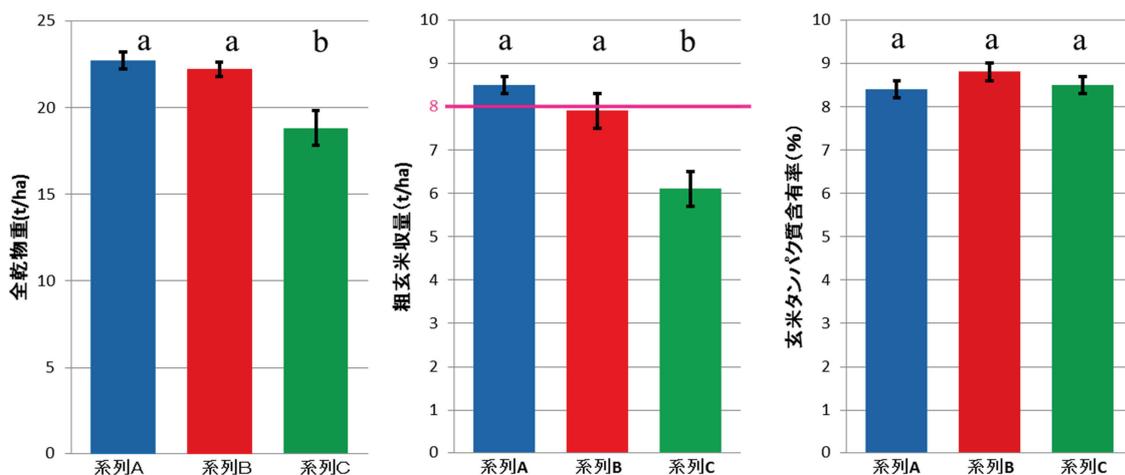
昨年度の実験では、草丈の最大値は90cm程度、茎数の最大値は1株あたり17~22本であった。本研究では、窒素投入量を増加させたが、その効果はこれからの生育指標には現れなかった。

(2) 乾物重、収量およびタンパク質含有率

各系列で栽培された飼料用水稻の全乾物重、粗玄米収量および玄米中のタンパク質含有率を図2に示す。全乾物重は、系列A-C、B-C間に有意差が見られたことから、循環灌漑を行うことで増加するが、循環方法による影響はなかった。粗玄米収量も循

環灌漑を行うことで増加し、目標値である 8t/ha に近い値を得ることができた。収量についても、循環方法による違いは見られなかった。玄米タンパク質含有率は、3 系列間で有意差は見られなかった。

収量の構成要素を（データは掲載せず）を見ると、昨年度に比べて面積当たりの穂数、一穂粒数が循環灌漑を行った系列 A、系列 B で増加した。これは、穂肥の時期（7 月中旬）と実肥の時期（8 月中旬）に貯水タンク内の窒素濃度を高く維持することができたためと考えられる。タンパク質含有率については、べこあおばのタンパク質含有率の平均値 8.1%（農林水産省ウェブサイト http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/tasyumai/t_manual/参照）よりも高い値を得ることができた。



異なるアルファベット間に有意差がある (p<0.05, Tukeyの方法による多重比較)

図 2. 各系列で収穫された水稻の全乾物重、粗玄米収量、玄米タンパク質含有率

(3) 微生物燃料電池による発電

3 系列とも、下水処理水追加後に微生物燃料電池の発電量が増加した（図 3）。系列間で比べると、系列 B で最も効率の良い発電が行われており、最大で 194mW・day・m⁻²の電力量が得られた。下水処理水を暗渠から流入させる系列 B では、土壌表面から流入させる系列 A や C と比べ、負極に有機物を効率的に供給できたことが 1 つの要因と考えられる。

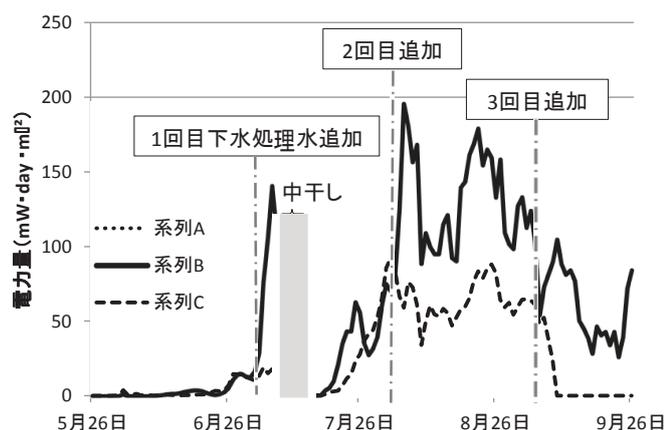


図 3 微生物燃料電池の電力量変化

4. おわりに～本システムの有用性と課題

下水処理水の追加回数を増やすことで飼料用米の増収が確認され、目標値を達成することができた。循環方法の違いによる収量の差は見られなかった。水田での発電量は、暗渠に灌漑用水を投入する循環方法（系列 B）で最も大きく、この系列 B が最適と判断された。

水田で生産された電気は、①夜間に LED を点灯することで水稻の生育を促進すること（収量のさらなる増加に貢献）、②UV-LED を点灯することで灌漑に用いる下水処理水を消毒すること（生産者の健康に配慮）、などにより有効に利用していきたい。

灌漑用水を循環すべきかどうかは、適用する場所の都合で選択すべきである。下水処理場の近隣の水田では、処理水を循環せずに「かけ流し」にした方が栄養塩の投入量を増やすことができるし、処理水からより多くの窒素を除去することができるであろう。一方で、下水処理場から離れた地域では、処理水を運搬するためのコストの観点から、循環灌漑により処理水使用量をできるだけ少なくすることが求められる。本研究の成果より、MFC による発電の部分を除いては、下水処理水を利用した飼料用米栽培システムの有効性は明らかである。稲作も畜産も盛んな東北地方において、同システムが一日も早く実用化させることを望んでいる。

参考文献

村松ら, 土木学会論文集 G (環境), 70(7), III_175-III_183, 2014

Muramatsu, et al., Water Science and Technology, in press

Kaku et al., Appl Microbial Biotechnol, 79, 43-49, 2008

5. 業績（本年度の学会発表・論文等）

論文

村松亜由美, 渡部徹, 伊藤紘晃, 佐々木貴史, 梶原晶彦, 資源循環を目的とした都市下水処理水の循環灌漑による飼料用米栽培システム, 土木学会論文集 G (環境), 70(7), III_175-III_183, 2014

A. Muramatsu, H. Ito, A. Sasaki, A. Kajihara, T. Watanabe. Cultivation of rice for animal feed with circulated irrigation of treated municipal wastewater for enhanced nitrogen removal: Comparison of cultivation systems feeding irrigation water upward and downward. Water Science and Technology, in press

学会発表

村松亜由美, 渡部徹, 伊藤紘晃, 梶原晶彦, 都市下水処理水の循環灌漑による飼料用米栽培に関する研究, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 26 年 8 月 26～28 日, 新潟市

A. Muramatsu, H. Ito, A. Sasaki, A. Kajihara, T. Watanabe. Rice cultivation

system with circulated irrigation for enhanced nitrogen removal from treated municipal wastewater: Comparison of systems feeding irrigation water upward and downward. IWA 14th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Shanghai, China, October 12-16, 2014

研究課題名

微生物を利用した廃棄物処理と資源・エネルギーの生産 ～堆肥製造施設における悪臭抑制の試み～

山形大学農学部食料生命環境学科

加 来 伸 夫

1. 緒言

山形県は畜産が盛んな自治体を多数抱えている。畜産業においては、大量の家畜排せつ物が発生するので、その処理をどうするかが重要である。主な家畜排泄物の処理方法としては、廃棄物としての処理と肥料の原料としての利用があげられる。平成11年11月1日に施行された「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」（家畜排せつ物法）では、家畜排せつ物の利用促進が謳われており、家畜排せつ物の農業利用（肥料製造への利用）が以前にも増して進んでいる。

家畜排せつ物の肥料製造への利用については、大きく分けると2つの方法がある。1つ目は液肥製造への利用であり、嫌気消化物が液肥として利用される。2つ目は堆肥製造への利用である。いずれの場合においても、微生物の作用により肥料が生産されるが、その過程において発生する悪臭が問題となっている。堆肥の製造は、個々の農家で行っている場合もあれば、自治体が大規模な堆肥製造施設を設置して、近隣農家から家畜排せつ物を受け入れている場合もある。施設が大規模になれば悪臭の影響も大きくなり、しばしば肥料製造施設の操業に対する反対運動を引き起こすことから、近隣への悪臭の拡散防止は、喫緊の課題となっている。堆肥製造施設が操業できなくなると、家畜排せつ物の処理が滞るので、結果として、飼育頭数を抑制せざるを得なくなり、畜産農家にとっても大きな問題となる。また、悪臭成分の一部は、微生物にとって有害であり、その発生を抑制することは堆肥製造の安定化につながると考えられる。

本課題では、堆肥製造施設で発生した悪臭の拡散を抑制する方法について検討を行った。具体的には、近年、強力な脱臭剤として注目されている浄水発生土の乾燥物を活用して、堆肥製造施設に伴って発生する悪臭を除去できないか検討するとともに、自治体との連携についても模索した。

2. 材料及び方法

浄水発生土乾燥物

浄水発生土は株式会社エコハイテクコーポレーションならびに有限会社拓芯に提

供して頂いた。この浄水発生土乾燥物は、空気中のアンモニアを素早く除去できることが知られており、硫化水素など他の悪臭成分の除去への利用も期待されている。我々の予備的検討では、浄水発生土乾燥物が悪臭を除去する能力を有していることが確認されている。

