

# 長岡市におけるバイオ産業創出に向けた 地域特性調査及び戦略立案業務

## 報告書

2021(令和3年)年3月31日

株式会社ちとせ研究所



要旨	4
1. 業務概要	5
1.1 目的	5
1.2 概要	5
1.3 業務項目	5
1.4 業務工程	5
1.5 実施体制	6
1.6 成果物の内容と部数	6
2. 実施方針	7
2.1 長岡市の地域特性調査	7
2.2 バイオ産業創出に向けた必要な事業の整理と理想像作成	7
2.3 長岡市外の企業・事業体の調査及び戦略立案	7
3. 序論（イントロダクション）	9
3.1 バイオ産業の創出による循環型社会の形成を達成するために	9
3.2 愛着と誇りの持てる「ふるさと長岡」にするために	10
3.3 バイオ産業により長岡市を世界最先端の街にすることが可能な理由	11
3.4 目指すべき循環型社会	14
3.4.1 国における循環型社会の把握	15
3.4.2 自治体における循環型社会の目標	15
3.4.3 長岡市のバイオ産業創出による循環型社会	16
3.5 循環型社会の実現で経済的メリットをもたらす	16
4 長岡の循環型社会とは	17
4.1 定量性を持った長岡の循環型社会の定義	17
4.2 循環率	17
4.2.1 窒素の循環率	18
4.2.2 炭素の循環率	18
4.3 温室効果ガス排出の削減	19
4.3.1 温室効果ガス削減の方法	19
5 長岡市の地域特性調査の分析・評価結果	20
5.1 窒素物質循環フローに関して	20
5.1.1 窒素物質循環フローについて・調査概要	20
5.2 長岡市の窒素物質循環フロー	22
5.2.1 長岡市民が必要な窒素量・消費量	22
5.2.2 長岡市内で生産されている農産物・畜産物・水産物	22
5.2.3 長岡市外から流入・流出している農産物・畜産物・水産物	22
5.2.4 自然界から農地に取り入れている窒素量	23
5.2.5 長岡市外から補足している農畜産業に必要な窒素量	24
5.2.6 下水処理及び汚泥処理における排出物に含まれる窒素量	24
5.2.7 水産物・畜産物・農産物の生産に必要な窒素量	28
5.2.8 長岡圏内で再利用している窒素	28
5.3 長岡市の現在の循環率	28
5.4 温室効果ガスの排出	31

5.4.1	温室効果ガスと地球温暖化係数について	31
5.4.2	バイオ産業の取り組み前の長岡市における温室効果ガス排出量	31
5.4.3	現在の長岡市における温室効果ガス排出量	31
5.4.4	(参考) 環境汚染物質として排出される窒素	33
5.5	炭素物質循環フローに関して	34
5.5.1	炭素物質循環フローについて・調査概要	34
5.5.2	長岡市民が必要な炭素量・消費量 (非エネルギー起源)	34
5.5.3	エネルギー起源による二酸化炭素排出量と森林による炭素固定量 (非エネルギー起源)	35
5.6	循環型社会における優位性	37
6	長岡市のバイオ産業創出に向けた目指すべき理想像とその効果	40
6.1	循環型コンポーネントとそのビジネス	40
6.2	循環型コンポーネントの実装プラン	41
6.2.1	プラン1	42
6.2.2	プラン2	42
6.2.3	プラン3	43
6.2.4	プラン4	43
6.2.5	プランの比較	43
6.3	経済効果の考察	48
6.3.1	有機廃棄物から製造される堆肥化を用いた持続可能で高付加価値な農業生産による経済効果	48
6.3.2	ミズアブ飼料化と持続可能で高付加価値な新規産業養殖業・畜産業の創出による経済効果	50
7	長岡市におけるバイオ産業創出に向けた戦略	52
7.1	有機廃棄物から生産される堆肥化による持続可能で高付加価値な農業生産	52
7.2	ミズアブ飼料化と持続可能で高付加価値な養殖業・畜産業の創出	54
7.3	発酵を用いた未利用有機資源の高機能化による機能性商品の開発	54
8	まとめ	56
9	参考文献リスト	57

## 要旨

長岡市では豊かな地域資源を活用した新たなバイオ産業の創出を目指している。今回の地域特性調査と戦略立案は、長岡市がそのビジョンの中でも重点をおいている「愛着と誇りの持てる『ふるさと長岡』」の実現を目指し、その実現により貢献できるバイオ産業の創出という視点で戦略立案を目的として行なった。

