

## 9. 調査研究結果等

### 9.1.長岡市における再生可能エネルギー導入促進等に向けた調査研究

令和3年度エネルギー構造高度化・転換理解促進事業費補助金

対象事業

「長岡市における再生可能エネルギー導入促進と  
新たなエネルギー産業創出に向けた調査研究業務委託」

成果報告書

令和4年3月

長岡技術科学大学

## 目次

〔事業目的および概要〕	1
(1) 市内企業におけるヒアリング・現地調査および導入シミュレーション	2
ヒアリング・現地調査事例1 (株)丸菱電子	4
ヒアリング・現地調査事例2 岩塚製菓(株)	5
ヒアリング・現地調査事例3 テラノ精工(株)	6
ヒアリング・現地調査事例4 コンドウ印刷(株)	7
ヒアリング・現地調査事例5 K社	8
導入シミュレーション事例 (株)鈴民精密工業所	9
ヒアリング・現地調査事例6 ケミコン長岡(株)	10
ヒアリング・現地調査事例7 (株)原信	11
(2) 効率的な太陽電池パネル設置方法等の調査研究	11
(3) 地域での電力融通の可能性の調査研究	19
(4) 報告会の開催	20

**令和3年度エネルギー構造高度化・転換理解促進事業費補助金**  
**「長岡市における再生可能エネルギー導入促進と新たなエネルギー産業創出**  
**に向けた調査研究業務委託に関する報告」**

長岡技術科学大学 教授 山田昇

**〔事業目的および概要〕**

2050年のカーボンニュートラル達成に向けて、長岡市の産業において再生可能エネルギーの導入を促進するため、現状の課題の整理とその解決策を探る調査研究を実施した。あわせて、多雪地域においても費用対効果の高い太陽光パネル設置技術の開発などによる地元経済への波及効果や、地域での電力融通などに向けた新しいエネルギー産業の創出の可能性を検討した。具体的には以下の4項目について取り組んだ。

(1) 市内企業におけるヒアリング・現地調査および導入シミュレーション

ヒアリングや現地調査等を実施し、再生可能エネルギー導入時の投資効果や課題について調査を実施した(シミュレーションを含む)。また、調査結果に基づいて再生可能エネルギー導入促進の方策を検討した。

(2) 効率的な太陽電池パネル設置方法等の調査研究

特別豪雪地帯に指定されている本市において、発電効率が高く、費用対効果に優れるパネル設置方法などの調査研究を実施した。また、地域経済への波及効果について可能性を検討した。

(3) 地域での電力融通等の可能性の調査研究

上記(1)及び(2)の結果から、地域での電力融通に向けた新しいエネルギー産業創出の可能性を検討した。

(4) 報告会の開催

上記(1)から(3)の成果について、広く市民や企業を対象とした報告会を開催し、理解促進に努めた。

### (1) 市内企業におけるヒアリング・現地調査および導入シミュレーション

再生可能エネルギーの中で、現時点において入手性、コスト、導入までのリードタイムの面で最も導入検討しやすいと考えられる太陽光発電を調査対象とした。長岡市に拠点を有する企業のうち、①使用電力が特に大きい企業、②すでに再生可能エネルギーの導入を行っている企業、③市内で最も積雪が少ない寺泊地域の企業（長岡市建築基準法施行細則による）、④これから再生可能エネルギーの導入を見込んでいる企業を対象としてヒアリング・現地調査および導入シミュレーションを実施した。

調査結果を次頁以降の「ヒアリング・現地調査事例1～5」にまとめた。2020年以降、市内でも太陽光発電を導入する企業が増えていることがわかった。取引先の銀行を通じてSDGs対応として導入するケースが多くみられた。導入形態としては、2020年以降は自家消費型に一部FIT売電を組み合わせたものが主流であり、投機的なFIT売電からSDGs/ESG経営を目的とする自家消費型への移行が進んでいる。夏場の消費電力ピークカット、それによる契約電力の低減を動機とするケースが多く、とくに太陽電池パネルを屋根面（多くの場合、金属折半屋根）に設置することによる遮熱効果（屋根面への日射量の低減効果）に期待して導入するケースが複数あった。設置業者との契約はPPA(Power Purchase Agreement)、リースなど、企業によって異なるが、いずれのケースも定期検査や故障時の保証が含まれた契約を設置業者と交わしており、低日照時の発電量の下振れに対する保証が含まれているケースもある。PPAは導入からメンテナンスまで企業側の費用負担がほとんど無いため、今後も期待されるが、契約のためには一定以上の設置規模（発電容量）が必要となっている。

2020年以降の導入設備は、屋根面に対して並行にパネルを設置するケースが多く、以前のように傾斜架台を使っていない。180cm相当の積雪荷重に耐えるように設計されている太陽電池パネルが市販され、価格も以前に比べて低下したことなどから、設置コスト増の要因となる傾斜架台の使用を避ける傾向にあるものと推察される。雪によってパネルが破損するリスクについては、故障時の保証がなされているため、ことさらに心配している企業は無かった。

各企業における自家消費型の再エネ導入比率（電力消費量のうち再生可能エネルギー発電量、ここでは太陽光発電量、が占める割合）は5～24%と、企業の特性によって幅がみられた。市内で最も積雪量が少ない寺泊地区にある企業（製造業）の工場屋根に太陽光発電を導入した場合のシミュレーション結果を「導入シミュレーション事例」に示す。写真に示すように敷地内の工場建屋の屋根面（A～H）に粗く見積もって300kWの発電システムの設置が可能であり、これにより約14%の年間電力量を太陽光で賄えると試算された。自社で設置費用を負担した場合、直近の電力料金を仮定すると設置費用の回収に10～15年を要する（設

置コストは屋根の状態などによって幅がある)。なお、PPAの場合は設置費用がかからず、発電業者から再エネ賦課金の上乗せが無いグリーン電力を購入できる。

比較的に電力消費量が少ない企業では、蓄電池の導入や機器の稼働時間を太陽光発電量が増える時間帯にシフトすることなどにより、再エネ比率をさらに高められる可能性がある。一方、電力消費量が多い企業では、自社の屋根への太陽光設置だけでは限界があり、駐車場や敷地への設置、後述するマイクログリッド化による電力融通、地中熱などの他の再エネの導入、徹底した省エネ化などを行う必要がある。

工場建屋への太陽光設置の課題としては、屋根材の経年劣化などの観点から古い工場への導入が見送られるケースがあること、設置業者が限られていること、多雪地域での長期にわたる実施例(=実績)が未だ少ないことが挙げられる。現状では、本市のような多雪地域においても太陽光発電が有効な手段の一つになり得るという認識が十分に広まっていない。

## ヒアリング・現地調査事例 1 株式会社丸菱電子

業種（場所）	製造業（川西地区）
特徴	エネルギー消費のほとんどが電気。 電気炉、焼入れ装置の電力消費が大きい。
年間電力量	～900,000 kWh
導入時期	2021年10月稼働
導入規模	41 kW(120枚) + 33 kW(96枚) ←太陽光パネル容量
導入場所	事業所折半屋根（傾斜17度、水平）
利用形態	自家消費（非PPA） + 微量FIT売電 再エネ比率：約7%
雪対策	故障の場合は設置業者が保証。定期チェックをしてくれる。 屋根は雪止め仕様。雪下ろしはしない。
投資回収	約10年
動機	以前から自社工場で再エネ導入を行っていたが、SDGs対応が必須となった昨今において、この地域ではまだまだ意識が低いので、積極的に先陣を切って導入した。サプライチェーンからの要望は今はそれほど無いが（数社から問い合わせあり）、今後絶対に増える。重要なポイントになる。
今後	グループ会社が市内工業団地に工場を建設中。そちらへの設置も検討。



## ヒアリング・現地調査事例2 岩塚製菓㈱

業種（場所）	食品製造業（越路地区）
特徴	エネルギー消費の半分が電気（残り半分はガス）。 とくに積雪が多い地域（垂直積雪量 300cm <sup>※</sup> ）。
年間電力量	～5,000,000 kWh
導入時期	2021年4月稼働
導入規模	440 kW(892枚)
導入場所	事業所折半屋根（水平）
利用形態	自家消費（PPA） 再エネ比率：約5%
雪対策	下地にクッション材を入れている。屋根の端には設置しない。 故障の場合は設置業者が保証（雷による故障があったが無償で修理）
投資回収	PPAのため、関係なし
動機	夏のピーク電力を抑え、契約電力を低減。夏は排気ファン、空調がフル回転。夏は日射が良いので太陽光発電とマッチすると考えた。 PPAは導入リスクが無い。
今後	来年、市内もう一カ所の事業所に設置する。ほぼ同じ規模。SDGs対応は必須。

※長岡市建築基準法施行細則



### ヒアリング・現地調査事例3 テラノ精工㈱

業種（場所）	製造業（三島地区）
特徴	エネルギー消費のほとんどが電気。
年間電力量	～ 300,000 kWh
導入時期	2021年7月稼働
導入規模	103 kW(300枚)
導入場所	事業所折半屋根（水平）
利用形態	自家消費（非 PPA）＋余剰電力（土日）は FIT 売電 再エネ比率：約 24%
雪対策	故障時は設置業者が保証。雪で割れることはないと説明。 古い屋根には導入しづらい。最低発電量を業者が保証。
投資回収	13年（リース契約）
動機	銀行から SDGs 対応として紹介。発電も魅力だが、屋根の遮熱効果 UP に魅力を感じた。夏、機械が熱くなると工作精度に悪影響。空調負荷を減らしたかった。断熱性 UP のため二重折半屋根も採用。導入後、体感的な暑さがまるで違う。
今後	効果が出れば増設する。まだ顧客から言われたことはないが、大手は脱炭素対策をしている企業と付き合いと言っている。サプライヤーの強みとしてアピールしていく。環境に配慮して製造していることを社員にも知ってもらおう。





#### ヒアリング・現地調査事例4 コンドウ印刷㈱

業種（場所）	印刷業（川東地区）
特徴	エネルギー消費のほとんどが電気。
年間電力量	～240,000 kWh
導入時期	2020年4月稼働
導入規模	55kW(180枚) + 54kW(172枚)
導入場所	事業所折半屋根（水平）
利用形態	55kWを自家消費（非PPA） + 54kWを全量FIT売電 再エネ比率：約13%
雪対策	雪の心配はしていない。問題があれば設置業者が交換してくれる（ドローン等で定期点検）。雪下ろしをしたことはない。
投資回収	13～15年
動機	銀行からSDGs対応として紹介。印刷業界は省エネを頑張っている。職場の温度環境が改善（28℃以下にする必要あり）。電力の基本料金も低減。導入前は夏がピーク、導入後は冬がピークになった。
今後	RE100を達成したい。無駄になっている分があるので蓄電池の導入、機械の稼働時間帯のシフトなどにより効率UP。最終的にすべて自家消費に切り替える。デマンド閲覧サービスの導入など、見える化により社員の省エネ意識を高めていく。

発電システムの写真やCO<sub>2</sub>削減効果は同社ウェブサイトで紹介されている

<https://www.kondo-printing.com/pages/29/>

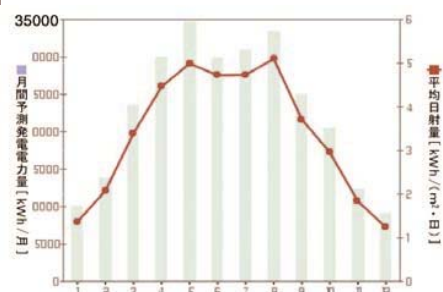
## ヒアリング・現地調査事例5 K社

業種（場所）	卸業（川西・川東地区）
特徴	早い時期から太陽光を導入
年間電力量	—
導入時期	2013年
導入規模	100 kW(川西) + 50 kW(川東)
導入場所	駐車場（35度）、倉庫屋根（35度）、壁面（75度）
利用形態	全量FIT売電 売電価格 ¥40/kWh（FIT制度スタート時の高い買取価格）
雪対策	傾斜設置。影に強いパネル（IGS）
投資回収	17～18年。実際は相続税対策として回収済み
動機	相続税対策が主だったが、地域で先導的な取組みもしたかった。やってよかった。
今後	機器を更新しながらずっと使っていく。卒FIT後は自家消費と、余剰分は地域電力会社などに売電したい。蓄電池を導入してEV充電に使うことも検討。



### 導入シミュレーション事例 (株)鈴民精密工業所

業種 (場所)	製造業 (寺泊地区)
特徴	エネルギー消費のほとんどが電気。 積雪が少ない地域 (垂直積雪量 100cm <sup>※</sup> )
年間電力量	~2,000,000 kWh
導入規模	300 kW
導入場所	事業所折半屋根 (14度)
利用形態	自家消費 (非 PPA)      再エネ比率: 約 14%
投資回収	10~15年
今後	グループ会社の本社が脱炭素化に取り組み始めた。動向をみながら、会社に合うものを取り入れたい。塩害で屋根が錆びやすい点が気になる。



## ヒアリング・現地調査事例6 ケミコン長岡㈱

業種（場所）	製造業（川西地区）
特徴	自社製品（蓄電デバイス）の再エネ市場への展開
導入場所	事業所屋根、敷地
利用形態	低日射でも高効率な蓄電システム 植物工場（水耕栽培）への適用
雪対策	傾斜設置
今後	部品メーカーだが、使い方のPRも兼ねてアプリケーションの開発も行いたい。日本海側でデメリットになっている部分をリカバリーする技術にしたい。太陽光以外の再エネとの複合化。産学官で良いものを作りたい。



## ヒアリング・現地調査事例7 株原信

### 中之島エリアのマイクログリッド化について

検討段階

1. 目的  
・脱炭素（積極的な再エネ活用）推進事業  
・レジリエンス強化型の地域社会実現



#### 2. 背景

- ・中之島エリアに再エネ活用とレジリエンス強化の環境が必要と考える為。 ※別紙参照。
- ・長岡市内（＝雪国地域）でも再エネ活用とレジリエンス強化を両立するモデル作りがあって良いのではないかと懸念。  
※雪国から企業が離れていることを懸念。
- ・今後更に電気料金の値上げ、炭素税導入等のコストアップのリスク高まる。



### (2) 効率的な太陽電池パネル設置方法等の調査研究

図1に太陽光発電の都道府県別の導入ポテンシャル（左）と、実際の導入実績を導入ポテンシャルで割り算した実績値（右）を示す。新潟を含む日本海側の東北・北海道においてポテンシャルに対する実績値が低い。新潟は導入ポテンシャルが群馬などと同程度であるにもかかわらず、導入が進んでいないことがわかる。これらの地域は多雪地域でもあり、雪が導入のブレーキになっているものと推察される。夏に比べて冬の日射量が低く、積雪もあることから、雪国で太陽光発電は無理だという先入観があること、架台の積雪荷重対策のために導入コストが増えること、結果的に導入例が少なく、実績が少ないことが悪循環になっている。この課題の克服を目指して、多雪地域において効率的な太陽電池パネル設置方法等を調査研究した。

まず、シミュレーションによりパネル設置方法による発電量の違いを解析した。図2に10kWシステムの年間発電量の結果を示す。左のグラフはパネルの傾斜角を0度（水平）、30度、90度（垂直）にした場合の発電量について長岡と

東京を比較したものである。東京 0 度の年間発電量を 1 とすると、長岡では 0.94 となり、東京に比べて大差が無いことがわかる。ここで、青色の棒グラフは 1～12 月の発電量を単純に積算したものであり、その隣のオレンジ色の棒グラフは 12～2 月の冬期 3 ヶ月の長岡での発電量をゼロと仮定した場合の年間発電量である。冬期 3 ヶ月の発電がゼロの場合でも年間発電量は 0.82 となり、それほど下がらない。本市では冬期の日射量は少ないが、冬期以外の日射量が比較的に多いため、仮に冬期は積雪の影響でほとんど発電しなかったとしても、年間発電量への影響は小さい。この傾向はパネルを 30 度で南向きに設置する場合でも同様である。パネルを 90 度（垂直）で南向き設置する場合でも 0.82 となった。垂直設置のケースで冬期 3 ヶ月の発電量をゼロと仮定すると、0.65 まで低下するが、垂直面の場合は冠雪がほとんど無いため、ここまで下がることは考えられない。右のグラフは垂直設置について、より詳細に比較解析を行った結果である。左の 4 ケースは従来の片面受光太陽電池パネル（表面だけが発電するパネル）を東西南北に向けた場合の年間発電量であり、長岡 30 度（南向き）の場合の年間発電量を 1 とすると、0.38～0.67 まで低下することがわかる。このことから、建物の壁面などに太陽電池パネルを設置する場合は、傾斜設置にくらべて発電量の落ちが大きいと、より低コストで設置する必要があると言える。これに対して、最近、欧米・中国を中心に導入が進んでいる両面受光太陽電池パネル（表面と裏面の両方で発電するパネル）を用いて、パネル面を東西もしくは南北に向けて垂直設置した場合は 0.9～0.97 と、高い発電量が得られる結果となった。なお、これらの垂直設置のケースでは雪による日射遮蔽効果は考慮していない。垂直設置の場合は、パネル面に冠雪はしないが、地面の積雪が深くなり、パネル下部が雪に隠れると発電量が低下するものと考えられる。

以上のシミュレーション結果から、仮に冬期 3 ヶ月の発電量が冠雪の影響でゼロの場合であっても東京の年間発電量の 76～97% の発電が可能であることが明らかとなった。つまり、本市でも太陽光発電は十分にポテンシャルがあり、冬の低日射量を理由として導入をあきらめるべきではないと言える。そして、多雪地域で効率的なパネル設置手法の 1 つの方向性としては、冬期の発電量は期待せず、その代わりにパネルや架台が雪で壊れないように、できるだけ低コストに設置することが考えられる。

この方向性の技術的な可能性を検証するため、図 3 に示すような 2 種類の設置形態の実証実験システムを長岡技術科学大学のキャンパスに設置した。2 種類のうち 1 つは垂直両面受光太陽電池パネル（左）である。パネルの表面、裏面がそれぞれ西向き、東向きになるように設置した。市内の看板メーカー（株カンコー）に協力を依頼し、架台を設計していただき、最小限の材料で構成した。この設置方法では、積雪時にパネル下部が雪に埋まることはあってもパネル面に

作用する積雪荷重は低くなるため、従来の傾斜架台に比べて架台構造を簡単化できる。また、図に示したように雪面で反射する日射を捉えることができるため、発電量の向上も期待できる。垂直両面のアイデアは以前からあったが、最近、両面受光パネルの低価格化が進み、普及できる可能性がある。全国的にみると類似例が散見されるが、地面等への固定方法・施工法を設置規模や条件に応じて最適化するなど、低コスト化に向けた技術開発の余地がある。2種類のうちもう1つは、ほぼ水平な折半屋根に高耐荷重パネルを取り付け金具のみで簡単に緊結した形態である。ヒアリング・現地調査でも示したように、本市の製造業等の工場建屋は勾配がほとんどない金属折半屋根が多いため、高耐荷重の太陽電池パネルを直接屋根に緊結する方法が最もシンプルである。現在入手できるパネルの中で最も高耐荷重のパネルを使用した。通常の降雪地域向けパネルの耐荷重は5400Pa（垂直積雪量180cm相当）だが、実験で用いたパネルの耐荷重は10000Pa（垂直積雪量333cm相当）である。大学のある地域は建築基準法が定める垂直積雪量が250cmの地域であり、実験で用いたパネルは雪下ろしを前提条件にしない場合でもこれに適合している。市内のソーラー金具メーカー（㈱サカタ製作所）の協力により、適切な金具と個数を選定していただいた。また、両システムの電設工事は太陽電池パネル設置の実績がある市内業者（㈱イトラスト）に協力いただいた。図4に2022年2月18日の実験システムの様子を示す。この日の積雪深は110cmで、垂直設置パネルの下段のパネルの約2/3が雪に埋もれている。今シーズンの最深積雪は2月23日の113cmであり、この写真の状況に近かった。なお、本実験では積雪の影響を検証しなかったため、パネルの地上高を低めに設定している。実用化の際は、より高めに設置することも可能である。写真の黄色矢印の屋根面には高耐荷重パネルが設置されており、完全に雪に埋まっている。図5に垂直設置パネル（写真右側の4枚分）の発電量の日変化を示す。晴れ間が多かった2月14日（日照時間7.8hr）には約800Wの発電が得られた（写真左側の4枚も同等に発電していた）。これは定格出力の82%に相当する。このとき、パネル近傍の支柱に取付けた上向きと下向きの日射計の測定値から、雪面での反射率が70%前後あることが確認でき、反射による日射増強が一定量あることが示唆された。なお、東側にある建物の影による影響で午前中の発電量は低めである。2月15日（日照時間0.7hr、降雪3cm）、2月16日（日照時間1.4hr、降雪1.4cm）は典型的な冬の日であったが、日射変化に応じた発電出力が得られている。発電特性（電流—電圧特性）の計測データより、雪に埋まったパネルの分だけ発電量が低下していることがわかった。この特性は下段のパネルがほぼ同じ比率で雪に隠れていくことと、パネルに内蔵されたバイパス回路（日陰になった部分をバイパスして電流が流れる仕組み）によるものである。これに対して、図6のような従来型の傾斜架台システムの場合は、雪に覆われたパ

ネル面積比率以上に発電量が低下する傾向がある。これは直列に接続されたパネルのうちの1枚が雪に完全に覆われた場合、そのパネルの電流に全体の電流が律速されてしまうためである。

結果として、垂直設置パネルは積雪によって壊れることなく、雪に埋まらないパネルが反射日射を捉えることで日中は発電量が得られた。一方、水平設置した高耐荷重パネルは積雪によって1~2月は発電しなかったが、積雪によって壊れることなく、3月に雪が消えてからは問題なく発電していることが確認された。これらのパネル設置手法は構造や工法の最適化により、低コストに実施できる可能性があり、地域企業との連携による製品化と普及が期待できる。

大学キャンパスでの実証実験では2種類の設置形態を検証したが、ほかに図7に示すような軽量太陽電池パネルを建物壁面などに適用することが考えられる。このような建物への融合はBIPV(Building Integrated Photovoltaics)と呼ばれている。ペロブスカイト太陽電池などの新しい低コスト・高効率・軽量太陽電池の研究開発も急ピッチで進められており、実用化が期待されている。長岡技術科学大学においても軽量曲面太陽電池パネルの開発を行っている。従来の太陽電池パネルは厚めのガラスを使用しているため単位面積当たりの重量が10kg/m<sup>2</sup>ほどあるが、最近、海外市場で出始めているガラスレスのパネルは従来の1/4と軽く、接着剤等で簡単に貼り付けられることなどから、より低コストに壁面等に適用できる。まだ実績が浅く、とくに雪国での長期信頼性については実証実験が必要であり、これについても最適なパネル設置手法を開発する必要がある。地域のものづくり企業と大学などが協力して先行して開発することができれば、他の多雪地域にも市場展開できる。