堆肥製造施設

試験の場として、鶴岡市所有の堆肥製造施設（羽黒町）を使わせて頂き、そこに浄水発生土を設置して、悪臭抑制に効果があるか官能試験を行った。

3. 結果及び考察

悪臭抑制試験（官能試験）

堆肥製造施設に浄水発生土乾燥物を設置して、悪臭の抑制を実感できるか官能試験を行ったが、少なくとも堆肥製造の現場においてその効果を実感できなかった。これは、現場での悪臭があまりにも強すぎたため、例え臭気成分の減少による改善があったとしても、それを実感できなかったのではないかと推察された。今後は、浄水発生土乾燥物を使用することで、実際に各悪臭成分の濃度がどの程度低下するのかを追跡して具体的な数値で示したり、悪臭の及ぶ範囲（施設の周辺地域にどれくらいの距離まで悪臭が到達するのか）が浄水発生土を使用することでどれくらい変化したかを調べることで、効果を評価する必要があると思われる。

浄水発生土乾燥物の効果が実感できなかった他の理由としては、試験を行った施設が悪臭の拡散防止を前提に設計された施設ではないという点があげられる。悪臭の拡散を防止するためには、施設を密閉型として、これに脱臭設備を取り付けるのが一般的である。今回の施設は、密閉されておらず、そのことが悪臭除去の効果を低減させた可能性が高かった。施設の密閉性を高める方法として、シート等を活用して窓や隙間を覆うことも有効であり、吸気口と排気口を設ければ、悪臭を1カ所に集めることも可能である。排気口に脱臭設備を取り付ければ、悪臭の拡散を大幅に抑制できるものと考えられる。

本課題では、鶴岡市とのさらなる連携を模索したが、官能試験において劇的な効果を実感できなかったことから、連携を進めるには至らなかったが、畜産業にともなう悪臭を抑制することは、喫緊の課題であり、その解決に向けて今後とも努力していく必要がある。

4. 業績

1) 業績（本年度の学会発表・論文等）

論文等

- A. Kouzuma, N. Kaku, K. Watanabe (2014) Microbial electricity generation in rice paddy fields: recent advances and perspectives in rhizosphere microbial fuel cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98 (23), 9521–9526
- A. Ueki, T. Shibuya, N. Kaku, K. Ueki (2015) *Aminocella lysinolytica* gen. nov., sp. nov., a L-lysine-degrading, strictly anaerobic bacterium in the class Clostridia isolated from a methanogenic reactor of cattle farms. *Archives of Microbiology*, 197 (1), 97–104
- A. Ueki, M. Watanabe, Y. Ohtaki, N. Kaku, K. Ueki (2014) *Propionispira arcuata* sp. nov., isolated from a methanogenic reactor of cattle waste and reclassification of *Zymophilus raffinovorans* and *Zymophilus paucivorans* as *Propionispira raffinovorans* comb. nov. and *Propionispira paucivorans* comb. nov., and emended description of the genus *Propionispira*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64 (10), 3571–3577

学会発表等

- 紺野勇太・加来伸夫・上木厚子・上木勝司・渡部徹・渡邊一哉 (2014) 水田への微生物燃料電池の設置が水田土壌中におけるメタン生成に与える影響. 環境微生物系学会合同大会 2014 講演要旨集 (浜松), 213
- 益子拓磨・加来伸夫・伊藤紘晃・梶原晶彦・渡部徹 (2015) 下水処理水の循環利用による飼料用米栽培システムにおける増収と発電. 平成 26 年度土木学会東北支部技術研究発表会 (多賀城市)

低炭素社会に向けた未利用バイオマス資源活用

山形大学理学部物質生命化学科

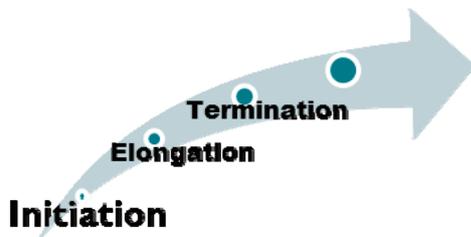
大谷 典正

1. 緒言

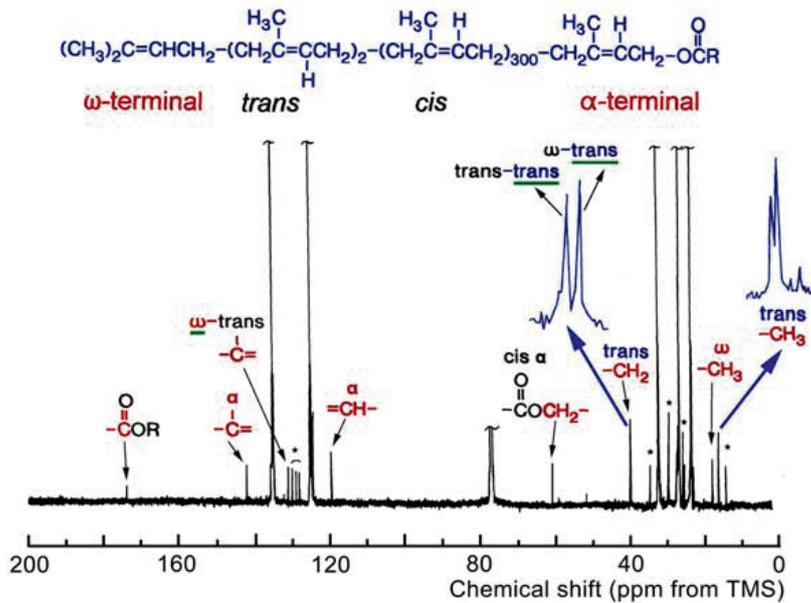
シス-1,4 ポリイソプレンを含む天然ゴムは熱帯地域に植生する *Hevea brasiliensis* の産出するラテックスから得られるが、東南アジアを中心とした耕作地域では十分とはいえず他地域での新たな新規作付けが行われている。天然ゴムは、2000 種類もの植物が生産するとされており半砂漠地帯で育つ灌木の *Parthenium argentatum* から得られるグアユールゴムに代表されるような代替天然ゴム活用研究も加速してきている。実際には *Hevea* ゴムのみが優れた加硫物性と未加硫物性を示すことから、様々な植物由来の天然ゴム資源実用化に向けてのゴム生合成や分子構造といった基本的な情報蓄積が求められている。そこで、*Hevea* ゴムと同様にラテックスで産出されるキノコゴムやイチジク属ゴムをモデルとして天然ゴムの生合成機構を検討してきた。これらゴムの詳細な分子構造解析と生合成過程により、高機能なゴム材料の創生をめざした研究を展開している。これら低炭素社会に向けた未利用バイオマス資源活用や天然ゴム改質研究は新たな天然資源の開発にむけての大きな一歩として期待できる。

2. 天然ゴムの構造と生合成機構

Hevea ゴムの両末端を含む詳細な分子構造は不明であるため、ゴム生合成機構についてもゴム分子鎖の開始段階並びに分子量を制御する機構については知見がなかった。セイタカアワダチソウやヒマワリの葉から抽出される分子量数万からなる天然ゴムではポリプレノールと同様の分子構造をもつことから、ジメチルアリル 2 リン酸 (DMAPP) にイソペンテニル 2 リン酸 (IPP) が 2 個または 3 個トランス型に縮合してできる FPP または GGPP を開始基質として、IPP がシス型に縮合を繰り返して鎖長を伸長すること推定された。しかし、*Hevea* ゴムをはじめとするラテックス状で産出されるゴムにはジメチルアリル型末端基が存在しない。しかし *Hevea* ラテックスに FPP を加えて *in vitro* 生合成されるゴムには



Biosynthesis
of Natural Rubber



¹³C-NMR spectrum of rubber from *L.volemus*

ジメチルアシル基が観測されたことは、ラテックス中での末端基の変化を示唆している。唯一ポリプレノールと同様な構造のゴムを産出する *Lactarius* 属キノコでも子実体の老化につれて分子末端から構造変化を受ける。イチジク属植物 25 種類を調べたところ、ラテックス中のゴム分子量と比べ、葉（非ラテックス）から抽出されるゴムでは分子量がかなり小さく、葉の成育によるゴム分子量の差異も観測されている。イチジク属植物からクローニングしたシス鎖延長酵素（CPT）は単独では *in vitro* ゴム合成活性を示さないが、ラテックスの C-serum 画分と反応させると分子量数万の高分子量体を生成できる。これらのことから高分子量体生成または、分岐構造形成に關与する反応はラテックス中で進行すると考えられる。上図に示したように *Lactarius* 属キノコは *Hevea* 樹と同様に二山のゴム粒子径分布を示した。キノコは地中の菌糸体から半日程度で子実体を形成する短期間に多量のゴムを生合成する。菌糸体のゴムが、平均 0.6 万であるのに対し子実体ゴムは 2.9 万と、やはりラテックス中での高分子量化が認められた。

3. 未利用バイオマス資源活用

天然ゴムの主たる使用目的であるタイヤには、低炭素社会に向け高い次元での安全性、耐久性、低燃費性のバランスが要求されてきている。様々な化学修飾による高機能化が行われているが、ゴム分子のマイクロ構造が既知であるセイタカアワダチソウなど雑草由来のゴムは三次元立体構造を制御した高機能ゴム分子の創生が期待できる。一般に高分子材料の微細構造制御は極めて不完全であり、本来の高分子が有しているはずの能力値の数%しか発揮されていない。タンパク質やDNAといった生体高分子は、それ自体が特定の構造をもち合成高分子では想像もつかない高度機能を発揮する。三次元構造の制御されていない天然ゴム（Hevea ゴム）でさえも、総合的に優れた物性を示し、トラックや航空機のタイヤなど過酷な条件下では合成ゴムによる代替が利かない。このように生物体内での合成反応を触媒する酵素は位置及び立体特異性が厳密なため分子変換には極めて有効と考えられる。これらの知見に基づき、遺伝子工学的手法を用いることによりゴム分子鎖の一次構造を高度に制御し、さらに官能基を導入することで、ナノ領域での精密立体制御が可能な材料が期待できると考えた。そこで、開始段階、並びに成長段階で働く酵素の酵素-基質のシミュレーション計算をもとに、反応性の高い非天然基質の導入やモノマーの改変等への取り組みを行っている。また、培養細胞によるゴム生産能を向上させるために種々の培養条件を検討したところ、セイタカアワダチソウでは元の植物体に比べて5倍以上の長鎖長のゴム生産能の獲得に成功した。これらの雑草の培養細胞研究はゴム生産系の構築のみならず、1年程度の短期間でゴム生産能を観察できることから、天然ゴム生合成機構の解明にむけて多くの情報を与えてくれるものと考えられる。