古くより長岡市はバイオ産業が盛んであり、「バイオ産業の下地があること」「先進的な技術を持つ大学と産学官の建設的な連携体制があること」「市民と自治体が協力して事を為す実行力・推進力があること」という条件を満たしていることから、豊かな地域資源を活用した新たなバイオ産業の創出は実現性が極めて高いものと考えられている。また、バイオ産業の創出による世界トップクラスの循環型社会の形成は長岡市のビジョンの実現において貢献度が高いと考えられる。

地域における循環型社会の形成は、その地域の特色を活かし、循環が達成できる物質に着目して考えるべきである。長岡市が古くからの産業を活かし、資源循環社会の形成を達成するために着目すべき物質は炭素と窒素である。本報告書では炭素および、窒素循環の達成の指標として循環率の定義を明確にし、長岡市の炭素および、窒素循環の現状を把握すると共に、バイオ産業創出による循環率改善プランを提案する。また、バイオ産業による温室効果ガスの削減も循環達成の指標の一つとし、長岡市の現状値とバイオ産業創出による改善値を算出する。

本調査によって、長岡市はその地理的特性や、産業的特性において優位性があり、循環率向上と温室効果ガス削減という2つの指標において、世界トップクラスの循環型社会の形成の可能性が極めて高いことがわかった。

更に、本報告書では資源循環達成のために必要な事業を循環型コンポーネントとし、その効果を説明する。しかしながら、循環型コンポーネント単独ではビジネスとして成り立たない可能性が高いと思われるため、各循環型コンポーネントをビジネスとして成立させるために必要な産業、また、その産業を実現させるために必要な強化事項を合わせて提案している。

## 1. 業務概要

### 1.1 目的

長岡市の多様な自然フィールドが育んだ豊かな水、コメをはじめとする地域資源を活用した関連する地場産業のイノベーションや、新たなバイオ産業の創出に向け、市内一円における地域特性調査を行うとともに、調査結果を基にした戦略立案を行う。

### 1.2 概要

委託業務名：長岡市におけるバイオ産業創出に向けた地域特性調査及び戦略立案業務

実施期間：2020年11月20日～ 2021年3月31日

発注者：長岡市（担当：商工部産業イノベーション課）

受注者：株式会社ちとせ研究所

〒216-0041

神奈川県川崎市宮前区野川本町2丁目13番3号

TEL：044-741-2168

### 1.3 業務項目

- ① 長岡市の地域特性調査
- ② バイオ産業創出に向けた必要な事業の整理と理想像作成
- ③ 長岡市外の企業・事業体の調査及び戦略立案

### 1.4 業務工程

本業務の工程を以下の表に記す。実行にあたっては、調査の状況、調査内容、社会情勢に鑑み適宜関係者の合意の下、見直しを図った。

調査項目	2020年			2021年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
長岡市の地域特性調査						
長岡市において創出されるバイオ産業の考察						
長岡市の地域経済の構成事業の現状把握及び新たに必要となる事業の考察						
長岡市の地域経済の構成事業の実態調査						

バイオ産業創出に向けた必要な事業の整理と理想像作成																				
長岡市外の企業・事業体の調査及び戦略立案																				

### 1.5 実施体制

本業務の実施体制は以下の通り。

従事者	役職	本プロジェクトの役割	E-mail
藤田 朋宏	CEO and Founder	Senior Supervisor	fujita@chitose-bio.com
笠原 堅	Executive Officer	Supervisor	kasahara@chitose-bio.com
オデット 友紀	Advisor	Supervisor	yuki.audette@chitose-bio.com
伊香 亮	Senior Manager	Project Manager	ryo.iko@chitose-bio.com
三本 紘士	Senior Manager	Technical Manager	hiroshi.mimoto@chitose-bio.com
林 愛子	Researcher	Associate	aiko.hayashi@chitose-bio.com
勝山 久蔵	Researcher	Associate	kyuzo.katsuyama@chitose-bio.com

提案時からの変更：岸本の代わりにオデットが参画

### 1.6 成果物の内容と部数

以下の内容を含む本報告を、成果品として納品する。

- (1) 長岡市の地域特性調査の分析・評価結果
- (2) 長岡市のバイオ産業創出に向けた目指すべき理想像
- (3) 長岡市におけるバイオ産業創出に向けた戦略立案と実現に向けたアクションプラン