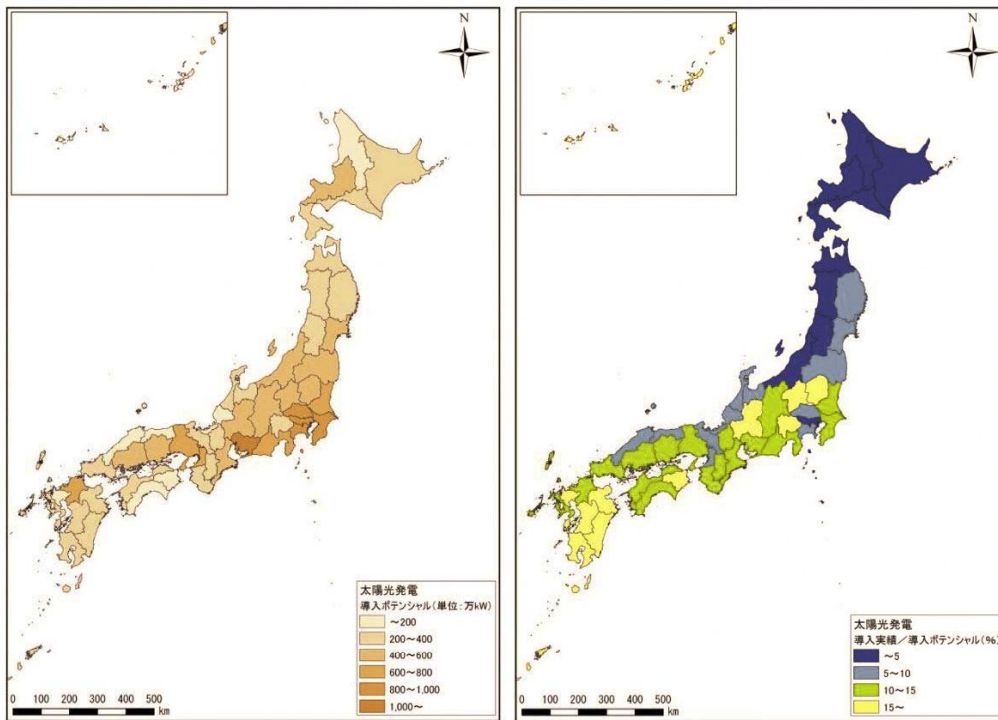


図1 太陽光発電の都道府県別の導入ポテンシャル(左)、  
導入実績/導入ポテンシャル(右)

環境省平成29年度再生可能エネルギーに関するデータ基礎情報等の整備・公開に関する委託業務報告書より

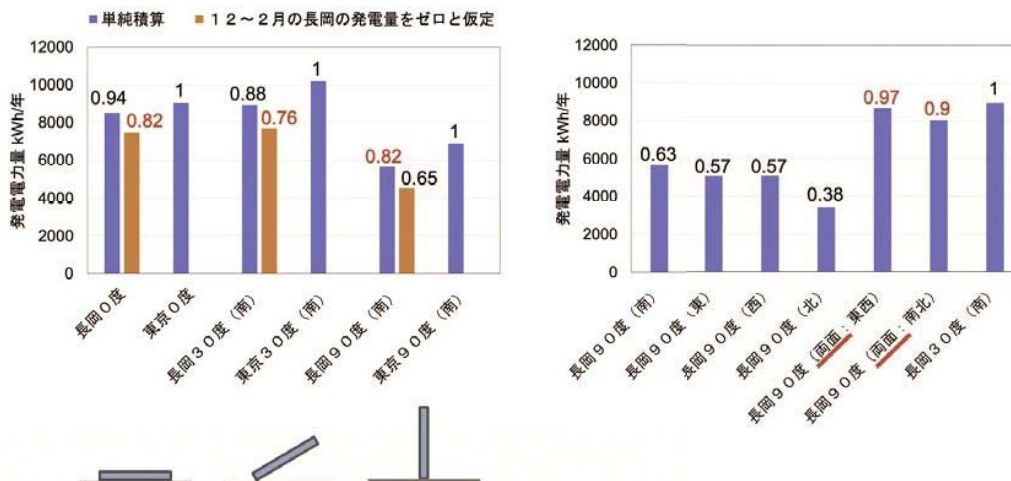
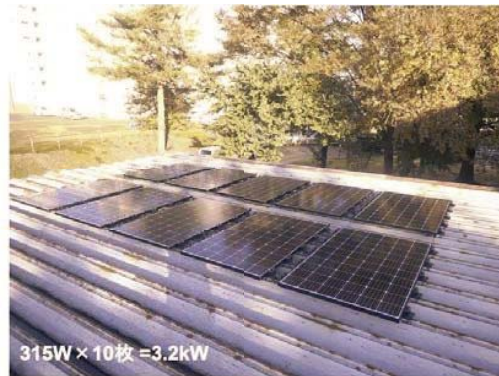
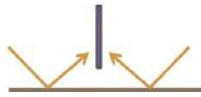


図2 パネル設置方法の違いによる発電量シミュレーション

日射量データ: NEDO(独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)/(財)日本気象協会「日射関連データの作成・調査」



垂直両面受光パネル



耐荷重パネル

耐荷重: 10000Pa  
(垂直積雪量: 333cm相当)

図3 技大に設置した実証実験システム



図4 積雪 110cmでの実証実験システムの様子  
(黄色矢印の屋根面に耐荷重パネルが搭載されている)

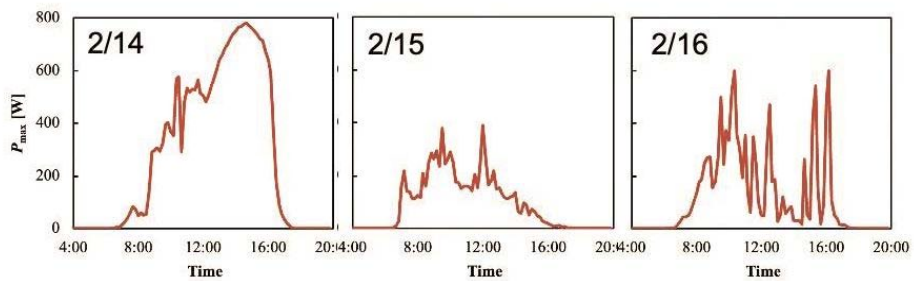


図5 垂直設置パネル (片側のパネル4枚分、容量 980W) の発電データ



図6 従来型傾斜架台システムの冠雪状況

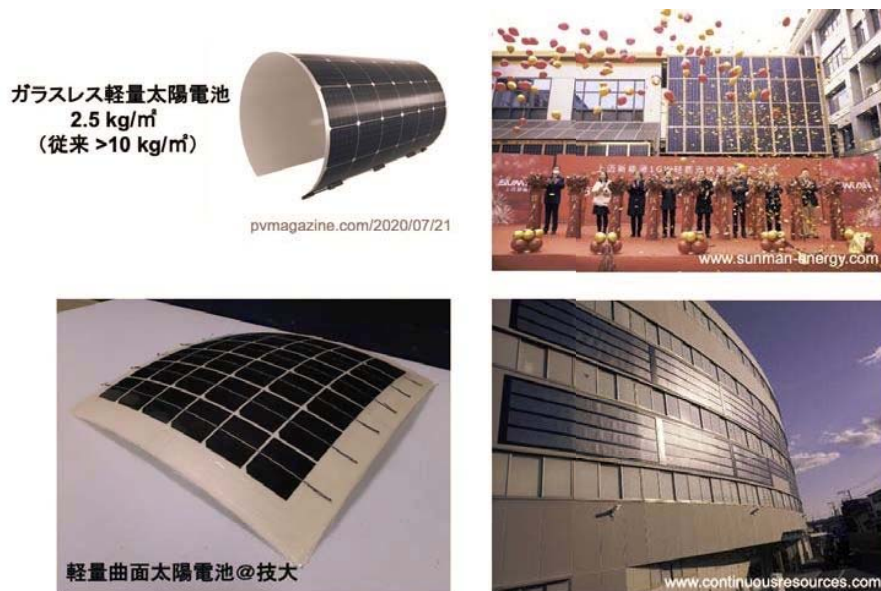


図7 開発と実用化が進む軽量太陽電池の例



図8 地域マイクログリッドによる電力融通のイメージ

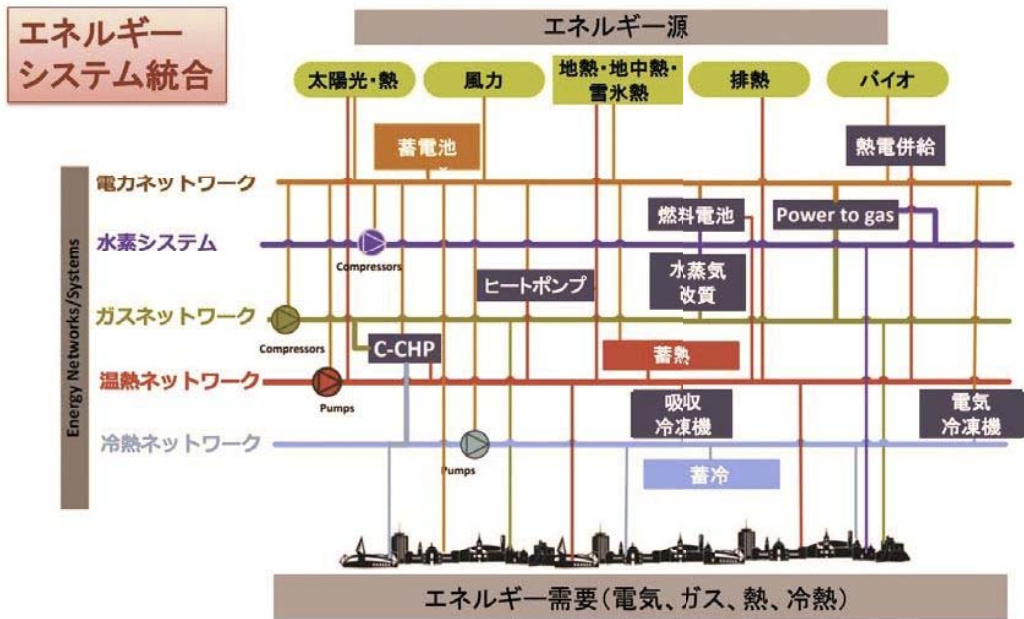


図9 地域におけるエネルギーシステム統合のイメージ

Abeysekera et al.: Integrated energy systems, Hbnet position paper (2016)を基に改変

### (3) 地域での電力融通の可能性の調査研究

太陽光は雪国でも普及促進すべきポテンシャルがあることが示されたが、ヒアリング・現地調査および導入シミュレーションの結果より、使用電力量が大きい工場においては、自社の屋根および敷地に設置する太陽光発電システムだけで再エネ比率を100%近くまで高めることは困難と思われるケースがみられた。また、冬期においては太陽光の発電量は期待できない。この課題の有効な解決策は図8に示すようなマイクログリッドの構築である。マイクログリッドとは平常時には再エネを効率よく利用し、災害などの非常時には大型発電所からの送配電系統（いわゆるグリッド）から独立し、エリア内でエネルギーの自給自足を行う送配電の仕組みのことであり、停電リスクを抑え、エリア内の再エネなどを地産地消できるため、平常時、非常時の両方でメリットがある。ヒアリング・現地調査事例7に示すように、本市の中之島エリアでもスーパーマーケット関連企業を中心に導入検討が進められている。例えば、物流業者などの広い屋根を持つ企業が太陽光を導入し、エリア内にある他の業者に発電電力を融通すれば再エネ比率を向上できる。太陽光以外の再エネ電源（バイオマス発電など）を組み合わせることもでき、さらに蓄電池を導入することで再エネ電力の変動を抑制するとともに、非常時電源としても利用できる。中之島エリアの事例においても、非常時には地域の避難所である体育館などに電力を供給することが検討されている。国の方針においても再エネ電源の普及は地域活用とレジリエンス向上がセットになっており、地域マイクログリッドの普及を推進している。近隣に耕作放棄地、未利用地がある場合は、そこでの再エネ発電をマイクログリッドに導入することも考えられる。営農型太陽光発電を導入する農業法人との契約もあり得る。マイクログリッドの構築にはエリアの状況によって自営線の整備・維持が必要になるなどコストもかかるため、エリア内の企業のメリットを最大化する仕組みづくりが鍵となる。また、地域の防災が絡む場合は、地域住民、自治体との連携・協力が必要となる。

世界的に見ても脱炭素化は、まず、電力を対象として推進がなされているが、二酸化炭素排出量のうち非電力（大部分は熱需要）が占める割合は電力よりも大きく、マイクログリッドもやがて電力だけではなく、熱エネルギーの融通を含めたシステムへと統合・発展する方向が示されている。図9は地域におけるエネルギーシステム統合のイメージである。複数の再生可能エネルギー源が複数のエネルギーネットワークと高度に連結されている。太陽光をはじめとする再生可能エネルギー源を地域に最大限に導入するとともに、既存の電力、ガスネットワークも活かし、電気と熱を併給することが重要である。電力ネットワークおよびガスネットワークには電力・ガス会社によってカーボンオフセットされた電気、ガスが一定量供給されてくると予想されるが、地域内でグリーンな電源・熱源シ

システムをできるだけ多く持つことが地域の強みになると考えられる。したがってグリーン熱源としてのバイオマス、地中熱、雪氷熱や、熱電併給のコージェネレーションについても即効性のある利用技術の開発と導入推進が期待される。

脱炭素化の達成に向けて、ものづくり産業が盛んな本市において、多くの企業はサプライヤーとして二酸化炭素排出量削減への対応が迫られ、設備投資などの負担が増えることが予想されるが、欧州などでは既存のエネルギーシステム、市場の構造、価値観が変革することを勝機と捉え、新たな製品・サービス開発などのポジティブな動きが先行している。本市のような多雪地域での再生可能エネルギー導入と省エネルギー化を推進するためには、少雪地域とは異なる技術開発と社会実装が求められるため、地域企業が市場参入できるチャンスが大いにある。一例として、**ヒアリング・現地調査事例6**のように自社製品（自動車に使われている蓄電ユニット）の特長を活かした新規システムの開発を進める企業も出始めている。太陽光発電については、前述のように雪国に特化した低コストパネル設置技術などを地域企業の実績とノウハウを結集して製品化し、他の地域へも市場展開できる可能性がある。また、メンテナンス、設備更新、廃棄・リサイクルなどの関連産業も地域で育成・振興の余地がある。経年した建物などへのパネル設置について適切な補強構造を設計できる人材・サービスが必要である。マイクログリッドの構築については、地域企業が得意としているバイオガス発電機などの太陽光以外の再エネ電源、複数の電源と蓄電池の電力を需要家のニーズに合わせて柔軟に供給するための電力制御、EV普及に必須となる雪国仕様の高速充電ステーションなどの開発の余地がある。また、省エネルギー化については、工場等で多数稼働しているモータの電力削減のための高効率インバータ、高効率モータの開発などが求められており、大学と企業が連携したパワーエレクトロニクス産業の活性化が期待される。

ヒアリング・現地調査事例からもわかるように、企業が再エネを導入する意義は、単なる社会貢献ではなく、企業の利益に直結してくる。直近の電力料金の削減に加えて、今後はカーボンプライシングなど、排出量に対するペナルティが課される可能性が高い。すでに大企業はサプライチェーンに二酸化炭素排出量の情報開示を求める動きがある。また、社員の雇用にも影響があると言われている。SDGs 教育を受けた若い世代は SDGs に対してしっかりとした取り組みを行っている企業を就職先に志望する傾向があると言われている。2050年のカーボンニュートラルを達成するためには、直近10年の動きがとくに重要だと言われており、全てのセクターにおいて、できることから早期に着手する必要がある。

#### （4）報告会の開催

2022年2月21日にアオーレ長岡にて本事業の成果報告会を行った。

## 9.2. 中山間地域における産業創出に向けた調査研究

令和3年度

環境型産業創出に向けた調査研究業務

報告書

2022年2月28日

長岡技術科学大学

准教授 山本麻希

## 目次

1	目的	1
2	業務実施場所	1
3	業務実施期間	1
4	業務内容	2
5	調査報告	2
	(1) 木質バイオマス発電・熱利用等の産業創出に向けた	
	基礎データ・有用性等に係る調査	4
	ア 長岡市の森林の現状について	4
	イ 長岡市における林業施業の現状と維持管理可能な森林	8
	ウ バイオマス資源として木材を活用する際のボトルネック要因	14
	エ 長岡市における最適なバイオマス利活用法	19
	オ プラスチックのリサイクルについて	28
	カ 長岡の広葉樹林業の可能性について	32
	(2) 長岡市内の耕作放棄地の資源・未利用資源を活用した	
	新たな商品開発や産業創出に関する調査	44
	ア 長岡の中山間地域の現状	44
	イ 里山の循環利用に欠かせない畜産	55
	ウ ヤギやウシを利用した放牧畜産の可能性	59
	エ 畜産への未利用資源活用の可能性	70
	オ 放牧が鳥獣被害対策や子供たちの教育に果たす役割について	78
	カ その他の中山間地域における未利用資源の利活用について	79
6	シンポジウムの開催	83
7	参考文献	83
8	謝辞	87



## 1 目的

長岡市に交付された令和3年度エネルギー構造高度化・転換理解促進事業費補助金対象事業「持続可能な循環型社会推進事業調査研究事業」の一環として、長岡市内の耕作放棄地や今まで活用されてこなかった森林などの木質バイオマス等を対象に、地域の再生可能エネルギーとしての活用や商品としての生産、高付加価値化によるブランド化、関連した加工、販売、観光など新たな産業創出に向けて、木質バイオマス発電・熱利用等の産業創出に向けた基礎データ・有用性等に係る調査を行う。

また、調査を通じて里地里山等の地域の自然資源を見直し、持続可能な活用を行うための検討を進めることで、環境型の産業や雇用を創出し、地域の活性化を目指す。

## 2 業務実施場所

長岡市内一円

## 3 業務実施期間

令和3年7月2日から令和4年2月28日までとする。

## 4 業務内容

(1) 木質バイオマス発電・熱利用等の産業創出に向けた基礎データ・有用性等に係る調査研究

### 実施内容

- ① 森林資源、里山の未利用資源に関する基礎データの収集
  - ② 上記①のデータの利活用に関する調査研究
- (2) 実現可能性が高い政策及び具体的な方策の提案
- (3) 理解促進活動の実施

## 5 調査報告

本調査は、「長岡市内の耕作放棄地や今まで活用されてこなかった森林などの木質バイオマス等を対象に、地域の再生可能エネルギーとしての活用や商品としての生産、高付加価値化によるブランド化、関連した加工、販売、観光など新たな産業創出に向けて、木質バイオマス発電・熱利用等の産業創出に向けた基礎データ・有用性等に係る調査」と位置付けられていることから、主に次の2つの項目について個別に調査報告を行う。

- (1) 木質バイオマス発電・熱利用等の産業創出に向けた基礎データ・有用性等に係る調査
- (2) 長岡市内の耕作放棄地の資源・未利用資源を活用した新たな商品開発や産業創出に関する調査

(1) 木質バイオマス発電・熱利用等の産業創出に向けた基礎データ・有用性等に係る調査

ア 長岡市の森林の現状について

長岡市の森林面積は、43,773 ha（総面積の49.1%）であり、そのうち民有林面積が41,447haを占める。民有林のうち、人工林が10,981 ha（人工林率26.5%）を占め、特に、旧三島町地区は拡大造林の推進地域となっている（長岡市 2018）。残りの73.5%は、かつて薪炭林であった天然林で、30,466haを占める（長岡市 2018）。

これらの民有林の所有面積戸数は図1のとおりである。5 ha未満の小規模な所有者がほとんどを占めている。

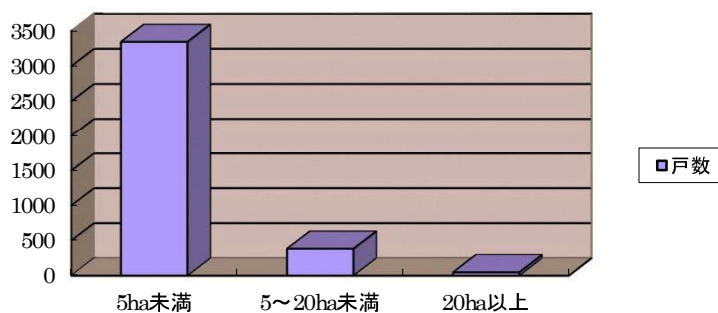
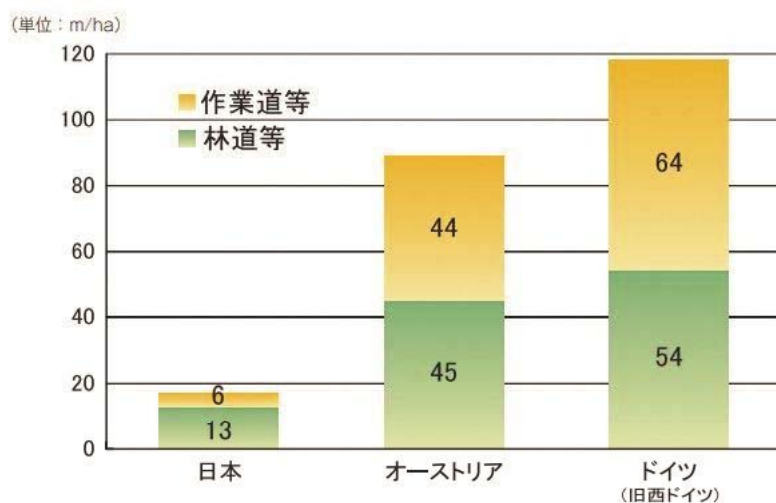


図1 市森林所有者の所有面積戸数（長岡市 H30 森林整備計画より引用）

また、長岡市における林道の総延長距離は、170,304 mであり、森林1 haあたりの林道の延長（林道密度）は、4.1 m（人工林、天然林両方を含む）と

なっている。また、作業道の総延長距離は、86,775 mであり、1 haあたりの作業道の延長（作業道密度）は、2.1 mとなる。



資料：BFW「Osterreichische Waldinventur」、BMELV「Bundeswaldinventur(BWI)、林野庁業務資料」  
 注：オーストラリアは、Osterreichische Waldinventur 1992/96による生産林の数値  
 ドイツ(旧西ドイツ)はBundeswaldinventur 1986/1989による数値  
 日本は都道府県報告による平成24(2012)年度末現在の開設 実績の累計