4. 業績（本年度の学会発表・論文等）

学会発表

- (1) 齋藤寛也、中村武志、大谷典正、チチタケ由来 cis-prenyltransferase の鎖長制御機構、平成 27 年度化学系学協会東北大会、米沢
- (2) 長岐正彦、大久保雄飛、佐上博、大谷典正、基質アナログを用いたイソプレン鎖延長酵素の基質特異性、平成 27 年度化学系学協会東北大会、米沢
- (3) 大久保雄飛、門崎雅史、中村武志、大谷典正、カルス由来の SRPP 発現および機能解析、平成 27 年度化学系学協会東北大会、米沢
- (4) 門崎雅史、中村武志、大谷典正、Hevea brasiliensis カルスにおける天然ゴム生産、農芸化学会東北大会、札幌
- (5) 大谷典正、低炭素社会に向けた天然ゴム資源活用、天然ゴムシンポジウム、京都

発明特許

- (1) 特願 2014-535489、イソプレンオリゴマー、ポリイソプレン、及びこれらの製造方法、ゴム組成物、並びに空気入りタイヤ、太谷典正、井之上ゆき乃
- (2) 特開 2015-047142、特定の蛋白質、該蛋白質をコードする遺伝子、該遺伝子が導入されたイソプレノイド産生植物の形質転換体、及び該遺伝子を導入することにより特定の化合物の生合成量又は生産性を向上させる方法、井之上ゆき乃、太谷典正
- (3) 特開 2015-022487、非天然基質を用いた際の酵素反応を予測する方法、酵素反応に用いる非天然基質を選択する方法、井之上ゆき乃、太谷典正

研究課題名

クズがマント群落を形成する要因と資源利用のための現存量の把握

山形大学農学部食料生命環境学科

小山 浩正

1. はじめに

木本性つる植物であるクズは光環境の良好な開放地で他の植生を覆ってマント群落を形成する。このため造林地では刈り払いが不可欠である。また、道路や線路脇でもガードレールや電柱を覆うため駆除作業が繰り返される。北米にも緑化植物として導入されたが、現地の在来種の生育立地を奪うなどの問題が深刻化している。このため、国際自然保護連合は世界の侵略的外来種ワースト 100 に指定した。一方で、同種は古くから根系が食品や薬として用いられ、茎から採る繊維は衣類として利用されてきた。近年では、家畜飼料としての栄養価の高さが評価され（森田ら,2013）、飼料の自給が急務の畜産業界で利用が広がる可能性がある。葉からは骨粗鬆症に効果のある成分も検出されている。このようにクズは駆除の対象であると同時に、将来の利用が注目される材料であるにも関わらず、同種の生育に関する基本的な生態は必ずしも明らかにされていない。本研究では、クズを駆除および利用する観点から、同種の成長様式について基礎的調査を実施し、特に本年度はシュートが登攀する支柱のサイズ（直径）に注目して調査観察を行った。

2. 材料および方法

成長様式に関わる調査は、山形県鶴岡市熊出の国道 112 号線沿いにある赤川頭首工付近のクズ群落で行った。ここでは、クズが地表を匍匐していると同時に、高さ 114 cm、直径 2.3cm の柵に登攀および下垂している。この群落において、匍匐しているシュート 21 本、登攀しているシュート 20 本、登攀後に下垂しているシュート 24 本を採取し、分枝の有無と場所および葉への相対的資源分配を調べた。

登攀と支柱の直径との関係は、山形県鶴岡市内を広範に周り、あわせて 20 個の群落において、合計 1030 個体が登攀している支柱の直径を調べた。あわせて、鶴岡市古川のクズの匍匐シュートが全面的に繁茂している採石場で直径の異なる塩化ビニルパイプ（以下、塩ビパイプ）を設置した。塩ビパイプの直径は、1.8、4.8、7.6、11.4 および 14.0cm の 5 段階を与えて登攀の成否を調べた。

3. 結果（抑制および利用促進への提言）

シュートの伸長速度は匍匐で 18.7cm/日に
対し、登攀および下垂シュートでは 13cm/日
程度だった。匍匐シュートの分枝率は 93.6%
で登攀・下垂シュート（57.6、67.7%）より
も高かった(図-1)。登攀と下垂シュートは、
支柱の最先部位で集中して分枝していた。葉
面積は匍匐に比べ、登攀および下垂シュート
で大きく、他の指標（LMR や LAR）の測定
結果からも、登攀および下垂シュートの方が
匍匐シュートに比べて葉への相対的投資が高
いことが明らかになった。(図-2)

自然群落において登攀が観察された支柱の
最大直径は 15.6cm であったが、全体の 95%
以上は 5cm 以下であり、6cm 以上のものは極
端に少なかった。また、パイプを与えた登攀
実験でも、直径の増加に伴い登攀成功率は低
下し、最小の直径 1.8cm に対する登攀成功率
が 70%を超えたのに対し、直径 11.4cm 以上では 0%だった (図-3)。

以上のことからクズの繁茂の仕方は以下のようにまとめられる。地上を匍匐するシュートは登攀や下垂シュートに比べ伸長速度が速く、伸長速度が高く、かつ分岐が旺盛であった。このことが、匍匐シュートが支柱に到達する確率を高めていると考えられる。こうして支柱に到達したシュートは、直径 5cm 以下の支柱には巻き付いて登攀を開始できるのに対して、15cm 以上の支柱には登攀できない。したがって、クズを飼料などの資源として利用する際には細い支柱を与えて生育させるのが望ましく、逆に道路脇等で繁茂を抑えたい構造体（ガードレールなど）では直径 15cm 以上の資材を利用することが望ましい。支柱に登攀したシュートは、支柱の先端に到達すると複数のシュートに分かれて下垂しており、この性質が自然植生においてマント群落を形

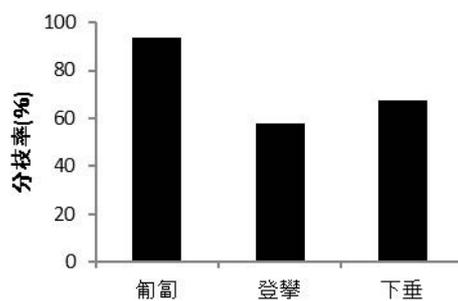


図-1. 各シュートの分枝率

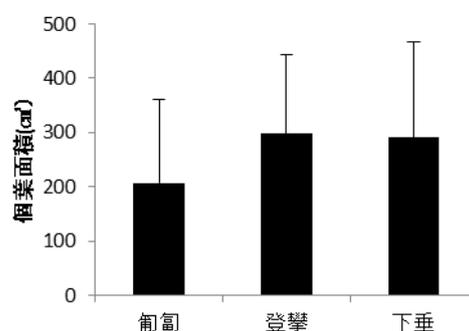


図-2. 各シュートの個葉面積

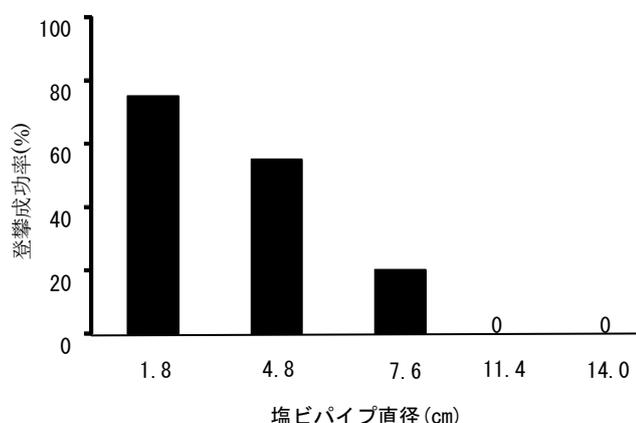


図-3. 支柱（塩ビパイプ）の直径ごとの登攀成功率

成できる要因であると考えられる。このため飼料のように地上部（特に葉）を利用する場面では、根系を採取する吉野クズのように地上を匍匐させるよりも、支柱に登攀させた方が良いと言える。前年の調査結果でも、支柱に登攀させた方が地上部は最大で6倍の現存量を得ることが分かっている。加えて、本年の調査からは登攀・下垂シュートは匍匐シュートに比べて葉への相対的投資量が多いことが明らかになった。家畜飼料としては葉が主な可食部位なので、この点からも支柱に登攀させることが望ましい。今後は、支柱についても可食の素材を検討するなどの工夫（例えばトウモロコシの利用）を検討する必要がある。

4. 業績

1) 本年度の学会発表・論文等

- (1) 斎藤幹保・小山浩正(2015) クズが登攀可能な支柱の直径の観察. 第19回東北森林科学大会. 講演要旨集 48. 2014.9. 2. (福島市).
- (2) 斎藤幹保・小山浩正 (2015) クズが登攀可能な支柱の直径の推定日本森林学会大会 3.26-3.29 第126回日本森林学会大会 (札幌).
- (3) 榊原幸江・小山浩正 (2015) クズの匍匐、登攀、下垂各段階における当年シュートの形状の違い. 第126回日本森林学会大会 3.26-3.29 (札幌市).