提出形式は、産業イノベーション課の指示により、製本またはファイル綴じ1部及び電子データ（CD-R等）1部とする。

## 2. 実施方針

### 2.1 長岡市の地域特性調査

#### 1. 長岡市において創出されるバイオ産業の考察

発酵・醸造産業をはじめ、長岡市において創出される経済的価値の高いバイオ産業や、高付加価値な製品について、成功事例など二次情報をベースとし検討・考察する。

#### 2. 長岡市の地域経済の構成事業の現状把握及び新たに必要となる事業の考察

長岡市において地域バイオ資源の循環を可能とするため、長岡市内の生産、物流、加工、販売、廃棄物処理（副産物利用）といった地域経済の構成事業の現状を把握するとともに、各事業の連携方法を検討し、そのために新たに必要となる事業について、文献や二次情報ベースで整理し検討・考察する。

#### 3. 長岡市の地域経済の構成事業の実態調査

1. と 2. で考察した目指すべきバイオ産業と実態との乖離を修正するために、長岡市内の企業や大学等を訪問し面談を行い（WEB 会議も可）、一次情報ベースで整理し検討・考察する。また、1～3の結果を基に、バイオ産業における長岡の特徴や強みを考察する。

### 2.2 バイオ産業創出に向けた必要な事業の整理と理想像作成

2-1. の 1. にて整理した長岡市のバイオ産業の目指す方向と現状を基に、バイオ産業創出に向け必要な地元企業・事業体や学術機関との連携やキャパシティ強化、外部企業との連携や誘致の必要性を整理し検討・考察する。そのうえで目指すべき理想像を作成する。

### 2.3 長岡市外の企業・事業体の調査及び戦略立案

長岡バイオコミュニティ実現のために必要な長岡市外の企業・事業体を調査する。長岡への進出の可能性・進出の要否、長岡バイオコミュニティへの参画可能性等の観点より、二次情報ベースで情報を集めた後、一次情報ベースの調査

を行う。また、2.1～2.3の結果をもとに、戦略立案と実現に向けたアクションプランの策定を行う。



### 3. 序論（イントロダクション）

#### 3.1 バイオ産業の創出による循環型社会の形成を達成するために

本調査はバイオ産業創出のための戦略立案を目的として行うものであるが、初めになぜバイオ産業の創出による長岡市の循環型社会の形成が必要であるか明確にしておきたい。長岡市が地域創生に取り組む理念は「志を未来に活かすながおか」であるということが「長岡市まち・ひと・しごと創生総合戦略/人口ビジョン[1]」に記されており、次のように説明されている。

---

長岡市は、将来の人口減、活力減が見込まれる今日の社会状況において、その将来を実際に担っていく「若者」を地方創生の主役に据え、長期的な視点に立った戦略を立案します。「若者」が、持っている様々な個性と力を活かし、伸ばし、いきいきと活躍するためには、その「志」を大切にし、長岡人の心に息づく「米百俵」の精神で、10年20年先の未来を担う次の世代に投資する政策が求められます。

このため、次の3つの考えを特に大切にします。

- 若者自身が参加、企画、実現し、魅力を生み出すまちづくり
- 未来の長岡を担う子どもたちを育てる質の高い教育環境づくり
- 長岡で頑張っている産業の事業展開を応援するとともに、新たな起業や産業の誘致を促進することによる「働く場」の確保

こうした考え方により、長岡に住み続ける「若者」、戻ってくる「若者」、新たに移住してくる「若者」を、しっかりと確保し、人口減少を抑制し、愛着と誇りの持てる「ふるさと長岡」をつくっていくことを目指します。

長岡市は、将来に渡って元気で若々しいまちであり続けるためにすべきことを「第2期長岡 市まち・ひと・しごと創生総合戦略/人口ビジョン～長岡リジュベネーション※（長岡若返り 戦略）～」として取りまとめ、若者はもちろん経験豊かな世代も含め、全市民協働で積極的、戦略的に進めていきます。