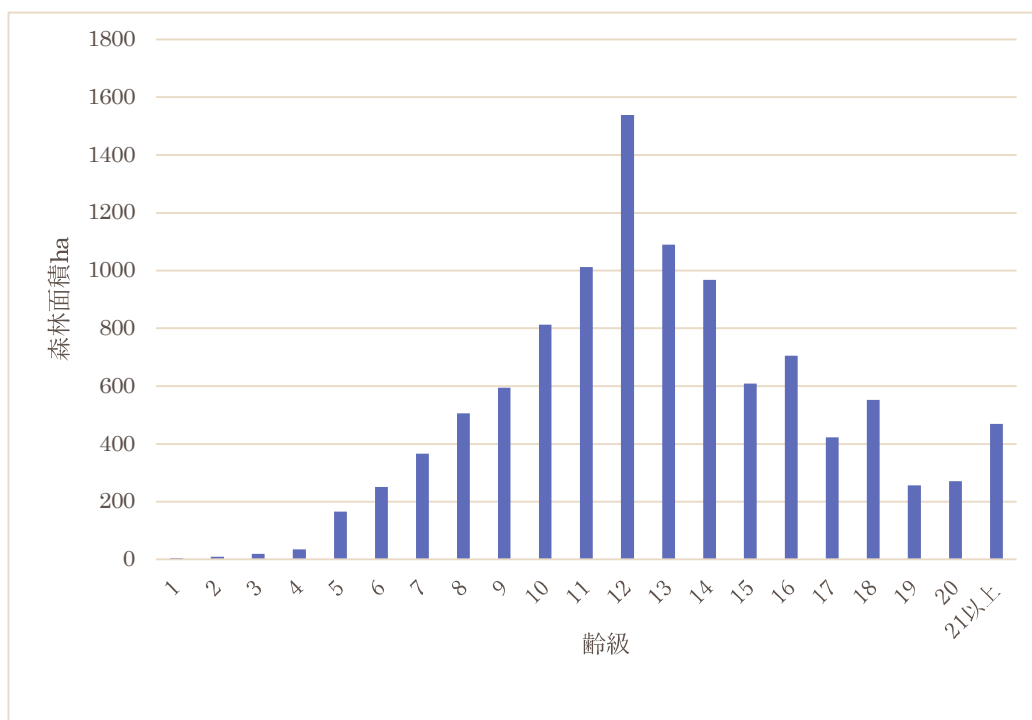
図2 林内路網密度の諸外国との比較（林野庁 HP フォレスターの指導書より引用）

図2のとおり、林業の機械化が進んだ諸外国の林道密度は、45~54 m/ha、日本では平均13 m/ha、長岡市では平均4.1 m/haである。作業道密度は、諸外国では、44~64 m/ha、日本は平均6 m/ha、長岡市は平均2.1 m/haである。長岡市の林道は、林内路網が未発達な日本の森林の中でもさらに整備が遅れて

いる状況であり、施業の効率化を図るのが困難な状況となっている。一方で、現在、林野庁は、森林経営管理法<sup>注)</sup>に基づいた林地の集約化と管理を進めるよう働きかけている。前述の通り、日本の経済林には森林施業のための林道の整備が不可欠である。森林経営計画が組める森林では伐採・搬出の経費に国・県からの補助が得られるし、森林環境譲与税を林道・作業道の整備に使うことも難しくない。今後、長岡市において森林バイオマスを活用するためには、市の計画とそれに基づく路網の整備計画が不可欠である。

長岡市の人工林（スギ林）の齢級別面積のグラフを図3に示す（新潟県農林水産部治山課 長岡市資源構成表より）。

注) 森林経営管理法： 森林の経営管理が行われていない森林を市町村が仲介役となり森林所有者と民間事業者をつなぐことで適切な経営管理をおこなう制度。



**図3 長岡市域の人工林（スギ林）の齢級別面積（新潟県農林水産部治山課  
長岡市資源構成表より作成）**

日本の人工林は、1960年代以降に行われた拡大造林政策時代の同一時期に植林されたものが多いため、そのほとんどが現在伐期を迎える林齢となっている。現在の長岡市域では、12齢級（56～60年生）のスギ林が1,538 haと最も多くなっており、最も多い11～14齢級（51～70年生）のスギ林面積の合計は、4,607 haを占める。一方、1齢級（1～5年生）のスギ林は4.56 haと極端に少なくなっている(図3)。長岡市の森林整備計画では、スギの標準伐期齢は45年

生となっているが、実際の伐期は60～70年生が中心となっている。現実の主伐では、標準伐期齢の2倍×0.8以上＝72年生以上（長伐期施業）を実施しているとのことだった。つまり、51～70年生の森の合計4,607 haの森林面積をこれから20年の間に主伐していかねばならない。また、15齢級以上（71年生以上）の森林面積の合計は3,285 haにのぼり、こちらの森林は、すでに伐期を迎えているため、これらの主伐も並行して実施していく必要がある。つまり、長岡市の現在の森は、蓄積が非常に高い状態になっており、過去でもっともCO<sub>2</sub>を吸収した人工林の状態であるといっても過言ではない。今後、これらの森林を伐採すれば、CO<sub>2</sub>は放出する方向に向かうため、伐採した森林には植栽を行い、持続可能な森林管理を行っていく必要がある。伐採した木材を建築材等として都市の構造物として残したり、石油エネルギーの代替資源として活用できたりすれば、現在使用されている化石資源の代替となりうるため、持続可能なエネルギー源として、長期的にはCO<sub>2</sub>濃度の上昇を抑える効果が期待できる。

## イ 長岡市における森林施業の現状と維持管理可能な森林

長岡市で森林施業を行っている事業者のなかで、中越よつば森林組合は、長岡市（旧長岡市・旧栃尾市・旧三島町・旧越路町・旧与板町・旧小国町・旧寺泊町・旧和島村・旧山古志村）、見附市、三条市の旧栄町、出雲崎町、弥彦



村、燕市の旧分水町、新潟市の旧巻町・旧岩室村を事業範囲としており、新潟県最大の森林組合である（図4）。



図4 中越よつば森林組合の管轄エリア地図（中越よつば森林組合HPより引用）

中越よつば森林組合が管理している民有林面積、組合員森林面積、組合員数は表1の通りである。

表1 中越よつば森林組合が管理している民有林面積、組合員森林面積、組合員数（中越よつば森林組合HPより引用）

	小国	刈谷田	三島	長岡	合計
民有林面積(ha)	5,639	16,094	12,296	16,142	50,171
組合員森林面積(ha)	1,527	2,231	1,900	4,114	9,772
組合員数(人)	1,384	1,203	1,011	3,182	6,780

藤田君男組合長へのヒアリングによれば、中越よつば森林組合の職員は、職員 52 名で、うち、森林技術職員として現場作業を行っているのは技術職員 22 名、臨時職員 13 名、計 35 名である。また、現場に関わっている技術員の平均年齢は、47～48 歳である。

中越よつば森林組合の年間生産量は、主伐材 2,000 m<sup>3</sup>（A 材）、間伐材（C 材）は 5,000～6,000 m<sup>3</sup>ほどであり、すべて丸太として森林組合連合会の木材市場にて販売を行っている。現在の森林技術員で施業を行う場合、間伐材については、需要が見込めれば年間 10,000 m<sup>3</sup>くらいまでは増産が可能とのことだった。

上記の生産量を山林の面積に換算すると、1 年間の主伐スギ林の面積は、5 ha（うち長岡市エリア 3 ha、出雲崎 2 ha）であり、1 年間の間伐スギ林の面

積は、30 ha（内、長岡 20 ha、出雲崎+見附 10 ha）とのことだった。

長岡市の71年生以上のスギ林は、3,285haであることから、このペースで主伐していくと1000年以上かかってしまうことになる。また、今後20年の間に51～70年生のスギ林が次々と伐期を迎えるため、さらに4,607 haを主伐していくとなると、さらに1000年以上の月日がかかる計算となってしまう、現在の森林組合の技術員数では長岡市のスギ人工林の主伐を行うには労働力が著しく不足していることがわかる。

現在、主伐後の森林について、スギの再造林は行っておらず、すべて広葉樹で再造林を行っているとのことだった。伐採後の広葉樹の植栽については、H28：1.25 ha、H29：2.83 ha、H30：3.66 ha、R1：3.02 ha、R2：4.28 ha、R3：3.08 ha、平均3.02 ha（うち長岡市域 H28：1.25 ha、H29：2.83 ha、H30：2.01 ha、R1：1.66 ha、R2：2.98 ha、R3：2.08 ha、平均2.12 ha）となっている。また、これからの植栽計画は、中越よつば森林の管轄エリア全域に対し、R4：5 ha、R5：6 ha、R6：8 ha、R7：10 haとなっている。

仮に毎年長岡市域で2.12 haの植栽がなされていたとした場合、現在の主伐面積(3 ha)のおおよそ66%に広葉樹が植樹されている計算となる。長岡市の1～5年生のスギ林面積は4.56 haであり、1年に1 ha弱しか植栽されてこなかったことがうかがえる。現在の主要な齢級となっている11～14 齢級の1,000～

1,600 ha に比べると 10 分の 1 以下の面積となる。このままのペースで広葉樹植栽が行われるならば、スギ人工林の更新は遅れ、スギ人工林面積は減少し、広葉樹林面積が増加することが予想される。

しかし、このような森林の蓄積状況と森林組合の施業量のアンバランスは日本中で起きている。林野庁は、現在、人工林 1,010 万 ha、育成複層林 110 万 ha、天然生林 1,380 万 ha という内訳の日本の森林を、将来的には、人工林を 660 万 ha まで減少させ、育成複層林 680 万 ha、天然林を 1,170 万 ha となるように、人工林を天然林に徐々にシフトさせる計画を打ち出している（林野庁 2021）。

長岡市においてもこのような天然林へのシフトが行なわれているが、そもそも長岡市においては全体の森林の約 73% が天然林である。一方で、天然林の活用は現在ほとんどなされていない状況である。約 26% しかない人工林の維持管理も難しい状況で、さらに人工林を天然林に移行させた場合、ほとんどの森林が利活用されなくなる恐れもある。長岡市域における天然林は、ブナが 13.28 ha、アカマツが 11.61 ha、であり、残りのほとんどがその他広葉樹 23,752 ha に分類される。また、その蓄積量は全体で 3,103 m<sup>3</sup> であり、人工林のスギの 5,603 m<sup>3</sup> の半分以上に相当する。

ここで、長岡市の森林について、東京大学名誉教授の白石則彦氏が提唱している持続可能な人工林経営面積（通称白石メソッド）に関する試算を行ってみたい。

伐期 72 年、35 名が作業員として推定（育林に 50 日、保育に 150 日かかるとする）。

35 名 × 200 日/年 × 72 年（標準伐期）

（150+50）人日/ha

=3,744 ha

となる。

長岡市の森林面積は、人工林 10,981 ha なので、人工林も現在の面積の半分以下しか維持管理できない計算となる。また、現在施業日数を 200 日としたが、積雪地である新潟県で同様の期間施業が可能かという点に関しては疑問が残る。また、林道なども整備が非常に悪い状況下で、施業効率は高くないことが予想される。そう考えると、今後、長岡市の人工林だけでも林齢に偏りがなくフラット化した持続可能な森として維持していくためには、半数の面積の人工林を天然生林化する必要があるのかもしれない。

## ウ バイオマス資源として木材を活用する際のボトルネック要因

図5に林業の川上から川下までの流れを示した。林業の川上は、森林施業を行う森林組合や素材生産業者の活動で、造林、育林が行われ、育林の途中で間伐が、また、最終的な伐期を迎えた森林では主伐が行われる。伐採された木材は、搬出コストと販売利益が見合えば、原木市場にて販売される。コストと利益が見合わないと、切り捨て間伐のように、森林に放置されることも多い。その後、原木市場で購入された木材は乾燥を経て、製材所にて、A材、B材、C材となり、それがそれぞれ製品に加工されて消費者に届く。

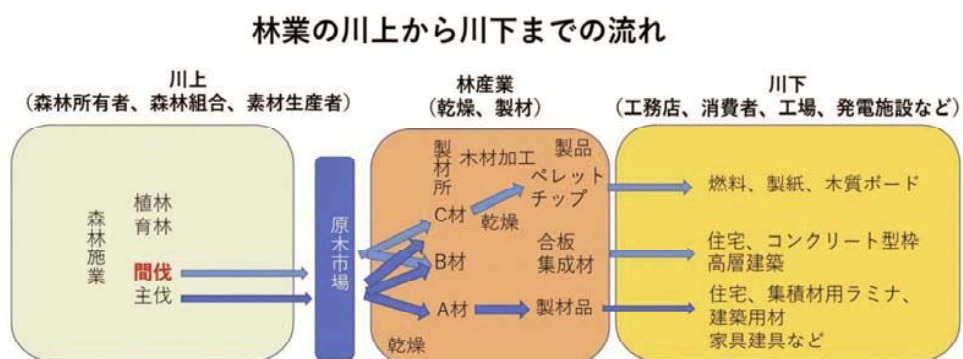


図5 林業の川上から川下までの流れ

A材は、主に製材用として、B材は主に合板用に、そしてC材が主にチップ用に加工され、製紙の原料や木質ボードの原料などとして消費される。現在、バイオマス発電等の燃料として使われるのは主にC材とされている。しかし、FITの対象となる燃料のチップやペレットが不足している。そこで、近年、D材という区分が誕生した。D材は、C材以下の枝や切り株なども含めたチップ（燃料用木材）と定義された。これは、バイオマス発電が登場したことで設けられた区分である。

これまで見てきたように、長岡市の森林は現在最も蓄積が増加している状態だが、それを切り出す労働力や環境が整っていないことが明らかになった。しかし、バイオマス資源を活用する上で、生産量の他にもさらなる課題が残っている。日本では、かつて森林の生産が盛んだったころは、製材所や加工所が多数存在した。その後、それらの業者が扱う国産丸太が減少し、1960年ごろからは主に輸入丸太（図6）を加工していた。その後、平成に入ってから丸太ではなく構造材製品や燃料材として輸入するようになったため（図6）、日本国内の製材所は、経営が立ち行かず、ほとんどがなくなってしまった。近年、ウッドショックなどもあり、国産木材の需要は非常に高まっている。しかし、生産現場から丸太を伐採・搬出できたとしても、製材・乾燥する製材所が非常に少ないために、使える木材が市場に出回らないという事態に陥っている。新潟県

の林業生産活動でも、乾燥施設を備える製材所の少なさがボトルネックとなっ  
 ていることが専門家のヒアリングでも明らかとなっている。

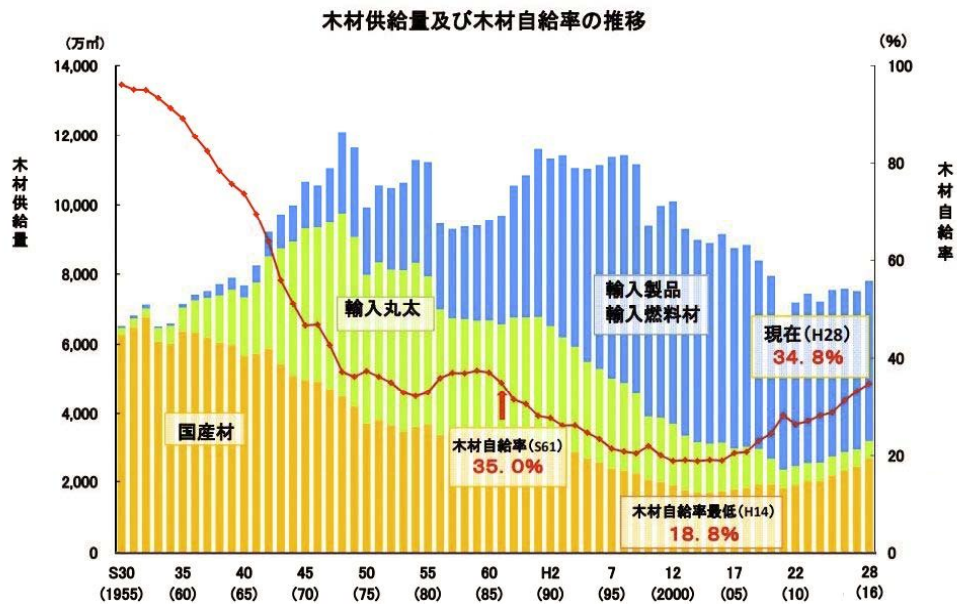


図6 木材供給量及び木材自給率の推移（林野庁 HP より）

現在、中越よつば森林組合では、丸太で市場に供給している。そのため、丸  
 太は生産できるが、製材やペレット、チップなどの製品を加工するには、さら  
 に経費が必要なおうえに、それを行う業者が長岡市内には非常に少ない。A材な  
 どは、原木市場から、規模の大きな製材所に買い取られていったとしても、バ  
 イオマス発電などに利用するチップやペレットを加工する業者がない限り、バ  
 イオマス発電への利用はこの部分がボトルネックとなることが予想される。



新潟県内でも三条市などに新しくバイオマス発電所が建設されており、出力は 6250 kwh である（図 7）。三条市の HP で公開されている平成 30 年度 第 1 回三条市バイオマス利活用推進会議の資料（図 7）によると、年間約 4.66 万 t のチップ材が必要となるが、そのうち市内や県内の丸太は全体の 12%ほどであり、その内間伐材は、2.3%にとどまっている。全体の 87%のチップ材は近隣県からのチップ材で賄われている。設立当初は 94%県内の材を使用すると三条市が公開した資料には書かれているが、県内が産出する木材だけでは賄えない状況にあるようだ。



図 7 三条市の木質バイオマス発電所の概要と燃料用木材収集状況（平成 30 年度 第 1 回三条市バイオマス利活用推進会議の資料より）

中越よつば森林組合のヒアリングでも、現在、間伐材なら 5,000～6,000 m<sup>3</sup> だが、今後増産すれば 10,000 m<sup>3</sup> なら切り出せるかもしれないというお話をされていた。1 m<sup>3</sup> は、チップ用原木生重量で約 0.8 t、絶乾重量で 0.5 t と考えると、10,000 m<sup>3</sup> は、チップ用原木生重量 8,000 t、絶乾重量で 5,000 t に相当と考えられる。例えば、三条市と同じ 6250 kWh 規模のバイオマス発電施設を動かすために必要な 4.66 万 t のチップ用木材は、中越よつば森林組合の出せる間伐材から生産されるチップの約 10 倍に相当することになる。

このような例は、何も三条市の発電所だけにとどまらない。実際、日本国内で作られている大型のバイオマス発電所の多くが臨海地域に建設されており、その多くが海外から輸入したチップやペレットを原料として使用している実態がある（田中 2019）。近年、バイオマス発電が多く建設されたため、チップやペレットの燃料費は高騰している。本来ある森林を活用できるなら意味もあるが、海外や県外から化石燃料を使って運搬し、バイオマス発電に使うのでは CO<sub>2</sub> の削減に貢献するとはいいがたい。さらに、FSC 認証など第 3 者機関がチェックした製品以外は、使用するチップやペレットがどのような由来で伐採された木材か不透明という問題も生じている（田中 2019）。このように由来の不透明な外材のチップやペレットを海外から輸入してバイオマス発電を行うこ

とは、輸送に CO<sub>2</sub>を消費し、外国の森林を違法伐採している可能性もあることから、SDGs や CO<sub>2</sub>を 0 にしようというビジョンからは、大きく外れてしまうものとなる。

## エ 長岡市における最適なバイオマス利活用法

以上のことから、一般に経営の採算が取れると言われる 5,000 kwh 以上の大規模なバイオマス発電施設は、そもそもそれを賄うのに必要な木材を長岡市から調達し、さらにそれをペレットやチップに加工するのはほぼ不可能に近いということが明らかになった。一方で、1,000 kwh くらいの小規模なバイオマス発電施設を長岡市に建設した場合どのようなことが考えられるだろうか？

仮に 1000 kwh のバイオマス発電施設を作るとなると 6000 kwh くらいのバイオマスボイラーが必要と言われていている（熱エネルギーの電気エネルギーへの変換効率が 17% くらいのため、(一社)日本木質バイオマスエネルギー協会（編）2018）。しかも、発電施設は一度稼働すると停止することはできないため、1 年間ずっと稼働しつづけることになる。専門家のヒアリングによると 6,000 kwh のボイラーに必要な木材量は、新潟県の人工林だと 1 年に 4 万 m<sup>3</sup>の間伐材が必要になる。条件によって違いはあるが、1 ha あたり約 100 m<sup>3</sup>程度の間伐材が出ることから、約 400 ha の間伐で出材するための施業が必要にな

る。現在、よつば森林組合は毎年 30 ha の間伐を行っており、現在の倍くらいまでは生産量を上げられると話していたことから、60 ha までは可能かもしれないものの、上記の条件には程遠いことがわかる。また、バイオマス発電所の場合、丸太をチップやペレットに加工する必要がある。現在、よつば森林組合にはこれらの加工施設がないために、発電所に併設して乾燥施設、ペレットやチップに加工する施設が新たに必要になる。

近年、価格の高低の差はあるが針葉樹、広葉樹ともに FIT 対象となっており、間伐材の証明があれば森林の経営計画なしでも最も高いバイオマスの FIT 対象となる。主伐材は森林経営計画があれば間伐材と同じ扱い、それ以外の森林由来の木材なら輸入材含めて第 2 レベルの FIT 対象となっている（「木質バイオマス発電・証明ガイドライン」より）。間伐材は、バイオマスの中で最も高い FIT 対象だが、主伐材は経営計画がないと間伐材と同じ扱いにはならない。また、FIT による買取りは 20 年で終了の予定である。発電所を建設したら、20 年の間にコストを下げて FIT による割増価格でなくても採算が取れるように経営を行っていく必要がある。

ヨーロッパはバイオマスによるエネルギー自給率が高く、特にオーストリアはその先進国である。ヨーロッパのバイオマス利用は、発電よりも圧倒的に熱の直接利用が多い（西河 2016）。つまり、冬季の暖房等の熱をバイオマスに

よる熱で賄うという方式だ。ヨーロッパにはもともと温熱をヒーティングに利用する全館暖房システムが普及しており、バイオマスの熱利用がしやすい土壌があったと考えられる（西河 2016）。

仮に日本でボイラーを熱に利用したらということを想定してみる。専門家のヒアリングによると、東北地方のある自治体が経営する温泉施設では、年間約1,700万円分の灯油代を燃料費として購入していることがわかっている。そこで、間伐材を熱源としたボイラーを利用したシステムを自治体として導入する検討に入っていることだそうだ。これまで、日本でのバイオマスボイラーの熱利用はまだ黎明期であり、経験の蓄積が進展せず、高コスト構造が維持されてきた。また、技術的な知識不足による燃料のミスマッチ（水分、形状など）による運転時のトラブルも多いとの報告がある（（一社）日本木質バイオマスエネルギー協会 2018）。