研究課題名

稲わらおよび繁殖牛・乳牛飼料のカチオン・アニオンバランスに関する研究

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター

吉田 宣夫

1. 緒言

給与飼料中のイオンバランスは、肥育牛の尿石症や乳用牛の低カルシウム血症などの栄養障害に関与しており、その予防の指標には DCAD (Dietary Cation-Anion Difference) 値が用いられる。一方、稲わらは重要な飼料資源であるが、その回収時期は天候が不安定なため降雨によってイオン含有率に変化が起こることが予想される。そこで本研究では、人工降雨による降水量と切断の有無および食用品種と飼料用米品種の違いが稲わらのイオン含有率および DCAD 値に与える影響などを検討した。

2. 材料及び方法

実験 1 収穫時稲わらの切断と降水量の違いが DCAD 値に及ぼす影響

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター農場で 2013 年に収穫した 3 品種 (コシヒカリ、はえぬき、酒田女鶴) の稲わらを実験 1 と同様に行い、降水量が 0mm、20mm、40mm、60mm、80mm、100mm になるよう散水した後、カリウム(K)、ナトリウム(Na)、硫黄(S)、塩素(Cl)の含有率の測定を ICP 発光分光分析装置とイオンクロマトグラフ (DX-500) を行い、 $DCAD (mEq/DM 100g) = (Na + K) - (S^2 - + Cl^-)$ の式より DCAD 値を算出した。

実験 2 飼料用米および食用米品種稲わらのイオン含有率および DCAD 値

農研機構中央農業総合研究センター (新潟県上越市) で 2014 年に収穫した飼料用 7 品種 (夢あおば、なつあおば、ホシアオバ、モミロマン、べこあおば、ゆめさかり、北陸 193 号)、食用 1 品種 (日本晴) の無切断稲わらへ、降水量が 0mm と 100mm になるよう散水し、実験 1 と同様に分析した。

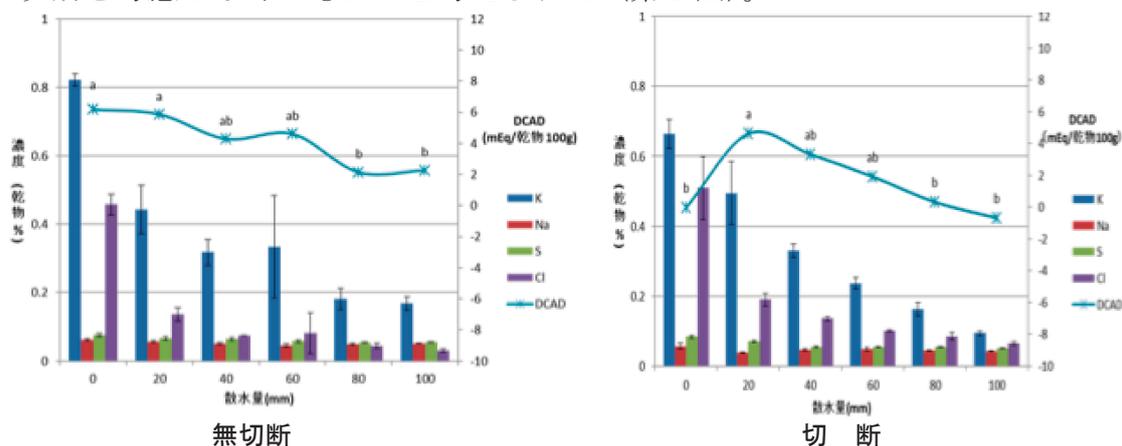
実験 3 秋山牧場の給与飼料のカチオン・アニオンバランス

真室川町営秋山牧場の稲わらと稲発酵粗飼料を主体とした繁殖牛用飼料を 2 期に採取し、実験 1 と同様に分析し飼料全体の DCAD 値を算出した。

3. 結果及び考察

実験1 収穫時稲わらの切断と降水量の違いが DCAD 値に及ぼす影響

2013 年の報告と同様に、3 品種ともに K と Cl 含有率は降水量の増加に伴って有意に減少し、Na と S 含有率は降水量の違いによる影響がほとんどなかった。DCAD 値の変動は K と Cl の溶脱に強く影響され、降水量の増加によって有意に低下した。また収穫時の稲わら切断の有無が DCAD 値に影響することは少なく、コンバイン収穫時に切断を考慮しなくてもよいと考えられた（第 1 図）。



第 1 図 ‘はえぬき’ 稲わらの被雨量とミネラル含量および DCAD 値

実験2 飼料用米および食用米品種稲わらのイオン含有率および DCAD 値

飼料用米品種は K と Cl 含量が高く、特に Cl 含量が食用米品種より高い傾向が見られた。このため、品種間差はあるものの飼料用米品種が食用米品種に比べて DCAD 値が極度に高い傾向は見られなかった（第 1 表）。

第 1 表 飼料用米向け品種稲わらのミネラル含量と DCAD 値

品 種	用途	K	Na	S	Cl	DCAD mEq/100g
		濃度(DM%)				
日本晴	食用	0.6362	0.0277	0.0599	0.3025	5.2498
夢あおば	飼料	1.0629	0.0355	0.0671	0.6713	5.6964
なつあおば	飼料	0.8785	0.0253	0.0528	0.6805	1.1578
ホシアオバ	飼料	0.9127	0.0350	0.0793	0.6388	1.9716
モミロマン	飼料	0.8639	0.0244	0.0630	0.6650	0.5411
べこあおば	飼料	1.0444	0.0335	0.0638	0.6171	6.8633
ゆめさかり	飼料	1.0329	0.0346	0.0589	0.6088	7.1588
北陸193号	飼料	0.8824	0.0264	0.0662	0.4855	5.9617

実験3 秋山牧場の給与飼料のカチオン・アニオンバランス

高 DCAD 値で給与割合の高い生わらサイレージを減らし牧草サイレージに置き換えることにより、給与飼料中の DCAD 値を下げる事ができた（第 2, 3 表）。

第2表 秋山牧場給与飼料のミネラル含量とDCAD値(2014.6.26採取分)

給与飼料	割合 %	乾物%				DCAD mEq/100g
		K	Na	S	Cl	
イネWCS	47.33	0.6578	0.0167	0.0776	0.4390	0.3760
生わらサイレージ	39.78	0.9282	0.0396	0.0912	0.3924	8.7687
SGS	11.29	0.1790	0.0064	0.0777	0.0455	-1.2663
ゼオライト	0.80	1.1659	1.4462	0.1107	0.0000	85.8528
カルボン	0.52	0.1355	1.0318	0.2550	1.7900	-18.0203
並塩	0.13	0.1903	36.2053	0.0081	121.7132	-1850.0277
エーフィード	0.10	0.8212	0.0906	0.2714	0.0357	7.0258
Mg	0.06	0.0109	0.0745	0.0203	0.0165	1.7893
total	100.00	0.7118	0.0869	0.0843	0.5314	1.7962

イネWCS:イネホールクロップサイレージ、SGS:籾米ソフトグレインサイレージ

第3表 秋山牧場給与飼料のミネラル含量とDCAD値(2014.7.29採取分)

給与飼料	割合 %	乾物%				DCAD mEq/100g
		K	Na	S	Cl	
イネWCS	37.09	0.6578	0.0221	0.0776	0.3924	1.9213
生わらサイレージ	28.12	0.9282	0.0579	0.0912	0.3924	9.5636
牧草サイレージ	19.24	0.8978	0.3334	0.1855	0.7560	4.6285
SGS	13.31	0.1790	0.0894	0.0777	0.0455	2.3423
ゼオライト	0.96	1.1659	1.5257	0.1107	0.0000	89.3084
カルボン	0.91	0.1355	6.6299	0.2550	1.7900	225.3725
並塩	0.14	0.1903	41.4555	0.0081	121.7132	-1621.7563
エーフィード	0.12	0.8212	0.1589	0.2714	0.0357	9.9968
Mg	0.07	0.0109	0.1542	0.2714	0.0357	-10.9845
破碎大豆	0.04	0.7569	0.0084	0.2853	0.7560	-19.3559
total	100.00	0.7156	0.1372	0.1045	0.5961	0.9886

4. 提言

高品質和牛肉の輸出拡大が進んでおり、山形県においても取り組みが強化されようとしている。高品質化とともに健全性に配慮した地域ブランド肉牛生産には、多面的な栄養指標を導入した統一生産基準が販売戦略上からも重要になっている。

5. 業績(本年度の学会発表・論文等)

1. 論文

金錫九・吉田宣夫・松山裕城・堀口健一(2015): 肥料および調製方法の違いが稲わらのミネラル含量とDCAD値に及ぼす影響. 日本草地学会誌 61. 掲載予定.