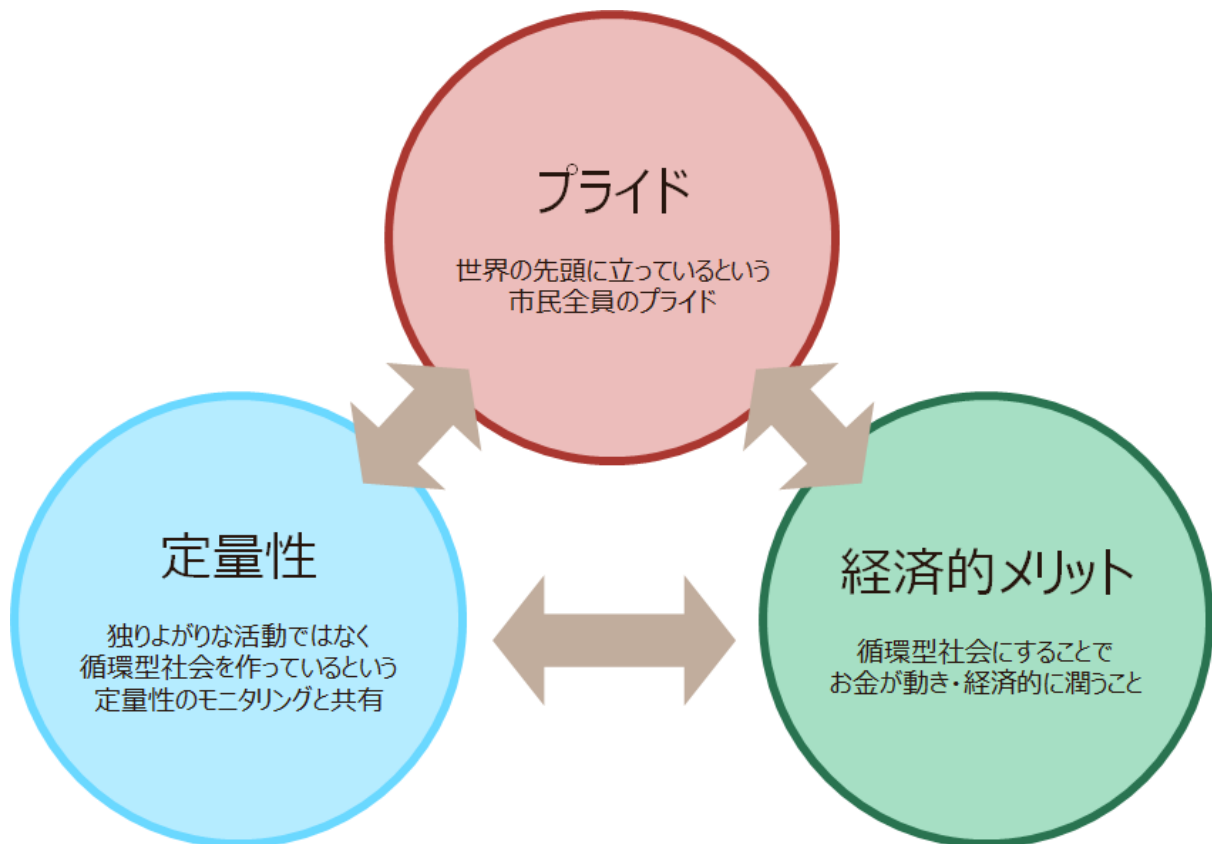
---

この理念を実現するための戦略の一つとして、本業務では長岡市においてバイオ産業の創出による循環型社会の形成が可能であるか調査する。

### 3.2 愛着と誇りの持てる「ふるさと長岡」にするために

長岡市のビジョンの中で「愛着と誇りの持てる『ふるさと長岡』」をつくるということが特に強調されている。そこで、次に挙げる3点がバイオ産業の創出による循環型社会の形成のために長岡市に必要であると考え、これらの要件をバランスよく総合的に満たすためにどうすればいいのかを考えてみる。

- プライド…世界の先頭に立っているという市民全員のプライド
- 定量性…独りよがりな活動ではなく循環型社会を作っているという定量性のモニタリングと共有
- 経済的メリット…循環型社会にすることでお金が動き・経済的に潤うこと



### 3.3 バイオ産業により長岡市を世界最先端の街にすることが可能な理由

長岡市が物質循環型社会として世界最先端に立つというプライドを持つためには、長岡市民一人一人が長岡市の特徴を認識すること、また長岡市の特徴を活かしたバイオ産業による循環型社会を形成することが必要である。更に、後述した定量性や経済的メリットという要件を同時に達成する必要がある。今回の調査を行うにあたり、長岡市がその特徴を活かしたバイオ産業による循環型社会の形成が可能である理由を次のように整理した。

#### 理由 1. バイオ産業の下地があること

##### ● バイオ産業の下地が必要な理由

- 循環型社会を形成するには、廃棄されている物質を最適な方法で再利用する事が不可欠である。
- その「最適な方法で再利用する」という事を実現する方法がバイオ産業である。