そこで、日本製で熱効率が高い小型ボイラーとして、アーク日本株式会社が販売する薪ボイラーを、その1例として紹介する。以下は、アーク日本株式会社代表取締役社長岩城和男氏へのヒアリング内容となっている。

**Gasifier**  
Wood Gasification Boiler

特許取得  
第6842769号  
令和3年2月25日取得

国内製造で、  
百年利用を目指す堅牢ボディ。



図8 アーク日本株式会社が販売する木質バイオマスボイラーGasifier

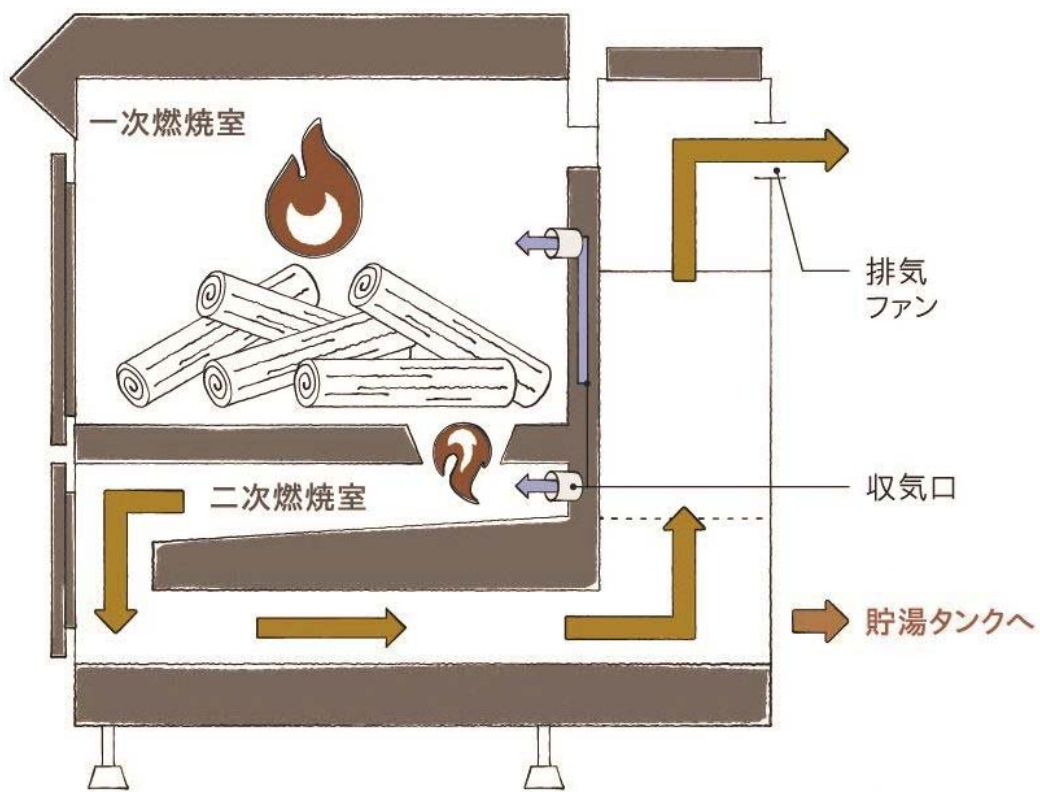


図9 Gasifierの燃焼の仕組み

Gasifier (図8) は、シマト工業株式会社 (三条市) が生産している木質バイオマスボイラーである。燃焼の仕組みは、1次燃焼室で燃やした木材から生成する燃焼ガスを2次燃焼室に送って、加熱水蒸気燃焼を起こし、この熱エネルギーを貯湯タンクの水に熱交換して利用する仕組みとなっている (図9)。1台で出力は60~75 kWhであり、ボイラー内水量500 lを85°Cの温水に変える。次にその85°Cの温水は、推奨4,000 l貯湯タンクに収まり、用途に熱利用される。1日に3回程度、1回70 kgの薪を投入することで、貯水タンク中

の温水を維持していくことができる。何より優れた点は大型の工業用ボイラーと違い、丸木をそのまま燃やすことができるため、チップやペレットに加工する必要がない。海外製のボイラーは、含水率 15%程度までの乾燥した木材でないといけないケースが多いが、本製品の特殊な燃焼構造により、含水率 40%程度の生木でも燃料にすることが可能である。熱エネルギー効率は約 80%と非常に高く、燃焼効率も非常に高いため、1 か月 1 日 18 時間稼働したケースでも、残灰は約バケツ 1 杯程度であり、日々の手入れは不要で、灰取りは 2 週間に 1 回程度のため維持管理費も非常に低コストである。10,000 kcal あたりの燃料費を比較しても、薪は 38 円なのに対し、木質ペレットは 150 円であり、灯油は 93 円なので、燃料費がとても安くすむ。また、無圧型の温水発生装置なので、ボイラー技士等の資格は不要であり、誰でも簡単に使用することができる。

発電施設と異なり、冬季以外の温水が大量に必要な季節は稼働を止めることもでき、4,000 ℓ の貯水タンクは仮に 20°C まで温度が下がっても 6~8 時間稼働すれば 85 度に戻すことができる。

この機械は 1 台の施設を大型にするのではなく、ユニットを増やすことで需要の増加に対応することが可能である。例えば、1 年間に 1 台当たり 100 t の木材を使用するので、温浴施設なら 3~4 台導入すると年間 300~400 t の木



材で維持することができる。ガシファイアーの導入事例の多くは、温浴施設であるが、農作物のハウスや魚の養殖、畜産、そして、ヒーティングや床下暖房などの施設がそろえば暖房としての利用が可能である。施工費用は、1台トータル（ボイラー室や貯水槽の配管等も含み）約1,000万円で、そのうち3分の2は国の補助金を使用可能とのことだった。しかし、木材のボイラーは管理に慣れるまでは温度管理が不安定なるケースもあるため、多くの施設では、同時に小規模の灯油ボイラーをバックアップ設備として併設しているところが多いそうだ。

また、ガシファイアーは、大規模災害に備えた自主防災ユニットとして、レスキューユニットなる商品も販売している(図10)。こちらは、災害発生時にガシファイアーの一式をトラックに積んで、現場に急行し、避難所で入浴施設や暖房・給湯システムを提供するというものである。災害時対応としても小型であることからこのようなトラックでの運搬が可能という点も優れた製品と考えられる。平成30年度 林業成長産業化総合対策補助金等（「地域内エコシステム」技術開発・実証事業）で、国産薪ボイラーと国産スターリングエンジンによる実用型熱電源供給ユニットの開発として、スターリングエンジンとガシファイアーを併用し、温熱利用と発電をする機械の実証試験を行っている（アーク日本株式会社 2017）。まだ実用化レベルまで至っていないが、この技術

が確立すれば、災害時における補助熱源や省電力確保への期待が高まっている。また、矢崎総業株式会社が販売する温水焚アロエースと組み合わせることで、温水を利用して冷水を発生させることができ、夏季の間、冷房装置としての利用も可能である。



図10 ガシファイアーのレスキューユニット

バイオマスボイラーには、木質バイオマスをパイロリシス（熱分解）でガス化して発電を行うシステムもあるが、燃焼を専門とする長岡技術科学大学機械

創造工学専攻の勝身准教授へのヒアリングによると、一般に、木質バイオマスを熱分解でガス化し、生成したガスで直接エンジンを稼働させて発電するガス化発電は、比較的小規模（2000kW以下）のほうが効率が良いとされている。

しかし、木質バイオマスのガス化発電の欠点としては、国産のガス化発電機がないために、木材をそのまま燃やせず、欧州規格のペレット化が必要になる。

前述の通り、現在の長岡市域ではペレットの製造が困難であることからガス化発電よりも温熱利用の方が理があると思われる。

以上をまとめると、現在の長岡市の森林組合の現状と長岡市という広域合併した市町村の各地にあるバイオマスを活用することを考えると、ガシファイヤーのような小型の薪ボイラーを地域ごとに分散的に配置し、そこを拠点として小さな熱利用を行っていくことが需要と供給の面で最も現実的な利活用ではないかと考える。中越よつば森林組合長の藤田氏とのヒアリングの中でも、森林組合が現在事業範囲とするエリアは非常に広いため、大型のバイオマス発電所が1か所作られた場合、そこに運搬する際の輸送コストが大きくなる。一方、小規模のボイラーが各地に点在していれば、一番近い森から切り出した木材を利用できるシステムの方が効率が良く、実際に各地の間伐が進むのではないかとのことだった。

一方で、各地に小型のバイオマスボイラーを設置した場合であっても、各地に設置したボイラーが必要な木材量を事前に計算し、それを搬出するために、今後、長岡市の森林をどのエリアで森林所有者から管理の許諾を取り、集約した林地に林道を整備し、計画的に間伐を実施するという森林経営計画を立てていく必要がある。また、現在のままでは、森林組合の技術者の規模、そして、林道の整備状況、乾燥や製材ができる業者の処理能力のどれを見ても、長岡市の森林面積 41,441 ha、長岡市の木材の蓄材量 8,775,444 m<sup>3</sup>という木材バイオマスを有効に活用することができないことは明らかである。長岡市で本気でバイオマス活用をするということであれば、川上から川下までのボトルネックを解消する製材・乾燥が行える事業者への支援、林業事業者の増加など、需要に見合った供給ができるように森林経営計画を立案することが必須となる。

#### オ プラスチックのリサイクルについて

先ほど、バイオマスボイラーは木材をチップやペレット化しないと使用できないため、パイロリシスは有効でないということを述べたが、パイロリシスには別の可能性があると考えている。長岡市は、プラスチックごみは、資源ごみとして分別回収を行っており、年間約 3,600 t のゴミが収集されている（長岡市 2018）。これらのプラスチックごみは民間業者に委託し処理を行って

る。日本のプラスチックごみのうち、ケミカルリサイクルされるのは5%、マテリアルリサイクルが23%、サーマルリサイクルが58%とされている（一社プラスチック循環利用協会 2017）。つまり、ほとんどが、燃えにくい生ごみを燃やすときの焚き付け材として使用され、再びCO<sub>2</sub>を排出しているのが現状である。それまでは中国やアジアの国々にプラスチックごみを輸出してきたが、近年、諸外国がプラスチックごみの輸入を停止しつつあることから、日本国内でプラスチックごみのリサイクルを行う必要性が高まっている。

「海と地域をよみがえらせるプラスチック革命」（グンター・パウリ & マルコ・シメオーニ 2020）という本には、現在、世界で最新のプラスチックリサイクル技術についての記載がある。この本によれば、プラスチックごみをオイルやバイオ炭にする会社は世界に500社ほどあるが、プロセス前にすべてのプラスチックから食べ物などの有機物をきれいに落とす必要があるため、現実的に難しい。ところが、プラスチックをパイロリシス（熱分解）によってガスに変えることで、プラスチックの洗浄を必要としないプロセスを持っている会社が世界に10社ほどあるそうだ。さらに、その工程を連続的に提供でき、難燃剤などのプラスチックに混入している不純物を取り除く工程を持っている会社が世界に1つだけあると書いている。本の中にはその会社の社名は掲載されていなかったが、燃焼が御専門の長岡技大の勝身俊之准教授に調べていただいた

ところ、Powerhouse Energy ([https:// www.powerhouseenergy.co.uk/](https://www.powerhouseenergy.co.uk/)) という会社であることを教えていただいた。

この工場のシステムは、コンテナ 8 個分くらいのスペースに収まる装置であり、年間 1,500~4,500 t のプラスチックごみを処理でき、3 万人に必要なエネルギーをガスとして供給できるそうだ。ちょうど長岡の 1 年分のプラスチックごみの重量がこのコンテナ 8 つの装置でエネルギーに変えることができる計算となる。この装置は、高度なフィルタリングシステムを有しており、危険な添加物を含有するプラスチックを熱する工程から放出される有毒ガスをすべて回収することができる。その結果、合成ガス 68% とオイル 30% を生成し、残り 2% が炭となる。プラスチックの熱分解によるガス化を利用するシステムについては、私の専門外のため、この会社が有するシステムを導入する価値について適正な判断はできないと思うので、ここでは、プラスチックのパイロリシス利用に関連する技術資料をいくつか参考文献として紹介するにとどめ (Papari *et al.* 2021、Department for Business, Energy & Industrial Strategy 2021)、長岡市の持続可能な循環型社会の構築に向けた研究会に参加されているより専門家の皆様にこれらの技術の詳細について、今後、検討をいただければ幸いである。

なお、この本の中では、プラスチックのリサイクルとしてこのシステムが紹介されていたが、プラスチックの代替物として、海藻を投入することで、パイロリシスを用いた持続可能なガス生成の可能性についても言及している。オランダの「ザ・シーウィード・カンパニー」は、6か月の生産サイクル2回で、1 haあたり海藻生産量は、200 tは下さないという試算をしている（グンター・パウリ & マルコ・シメオーニ 2020）。もし、仮にこの海藻を用いてパイロリシスを行えば、年に4万m<sup>3</sup>のガスを生成することができる。しかも海藻を育てることで、海に拡散しているマイクロプラスチックを回収、除去することも可能である。例えば、海洋プラスチックごみのクリーンアップのために、海藻のカーテンを沿岸に幅80m、深さ4mのものを4列設置すれば、マイクロプラスチックフリーゾーン（MPFZ）を作ることができる。海藻カーテンを回収したら、ダイジェスターに入れて温水で洗うと、その工程で分離したマイクロプラスチックはその後、熱分解でエネルギーにすることが可能である。このように回収したマイクロプラスチックは6か月ごとに1 haあたり約1,000億個、5 kgに達する。このように海藻は海をきれいにすることもでき、副次的にそこで貝類を養殖したり、海の酸性化を防いだり、海藻自体がバイオマスの原料として役だったり、良いことづくめということなので、パイロリシスのシステムでプ

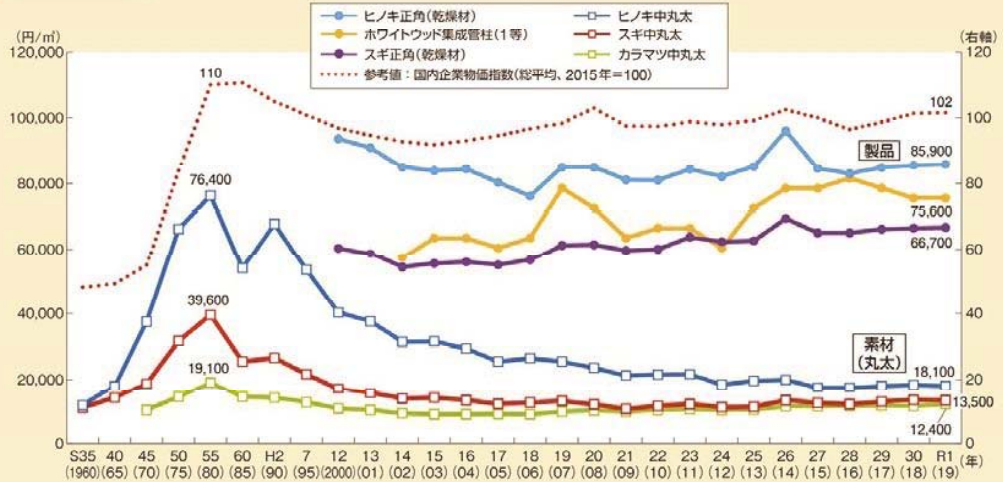
ラスチックを処理する必要がなくなったら、海藻牧場を寺泊の海に作って  
MPFZ を作るのも環境改善には面白い取り組みなのかもしれない。

### カ 長岡の広葉樹林業の可能性について

長岡市の人工林については、現在、蓄積も多く、今後、活用していくことが望ましいが、バイオマス発電などのC材やD材としての利用は、買取り価格が安い  
ため、森林所有者への還元ができないなど、大きな問題となっている。森林組合は、森林所有者の組合であることから、当然森林所有者に還元することを目標に、A材を高価格で買い取ってもらうことで経営していきたいと考えているはずである。しかし、近年の日本において、スギA材の価格はピーク時の3分の1以下となっており（図11）、ウッドショックで値が上がったと言っても、それはピーク時に比べるとまだまだ低い水準である（図12）。



資料Ⅲ－12 我が国の木材価格の推移



注1：スギ中丸太(径14～22cm、長さ3.65～4.0m)、ヒノキ中丸太(径14～22cm、長さ3.65～4.0m)、カラマツ中丸太(径14～28cm、長さ3.65～4.0m)のそれぞれ1m³当たりの価格。  
 2：「スギ正角(乾燥材)」(厚さ・幅10.5cm、長さ3.0m)、「ヒノキ正角(乾燥材)」(厚さ・幅10.5cm、長さ3.0m)、「ホワイトウッド集成管柱(1等)」(厚さ・幅10.5cm、長さ3.0m)はそれぞれ1m³当たりの価格。「ホワイトウッド集成管柱(1等)」は、1本を0.033075m³に換算して算出した。  
 3：平成25(2013)年の調査対象等の見直しにより、平成25(2013)年以降の「スギ正角(乾燥材)」、「スギ中丸太」のデータは、平成24(2012)年までのデータと必ずしも連続していない。  
 4：平成30(2018)年の調査対象等の見直しにより、平成30(2018)年以降のデータは、平成29(2017)年までのデータと連続していない。  
 資料：農林水産省「木材需給報告書」、日本銀行「企業物価指数(日本銀行時系列統計データ検索サイト)」

図 11 日本の木材価格の推移 農林水産省 資料より

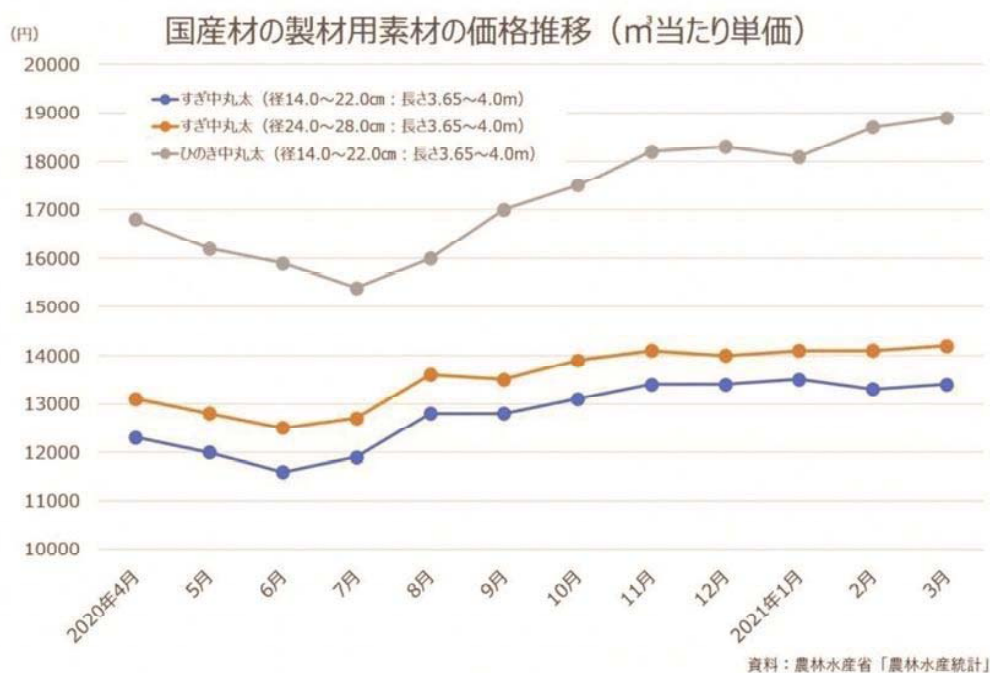


図 12 国産材製材用素材の価格推移（農林水産省資料より）

現在、森林組合は伐採や育林等の施業や林道整備に多額の補助金が出ているため、なんとか経営ができていますが、木材の販売による利益は非常に苦しい状況にある（田中 2019）。日本は外国に比べ造林や育林にかかる費用が何倍もするうえに、伐採搬出にかかる実行経費も高額である。そのため、木材の単価が安いと利益はほとんど出ないような状況となってしまう。さらに、今後、ニホンジカの生息密度が増加すると、植栽した稚樹への食害や樹皮はぎの防止対策のため、ツリーシェルターやシカネットの設置・管理を行う費用が掛かるため、さらに林業経営を圧迫することが示されている。

もともと新潟県は、人工林率が25%程度と低く、西日本のようなスギやヒノキを中心とした構造材生産をベースにした林業が発達していない。一方、長岡市の森林の約4分の3のエリアは、落葉広葉樹の天然林が占めている。これらの森林は、かつて薪炭林として、中山間地域に住む住民の暖房や煮炊きのエネルギーとして活用されてきたが、その利用が途絶え、現在は人工林と同様、未利用の状況にあるが、過密なために成長は十分では無いものの、過去にみないほど蓄積が増えている状況にある。

一方、世界的に見るとスギなど人工林由来の針葉樹に比べ、熱帯広葉樹林での違法伐採の取締り強化、北米から良質材の輸入減少などのために、広葉樹の価格が上昇しており、国産材の需要が高まっている。今後、新潟において、広葉樹を対象にした林業を展開することも大きな可能性を秘めている。

以下の広葉樹林業の可能性については、速水林業代表である速水亨氏、そして、新潟県林業職員の森氏、岩井氏、新潟大学名誉教授の紙谷先生にヒアリングした内容をもとに山本がまとめたものとなっている。

近年、魚沼市大白川地区においてスノービーチプロジェクトと呼ばれるブナを使った広葉樹林業が脚光を浴びている。前述の紙谷氏がプロジェクトの世話人となって進めている（紙谷 2021）。また、岐阜県高山市においても広葉樹林業による地域活性化のプロジェクトが進められている。

新潟県で多くの森林が活用されていたのは、広葉樹の薪炭林だったことから、それらの広葉樹を適切に間伐し、用材林に誘導する林業の可能性は高い。林野庁の計画でも現在ある人工林の約半分を広葉樹林化していく計画があることについて触れた。広葉樹の森林であっても、用材林として林業的に活用するためには、適切な立木密度に制御する間伐は必須である。たとえば、針葉樹林を主伐後、放置しておけば、低木が優勢となり、林業的には利用価値の高くない樹種ばかりになってしまうことがある。したがって、スギ人工林を伐採後に、有用な広葉樹の稚樹を植える場合には、稚樹が育つまでの下刈り、適切な密度に管理する間伐は、スギ人工林と同ように必要である。

かつては、新潟県は、コナラ、ミズナラ、ブナを萌芽更新することで、薪炭として利用してきた。半世紀前から化石燃料への転換によって、里山の手入れがなされなくなっている。H18年以降、県内で発生したカシノナガキクイムシによるナラ枯れによって、ミズナラのおおよそ70%、コナラの20~30%が枯死したと言われている。ナラ枯れは、若齢木より、大径木で発生しやすい。伐採利用がされなくなったために、薪炭林として利用されていた頃に比べると成長したナラ類を中心に大蔓延したのではないかと考えられている。