研究課題名

良質な飼料用米及び稲わら生産のための肥培管理方法の検討

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター

佐々木 由佳

1. 緒言

真室川町では町内の稲作農家と畜産農家（コントラクター）が連携し、飼料用米や稲わらを家畜飼料として利用し、家畜ふん堆肥を水田に施用する地域内資源循環をはかっている。このような畜産を核とする農業生産サイクルにおいて、良質な飼料となる水稲の安定生産技術は重要である。

水田は一筆ごとに様々な肥培管理がなされている。稲わらの持ち出し、堆肥、化学肥料、土壌改良資材の施用の有無などによって土壌の理化学性は変化する。また、土壌の可給態窒分量は水稲の生産性に直結する。一般に稲わらはコンバインでの収穫時に水田に散布される。水田に施用された稲わらは土壌有機物や養分の供給源となる。耕畜連携により稲わらが水田から持ち出されても、稲わらの施用効果は堆肥の施用で代替が可能である。しかし、堆肥に含まれる成分量や施用量が過剰な場合は水稲の収量や品質の低下を引き起こす原因となる。

本研究は稲わらと堆肥の施用状況の異なる水田土壌を対象に、土壌有機物の蓄積と土壌の窒素供給能力に関する理化学性を調査した。

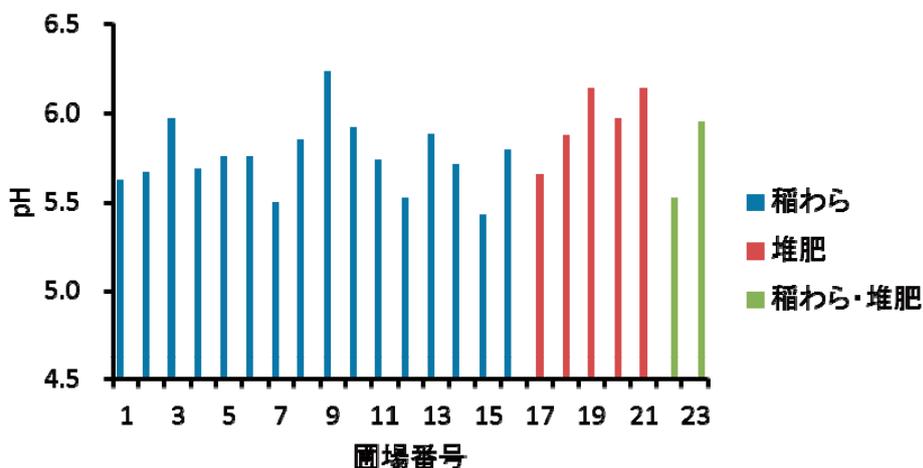
2. 材料及び方法

農家が管理する 23 圃場を調査水田とした。各圃場の稲わらと堆肥の施用状況は農家に聞き取り調査した。供試土壌は 2014 年の施肥及び耕起前に作土から採取した。測定項目は容積重、pH、全炭素量、全窒素量、炭素率（C/N 比）、可給態窒素量（風乾土を 4 週間湛水培養して測定した無機化窒素量）、乾土効果（風乾土と生土を 4 週間湛水培養して測定した無機態窒素量の差）。

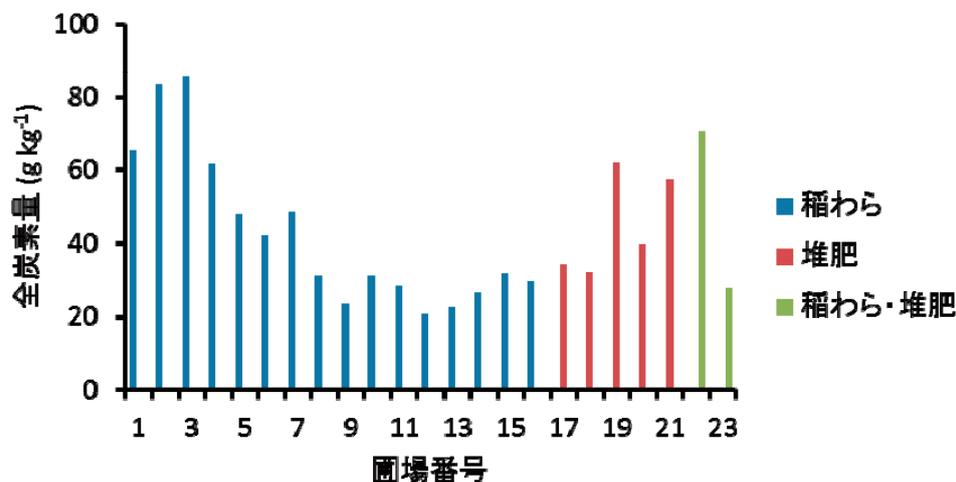
3. 結果及び考察

聞き取り調査の結果、調査水田の稲わらと堆肥の施用状況は次の 3 つにわけられた：稲わらを施用して堆肥を無施用（16 圃場）、稲わらを持ち出して堆肥を施用（5 圃場）、稲わらと堆肥の両方を施用（2 圃場）。調査水田の稲わら施用の継続年数は 30 年以上、堆肥施用の継続年数は 5 年～20 年以上だった。堆肥は牛ふんを主原料としていた。

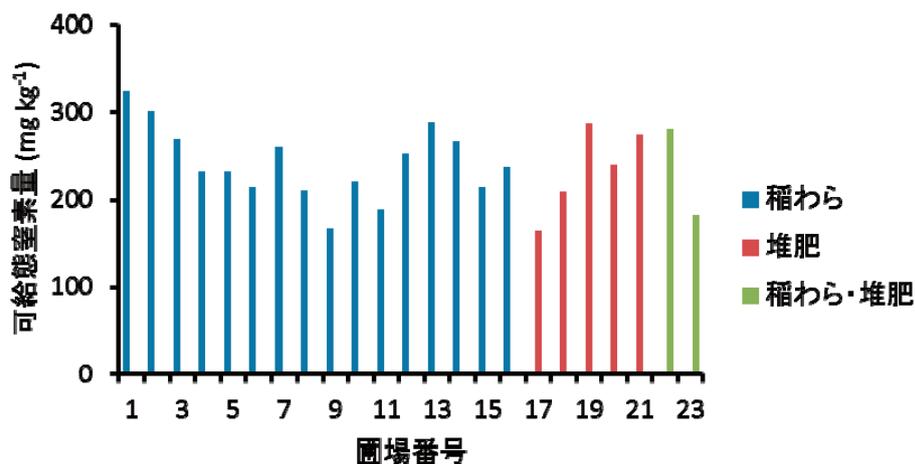
水田土壌の理化学性の基準として地力増進基本指針（2008 農林水産省）の改善目標値を用い、供試土壌の pH、全炭素量、可給態窒素量を改善目標値と比較した。その結果、pH は目標値内の土壌が 3 圃場しかなく、他の土壌は目標値を下回った（第 1 図）。全炭素量はすべての土壌で目標値に達していた（第 2 図）。可給態窒素量は目標値内の土壌が 4 圃場だけで、他の土壌は目標値を超えていた（第 3 図）。



第 1 図 pH と改善目標値. 灰色で示した pH 6.0~6.5 が目標値



第 2 図 全炭素量と改善目標値. 灰色で示した 11.6 g kg⁻¹ 以上が目標値



第3図 可給態窒素量と改善目標値. 灰色で示した80~200 mg kg⁻¹が目標値

測定した土壌の理化学性はいずれも稲わらと堆肥の施用状況による統計的な差が認められなかった(第1表)。この結果から、本研究の調査水田における堆肥の施用は、土壌有機物の蓄積に影響を与えないことと、pHの低下や可給態窒素量の過剰の要因になっていないことがわかった。

第1表 稲わらと堆肥の施用状況ごとの土壌理化学性の平均値

稲わら/堆肥 施用状況	容積重 (Mg m ⁻³)	pH	全炭素量 (g kg ⁻¹)	全窒素量 (g kg ⁻¹)	C/N比	可給態窒素量 (mg kg ⁻¹)	乾土効果 (mg kg ⁻¹)
稲わら	0.74	5.8	42.5	3.3	12.3	243	182
堆肥	0.77	6.0	45.1	3.5	12.7	235	168
稲わら・堆肥	0.74	5.7	49.0	3.6	13.3	231	181

本研究は多くの調査水田で可給態窒素量が目標値を超えていたことから、堆肥の施用量には注意を払う必要がある。山形県(2008)では、土壌の可給態窒素量が300 mg kg⁻¹を超える水田に堆肥を施用しないよう基準を設けている。本研究では2圃場でこの値を超えていた。この2圃場は稲わらを施用して堆肥を施用していないことから、今後もこの管理を継続することが望ましい。

4. 業績(本年度の学会発表・論文等)

特になし

研究課題名

真室川町秋山牧場を核とした周年預託事業、コントラクター、 TMR センターによる地域農業支援の効果

山形大学農学部食料生命環境学科

藤科 智海

1. 緒言

わが国の畜産農家において、近年、高齢化や飼料価格の高騰が問題となっている。畜産農家は年々減少しており、今後、特に中小規模の畜産農家は、経営の維持がより難しいものになることが予想される。この問題に対し、真室川町では、公共牧場である秋山牧場を核として、周年預託事業、コントラクター（飼料収穫・堆肥散布等の作業受託組織）や TMR センター（粗飼料と濃厚飼料を混合した町内自給飼料の供給施設）を用いた耕畜連携の取り組みが展開されている。いくつかの作業を分業化するこの取り組みは、畜産農家の今後の経営の持続性向上に寄与するものと考えられる。

本研究では、真室川町が取り組む耕畜連携の取り組みのうち、コントラクターに焦点を当てている。真室川町には 8 つのコントラクターがあり、その多くは、農家がオペレーターとして活躍している。このうち 3 つのコントラクターでオペレーターとして従事しながら、酪農を行っている畜産農家 A 氏を調査対象とし、A 氏が 3 つのコントラクターに参加することにより、どのような効果を受け、その効果が A 氏の営む酪農とどのように関係しているかを明らかにする。

2. 調査の方法

山形県真室川町において酪農を営み、3 つのコントラクターでオペレーターをしている A 氏を調査対象とし、聞き取り調査を行った。調査内容は、以下の 2 点である。1 点目は、A 氏の経営における飼養頭数、稲作作付面積、飼料作付面積といった経営規模である。2 点目は、所属している 3 つのコントラクターとどのように関わり、それによってどのような効果を得ているかである。

3. 結果及び考察

A 氏は酪農・稲作・飼料作の 3 つの部門を営んでいる(第 1 表)。A 氏の経営では A 氏の他、A 氏の父、A 氏の妻が労働力となっている (第 2 表)。A 氏はコントラクターで従事する際も朝と夕方の酪農の作業は欠かさず、酪農の仕事の合間でコントラクターに従事している。山形県真室川町には 8 コントラクターがある。このうち、A

氏はA・B・Hコントラクターでオペレーターをしている。A氏はAコントラクターでWCS用稲の収穫、Bコントラクターで牧草の刈取、Hコントラクターで稲わら収集の作業をしている。