##### ● 長岡のバイオ産業の下地

- 長岡では、多様な自然が育んだ豊かな水や年間を通して湿潤な気候からなるたくさんのバイオ産業が脈々と受け継がれてきている。
- 現在長岡で行われている物質の再利用に寄与している産業や事業も、循環型社会を実現するために今後強化が不可欠な産業や事業も、農業に加え古くからバイオ産業担う企業がある長岡だからこそ、継続・発展が可能となる。
- 民間だけではなく自治体の事業としても生ごみの回収や堆肥化が推進されている事も魅力の一つである。

バイオ産業の発展に必要な豊かな気候

古くからあるバイオ産業

自治体による取り組み



理由 2. 先進的な技術を持つ大学と産学官の建設的な連携体制があること

● 産学官の建設的な連携体制が必要な理由

- 新しい産業や事業を興す事、それらを地域循環の為に行う連携は、民間企業(産)、大学や高専等教育・研究機関(学)、長岡市(官)がそれぞれ独立して動いても成り立たず、建設的な連携体制が必要である。
- 新しい産業を産み出すためには「民」だけではなく先進的な技術を持つ「学」の力が不可欠であり、「学」の成果を産業や事業にするには「民」や「官」による実行が不可欠であり、「学」と「民」の連携や、産業・事業間の連携も「官」によるコーディネートが不可欠である。

● 長岡市の産学官金連携

- 長岡市には、前項で説明した産業としての下地に加えて、全国有数の最先端の技術を持つバイオに関する教育機関(大学・高専)がある。
- 長岡市主導で地域のバイオ関連企業を有機的につないでイノベーションを促進するイノベーションハブの設置と活発な取り組みも行われている。
- 4大学1高専、金融機関も含んだ民間企業、国・県の研究機関を巻き込んで、バイオエコノミーの取組を発信し、地域住民への発信を行う共同体、長岡バイオコミュニティが存在する。

バイオに強みを持つ教育機関

バイオ系の就職先から学生の評価が高い  
長岡科学技術大学



大学とのつながりを活かした教育に定評がある  
長岡工業高等専門学校



バイオエコノミー実現の為の取組



2020年11月19日日経新聞より

バイオの取組の発信



みんなで創るみんなの長岡  
バイオコミュニティ  
未来創造都市ながおか  
The Bio Community Future Creation City Nagasaki

理由 3. 市民と自治体が協力して事を為す実行力・推進力があること

● 市民と自治体が協力して事を為す実行力・推進力が必要な理由

- 真の循環を達成するために、新しい産業や事業を興し継続させるためには市民と自治体が協力して事を為せる文化や風土が必要である。
- この文化や風土は一朝一夕でなせるものではなく、その土地の歴史が長い年月をかけ培っていくものである。

● 市民協働のまち長岡

- 長岡市では市民と自治体が強力に強調しないと実行できないイベントが多数存在する。
- 古くから行われる日本一の大花火大会もその一つと考えられる。
- 最近ではバイオ関連を盛り上げる目的でも HAKKO Trip というイベントが継続的に開催されている。
- また、生ごみの分別回収を本格的に行っている自治体は、全国でもまだ少数で、その多くが 20 万人規模以下の自治体である。継続して行っている自治体も少ないのが実情で、継続して行えることは、長岡市の実行力の証左であると考えられる。

歴史ある日本一の花火大会



地域の産業を盛り上げるイベント



分別回収の継続的な取り組み



#### 理由 4. 循環型社会の形成に適した産業構成・人口規模であること

##### ● 適切な産業構造・人口規模が必要である理由

- 真の循環を達成するためには、適切な規模の産業と人口規模が必要。
- 具体的に必要な産業は、自然界の有機物(炭素と窒素を含む)を取り込める農業(畜産含む)・漁業といった生産を行う第一次産業、生産された原材料を加工して人の営みに欠かせない製品を作る製造業といった第二次産業などが例として挙げられる。
- また、人口規模が適切である必要がある。過疎地のように少なすぎても第一次産業の生産品を地域外に出すばかりになり、過密地のように多すぎても地域産のものが足りない。

##### ● 長岡市の産業構造・人口規模

- 長岡市の人口約 27 万人はこの観点からも最適と考える。
- 米作はもちろんの事、農産品も盛んに行われ、それらを活かした製造業(醸造、大豆加工、水産加工、菓子製造業等)も多数存在する。
- また、市民が消費する分の作物を地域内で生産するキャパシティが十分にある\*と調査で判明した。人口規模的にも第二次産業が発展するに十分な規模であり、実際にいくつもの産業が成り立っている。

\*実際には地域外に出したり、地域外から購入したりする事になるが、考え方として市民が消費する量を生産するキャパシティがあるかを調査した。

盛んな第一次産業



伝統的な第二次産業 (写真は醸造)