新潟県では、H18年以降、ブナの凶作年にクマの大量出没が度々起きているが、これはこの県内で大発生したナラ枯れの影響が大きいと考えている。ツキ

ノワグマは、冬眠前の秋にドングリなどの堅果類の実を食べ、脂肪を蓄積して冬眠する。ブナは堅果類の実りの豊凶の差が大きく、広域同調することが知られている。一方、ブナに比べ、ミズナラ、コナラはその同調性が低いことや豊凶の差がブナよりも小さいことなどから、ブナが凶作年には、クマは、ミズナラやコナラの実を利用していただけと考えられている。しかし、県内のミズナラ、コナラがナラ枯れによって激減したこと、一度減ってしまったナラ類は、すぐには堅果が大量に実るほどの樹まで育たない事、また、ミズナラやコナラは植樹しない限り、天然更新で樹冠が閉鎖した森では自然に更新しないことなどが知られている。一方、人里に近い里山では、クリやクルミ、カキなどの果樹が豊富であることから、ブナの凶作年に、ミズナラ、コナラがなくなってしまうことでクマがさらに餌を探して里まで下りてくる事態が発生していると考えられている。このようなクマの大量出没を根本から抑えるためにも、広葉樹林の中に、ミズナラ、コナラのような堅果類をある程度の規模で復活させることも大事な森林の機能と考えられる。しかし、ミズナラ、コナラは天然更新が困難なことから、ブナ以外の堅果類の現存量を増やすためには、実生から苗木を作成し、計画的に植樹することを行う必要があるだろう。

しかし、紙谷先生のヒアリングの中では、かつての薪炭林は間伐による適切な密度管理をしなければ、大きく成長させられないというお話も伺った。ま

た、成長したナラにカミキリの幼虫が入ってしまうと、積雪で折れ易くなるために、直径が 30 cm を超えているナラ類は少ない。さらに、ブナ以外の樹種は、雪圧による幹曲がり著しいために、優良な大径用材林としては育ちにくい。小径木であれば、萌芽更新で利用することも可能性としては考えられるが、現状の広葉樹林では株が太くなりすぎており、萌芽での更新には適さないようだ。

他に利用可能な広葉樹種としてウワミズザクラはナタの柄に、ホウノキなどは金物の柄として使用されることから、三条や燕などの工具を作っている会社とタイアップして地元産の広葉樹を活用した製品をブランディングすることも可能である。特にホオノキは、机の天板には向かないが、木材の加工がしやすいことから、別の用途が多く見込まれる用材である。スギが植栽されたときにホオノキの種子が入り込み、すでに長岡市の人工林にも混交していること、また、初期成長がとてもよく、スギと同様に直径 30 cm 程度までは早い段階で到達するため、早く用材としての利活用が可能になるという点も魅力である。

クルミは、現在、北米からの輸入量が減っていることから、価格も上がっており、家具や建築用材、床材として幅広い利用が可能のため、広葉樹林業を行う上で、期待度の高い樹種である。新潟でも比較的成長が良く、また、アレロパシー効果があるため、純林を形成しやすいことから、ある程度まとまった量

のクルミ林がすでに生えている場所も見受けられる。特に栃尾地区や信濃川の河畔林にはかなりの蓄積がある。現在の高木は用材としての利用は限られるかもしれないが、今後、小中径木を適切に管理すれば、家具材になる可能性もある。クルミ材の場合、大径の2 m材では20~30万円/m<sup>3</sup>くらいになる。また、クルミの木は、里山近くに生えているとクマが来る要因となってしまうことから、里近くの木は伐採し、使用していくことは獣害を防ぐうえでも効果があるだろう。同様のことがクリの木にも当てはまる。

また、新潟県には、広葉樹の萌芽を利用して粗朶を編んで、粗朶沈床などの天然の木と岩を用いた河川の床固や河畔の工事をする伝統的な河川工事技術がある。新潟には北陸粗朶業振興組合や若月建設などが現在もこの粗朶を利用した伝統工法を施業している。これらの会社は、自らの粗朶をとる森を持っているが、粗朶の材料として細い広葉樹の枝が取れる場合は買い上げてくれるということだった。現在、粗朶を用いた河川の伝統的な工法は、コンクリートを用いた床固や護岸と違って、魚の隠れ場所を提供し、湧き水をせき止めないなど、自然に優しい工法として注目されてきた。このような工法の材料として、広葉樹の萌芽した枝を利用することも新潟ならではの活用と考えられる。

この他にも積雪地特有の匍匐性低木林が林床に多種多様に生えている。新潟県職員の岩井氏によれば、これらの広葉樹は、かつて、油をとったり、かごを

編むことにつるを利用したり、漢方薬として使用したり、それぞれの樹種を多目的に利用する文化があったそうだ。現在そのような文化が消失しつつあるが、まだ、これらの活用方法を知っている年配の方から聞き取りを行い、文献などから活用方法について調べるなどして、多様な広葉樹種の活用の可能性を考えることもできる。たとえば、有名な養命酒の材料のほとんどは、クロモジである。クロモジはとても良い香りがするため、高級楊枝の材料として有名だが、お茶にしたり、近年はこの香りを活かしたクラフトジンが作られたりと活用の幅が広い。

このように広葉樹林は、人工林と異なり、多種多様な樹種が混在して森を形成している。そのため、広葉樹林業を行うためには、大量に単一の木材を生産するというよりは、目的をもって森を管理し、それぞれの樹種の特徴を適切に把握し、管理する能力のあるフォレスターが必要となるだろう。近年は、GISの技術やレーザー計測技術等も発達していることから、それらを活用し、多様な広葉樹林の分布をデータ化する技術も進んでいる。新潟において、広葉樹林の多様性を活かした林業を行うことも興味深い取り組みである。

一方で、4人の専門家のヒアリングでは、広葉樹林業を行う場合に忘れてはならない大事な共通の指摘をいただいた。それは、これらの広葉樹林業を行う場合は、川下となる消費先をきちんと確保してから、取り組むべしというもの



だった。広葉樹の場合、各樹種の用材としての流通量が決して多くないことから、これらの製品を使う消費先を開拓し、先ほどの工具の柄として使う先を確保してから切り出したり、家具として使うなら、そういう利用先の消費者（家具屋や工務店）とつながってから始めることが大事ということであった。また、人工林のところでも述べたように、県内の木材の乾燥や製材、加工業者が少ないことは紛れもない事実なので、川上で出す木材が適切に消費者まで届く流れを描いてから利活用を進めることが大切である。そのためにも、スノービーチプロジェクトのように確固としたブランディングづくりやデザインを重視したプロダクツを考案していくことは、非常に重要と考える。

一方で、長岡市の広葉樹林は、スギ林の約3倍の面積を有していることから、かなりの蓄積量があることもまた事実である。先ほど紹介した地域の小規模蒸気ボイラーによる燃料として、広葉樹林を用材林に誘導する過程で出てくる間伐材を使っていくことは、有効な手段であると考えられる。また、鳥獣被害対策の観点からも、森林が奥山から里までつながっていると、そこを移動ルートとして使用したツキノワグマやニホンザル、イノシシなどが集落付近に出没しやすくなることが知られている。集落と里山の間には、緩衝帯となる見晴らしのいい土地、あるいは、間伐された手入れの届いた森があったほうが、鳥獣被害は減少することが予想される。そういう意味でも、人里に近い森林の手

入力で出材した樹種については薪ボイラーなど、無駄なく利用するシステムが必要となるだろう。

このような広葉樹林業の先進地となっている岐阜県飛騨市の飛騨の森を君とつむぐ（通称 ひだつむ）の取り組みや（株）飛騨の森でクマは踊るの活動が非常に興味深い。飛騨市は、現在広葉樹林業を中心とした街づくりに取り組んでいる。これまで広葉樹の94%は木材のチップとして処理されてきたが、小径木の活用や、様々な広葉樹を利用したいと考えている川下の家具メーカー、消費者と木を切り出している川上の森林組合などのサプライヤーをマッチングし、チップ以外の活用を進める取り組みを行っている。このために飛騨市の地域おこし協力隊として、広葉樹コンシェルジュという立場でこのようなマッチングを行う専門職を置いている。広葉樹の森と使い手をつなぐサプライチェーンを作るため、飛騨市広葉樹活用コンソーシアムを設立し、林業事業者から製材所、家具製作会社、木工房、企画設計会社など様々な立場の方が参加し、未利用広葉樹を中心とした新しい広葉樹流通を生み出す取り組みを行っている。

先述の紙谷先生の取り組んでいるスノービーチプロジェクトも飛騨市の取り組みと同様に独自のマッチングを行い、ブナ製品を作るメーカーとサプライヤーをつなげている。長岡でも73%を占める広葉樹の多くは、小中径木であり、活用するには飛騨市のようなサプライヤーと消費者、あるいは、メーカーをつ

なく取り組みが今後は必要である。サプライヤーとメーカーや消費者をつなぐ取り組みがなされることが大切な理由として、①素材の生産には、高度な技術とコストが必要なため、これをメーカーや消費者が認識することで、適正な価格で素材の購入されること、②適正価格で素材が取引されることで、森林所有者にも適正な対価が支払われることにつながるということがあげられる。

また、今後は SDGs など環境に配慮した持続可能な森林の認証は不可欠だろう。バイオマス発電を行うために、戦後最も蓄積が多くなっている今の森林をこれ幸いと伐採するのではなく、今の世を生きる私たちには、生物多様性に配慮し、後世の人たちが持続可能に使用できる森を残す責任がある。また、認証をとることは、その地域の林業のブランディングにも役立ち、今後、自然資本経営を行う企業らは、認証のある木材しか使用しないというところが増えてくることから、安定的な需要先を確保できるという利点もあるだろう。現在、森林認証制度として最もメジャーなのは、SFC 認証である。取得には第 3 者機関の審査を受ける必要があり、様々な配慮が必要となるが、こういった認証を取得することは、今後、長岡市で広葉樹林業を起こして、ブランディングする上でもアドバンテージとなるだろう。

## (2) 長岡市内の耕作放棄地の資源・未利用資源を活用した新たな商品開発や産業創出に関する調査

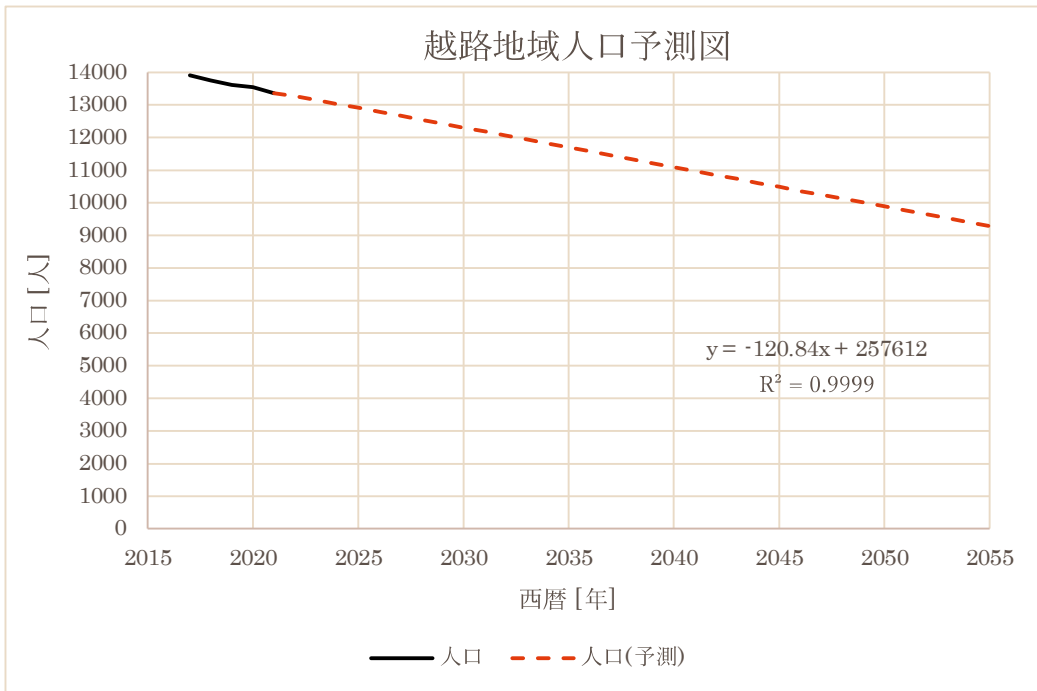
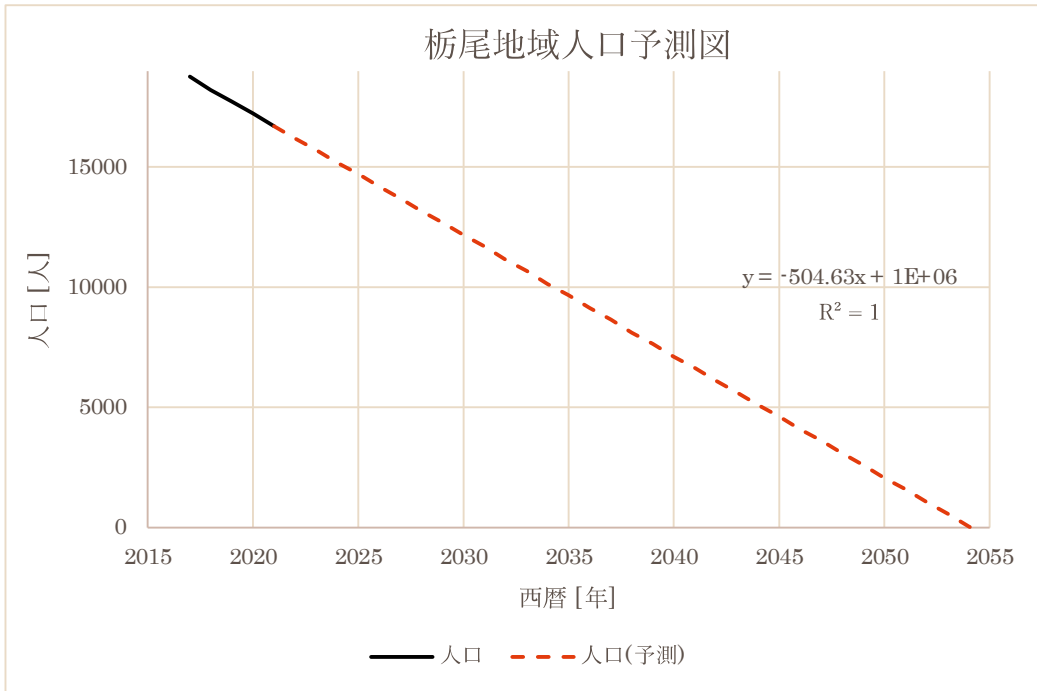
### ア 長岡の中山間地域の現状

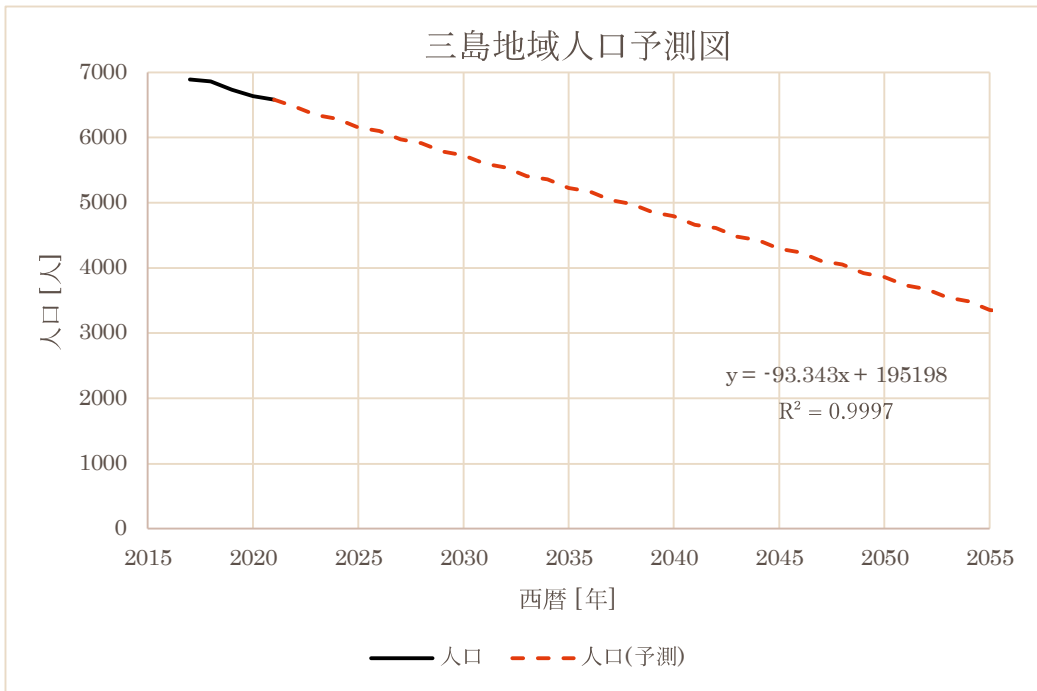
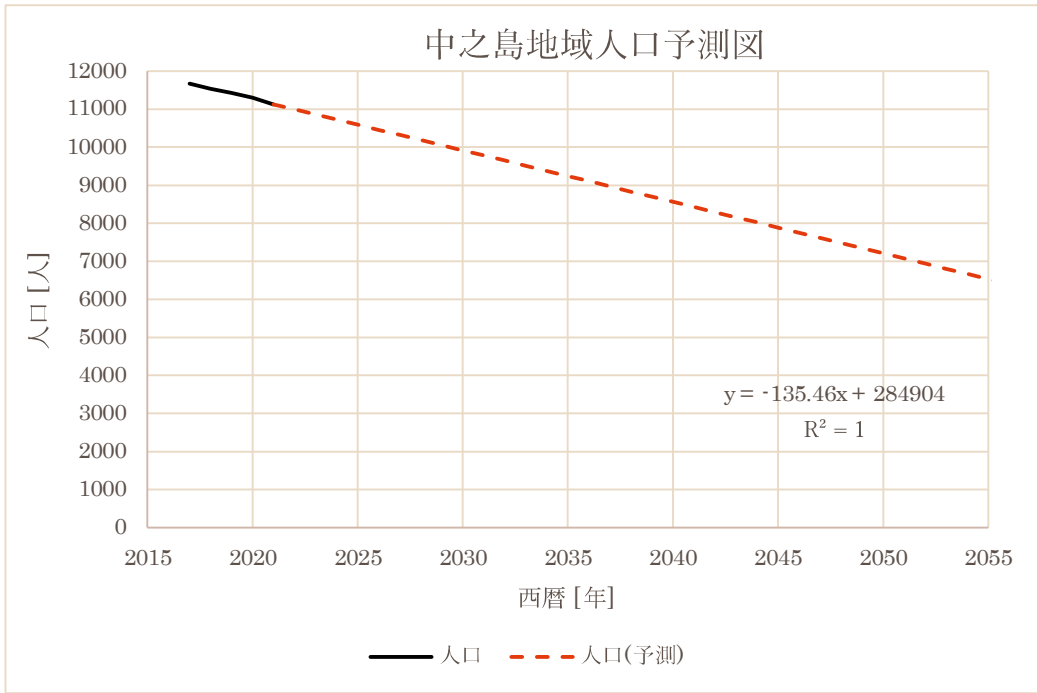
私は平素より、野生鳥獣による被害対策を研究の対象としており、長岡市でも小国地区、越路地区、栃尾地区など、いわゆる中山間地域と呼ばれる地域に出向くことが多い。そこで、集落の過疎・高齢化が進み、耕作放棄地や空き家が増加し、それを管理している住人は集落内にいないケースも多く、林地の手入れが進まず、動物が人里近くに出没する現状をいつも目の当たりしている。

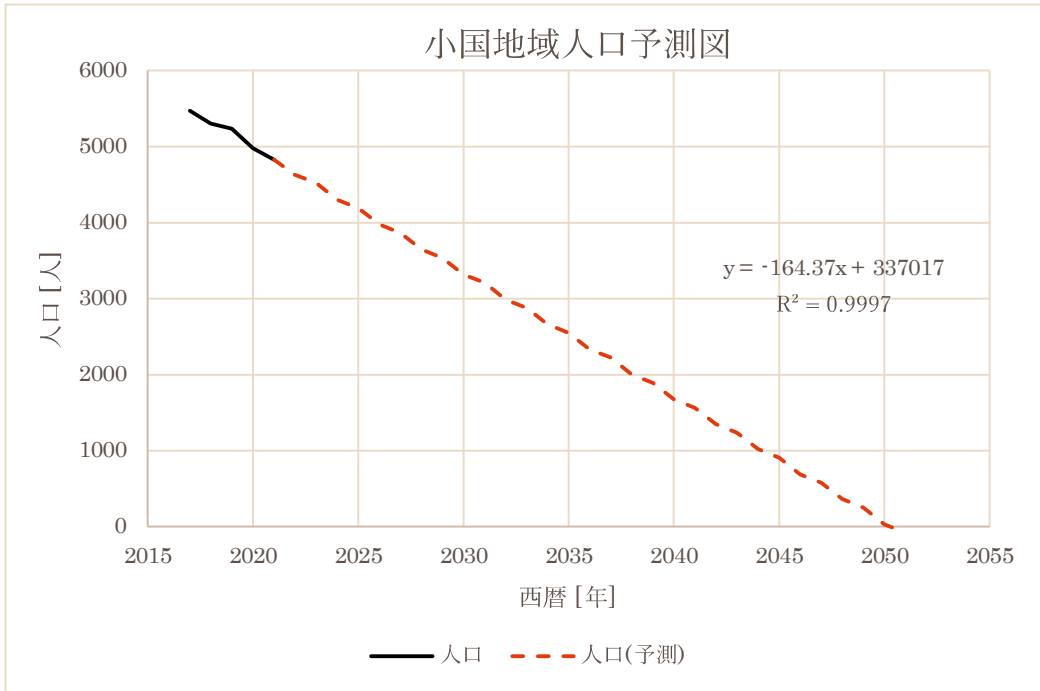
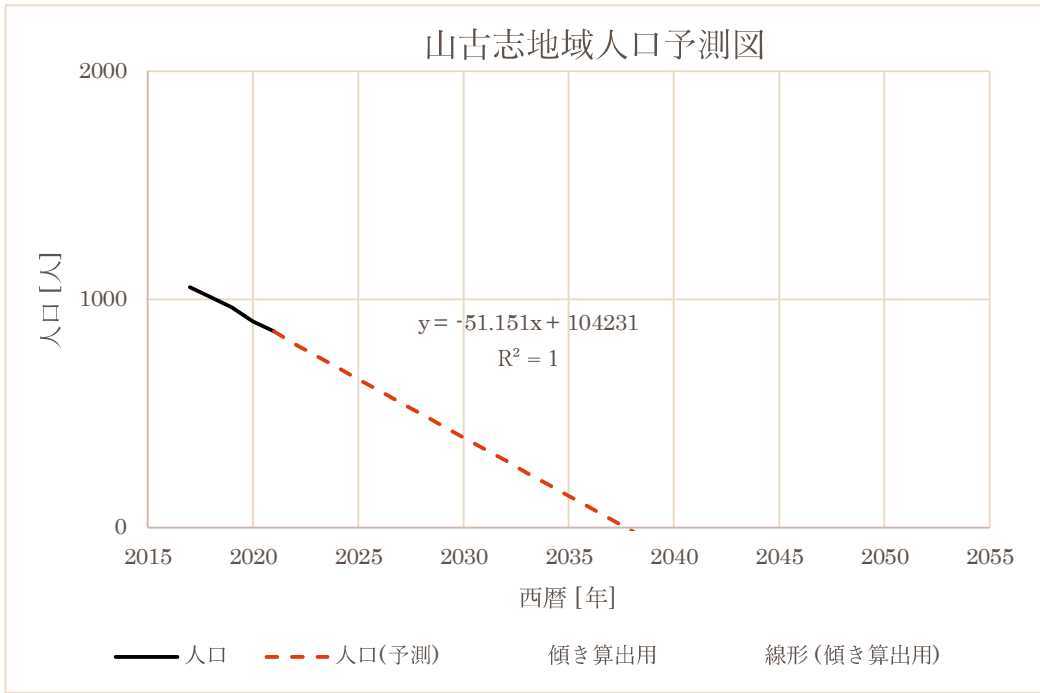
私は人口動態の専門家ではないが、あまりにも栃尾地区の耕作放棄地が増えているのを見て不安になり、研究室にいる学生にここ 5 年の人口減少率を直線回帰するとあと何年くらいで人口はゼロになるか、計算してもらったところ、なんと 2055 年までに人口がゼロになるという試算が得られた（図 13）。長岡市の他の地区も単純計算ではあるが、どうなるか、同じ試算をしてもらったので、同様に図 13 に示す。この回帰を見ていただくと、長岡市全体としての人口減少速度は 1 年に 604 人ずつ減ることなので、直線も緩やかに見えるが、2144 年に人口が 0 になるそうだ。これだとまだ先のことと思えるかもしれないが、地域別にみていくと、栃尾は 2054 年、小国は 2051 年、山古志は 2038 年に人口が 0 になる。2050 年というとあと 30 年である。急に人口が減