Aコントラクターには畜産農家と耕種農家が委託している。外部から受けた委託においてA氏はオペレーターとして12日従事し、9万6千円(8千円/日)の作業報酬を得ている。畜産農家から委託されたWCS用稲の収穫では委託した農家自身が収穫したWCSを使用している。耕種農家から委託されたものでは、収穫したWCSはAコントラクターを介し、A氏が使用している。A氏は合計350aの委託面積から収穫されたWCSを得ている。WCSの収量は10aあたり最大で8ロール、最小で6ロールである。A氏が得たWCSを実際に購入した際にかかる金額として推計すると、収量が最小で63万円、最大で84万円になる(第3表)。なお、推計に用いた購入金額はA氏が2013年度に購入したものの価格(1ロール3千円)である。

また、AコントラクターにはA氏が生産しているWCS用稲の収穫も委託しており、自らオペレーターとして作業を行っている。コントラクターに参加することで、機械の導入費用を抑えて、WCS用稲の収穫に関わる作業の機械化が可能となっている。

Bコントラクターでは牧草の刈取を行っている。A氏が作付している牧草の刈取作業をBコントラクターに委託し、自らオペレーターとして作業している。このことにより、A氏は委託料を支払うことにより、牧草刈取に関わる作業の機械化をすることが可能になっている。

Hコントラクターでは、稲わら収集の作業をしている。A氏の酪農経営で生じた堆肥と委託農家の稲わらを交換することでA氏は稲わらを得ている。獲得した稲わらの総量は500ロールであった。A氏はこの稲わらを、WCSの代替飼料として100ロール分搾乳牛に給与している。WCSの代替飼料として使用しなかった400ロール分の稲わらは全て売却している。売却金額は1ロール3千円(税抜き)で、120万円であり、これから費用を引いたものがA氏の稲わら売却から得られる所得である(第5表)。WCSの代替飼料として給与している100ロールの稲わらをA氏が2013年度に購入したWCSの価格を用い、WCSの購入した際にかかる金額に推計した(第4表)。稲わらはロール1個の重量に差があるため、ロール1個の重量が最小と最大の場合で推計した。稲わらを重量で推計したため、購入したWCSも重量に合わせ推計した。その結果、稲わらロール1個の重量が最小の際は10万7千143円で、最大の際は16万714円となった。

以上のことより、A氏は3つのコントラクターでオペレーターとして従事することで、作業報酬、稲わら売却による所得、獲得したWCS・稲わらによる粗飼料の確保、WCS・牧草といった飼料収穫作業の機械化という効果を得ていることが明らかになった。経営規模から推計したA氏の酪農部門と稲作部門から得られる所得は約1,118

万円であり（第5表）、Aコントラクター組織とHコントラクター組織から得られる所得は最大でも約114万円で、総所得の約9%に過ぎない。しかし、それに加え、獲得した粗飼料を金額換算すると、最大で約100万円のコスト低減効果が得られている。

第1表 A氏経営規模

酪農部門	稲作部門	飼料作部門
搾乳牛:40頭	主食用米:700a	WCS:120a
乾乳牛:4頭		デントコーン:400a
育成牛:16頭		牧草:300a

第2表 1日の就業状況

A氏の父		A氏		A氏の妻	
6:00	糞尿処理 育成牛への飼料給与	5:00	搾乳 搾乳牛への飼料給与	4:30	搾乳準備、搾乳
8:30	午前中は終了	9:30	午前中は終了	6:00	家事
	この間、稲作作業		この間、オペレーター	8:30	搾乳、搾乳器の洗浄
18:30	堆肥製造	17:30	飼料給与	9:30	午前中は終了
19:30	1日の作業終了	18:15	搾乳	17:00	糞尿処理
		21:00	1日の作業終了	18:00	搾乳準備、搾乳
				19:00	1日の作業終了

第3表 獲得WCSの購入金額換算

	単収(ロール/10a)	面積(a)	収穫量(ロール)	換算金額(円)
最小	6	350	210	630,000
最大	8	350	280	840,000

1)2013年度購入WCS価格にて算出

2)1ロールの購入価格は3,000円(税抜き)

第4表 WCS代替稲わらの金額換算

	1ロールあたり現物重(kg)	ロール数(個)	総重量(kg)	WCSロール現物重(kg)	金額(円)
最小	100	100	10,000	280	107,143
最大	150	100	15,000	280	160,714

1)2013年度購入WCS価格にて算出

2)1ロール(現物重:280kg)の購入価格は3,000円(税抜き)

第5表 A氏が得ている所得

(単位:円)

所得源	酪農部門	稲作部門	Aコントラクター組織	Hコントラクター組織
所得源詳細	搾乳牛	主食用米作付	作業報酬	稲わら売却
所得	7,055,360	4,125,000	96,000	最小 991,667 最大 1,043,750
合計	11,180,360		最小	1,087,667
			最大	1,139,750

4. 業績（本年度の学会発表・論文等）

1) 論文

藤科智海・及川達也・小沢互（2015）：「公共牧場を核とした畜産農家支援の効果 - 山形県真室川町の秋山牧場を事例として - 」『農業経営研究』第53巻第3号（2015年10月刊行予定）

研究課題名

1-メチルシクロプロペンを利用したセイヨウナシ果実の品質保持に関する研究

山形大学農学部食料生命環境学科

村山 秀樹

1. 緒言

セイヨウナシは、オウトウと並び山形県の特産果樹の1つであり、山形県のシェアは実に62%を占める(図1)。しかしながら、近年消費が伸び悩み、セイヨウナシの栽培面積は減少傾向である(図2)。そこで昨年度、セイヨウナシの流通期間を延長するために、エチレンの作用を阻害するはたらきをもつ1-メチルシクロプロペン(1-MCP)を利用した果実の品質保持法について検討した。その結果、‘シルバーベル’では、低温貯蔵前の1-MCP処理によって果実の貯蔵性が高まることが判明した。本研究では、貯蔵温度をかえて、セイヨウナシ果実貯蔵時のエチレンの役割をより詳細に検討した。

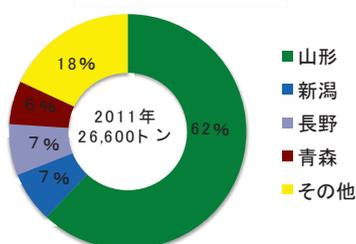


図1 セイヨウナシの生産量
(農水省の統計情報より作成)

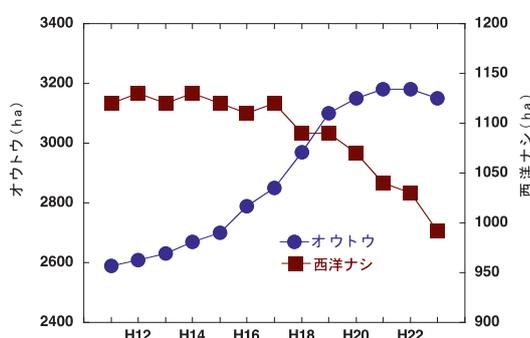


図2 山形県におけるセイヨウナシとオウトウの栽培面積の推移(農水省の統計情報より作成)

2. 材料及び方法

実験には、平成26年10月27日に山形県上山市で収穫適期に採取した‘シルバーベル’を供試した。日本のセイヨウナシ生産における‘シルバーベル’のシェアは平成23年度で2.5%であり、65.3%を占める‘ラ・フランス’と比較するときわめて少ない。ただし、果実は大きく、酸味があり、貯蔵性が高いとされている。

収穫した果実は、ただちに10 ppmのエチレンまたは1 ppmの1-MCPで24時間処理した。処理後、果実はMA-Hフィルム(酸素透過率 $2,000 \text{ ml} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, 凸版印刷,

東京) で包装し、3°Cで貯蔵した。また、エチレン吸収剤を封入する区もあわせて設けた。貯蔵3か月後、5か月後および7か月後に20°Cに移し、追熟を行った。

3. 結果及び考察

無処理区では、貯蔵4か月後から内部褐変が発生した。内部褐変の発生は、エチレン処理によって促進されたのに対して、1-MCP処理によって抑制された。1-MCP処理では、7ヶ月後においても内部褐変の発生は認められなかった(図3)。このことから、内部褐変の発生には、エチレンがかかわっていること、また、エチレンの作用を阻害するはたらきをもつ1-MCPの貯蔵前処理が‘シルバーベル’果実の貯蔵に有効であることを確認した。

1-MCP処理区において、貯蔵後に20°Cに移してからのエチレン生成量と果肉硬度を調査した。その結果、3か月貯蔵果では、追熟中にエチレン生成がほとんど認められず、果実も軟化しなかった(図4)。一方、5か月貯蔵と7か月貯蔵果では、追熟中にエチレン生成量が増加した。また、果肉硬度も低下し、可食状態に達した。

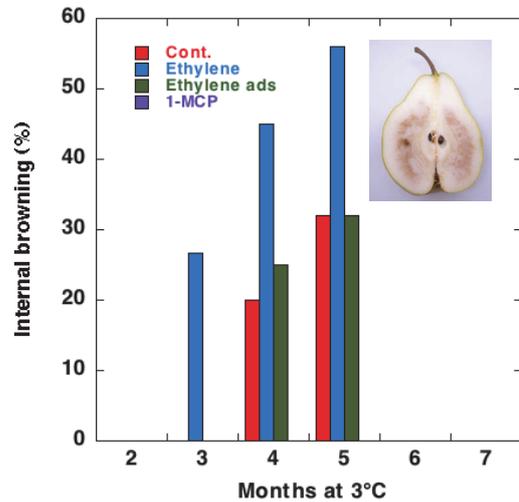


図3 貯蔵中の内部褐変の発生
Cont.; 無処理, Ethylene; エチレン処理, Ethylene ads; エチレン吸収剤封入, 1-MCP; 1-メチルシクロプロペン処理