### 3.4 目指すべき循環型社会

今回の調査対象でもある、定量性をどのように把握するのか、国における循環型社会の定義、国による地域(自治体)への期待から考えてみる。

### 3.4.1 国における循環型社会の把握

平成 29 年環境省は日本国内における循環型社会を、「1. 廃棄物等の発生抑制、2. 循環資源の循環的な利用及び、3. 適正な処分が確保されることによって、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会」と定義している（図 3-1）[2]。その上で、「日本は『大量生産・大量消費・大量廃棄』型の経済社会から脱却し、生産から流通、消費、廃棄に至るまで物質の効率的な利用やリサイクルを進めることにより、循環型社会の形成を目指す」としている。また、物質の流れを把握するために物質総量の重量に着目した物質フローを作成（図 3-1）し、目標値を設定している。

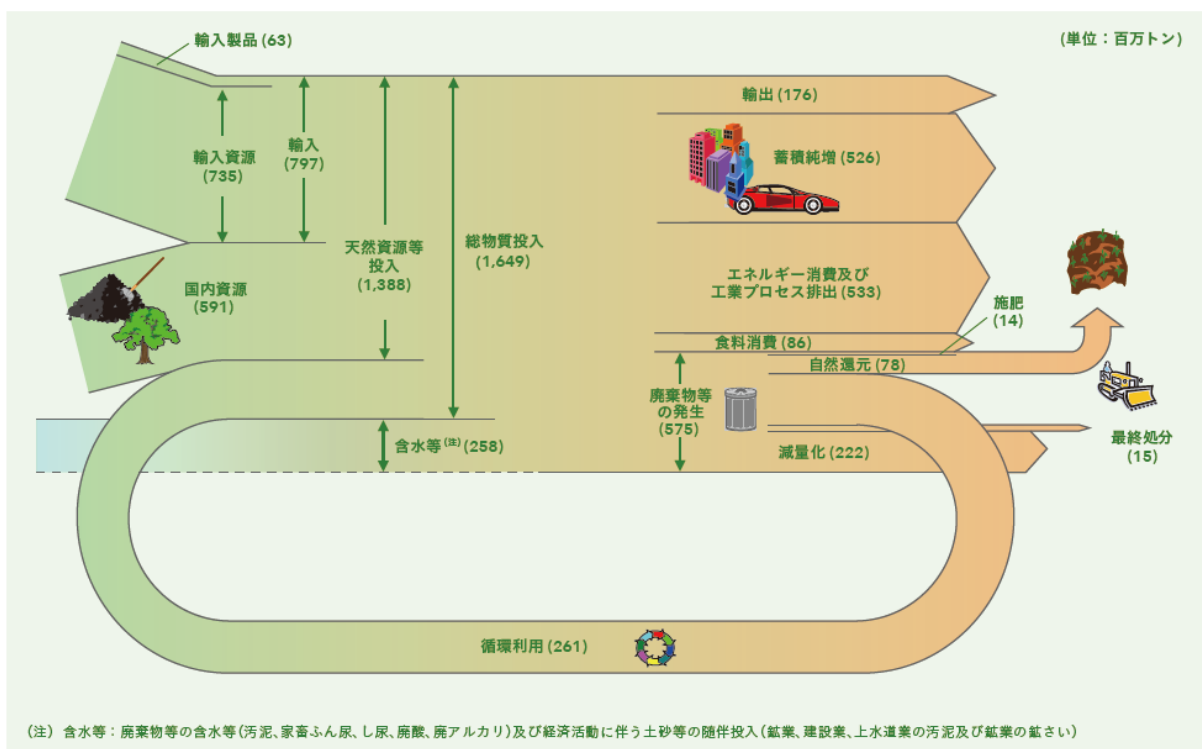


図 3-1. 平成 26 年度の物質フロー模式図[2]

### 3.4.2 自治体における循環型社会の目標

一方、自治体での循環型社会は 2008 年第二次循環型社会形成推進基本計画により、「地域の特性や循環資源の性質に応じて、狭い地域で循環させることが適切なものはなるべく狭い地域で循環させ、広域で循環させることが適切なものについては循環の環を広域化させるなど、循環資源を最適な環境で循環させていくことにより重層的な循環型の地域づくりを進めていく」[3]と定義されてい