っているという感覚がリアルに感じられる。実際人口減少率も栃尾は非常に高く、1年に504人ずつ減っている計算となる。合併前は独立した市であった栃尾がわずか30年でなくなってしまう事実は、実際に土地や建物の管理が追い付かなくなっている現状を見ると納得できる。

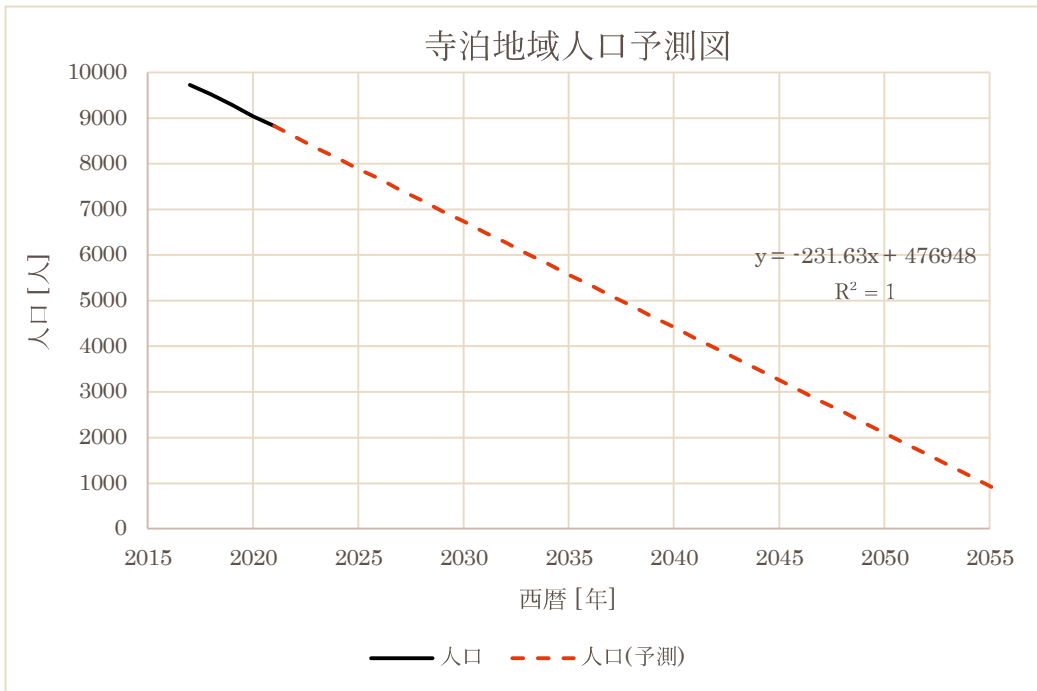
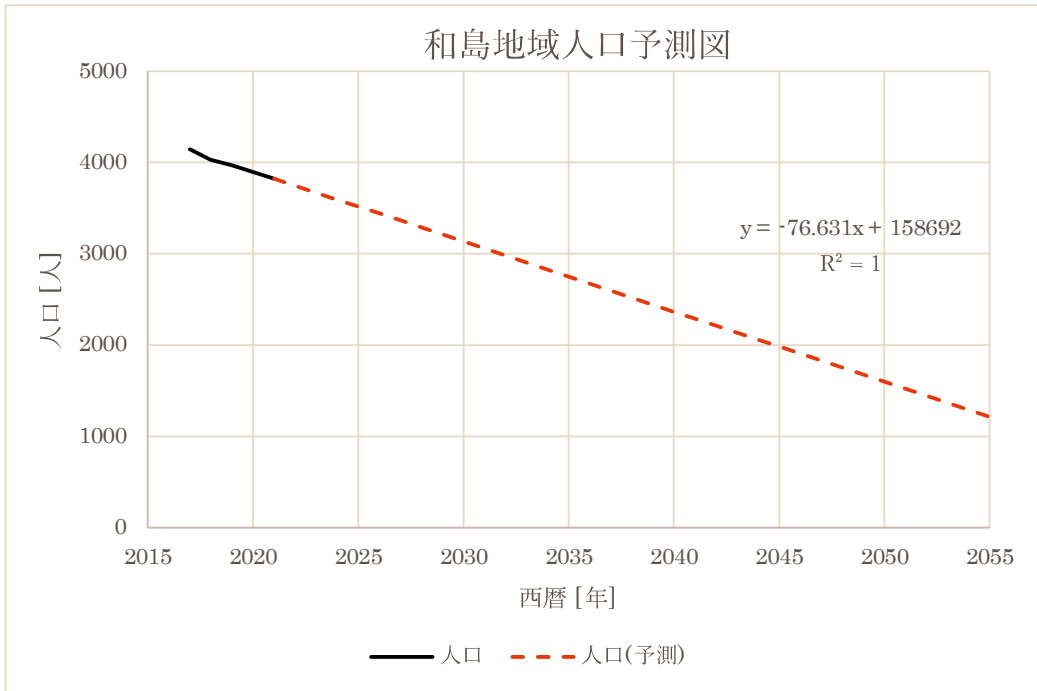
人口減少問題は、ほぼすべての中山間地域において発生している問題の根本原因となっている。林業、農業、畜産業、内水面漁業などの1次産業の担い手不足は、このあおりを受けているし、不在地主問題や管理ができない土地、所有物の問題、そして、現在、すでに人口が最も多かった頃に合わせて拡大した道路や公共施設などのインフラを今後どうするのか、考えていかないといけない時期に来ているのは間違いない。2050年CO<sub>2</sub>ゼロの問題には、現在使用しているエネルギーをできる限りクリーンなエネルギーに変えていくことも大切だが、一度広げてしまったインフラ施設の維持管理にかかっているエネルギーを今の人口減少に合わせて適切に縮小していくこともとても重要な問題である。

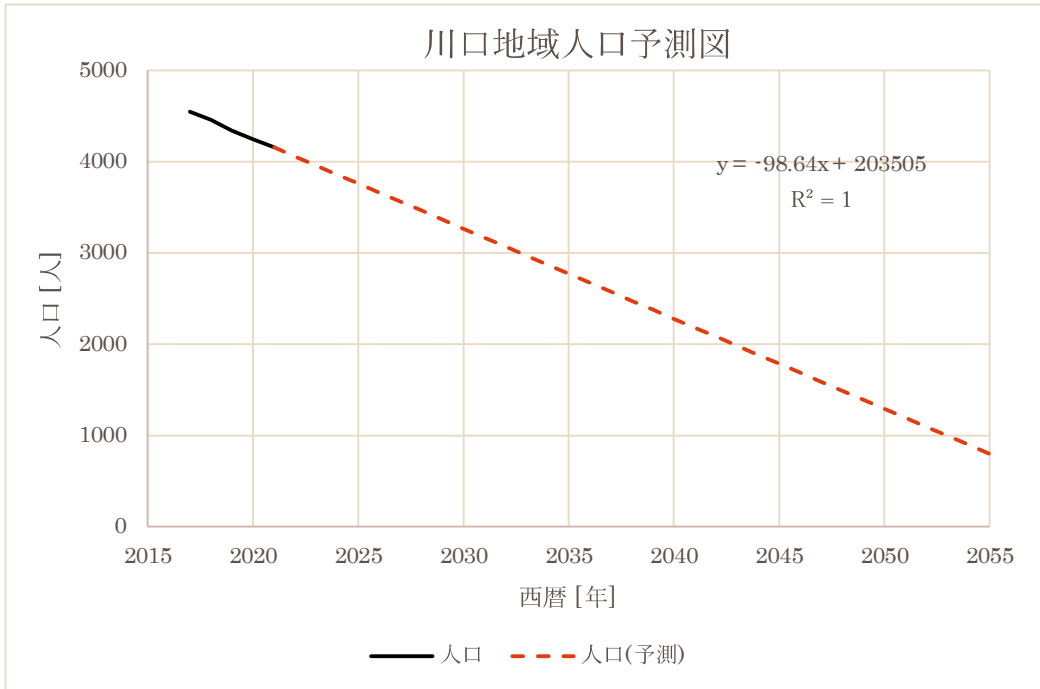
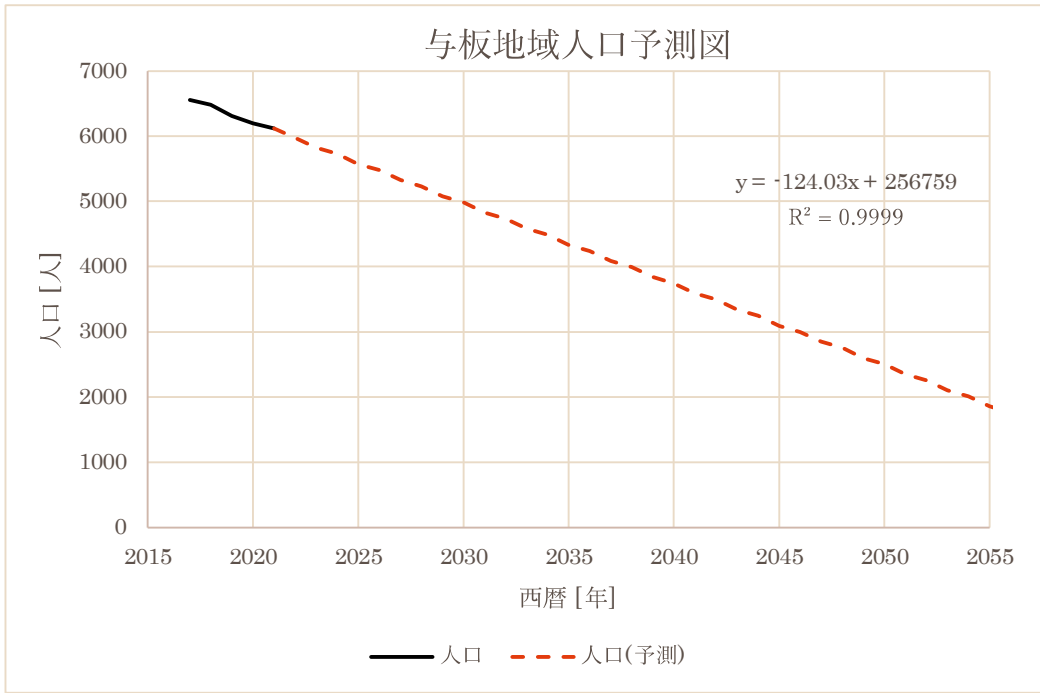












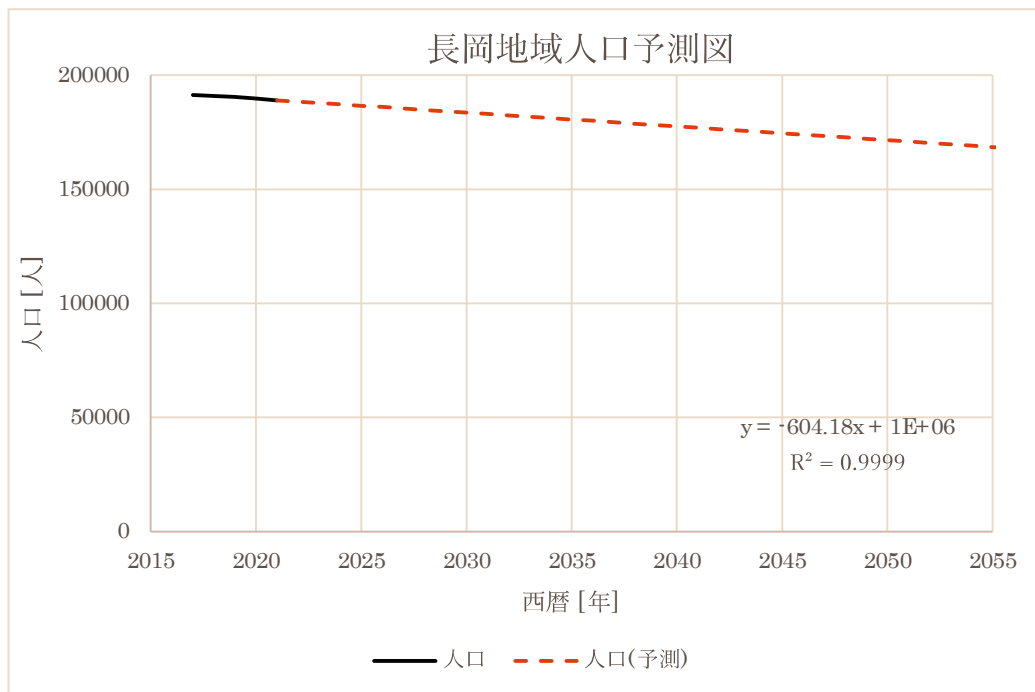


図 13 直近 5 年の人口減少率を直線回帰し、長岡の各地域別に今後の人口減少シミュレーションを行った結果

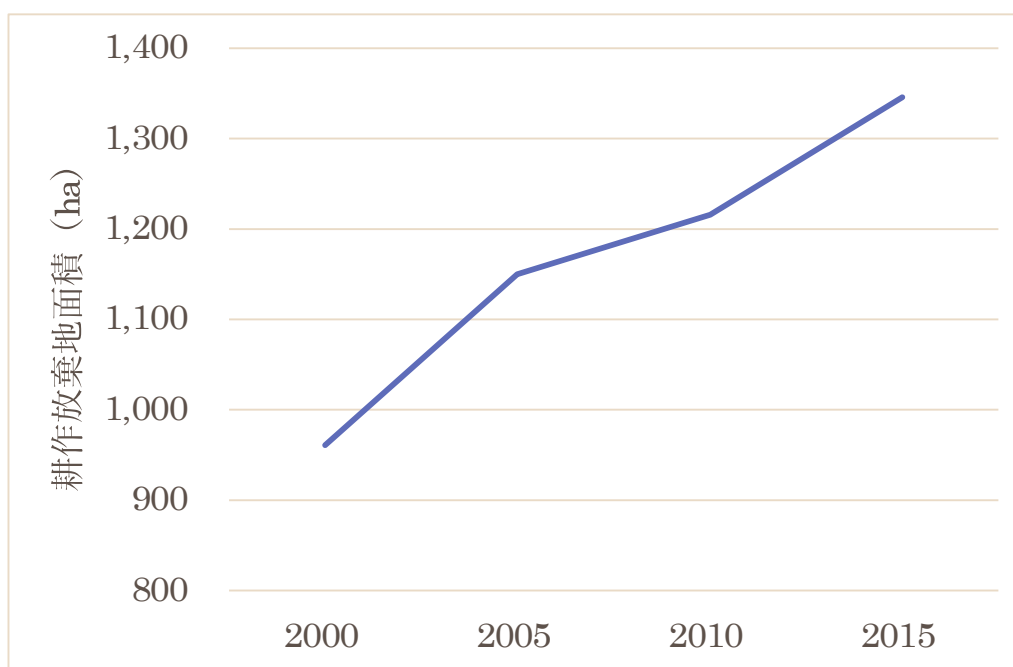
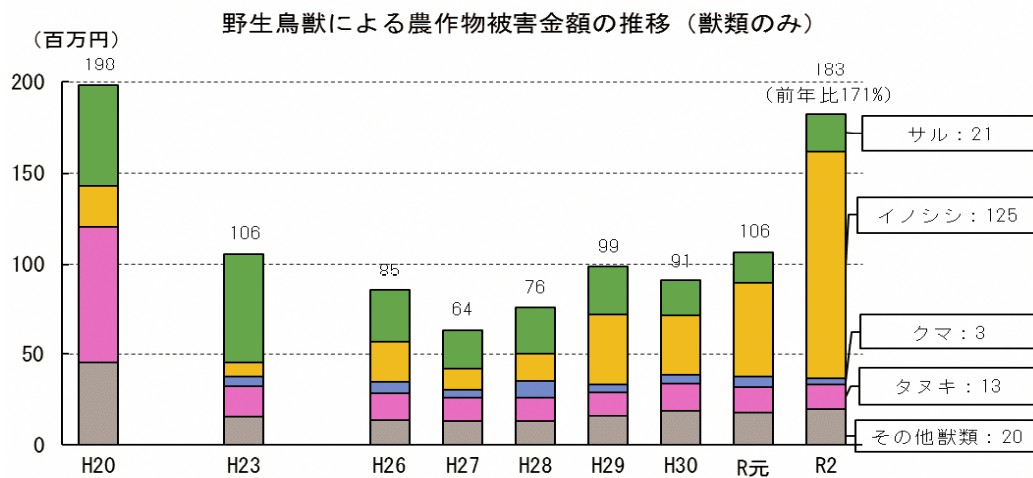


図 14 耕作放棄地面積の推移（農水省 農業センサス）

図 14 は、2000 年から 2015 年までの長岡市域における耕作放棄面積の推移を表している。この調査項目は 2020 年の農業センサスのデータから調査対象外になってしまったので、近年の正確な数値はわからないが、耕作放棄の増加率を直線回帰して 2020 年の数値を水産すると 1,474 ha ほどの耕作放棄地が長岡にあることが予想される。



**図 15 新潟県における野生鳥獣による農作物被害の推移（獣類のみ）（新潟県農林水産部 R3）**

また、近年新潟県ではかつて生息が途絶えていたイノシシやニホンジカなどの草食動物が県内で分布や生息個体数が拡大し、農業被害が拡大傾向にある

（図 15）。特に、イノシシは、新潟県の最も重要な農産物である水稲に大きな被害を出すことが知られている（図 16）。

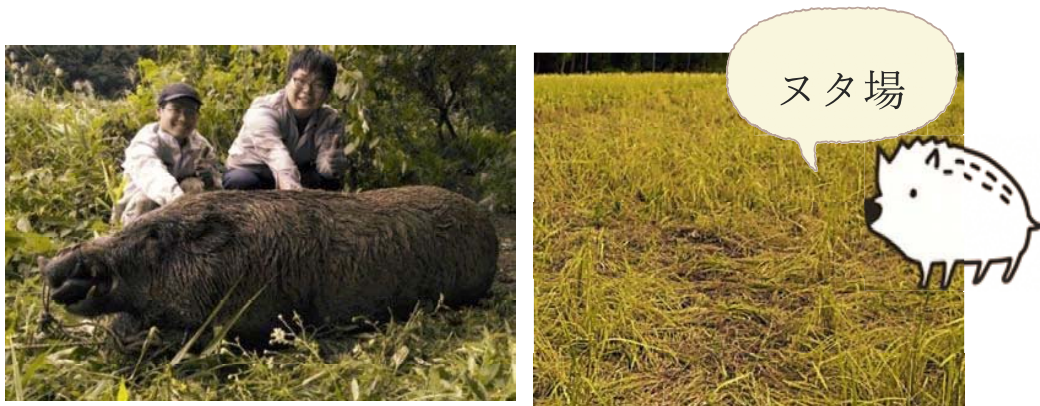


図 16 長岡市大積地区で捕獲された 140 kg のイノシシとイノシシに荒らされた  
水稲圃場

特に中山間地域では耕作放棄地が増えているが、イノシシは耕作放棄地を住みかとして付近の水稲圃場に被害を拡大させることが知られている。長岡市には、信濃川を挟んで西側の地域はイノシシの被害が多く、栃尾地域では、ニホンザル、ツキノワグマに加え、近年イノシシの被害が増加しつつある。現在、野生動物と人間の軋轢は、中山間地域を中心に発生しているが、このまま農村地域の住民が減少し、中山間地域がなくなってしまうと、野生動物と人間の緩衝地帯の役割を果たしていたエリアが消失してしまうことになる。農村は比較的人口密度も低く、動物の生息している山林が近くにあるため、野生動物が出没しても大きな問題にならずに元の生息地に戻るができるが、ひとたび都市部に野生動物が迷い込むと大変なパニックを引き起こす。近年、リバーサイ

ド千秋や美沢のアクロスプラザなどの商業施設にイノシシが出没し、大変な騒ぎになった。現在は年に1回あるかないかの珍事だが、今後、中山間地域が消失し、野生動物の生息エリアが都市部に近づいてくるとこのような都市への動物の出没頻度は増加することが予想され、人身被害や交通事故、そして、感染症の媒介など様々な問題が発生することが予想される。野生動物との共存をしていくためにも、長岡市のような中核都市の都市計画のみならず、その周りにある農村計画を含めた都市の在り方を模索していく必要があるだろう。