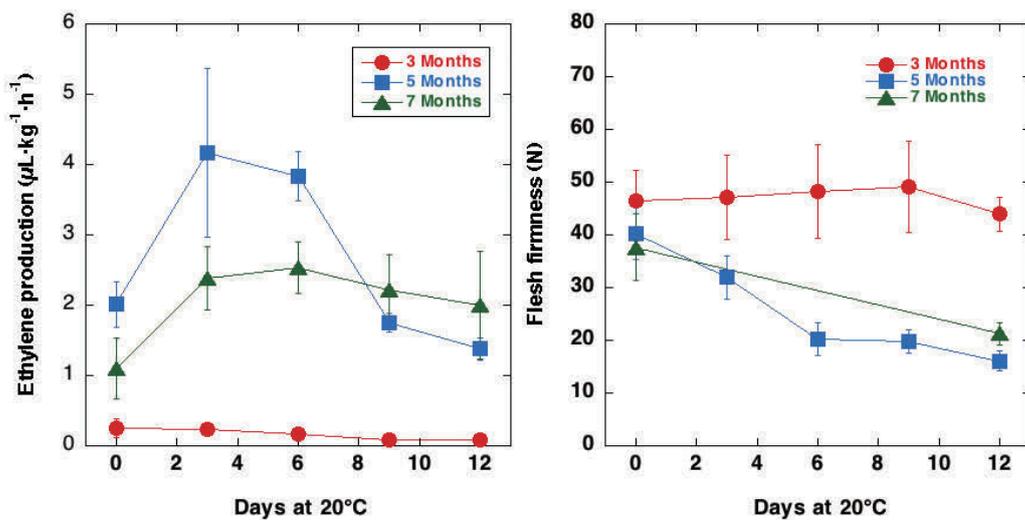


図4 1-MCP処理区における貯蔵後に20°Cに移してからのエチレン生成量(左)と果肉硬度(右)の変化

貯蔵3か月後と5か月後に、果肉組織のアルコール不溶性物質を作成し、ペクチンを分画・定量した。その結果1-MCP処理区において、3か月貯蔵果では貯蔵後に20℃に移してからの水溶性ペクチンの増加はわずかであったものの、5か月貯蔵果では、水溶性ペクチンが増加し、エチレン生成量と果肉硬度の結果を裏付けた(図5)。

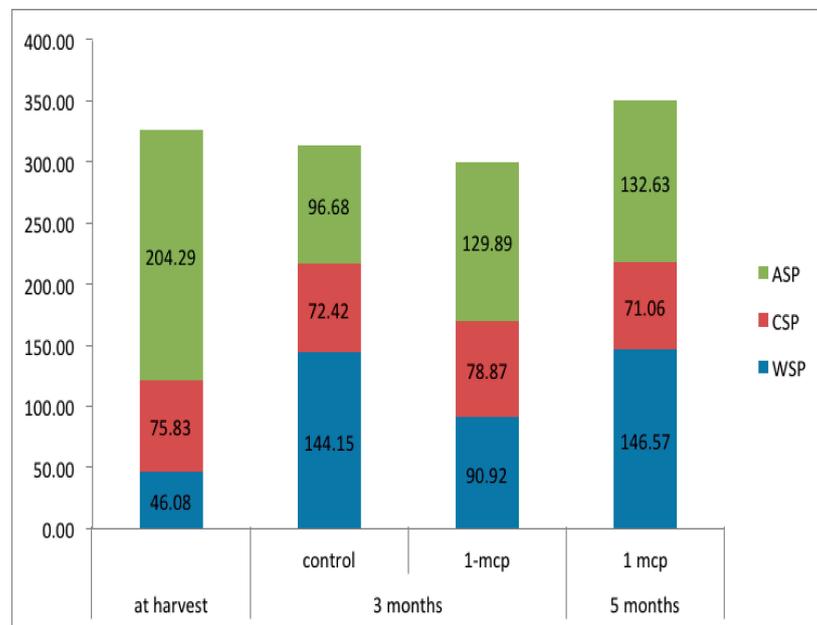


図5 収穫時ならび追熟12日目の果実のペクチン含量。WSP；水溶性ペクチン，CSP；キレート化剤可溶性ペクチン，ASP；アルカリ可溶性ペクチン

以上の結果より，‘シルバーベル’の貯蔵では，果肉硬度の低下や内部褐変の発生の抑制に1-MCP処理が有効であること，また，1-MCP処理は貯蔵期間が長くなると，エチレン生成能が回復し，果実も軟化することが判明した。エチレン生成能，ひいては果実の軟化能力の回復は，セイヨウナシの流通に応用するうえで有効な現象であり，今後‘ラ・フランス’にも応用できるか検討する。

4. 業績（本年度の学会発表・論文等）

1. 論文

B. Nugraha, N. Bintoro and H. Murayama. 2015. Influence of CO₂ and C₂H₄ adsorbents to the symptoms of internal browning on the packaged ‘Silver Bell’ pear (*Pyrus communis* L.) *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3: 127 -131.

上山市域の農業生態系における植物と送粉昆虫との相互作用の解析 ～被子植物の花色多型と送粉昆虫との関係～

山形大学理学部生物学科

横山 潤

被子植物の多くは、昆虫などの動物の訪問が受粉のために必要な動物媒花を咲かせる。農作物も例外ではなく、多くの種が昆虫による花粉媒介を必要とし、特に果樹ではその傾向が顕著である。近年では、花粉媒介を担う昆虫を人為的に栽培環境に導入することによって、送受粉を効率的に行なう手法が一般的となりつつあり、多様な植物の受粉に重要な役割を果たすセイヨウミツバチ (*Apis mellifera*) を代表として、リンゴ等の果樹で利用されるマメコバチ (コツノツツハナバチ, *Osmia cornifrons*)、主に施設栽培の野菜類等で利用されるマルハナバチ類 (日本国内ではセイヨウオオマルハナバチ *Bombus terrestris* とクロマルハナバチ *B. ignites*) などが商業的に利用されている (前田, 1993 ; 小野・和田, 1996)。特にセイヨウミツバチはきわめて広範囲の植物から餌を採取する傾向があることが知られており、多くの植物によって有効な送粉昆虫となっている (佐々木, 2010)。しかしその一方で、ミツバチは採餌効率の悪い植物への訪問が低下する傾向もあり、野外で放飼する場合、必ずしも対象とした植物に効率よく訪れてくれる訳ではない。また、そもそもミツバチが花粉媒介を行うのに適していない植物もある。ミツバチ類以外の送粉昆虫についてのマネジメント (養蜂) が行われるようになったのはこのような経緯からだが、実際にマネジメントに成功している送粉昆虫は上記の他にほんの僅かであり、それらを今後どのように増やしていくかが、農業環境での作物への効率的な授粉を実現する上での課題の一つとなっている。

一方、野外には花粉媒介に関与する昆虫類がより多く生息しており、多種多様な野生植物の送授粉に関わっている。日本国内には、花との関連が特別に深いハナバチ類だけで 400 種以上が知られており (加藤, 1993)、この他にハナアブ類、チョウ・ガ類など送粉のポテンシャルを持つ昆虫を含めると、その数はさらに多くなる。現状では飼育や増殖が困難なこれらの送粉昆虫を有効利用することができれば、農作物のさらなる増産に寄与することが可能になる。このような自然生態系のもつ人間活動への有益な効果は、生態系サービスとして近年特に注目されているが、同時にこれらの質の低下が全世界的に問題となっている (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)。花粉媒介昆虫の減少に伴うサービスの低下もその例外ではなく、主に世界的なハナバ

チ類の減少が問題となっている (Potts et al., 2010; Cameron et al., 2011)。しかし、その他の花粉媒介昆虫については十分調べられていないのが現状である。日本国内は、そもそもこの問題を検証する基礎資料に乏しく、花粉媒介昆虫の研究が以前より行われていた一部地域を除くと、野外での花粉媒介昆虫の個体数・種数変動が把握できるような状況にないのが現状である。野生の花粉媒介昆虫が農作物の送受粉にどれくらいのパテンシャルがあるのかを明らかにするためには、まず対象地域内にどのような花粉媒介昆虫が生息しているのか、それらがどのような植物と関わりを持っているのか、という基礎情報を明らかにすることが必要である。

山形県村山地方に位置する上山市は、山形市の南に位置し、サクランボ、ブドウ、西洋ナシなどの果樹栽培の盛んな地域である。また、農耕地周辺には豊かな低地・丘陵地の生態系が残されており、キキョウ (*Platycodon grandiflorus*)、スズサイコ (*Vincetoxicum pycnostelma*)、ヨツバハギ (*Vicia nipponica*)、ヒメサユリ (*Lilium rubellum*) などの県内絶滅危惧植物や、モウセンゴケ (*Drosera rotundifolia*)、ゼンテイカ (ニッコウキスゲ, *Hemerocalis dumortieri* var. *esculenta*) などを含む 700 種以上の維管束植物が確認されている (横山, 未発表)。本研究課題では、農耕地と隣接する自然生態系をどのように維持管理すれば、農業生産に資する送粉サービスを適正に維持できるのかを考えるための基礎データを集積することを目的として、農耕地周辺に自生する植物の花粉媒介昆虫の調査を行った。ここではその一端として、県内で花色の多型が確認されているエゾエンゴサク (*Corydalis ambigua*) の花色・花形態と送粉昆虫との対応関係の調査結果について報告する。

エゾエンゴサクは、北海道と本州北部に生育するケシ科の多年生草本である。北海道のエゾエンゴサクは自家不和合性を持ち、送粉を完全にマルハナバチ類に依存していることが報告されている (Ohara and Higashi 1994)。それに対し、本州のエゾエンゴサクは自家和合性で、北海道の集団と比較し本州の集団は花が大きく、花序あたりの花数が少ない。エゾエンゴサクは、山形県内では丘陵地から山地にかけて広く分布し、通常は紫色や淡青色の花を持つが、低標高に分布する集団は花が白く、花の長さが短い傾向があることが示されている (図 1)。