るが、それぞれの地域における対象資源・物質や目標値は地域の特性によるものとして具体的な言及はない。\*

\*カーボンニュートラルで語られる温暖化係数を除く。

### 3.4.3 長岡市のバイオ産業創出による循環型社会

本章では、長岡市においてバイオ産業による循環型社会の形成のためにどのような物質に着目すればよいのかを考察する。3.3の理由1.にて、長岡にはバイオの下地があること、農業と古くからある魅力的な発酵産業がある事を確認した。ここでもう一度、「長岡市まち・ひと・しごと創生総合戦略/人口ビジョン」を振り返ると、「長岡で頑張っている産業の事業展開を応援するとともに、新たな起業や産業の誘致を促進」とある。このビジョン達成のためにも長岡市における循環型社会の形成には、長岡市の特徴である農業や発酵産業、副産物の再利用、下水や生ごみといった有機廃棄物の処理に着目した既存産業と新たな産業について検討する必要がある。また、本調査業務ではこれらの産業を成立させるために重要な役割を果たす炭素と窒素に着目し、その循環率の指標と現状値、また循環型社会形成により改善できる値を調査する事とした。詳細は第4章にて記述する。

### 3.5 循環型社会の実現で経済的メリットをもたらす

前項でも言及したが、長岡市のビジョンには「既存産業の発展」、「新たな企業や産業の誘致を促進」し「『働く場』の確保」が含まれている。このような長岡市のビジョンは経済的メリットが伴わなければ実現しない。定量性を持った循環型社会形成のために必要なバイオ産業である循環型コンポーネントがビジネスとして経済的メリットをもたらすことも合わせて今回の調査で確認したい。詳細は第5章に記述する。



## 4 長岡の循環型社会とは

### 4.1 定量性を持った長岡の循環型社会の定義

本調査業務において定量的に把握する物質を炭素と窒素にすることは、3.4.3.にて述べた。また、循環については「長岡市民が生命活動を維持するために必要な物質を長岡市既存の産業や新たな産業で自然界より捕捉・廃棄物より再生していること(その指標を“循環率”とする)」と「長岡市既存の産業や新たな産業で温室効果ガス排出を削減すること」と定義した。実際にこれらをどのように数値化するかを次項に記述する。

### 4.2 循環率

本調査業務において循環率を「長岡市民が必要な窒素量のうち、どれだけ長岡圏内由来窒素によるものか表す指標」と定義し、以下の数式によって算出されるものとした。

$$\text{循環率(\%)} = \frac{\text{長岡圏内由来窒素量}}{\text{長岡市民が必要とされる窒素量}} \times 100$$

長岡市の循環型社会の達成度合いを測る指標として循環率を用い、長岡市民の生命活動によって排出される下水、生ごみ、産業廃棄物などの処分量〔図 4-1 中 (Ⅷ)〕を減少させ市民が生命活動に必要な物質〔図 4-1 中 (Ⅵ)〕として再利用し、長岡圏外から補足している物質〔図 4-1 中 (Ⅳ)〕を削減する事により循環率の改善を目指す。