#### イ 里山の循環利用に欠かせない畜産

かつての里山の循環利用に関する概要図を図17に示す。石油などの資源が使われるまでの日本は、里山のバイオマス燃料として暮らしていた。森林の木材や萌芽更新した枝はもちろんのこと、草地に生えている草本や落ち葉も家畜の餌として活用していた。中山間地域のお年寄りから話を伺うと、昔の農村には、現在のような耕作放棄地や藪はなかったという。それはなぜかというところ、各自の家には必ず牛やヤギなどの家畜がおり、それらの餌として藪の草本は貴重な資源として村人が管理していたからだそう。現在の長岡市では、畜産を営む人と農業を営む人は完全に業態が分離しており、地域の草本資源を利用する仕組みが失われたため、現在のように草地が放置されているのだろう。

近年、農林水産省は、畜産における輸入飼料の割合が高いことから、国産飼料の自給率を向上することを目標としている（図 18）。近年、CFS（豚熱）や高病原性鳥インフルエンザ等の感染症の問題から、畜産の多くは放牧ではなく室内飼育が中心となっており、粗飼料以上に、濃厚飼料に頼っている現状がある。しかし、オーストリアなどでは、放牧による畜産はいまでも盛んにおこなわれており、グラスフェッドミルク（牧草牛乳）という名で、一般の畜舎で飼育された牛のミルクとは区別して販売されており、放牧された牛のミルクは、ビタミンなどの栄養価も高く、ストレスがない状態で飼育されていることから 1割程度高い単価で販売されている（西川 2016）。オーストリア以外にも、オーストラリア・ニュージーランドでも同様のグラスフェッドミルクが販売されている（今井明夫 私信）。





図 17 里山の循環利用を模式的あらわした図

図表 1-1-4 供給熱量ベースと生産額ベースの食料自給率

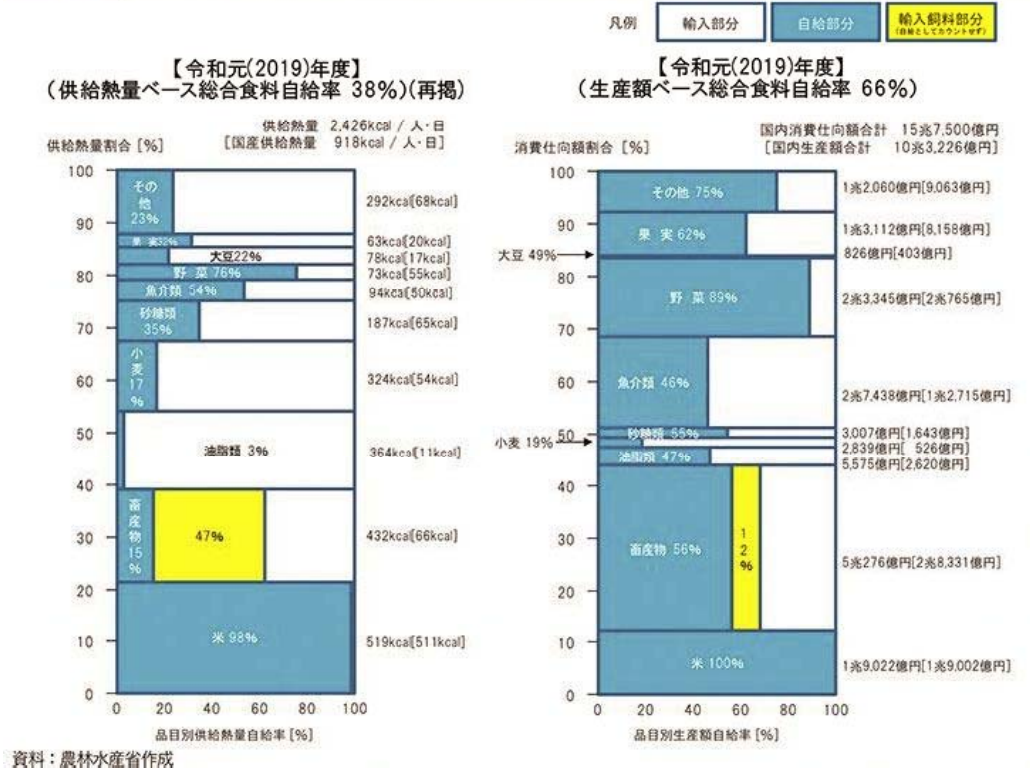


図 18 供給熱量ベースと生産額ベースの食料自給率 (R2 農水省 食料・農業・農村白書)

このように考えると、日本の中山間地域においても現在全く利用されていない草本を畜産飼料として活用し、ストレスのない環境で放牧により育った動物のミルクや肉を販売する畜産と農地で発生する未利用資源の一つである残渣などを飼料として活用し、サーキュラーエコノミー的発想で複数の生産者を結び取り組みを作っていくことが大事なのではないかと考えた。

### ウ ヤギやウシを利用した放牧畜産の可能性

ヤギは、飼育のしやすさ、草本を選ばず食べる旺盛な食欲から、近年、除草用としても人気のある畜産動物である。成ヤギ1頭（体重60kg）は1日に生草で約12kg（乾物で2.4kg=体重比4%）採食することができる（今井明夫氏のヒアリングより）。草量が1,500kg/10aとすれば1日に約10㎡程度採食可能と思われる（今井明夫氏のヒアリングより）。ヤギを用いれば化石燃料も使わずに済むうえに、ミルクを出してくれることになる。現在、増加が問題となっている耕作放棄地を活用すれば、相当数のヤギを飼育できることになる。ヤギは、斜面地にも強いため、水田の畔、耕作放棄地はもちろん、近年普及が進んでいる太陽光パネル下の草刈りなど、どこでも除草を行ってくれる（図19）。なお、成ヤギ2頭を放牧するには約15a=0.15haの面積が必要とされており、1年に約200ℓ（経産個体）のミルクを出す（今井明夫氏のヒアリングより）。なお、ヤギ乳の市場価格は牛乳のおおよそ5倍である。

一方、ヤギ以外にも、草地の放牧としては、一般にウシの放牧が最も広く行われている。乳牛の場合、放牧には、牛1頭に1haの放牧地が必要と言われており、牛は一般的な飼養方法で、9,000kg/年、乳を出す。放牧で草主体、配合飼料控えめで飼養すると、7,000kg程度ではないかとのことだった（新潟大学農学部FC村松ステーション吉田智佳子先生のヒアリングより）。



図 19 太陽光パネルの下を除草するヤギと畔を除草するヤギ（今井明夫氏提供の資料より引用）

ヤギの産業利用としての経済価値は高く、様々な利用方法があげられる。全国ヤギネットワーク代表の今井氏の資料を引用すると以下のような項目が主な利用としてあげられている。

（以下今井明夫先生が執筆された「多様なヤギ飼養の現状とヤギ乳生産の経済性について」より引用）

#### 1. ヤギ活用における経済性

北海道中標津の乾牧場は「しれとこヤギミルク」のブランドで知られている。飲用ヤギ乳の生産者はまだ少ないが、季節限定商品として観光地などで需要があり、通信販売でも需要が拡大している。

ヤギ乳特有の風味についても認知されるようになってきた。

これまで、ヤギ乳の加工食品はチーズが主体であったが、ヨーグルトやジェラート、バター、プリンなどが作られている。ヤギ乳石鹸も市販されている。

## 2. 草刈りヤギ

農村部の休耕地や耕作放棄地だけでなく、都市部の空地や公共緑地、太陽光発電施設などにおいて草刈りのための人手を削減したり、除草剤を使用しないなどの目的でヤギによる除草が行われ、そのためのヤギのレンタル業者もいくつか存在するが、ヤギを冬期間保留する施設や飼料費、管理費が必要になる。

ヤギの放牧による除草を受託している事例もある。岐阜県の(有)フルージックは美濃加茂市の公共緑地のほかソーラーパネル下の除草や企業敷地内の草地管理を受託してヤギの派遣事業を行っている。

新潟県村上市では農業用水路の法面除草を土地改良区から請け負っている。

## 3. 観光施設

富山県の「あるぺん村」は立山アルペンルートに大きなドライブインを経営しており、ふれあい動物としてヤギを導入することで集客力が向上した。

新潟県のファーストファーム（2020年に事業を中止）ではヤギの観光牧場として営業しながらバターやジェラートに加工して全国に販売している。

## 4. 教育目的

新潟県内では毎年 40~50 校の小学校でヤギを飼育しており、県内の 2 農場のほか家畜商を介して県外からも導入して入学させている。

小学校におけるヤギ飼育は子供たちの心の発達に大きく寄与することが知られており、そのことを体験した先生は転勤先において低学年の担任とヤギ飼育を希望するので、どんどん広がっていくことになる。

上越地域は特にヤギを飼育する学校が多く、教育委員会が主催して毎年学校飼育動物の講習会を行っており、ヤギの健康管理に役立っている。

また、新潟県動物愛護センターでは全県下の教育委員会と県獣医師会を通して小学校と一般のヤギ飼育者にも案内を出してヤギ飼育セミナーを開催し、毎年 30 名以上の参加者があり、疾病防止や動物愛護の啓発を行っている。

## 5. 福祉目的

ヤギは人と親和性の高い動物であることがよく知られているが、前述の草刈り目的のヤギはふれあい動物としての役割も果たしている。

大分県湯布院町奥江地区は 10 戸が寄り添う高齢者の集落だが、「奥江ふれあいヤギの会」を発足させて協働してヤギの世話をすることでお互いの見守り活動を行っている。

「福祉農場」という言葉はまだ耳新しいのだが、既に岡山県の2農場で知的障害者を雇用している。ヤギは性格が温順で飼育が容易であり、ヤギ乳生産もできるから生産物の販売によって収益を得ることも可能である。

## 6. ヤギ肉の需要

日本におけるヤギ肉需要は大部分が沖縄県に集中している。沖縄県内における消費量に対して県内生産量は三分の一であり、道府県からの移入とオーストラリア、ニュージーランドからの輸入で賄っている。

沖縄県は大型肉用ヤギの導入（ボア種）による改良を進めているが、消費需要を満たすまでには遠く及ばない状況にある。

道府県からの移入については、生体を輸送するコストが大きいので枝肉にして出荷したいのだが、ヤギの屠畜をしない道府県が多いことが問題である。

以上のヤギ乳生産の経済性について考える上で収支項目をまとめると表2のようになる。

表2 ヤギ乳生産の経済性を検討するための項目

支出項目	収入項目
飼育施設	ミルクと加工品
搾乳施設	子ヤギ販売

加工施設	ヤギの貸し出し
飼料費	観光事業
衛生費	ふれあい展示
家畜導入費	肉用ヤギ販売
その他	その他

ヤギ飼育の経済性については、以下の資料にまとめられているため、再度引用させていただきます。

(以下今井明夫先生が執筆された「多様なヤギ飼養の現状とヤギ乳生産の経済性について」より引用)

#### 1. 施設設備の費用

飼育小屋は積雪の少ない地域では農業用パイプハウスで十分である。

搾乳器具についてはヤギ専用のミルカーとクーラーで約 100 万円を必要とする。

殺菌ヤギ乳を販売するために、販売容器充填までの一連の器械設備に約 200 万円、小型のチーズ製造設備は 100 万円くらいである。

加工処理用の建物施設は保健所の食品製造認可を取得しなければならないが、建築費を抑制することが重要である。総額で 700~1000 万円と見積もられる。

この償却費は 20 年償還でおおよそ年額約 36 万円である。



## 2. 飼料費

成ヤギ1頭の年間飼料費を購入粗飼料で概算すると54,000円になり、子ヤギ4か月の飼料費は10,000円くらいである。自給飼料をどれだけ確保できるかがポイントであり、夏季の青刈り給与と放牧、冬季のサイレージや自給乾草の給与で飼料費の節減を図るべきである。ちなみに私の農場では成ヤギ8頭規模で購入飼料費の支出額は1頭当たり15,000円程度である。

## 3. 衛生費

ヤギの重要疾病対策は寄生虫対策に尽きる。成ヤギの捻転胃虫や条虫の駆除、子ヤギのコクシジウム駆除、そして腰麻痺の予防が特に重要である。ヤギ関節炎・脳脊髄炎（CAE）については清浄化している農場から素畜を導入して自家繁殖で増やすことが大切で、出所不明な雌ヤギを購入すべきでない。

飼料給与を適正に行うことで消化器病を防ぐことができ、飼育環境を良くすることで感染症や寄生虫症を少なくすることができる。

## 4. 家畜導入費

優良系統のヤギを当初からそろえることは費用負担が大きく得策ではない。優良な雌子ヤギの価格は40,000～60,000円と高い。

信頼できる農場から雌ヤギを数頭を譲ってもらい、家畜改良センター茨城牧場長野支場から雄ヤギを購入して自家繁殖で増殖することを勧めたい。なお、近親交配によるリスクを避けるために液状精液による人工授精を行うこともできる。

雌ヤギは6産~8産が可能であり双子の場合が多く5~7頭の雌山羊を生産することになる。しかし、乳房炎や消化器障害、肢蹄障害などで廃用にする例が多く、飼育管理技術が家畜導入費を大きく左右することになる。

#### 5. 人件費とその他の経費

中部日本のある町でヤギによる地域おこしに取り組んだことがある。廃校を利用してヤギ牧場を開設し、ヤギ乳の生産加工やヤギの貸し出しを行った。

人件費と管理費用で町費の持ち出しが多く、数年で事業を中止せざるを得なくなった。ヤギ農場の収入項目ごとにどれだけ収益を得られるか計算すれば雇用人件費を負担することが難しいことを理解するべきである。

#### 6. 経営収支の試算

成雌50頭規模を想定して収支を試算するために表3~表5を示す。

表3 成雌50頭規模の子ヤギ生産頭数と乳生産量

飼育頭数	分娩頭数	子ヤギ生産	搾乳頭数 <sup>3)</sup>	乳量×日数	乳生産量ℓ
♀50+♂2	初産15	♂8+♀7	12	1.5ℓ×150日	2,700
	経産30	♂30+♀30	28	2.0ℓ×230日	12,880
	計 45 <sup>1)</sup>	計♂38+♀ 37 <sup>2)</sup>	計40		計15,580

1)受胎率90%、2)初産は単子、経産は双子、3)分娩頭数-α

表4 ヤギミルクの販売額 円

生産量レベル kg	販売額@200	販売額@250	備考
10,000	2,000,000	2,500,000	低能力群
15,000	3,000,000	3,750,000	平均能力群
20,000	4,000,000	5,000,000	高能力群

注) チーズその他加工品もミルク販売とした。

表5 子畜販売額

性別	生産頭数	育成販売数	単価	金額
♂	38	30	15,000	450,000
♀	37	22*	25,000	550,000
計	75	60		1,000,000

注) ♀子ヤギの一部は更新のため自家保留

表6 収支の概算(円)

粗収入レベル	4,000,000	5,000,000	4,000,000	5,000,000
設備償却費	360,000		360,000	
飼料費	1,000,000		2,000,000	
衛生費	150,000		150,000	
家畜償却費	400,000		400,000	
人件費他	300,000		300,000	
経費合計	2,210,000		3,210,000	
収支差益	1,790,000	2,790,000	790,000	1,790,000

注) 人件費は自家労賃を除く

ヤギ搾乳経営の収支を概算すると成ヤギ 50 頭規模で 400～500 万円前後の粗収入とみることができる（表 6）。収入を上げるためには産乳量の向上と有利販売できるブランド化が求められる。

収益確保には飼料費を節減することが極めて重要であり、そのための飼料生産供給計画が求められる。また自家繁殖およびヤギの損耗防止によって家畜償却費を抑制することも大切になる。

各地域にヤギ乳加工施設を所有する農場が存在していることから、周辺地域の小規模飼養者が搾乳したミルクを加工施設へ搬入（生乳販売）して加工処理を行い地域ブランド化できる可能性がある。その場合に個々農家の搾乳と生乳の輸送をどのように行うかが課題となる。

上記の通り、今井氏の文章中に、「収益確保には飼料費を節減することが極めて重要であり、そのための飼料生産供給計画が求められる。」という指摘がある。新潟の場合、春から秋までは放牧によって草地で飼料の多くを賄うことができるが、冬季、室内飼育をしている期間の飼料をいかに節約するかが、収支を好転させるカギとなっていることがわかる。1 人でヤギを 50 頭飼育すると労働力を雇用ベースで飼育することは非常に困難であり（現在の試算の方も人件費は自家労賃を除いた形での試算となっている。）、家族経営で 5～

6頭の飼育を行ってくれる協力農家 10軒くらいをまとめて、搾乳後の処理を  
合同で実施し、乳製品加工等を行うことが現実的と考えられる。

ウシの場合は、ある程度広い土地があればすでに放牧による利用はある程度  
確立されていると思われるが、そもそも牛乳の製品価格はとても安いので、諸  
外国のようにグラスフェッドミルクのブランディングと付加価値を付けた販売  
戦略が必要になる。また、ヤギもウシも、観光利用と並行しながら、現地に来  
て搾りたてのミルクを味わってもらったり、乳製品の加工物を販売するなど、  
中山間地域の農業と畜産の体験ツーリズムを付加価値として消費してもらう  
ようなプログラムも有効だろう。

## エ 畜産への未利用資源活用の可能性

酪農に地域飼料資源を活用することは、もともとの里山の循環利用の考え方  
からしても非常に理にかなったものである。農産物の残渣としては、イナワラ  
や大豆茎莢、イモつるなどである（今井明夫氏 私信）。また、規格外農産物  
として、コメ、麦、大豆、イモ類、根菜類、果菜類など、食品製造副産物とし  
てぬか類、粕類、おからなど、さらには食茸培養残渣として、コーンこぶ基材  
廃菌床などもある（今井明夫氏 私信）。家畜への給与はこれらの中から日持  
ちのするものは冬季の餌資源の節約として使用することが可能である。先ほ

ど、ヤギも放牧できない冬期間の飼料をいかに節約するかが大切だということ  
を今井氏が指摘しているが、乳牛の生産においてもその約半分が飼料費であ  
り、その半分は輸入穀物が占めている。この穀類の半分は粕類で代用可能であ  
ることもわかっている（今井明夫氏 私信）。本来であれば、自給飼料として  
コーンサイレージや稲発酵粗飼料と、副産物として、米ぬか、豆腐粕、酒粕、  
作物残渣としてスイートコーン、イナワラ、大豆から、木質系としてキノコ廃  
菌床、シイタケ原木、竹ペレット、規格外品としてくずコメ、等外大豆などを  
組み合わせて地域資源活用型混合飼料を使っていくことも SDGs の観点からも  
非常に大切な取り組みである。これはある程度地域が一体となって未利用資源  
を活用するシステム、JA や営農組合と畜産家が協力して、地域の未利用資源の  
活用を視野に入れた取り組みが必要だろう。また、これらの混合飼料を畜産家  
に使ってもらうためのコーディネートとその飼料の収集、配送を含めても海外  
の飼料より安い値段で手に入れることが大前提である。そう考えると地域全体  
で、農業と畜産をサーキュレートするような組織を作って、廃棄物を下げる取  
り組みをしていくというブランディングで環境意識の高い消費者に訴えていく  
仕組みも必要だろう。

上記の長岡市における冬期間の飼料節約するための未利用資源の中から、本  
研究では、特に枝豆とおからに注目した。枝豆は新潟の代表的な作物であり、

新潟県の作付けは 1,580 ha で日本一であり、5,577 t が収穫されている。枝豆の莢：茎葉の割合はおおよそ 1：4 とされているため、新潟県全体では、約 22,000 t の残渣が毎年出ていることになる。また、加工用の枝豆では莢の残渣も問題となっている。JA 越後ながおかの枝豆を集配している営農部園芸特産課の神林氏にヒアリングしたところ、長岡の枝豆茎等の残渣について正確に計量したことはないそうだが、おおよそ 100 kg/日×50 日で 5 t くらいの茎葉が出ているものと推定されている。また、枝豆を選別して除外した莢（虫害、1 粒莢などのいわゆる B 品）は、一部加工向けに販売したり、生産者へ返却しているが、現状大半は廃棄しているようで、令和 3 年は 25 t（推定）となっているそうだ。現在、B 品廃棄量が多くなっており、この取り扱い、販売についても課題となっているそうだ。

また、栃尾地域は、あぶら揚げが特産品であり、かなりの量のおからが排出される。長岡市地域おこし協力隊の服部祥吾氏のヒアリングによると長岡市栃尾地区におけるあぶらあげや 19 軒のデータをまとめたデータを図 20 に示した。おからは年間 1,782 t のおからが出るうち、605 t（34%）が無料販売もしくは廃棄されている。店舗別にみると、19 店舗中、販売もしくは資源化しているのは 3 店舗で、12 店舗は、廃棄、4 店舗が無償引き取りをしていた。このよ