上山市にもエゾエンゴサクが分布するが、いずれの型かは調査されたことがなかった。本研究では、上山市内に自生するエゾエンゴサクがどちらの型なのかを野外調査で確認した。

調査は上山市貉の森 (標高 341m) で 2014 年 5 月中旬に実施した。自生個体数は少なく、上山市内ではエゾエンゴサクの自生に適した環境が限られている事を示唆している。花茎当りに平均花数は 3.66 ± 2.55 個 ($n=12$)、オオマルハナバチやキムネクマバチ (横山他, 2013) による盗蜜は確認されなかった。花色は 1 個体を除いて白色で、花の長さは 18.8 ± 1.4 mm、距の長さは 10.1 ± 1.3 mm と、山形県内の集団では



図 1. 山形県内に自生するエゾエンゴサクに見られる 2 型。(左) 高標高型：花は紫～青紫で大きい。(右) 低標高型：花は白で高標高型に比べると小さい。

小さい部類に属する。唇弁の長さは $6.1 \pm 0.6\text{mm}$ ，上花弁長は $5.2 \pm 0.7\text{mm}$ であり（測定値はいずれも $n=21$ ），やはり山形県内の集団では小さい部類に属している。この結果を総合すると，上山市内に自生するエゾエンゴサク集団は，山形県内の低標高地に自生する集団の特徴と一致する事が示された。

同じく低標高地型の集団が見られる天童市での観察例では，主要な送粉昆虫としてコマルハナバチ (*Bombus ardens*) が確認されている（鈴木他，未発表）。エゾエンゴサクへの送粉昆虫の訪花頻度は一般に低く，今回上山市内の集団では送粉昆虫は確認されなかったが，花色・形態の特徴から，上山市でもコマルハナバチが主要な送粉昆虫となっていると考えられる。コマルハナバチは早春～夏に開花するさまざまな植物の送粉昆虫となっており，特に樹木の花に高頻度に訪れることが知られている。

(Inoue and Yokoyama, 2006)。したがってコマルハナバチは，夏までに開花する果樹類の潜在的な送粉昆虫として重要である可能性が高い。エゾエンゴサクと同時開花する植物の中で，マルハナバチが訪花する植物はキブシ (*Stachyurus praecox*)，カタクリ (*Erythronium japonicum*) 等限られており，エゾエンゴサクはマルハナバチ類がコロニーを創始する早春の餌資源として重要な役割を果たしていると考えられる。このような植物を保全していくことで，果樹類の潜在的な送粉昆虫の数を維持する事が可能になると考えられ，今後も調査を継続し，上山市域の農業生態系における花粉媒介昆虫を支える植物相の効果を評価する予定である。

本研究課題を実施するにあたり，野外調査・形態計測等を担当していただいた山形大学理学部生物学科の牧野崇司博士，土田洋子氏，大学院理工学研究科の鈴木政紀氏

に感謝いたします。

引用文献

Cameron SA, Lozier JD, Strange JP, Koch JB, Cordes N, Solter LF and Griswold TL (2011) Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 108: 662-667.

Inoue MN and Yokoyama J (2006) Morphological variation in relation to floral use in bumblebees. *Entomological Science* 9: 147-159.

加藤真 (1993) 送粉者の出現とハナバチの進化. 井上民二・加藤真 (編), シリーズ地球共生系 (4) 花に引き寄せられる動物-花と送粉者との共進化. 平凡社, 33-78.

前田泰生 (1993) マメコバチを利用したリンゴの受粉. 井上民二・加藤真 (編), シリーズ地球共生系 (4) 花に引き寄せられる動物-花と送粉者との共進化. 平凡社, 195-232.

Millennium Ecosystem Assessment (ed.) (2005) *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems & Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

小野正人, 和田哲夫 (1996) マルハナバチの世界-その生物学的基礎と応用-. 日本植物防疫協会.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O and Kunin WE (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 345-353.

佐々木正己 (2010) 蜂からみた花の世界 四季の蜜源植物とミツバチからの贈り物. 海游舎.

横山 潤・高橋睦美・鈴木政紀・牧野崇司・武浪秀子 (2014) キムネクマバチによるエゾエンゴサク (ケシ科) への盗蜜行動の観察. 寒河江川流域自然史研究 (8): 18-21.

業績 (本年度の学会発表・論文等)

1) 論文

Hayakawa, H., Hayakawa, C., Kusumoto, Y., Nishida, T., Ikeda, H., Fukuda, T. and Yokoyama, J. 2014. *Cephalanthera falcata* f. *conformis* (Orchidaceae) forma nov.: a new peloric orchid from Ibaraki Prefecture, Japan. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 65 (3): 127-139.

Hayakawa, H., Kakimoto, N., Matsuyama, K., Ohga, K., Ito, K., Tebayashi, S., Ikeda, H., Arakawa, R., Yokoyama, J. and Fukuda, T. 2014. Local variation of leaf morphology

in *Bulbophyllum drymoglossum* (Orchidaceae). *Environment Control in Biology* 52(4): 241-247.

2) 学会発表

大橋謙太郎・横山 潤. オトシブミの揺籃形成による葉の内生菌類相の変化. 日本植物学会第 78 回大会 (神奈川). 2014 年 9 月 14 日.

ルンサイ・横山 潤. ミャンマーに分布する *Ficus religiosa* と *Ficus rumphii* (クワ科) の集団間の遺伝的構造. 日本植物学会第 78 回大会 (神奈川). 2014 年 9 月 13 日.

吉田政敬・横山 潤. シハイスミレの系統地理学的研究. 日本植物学会第 78 回大会 (神奈川). 2014 年 9 月 13 日.

鈴木政紀・牧野崇司・山岸洋貴・横山 潤. 花形質の異なるエゾエンゴサク集団間に見られる訪花昆虫相の差異. 日本植物学会第 78 回大会 (神奈川). 2014 年 9 月 13 日.

池田 (武浪) 秀子・横山 潤. 半寄生植物ヒノキバヤドリギとその寄主植物のエンドファイト菌類相の関係. 日本植物学会第 78 回大会 (神奈川). 2014 年 9 月 14 日.

横山 潤. 大型草食獣に出会った植物の生きる道～ニホンジカに抵抗する植物達～. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 公開シンポジウム 2014 年 12 月 13 日.

大橋謙太郎・横山 潤. 体色の異なるヒメクロオトシブミ集団間の揺籃内生菌類相の比較. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

池田 (武浪) 秀子・横山 潤. 半寄生植物ヒノキバヤドリギを対象とした宿主植物とエンドファイト菌類の三者の関係. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

吉田政敬・横山 潤. シハイスミレの系統地理学的研究. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

鈴木政紀・牧野崇司・山岸洋貴・横山 潤. 異なる花形質を持つエゾエンゴサク集団間にみられる訪花昆虫相の差異. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

牧野崇司・横山 潤. 送粉者の目から見た花色構成の季節変化: 互いに目立つ夏を経て、似たもの同士がふえる秋? 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

古内一平・高橋和也・岩滝光儀・横山 潤. 山形県県民の森におけるシヌラ藻の出現と環境の影響. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

長田悠実・横山 潤. ハハコグサ (*Pseudognaphalium affine*) 秋咲き個体の正体. 東北植物学会第 4 回大会 (山形) 2014 年 12 月 13 日.

土田洋子・牧野崇司・横山 潤. エゾエンゴサクの花色2型に対するマルハナバチの訪花行動:室内操作実験からわかったこと. 東北植物学会第4回大会(山形)2014年12月13日.

玉田容子・牧野崇司・横山 潤. 山形県に自生するコバノトンボソウの送粉生態に関する予察的研究. 東北植物学会第4回大会(山形)2014年12月13日.

齋藤拓哉・吉田政敬・横山 潤. ハマウツボ科全寄生植物の根圏エンドファイト菌類相. 東北植物学会第4回大会(山形)2014年12月13日.

おわりに

研究拠点では、未利用資源の有効利用を図るために、イネ科ヨシ属の多年草のヨシ、キク科アキノキリンソウ属多年草のセイタカアワダチソウ、マメ科クズ属多年草のクズなどを研究対象として取り上げてきた。ヨシは湿地、セイタカアワダチソウとクズは、伐採跡地、放棄畑、道路端などに繁茂し、大群落を形成し、生態系を攪乱する植物として知られている。そのため、これらの植物は、環境維持の観点からも対策が必要な植物である。この3年間で一定の成果が得られ、これらの植物を有効利用できる可能性があることを示すことができた。

モデル地域の真室川町では、町内の稲作農家と畜産農家（コントラクター）が連携し、飼料用米や稲わらを家畜飼料として利用し、家畜ふん堆肥を水田に施用する地域内資源循環するシステムの確立を目指した。このような耕畜連携は、輸入飼料に依存する畜産業からの脱皮を図るうえでも、今後重要性を増すものと思われる。もう1つのモデル地域の上山市は、園芸産業とりわけ果樹が盛んな地域である。この3年間で、果樹の流通期間を拡大させるための新たな流通体系について検討し、研究レベルでは一定の成果が得られた。今後この技術の実用化を目指す。

今年度はこれらの研究に加えて、下水処理水の再利用や堆肥製造施設における悪臭抑制に関する研究、ならびに、生態系における植物と送粉昆虫の相互作用の解析など、環境問題に取り組んだ。これらの取り組みが、今後の研究を通して、環境に配慮した農業生産に繋がることを期待する。

平成 26 年度東北創生研究所年次報告書

平成 27 年 9 月

編集・発行 山形大学東北創生研究所

〒990-3101

山形県上山市金瓶字湯尻 19-5

印刷

有限会社 スタジオ・ワン

〒990-3145

山形県上山市河崎二丁目 4 番 23 号

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。