うにおからの残渣はあまり有効活用されていないことが明らかとなり、この廃棄物の産業廃棄物処理費用もさらにかかっていることが推測された。

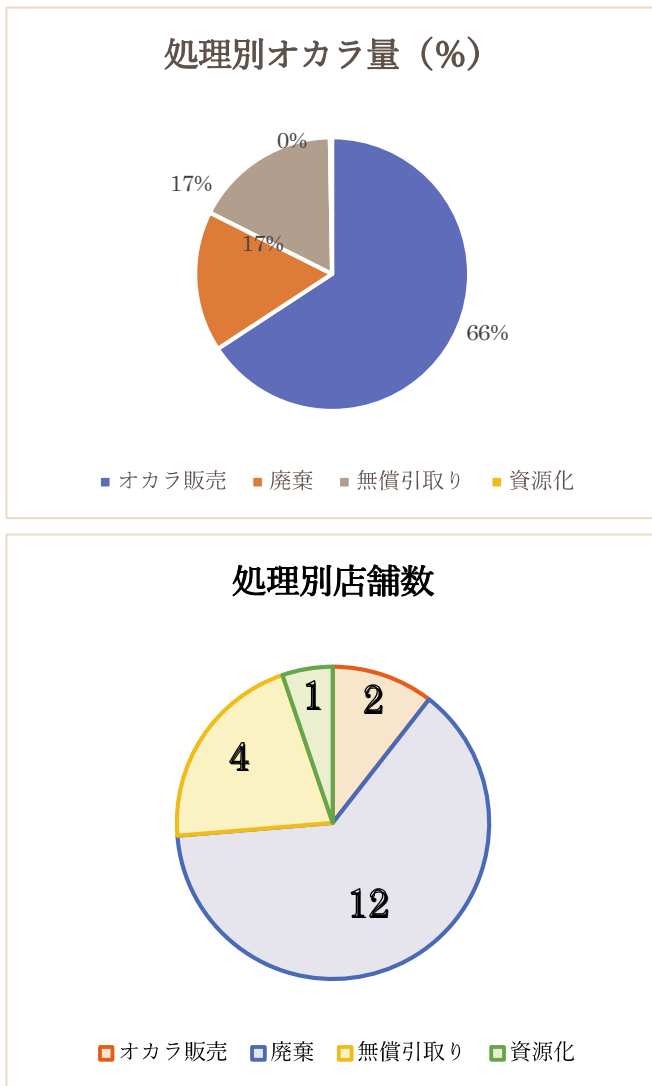


図 20 おからの処理別割合（上）と処理別店舗数（下） 長岡市地域おこし協力隊の服部祥吾氏のヒアリングデータより引用

おからについては、飼料利用に関する研究がすでに行われているが、腐敗等により品質が劣化しやすいことやウシの場合乳房炎の発生や乳脂肪率の低下が生じることが問題となっている（日渡ら 2015、近藤ら 2014、高屋ら 2020）。これらの研究の結果、①おからは一工夫して発酵サイレージ化が可能（112日間保存可能）（高屋ら 2020）、②発酵おから(無添加)は変敗しやすいが牛の飼料として使える可能性がある(近藤ら、2014)、③おからは、乳酸発酵と包材の選択の併用により、未開封で常温 45 日間以上の腐敗変敗抑制が可能で、開封後も 1 週間の保存性が確認された（日渡ら 2015）。乳牛用混合飼料へ添加(1日 10 kg)すると、乳酸発酵おから混合区で嗜好性の向上と乳量の増大が認められた。（日渡ら 2015）ということが明らかになっている。よって、おからは一工夫して発酵サイレージ化すると、1日 10 kgまで、乳牛に与えることができ、嗜好性もよいことがわかっているが、飼料として用いるには、今後さらなる改善が必要かもしれないが、残渣の利用としての可能性はあると考えられた（新潟大学吉田智佳子先生のヒアリングより）。

枝豆の茎葉のサイレージ化については、一部研究があるものの未だヤギや乳牛への使用についての事例は非常に乏しいことから（松田ら 2013）、今回実際に枝豆の茎葉を使用してサイレージの作成を試み、その栄養成分、使用した農薬の残留量について計測を行った。

JA 越後ながおかに協力いただき、約 400 kg の枝豆の裁断後の茎葉を大学に運び、天日で3日ほどブルーシートの上で予備乾燥をした。その後、漬物を保存していた廃プラスチック容器を利用して、サイレージを作成した。詰める途中で 20 l あたり乳酸菌製材を 5 ml 程度加えながら、できるだけ空気を含めないように人間が体重をかけて圧縮し、終わり次第容器を密閉した（図 21）。サイレージの作成に当たっては、新潟大学の吉田智佳子先生との共同研究として実施した。



図 21 枝豆サイレージの作成の様子

枝豆茎葉を使用してパウチ法で作成したサイレージの栄養分析結果について、新潟大学の吉田先生に提供いただいたものを表 7 に示した。また、本研究

で作成したサイレージについては、日本食品分析センターに依頼をして 450 農薬について分析試験を実施した結果を表 8 に示した。

表 7 パウチ法(少量での発酵調製)による発酵調製後の主な栄養成分 (新潟大学吉田先生提供)

列1	水分含量 (%)	CP (% DM)	EE (% DM)	粗灰分 (%DM)	aNDFom (% DM)	ADF (% DM)	NFC (% DM)	Vスコア
		乾物中粗タンパク質率	乾物中粗脂肪率	乾物中ミネラル含有量	aNDF (中性デタージェント繊維)	酸性デタージェント繊維	(非繊維性炭水化物)	サイレージ発酵品質評価スコア、Max100で高いほど良い
越一寸 無添加	61.5	19.2	2.7	10.8	43.2	40.2	24	40
越一寸 乳酸菌添加	64.4	18.7	3	15.9	46.4	42.5	15.9	39.1
越一寸 糖蜜添加	54.2	20.1	2.2	10.9	41.8	37.5	25	74.9
調整前越一寸 莢・茎葉 混合	68.3	21.5	2.4	10	41.7	32.4	24.4	
(参考)アルファルファヘイ 豆科牧草の乾草、輸入	7.84	22.1	2.6	10.2	36.7	27.5	30.4	乾草なのでVスコア無し

吉田先生によれば、輸入したマメ科乾草飼料「アルファルファヘイ」と比較して、枝豆茎葉はほぼ同じ栄養分なので、代替品として使用が可能とのことだった。ただし、実際にウシに与えたところ、嗜好性が落ちることがわかっているため、もし使用する場合は若いうちから慣れされることも重要と考えられるとのことだった。また、アルファルファヘイは、牛だと 1 日 3 kg(乾物で)ほど与えているそうだ。エダマメ茎葉原物 1 t はサイレージにすると 840 kg になり、乾物で 1 日 3 kg 与えると 112 頭分になる、100 頭の牛群で、1 年間に 365

tの枝豆茎葉が消費できる可能性があるため、エダマメ茎葉で置き換えられたら地域の茎葉残さは牛がかなりの部分を消費できる可能性があり、非常に有力な未利用資源として考えられるとのことだった。長岡の1年間に出る枝茎葉の残渣5 tとB級品25tという量を考えると、ウシ10頭へのサイレージ利用で全部食べ切ってしまう可能性もあるため、かなり有効な活用方法と考えられる。今回、ヤギへの給餌実験はできなかったため、今後はヤギの冬期飼料へと活用が可能かどうかについて、検証を行っていく必要がある。

表8 枝豆サイレージ残留農薬分析結果と残留基準値

物質名	単位	検体①	検体②	検体③	基準値参考	
					えだまめ	飼料
アゾキシストロピン	mg/kg	0.02	検出せず	検出せず	5	無し
エトフェンブロックス	mg/kg	0.11	0.13	0.74	3	無し
クラントラニリプロール	mg/kg	0.13	検出せず	検出せず	1	無し
シアゾファミド	mg/kg	0.01	0.04	検出せず	5	無し
シペルメトリン	mg/kg	0.12	0.3	0.45	5	無し
ペルメトリン	mg/kg	0.05	検出せず	検出せず	3	2(大豆) 55(牧草)

今回作成した枝豆茎葉のサイレージの残留農薬の基準値は、表8の通りであり、飼料の残留農薬として基準値のない成分が多いが、「えだまめ」の基準値を大きく超えるものではなかったため、安全性に問題はないと判断された。

## オ 放牧が鳥獣被害対策や子供たちの教育に果たす役割について

野生動物が集落や田畑に近づく際、耕作放棄地や藪などは、身を隠す場所となることや、単純にシカやイノシシが利用しやすい草本が生えていることなどから、動物が安心して居つく原因となると言われている。そこで、近年、家畜を放牧することで、耕作放棄地や藪の環境を改善し、餌になる草本をなくし、見晴らしをよくすることで獣害を減らす試みが各地で行われ成果を上げている（千田ら 2002、井手ら 2005、丸居ら 2014）。また、ヤギ類は、好奇心も旺盛であり、サルなどが寄ってくるとそこに寄っていくことから、サルが嫌がるという事例もあるようだ。西日本では、肉牛を生産している畜産農家がレンタルウシ制度というものを構築し、夏場の放牧地として、獣害が発生する中山間地域に放牧を行っている地域もある。今後、地域における放牧畜産が行われることは単に草地や残渣等の未利用資源を活用できるだけでなく、野生動物被害を軽減するという副次的効果も上げることができる。

また、今井先生の資料で引用した通り、新潟県内では毎年 40~50 校の小学校でヤギ飼育を実施している。そして、小学校におけるヤギ飼育は子供たちの心の発達に大きく寄与していることがわかっている。さらに、新潟県動物愛護センターヤギ飼育セミナーを開催し、毎年 30 名以上の参加者があり、疾病防止や動物愛護の啓発を行っている。このように新潟県の義務教育機関においてこ

れほどヤギの導入が進んでいるのはひとえに全国ヤギネットワーク代表の今井明夫先生が新潟県在住で長きにわたり、普及活動を行ってきた成果と考えられる。このようにヤギの利活用に大きなアドバンテージがある新潟県では、今後もヤギの福祉的利用や教育的利用はさらに推進されていくべきだろう。

#### カ その他の中山間地域における未利用資源の利活用について

現在、中山間地域にはたくさんの野生動物が生息しており、年々捕獲頭数も増加傾向にある。近年、越路地区塚山においては、保健所が認可するジビエ用の解体処理施設が作られた。ジビエについては、捕獲した個体のうち、実際に肉として活用できる割合が15%程度と低く、捕獲した個体のうち肉として利用できる割合が少ないことから、肉を薄利多売するモデルでの経営は非常に難しいと考えられている。一般に、ジビエ肉の販売を行って解体所を経営する場合、1人雇用した人件費を賄うのであれば、年間200~300頭のイノシシやシカをさばかないと、経営は成り立たない。現在、新潟県のイノシシの捕獲頭数は4000頭ほどで、長岡市は最大で約200頭である。この個体数では、実際の利活用率を考えると、人を雇用して解体所を運営するには厳しい捕獲頭数である。よって、解体所の運営のために人を雇用せず、有害捕獲や狩猟でイノシシやシカが捕獲できたときだけ利活用できそうな良い個体を解体所に搬入するこ

とで、捕獲者が解体をしなければならぬ労力を軽減したり、捕獲した個体を買い上げることで捕獲者のモチベーションが上げられるようなら、ジビエの解体処理施設を作っても良い効果があるかもしれない。

一方で、ジビエの活用は、すでに捕獲数が多い九州や中国四国、中部近畿地方を中心に農林水産省の政策として推進されているため、ジビエ後進県の本県が、他の地域と競争していくのは、捕獲頭数の面、知名度の面でも非常に不利な条件となっている。よって、まずは、地域での地産地消や新潟に観光に来た人が地域のものを食べたいという機会に提供し、新潟におけるジビエ食という文化やブランドイメージを作っていくことが必要だろう。

このように、地域のジビエのブランディングと高付加価値化は非常に重要であると考えている。以前、長岡技大の上村靖司教授と一緒に、熟成によるジビエ肉の高付加価値化に目を付け、新潟の特産である雪室を利用して肉を熟成させる“雪室ジビエ”構想なるものを考案した。熟成肉は、低湿度、低温環境で白カビをはやした状態で熟成することで肉のうまみを引き出す製法である。ジビエのみならず、畜産の肉の付加価値を付ける上でも役立つ。長岡市の越後生ハム塾の指導を行ってくれたラ・ブーシェリー・デュ・ブッパ（東京都中目黒）の神谷英生シェフは、熟成肉の調理を専門としている。以前、長岡市と上村先生、神谷シェフなど関係者を集めて、“雪室ジビエ”構想について話し合う機会



を持ったこともあるが、当時はイノシシやシカの捕獲個体数がまだまだ少なかったため実現できなかった。当時、上村先生によると雪室を用いて神谷シェフが熟成肉に必要と考えている湿度や温度は十分コントロールできるだろうというお話だった。現在、複数のスーパーなどが雪室で肉の熟成をしているが、あれは白カビを生やして熟成するものではなく、肉を真空パックしたビニールで寝かしているものがほとんどである。熟成肉は、脂身の多い和牛よりも赤身の肉が適していることから、ジビエ肉は相性が良いと考えられる。同様に、家畜の肉でも赤身の肉が適しているという。近年、糖質制限ダイエットの流行や健康志向の高い客層から、赤身の肉の需要は高まっている。しかし、赤身の肉はどうしても脂身の多い肉に慣れた日本人には、パサつき感が気になったり、味気なく感じてしまう場合も少なくない。その点、熟成肉は、白カビで熟成することで肉の中のタンパク質が分解されアミノ酸が豊富になるため、味わい深く、赤身肉であっても非常においしい肉となる。今後は、ジビエの利活用を行うとしても、薄利多売をするのではなく、“雪室ジビエ”のような高付加価値化やブランディング化を行い、ご当地に来て味わってもらおうような取り組みに力を入れたほうが良いと考える。

(1) のバイオマスの利活用の項で述べた通り、木質バイオマスボイラー導入を行うことで、温水利用が可能となるため、ハウス栽培や水産養殖などを行う可能性が見えてくるだろう。また、畜産と農業を組み合わせた取り組みは、農福連携とも相性が良い。ヤギの利活用のところで触れたが、福祉目的での活用も効果的であると言われている。バイオマスボイラーを中核拠点として、中山間地域における循環的な水産業、林業、農業、畜産業を営むローカルイノベーション組織を創出し、福祉と連携して、障害のある方や引きこもりの方、あるいは、精神疾患のある方の就労支援先として提供していくことは、高齢化、人口減に悩む中山間地域の産業維持と Win-Win な関係を創出できると思われる。

このように里山には、まだまだ眠っている資源がたくさんある。養蜂、広葉樹林業、農業、畜産、ジビエの利活用、水産業など、未管理の農地や土地があるからこそ、そこを活用して新しい可能性が拓けると思う。とはいえ、すべての土地には所有者がおり、その所有者が不在、あるいは、管理できない状況のまま、集約化は全く進んでいない現状がある。長岡市が今後、人口減に立ち向かい、里山の豊かな資源を活用して魅力ある農村+都市づくりを行い、他地域からの移住者が定住できるシステムを作れるかどうかは、行政が介入し、この

ような管理を放棄された資産をどのように集約化していくかにかかっていると思う。2050年CO<sub>2</sub>ゼロに向け、単なるCO<sub>2</sub>放出量の削減だけではなく、人口減社会にどのような未来の長岡市を作りたいのか、大きなビジョンで様々な部局が連携し、取り組むことが求められるだろう。

## 6 シンポジウムの開催

今回の調査研究結果等を広く周知するとともに、再生可能エネルギーや循環型社会、環境型産業創出による地域活性化の可能性等に対する理解促進を図ることを目的としたシンポジウムを開催した。新型コロナウイルス感染症の感染状況に留意し、オンライン及び対面のハイブリッド式での開催となったが、100名を超える非常に多くの方に参加していただくことができた。

## 7 参考文献

林野庁 R3年度 森林基本計画

林野庁 HP フォレスターの指導書

長岡市 H30 森林整備計画

長岡市 H30 長岡市一般廃棄物(ごみ)処理基本計画

中越よつば森林組合 HP

矢崎総業株式会社 温水焚アロエースの HP

([http://airconditioner.yazaki-group.com/product/aroace\\_ex\\_hw.html](http://airconditioner.yazaki-group.com/product/aroace_ex_hw.html))

白石則彦 R3 林業塾 2021 配布資料 「森林計画制度の変遷と今後の展望  
より」

「木質バイオマス発電・証明ガイドライン」

[https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/hatsudenriyougaidorainqa.p](https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/hatsudenriyougaidorainqa.pdf)

[df](#)

新潟県農林水産部治山課 R2 年度 長岡市域 資源構成表

田中淳夫 (2019) 絶望の林業 新泉社

関岡東生 (監修) 図解 知識ゼロからの林業入門 (2016) 一般社団法人家の  
光協会

西川力 ヨーロッパ・バイオマス産業レポート (2016) 築地書館株式会社

(一社)日本木質バイオマスエネルギー協会 (編) (2018) 地域で始める木質バイ  
オマスネル利用 日刊工業新聞社

アーク日本株式会社 2017 年 平成 30 年度 林業成長産業化総合対策補助金  
等 (「地域内エコシステム」技術開発・実証事業 「国産薪ボイラーと国産  
スターリングエンジンによる実用型熱電供給ユニットの開発」報告書

株式会社森林再生システム (監修) 森林塾 2021 講義資料

紙谷智彦 (2021) 上中下流のネットワークによる旧薪炭ブナ林の育成と活用 森林総合研究所北海道支所 北の森だより 24: 16-19

三条市平成 30 年度 第 1 回三条市バイオマス利活用推進会議の資料

(<https://www.city.sanjo.niigata.jp/material/files/group/14/000120468.pdf>)

近藤誠、原崎雅志、苅田修一、後藤正和(2014)発酵おからによる家畜用飼料の変敗抑制に関する研究 大豆たん白質研究 vol. 17 p135-140.

日渡美世、斎藤恵、河野朋之 (2015) あいち産業科学技術総合センター研究報告 2015 p108-111.

高屋朋彰、Bulgan ENKHBAATAR、大島旭昇 (2020) 付着乳酸菌を活用した島豆腐おからサイレージのお開発とその発酵品質 日本畜産学会法 91 (2) P111-117.

松田朗海、堀口健一、高橋敏能、吉田宣夫 (2013) 枝豆茎葉残渣サイレージへの廃シロップの天かが発酵品質およびヒツジにおける影響かと第一胃液性状に及ぼす影響 日本草地学会誌 59 (2) p114-119.

井出 保行、小山 信明、高橋 佳孝、小林 英和 (2005) 耕作放棄地での肉用牛放牧がイノシシの掘り返し行動に及ぼす影響 近畿中国四国農業研究センター研究報告 4号 p173-181。

丸居 篤, 藤堂 乃夫宏, 岡安 崇史, 後藤 貴文, 衛藤 哲次, 塩塚 雄二, 高橋 秀之 (2014) 放牧による耕作放棄地解消がイノシシの行動に及ぼす影響 日本暖地畜産学会報 57 巻 1 号 p17-22.

千田雅之, 谷本保幸, 小山信明 (2002) 中山間地域の農地管理問題と放牧の可能性: 地域資源の保全を目的とする里地放牧の存立条件と研究課題 近畿中国四国農業研究センター研究資料 1 号 p1-74.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2021) Advanced Gasification Technologies – Review and Benchmarking Review of current status of advanced gasification technologies Task 2 report(  
[https:// assets.publishing.service.gov.uk/ government/ uploads/ system/ uploads/ attachment\\_data/ file/ 1023792/ agt-benchmarking-task-2-report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1023792/agt-benchmarking-task-2-report.pdf))

Sadegh Papari, Hanieh Bamdad and Franco Berruti (2021) Pyrolytic Conversion of Plastic Waste to Value-Added Products and Fuels: A Review Materials 2021, 14, 2586. [https:// doi.org/ 10.3390/ ma14102586](https://doi.org/10.3390/ma14102586).

## 8 謝辞

本研究は、下記の方々に研究を進めるうえでヒアリングを行いました。時には、詳細な資料を提供していただきました。この場を借りて心より深く御礼を申しあげます。

ヒアリング対応者

全国山羊ネットワーク世話人 今井農業技術士事務所 技術士 今井明夫氏

速水林業代表 速水亨氏

新潟県林業職員（フォレスター） 森章氏、岩井淳治氏

新潟大学名誉教授・自然科学系フェロー 紙谷智彦先生

中越よつば森林組合長 藤田君男氏

イワキ株式会社 代表取締役社長 岩城和男氏

長岡技術科学大学 機械創造工学専攻 准教授 勝身俊之先生

新潟大学農学部 FC 村松ステーション 吉田智佳子先生

長岡市地域おこし協力隊 服部祥吾氏

### 9.3. 電気自動車(公用車)の活用実績

市では、電気自動車の普及促進を図るため、電気自動車の活用策や利便性についてイベントを通じて啓発を行った。

#### 子育ての駅ぐんぐん(令和3年10月22日(金))

目的：災害時における非常用電源としてのEVの活用策や利便性について周知を行い、脱炭素社会に向けたEV転換について意識啓発を図る。

時間：午前10時20分から午後0時10分(110分間)

会場：市民防災公園(長岡市千歳1)

来場者：子育ての駅ぐんぐんや市民防災公園への来場者

大人：66名、子ども：110名(計176名)

内容：EVの蓄電池を活用した家電の稼働によるデモンストレーション

- ①携帯電話充電器×2(情報収集機器)
- ②ラジオ×1(情報収集機器)
- ③電気給湯器×1(生活必需品)
- ④サーキュレーター×1(生活必需品)
- ⑤アンプ(その他：放送用)※ぐんぐんから借用
- ⑥その他展示物

・粉ミルク、アルファ化米、飲料水(生活必需品：防災備蓄品)

#### HAKKOTrip(令和3年10月30日(土))

目的：生ごみバイオガス由来(再エネ)の電気活用や災害時のEV活用について啓発を行い、生ごみバイオガス発電や災害時における非常用電源としてのEVの活用策や利便性の周知を行う。

時間：午前10時00分から午後3時00分(5時間)

会場：HAKKOTrip会場(長岡農業高校)

来場者：HAKKOTrip来場者

大人：139名、子ども：102名(計241名)

内容：EVの蓄電池を活用した家電の稼働によるデモンストレーション

- ①携帯電話充電器×2(情報収集機器)
- ②ラジオ×1(情報収集機器)
- ③電気給湯器×1(生活必需品)
- ④電気ストーブ×1(生活必需品)
- ⑤せんべい焼き体験ブースへの電源供給



## 市民の声

### ■費用に関する声

- ・EV に関心はあるが、費用が高いイメージ。(40代男性)
- ・価格が高すぎて手が出ない。(60代男性)
- ・電気自動車にした際に電気代がどのくらいかかるのか。(40代男性)
- ・ランニングコストが気になる、ガソリン車と電気自動車でどのくらい違うのか。(30代女性)
- ・電気自動車とガソリン車とで、使用する費用がどのくらいか違うか知りたい。(30代女性)
- ・電気自動車は価格が高いため購入の検討もしなかったが、ガソリン代と電気代を比較すると、高いわけではなさそう。(20代女性)

### ■機能に関する声

- ・実走行距離に実用性があるか不安。(30代男性)
- ・充電時間に時間がかかるイメージがあり、実用性に疑問。(40代女性)
- ・蓄電機能を使うとどのくらいの電気が賄えるのか。(20代女性)
- ・充電が家庭でどのくらいできるのか疑問。(40代女性)
- ・屋外で電気を使えるのは便利。ぜひ検討したい。(50代男性)
- ・電気自動車があれば停電の時も安心だ。(60代男性)
- ・家で充電できるなんて便利。(20代女性)
- ・キャンプの時などに野外で電気が使えたら便利。(30代男性)
- ・電気自動車にもガソリンが必要だと思った。本当に電気だけで走るのなら購入を検討したい。(30代女性)
- ・電気自動車1台で、こんなにたくさんの家電製品を稼働させることができるなんてびっくりした。(20代女性)
- ・300kmも走るのなら、距離的には電気自動車で十分。(30代女性)

### ■その他

- ・最近話題に聞くが、実感が無い。(40代女性)
- ・自分が使うのはまだまだ先なイメージ。自分の子どもが大人になったら当たり前前に普及していそう。(30代女性)
- ・長岡市に生ごみを活用して発電する施設があることを知らなかった。(30代女性)
- ・回収された生ごみが発電に活用されていることを初めて知った。(20代男性)



子育ての駅ぐんぐん実施状況



HAKKOTrip 実施状況