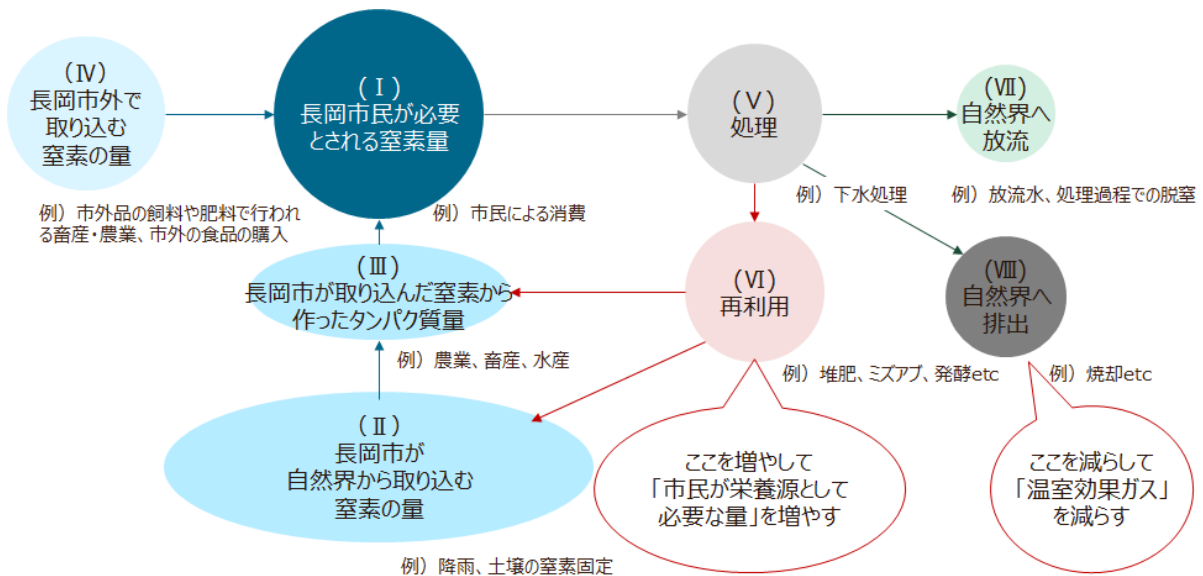


図 4-1. 物質の循環フロー

#### 4.2.1 窒素の循環率

窒素は人間の生命活動の維持に必要不可欠なタンパク質を構成する主成分である。その供給源は大豆などの作物が主に肥料により供給された土壌中の窒素を吸収することでタンパク質を生成し、家畜に飼料として与えられ、分解されたあと再形成されている。魚介類も同様に、飼料や海水中のプランクトンを取り入れることにより、タンパク質を分解し再び形成している(プランクトンは主に藻類が生成したタンパク質を摂取)。窒素の循環率の向上は、早ければ 2025 年頃より傾向が顕著化するとされる需給ギャップの発生によるタンパク質危機[4]への対応策としての貢献が期待される。また、作物を栽培する為の化学肥料を生成する方法が化石燃料由来であるため、脱炭素が叫ばれる昨今において窒素の循環率を向上することによって化学肥料の量を減らす事への期待も大きいと考えられる。

#### 4.2.2 炭素の循環率

炭素は人間に必要不可欠な炭水化物や脂質を構成する主成分である。しかしながら、炭素は窒素と違い、作物が大気中に含まれる二酸化炭素を吸収し土壌に固定することで(光合成)需給ギャップの問題は確認できなかった。よって、本調査では炭素循環率の確認は行うが、それ以上の考察は行わないとした。

### 4.3 温室効果ガス排出の削減

循環型社会の形成を考える際、温室効果ガス排出量の削減を同時に議論する事が多くみられる [5]。全国で 346 の自治体が加盟(令和 3 年 3 月 26 日現在)するゼロカーボンシティの定義にも、温室効果ガス排出量の削減は明記されている [6]。温室効果ガス削減に関する指標は、バイオ産業の取り組みを始める前のバイオコミュニティにおける温室効果ガス発生量と、本調査業務で提示するバイオ産業の創出を行った場合に削減できる温室効果ガスの割合により、長岡市の循環型社会の達成度合いを測るものとした。

#### 4.3.1 温室効果ガス削減の方法

一般的に議論される温室効果ガスには二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O)、メタン (CH<sub>4</sub>)、フロンガスなどがある。廃棄物の処理方法や再利用方法によってこれらの温室効果ガスの排出量を削減する事が可能であり、長岡市の循環型社会の形成において、バイオ産業の創出によりその削減を目指す。例えば、現在下水汚泥は焼却・燃料化されているものがあるが、その過程では二酸化炭素や一酸化二窒素が排出される。一方、下水汚泥を焼却・燃料化せずに堆肥として再利用することによって窒素や炭素を循環させるだけでなく、焼却・燃料化の際に排出されていた二酸化炭素や一酸化二窒素も削減することが可能となる。

## 5 長岡市の地域特性調査の分析・評価結果

### 5.1 窒素物質循環フローに関して

循環型社会の達成を目指した目標値の設定、および長岡市において強化すべき産業を把握するため、長岡市の窒素物質循環フローを弊社で開発した窒素循環モデルを用いて作成した。本章では窒素に着目し、長岡市の窒素物質循環フロー作成にあたり調査を行った。

#### 5.1.1 窒素物質循環フローについて・調査概要

国内における窒素物質循環フローは独立行政法人農業環境技術研究（NARO）によって2003年のデータを元に作成されている [7]。しかし、NAROでの調査は国内外からの輸入・輸出、水農畜産業、環境への流出のみを対象としており、人間の生命活動によって排出される下水、生ごみ、産業廃棄物などに関しては調査の対象外となっている。さらに、排出される窒素形態には言及しておらず、温室効果ガス排出と関連づけられていない。本調査では、有機廃棄物や副産物の利用による循環率の向上を目指すため、下水、生ごみ、産業廃棄物などにも着目し、またその処理過程や農畜産管理において排出される窒素形態の把握も調査の対象とし、環境汚染物質となる窒素量のほか、温室効果ガスである一酸化二窒素の排出量も調査対象とした。自治体としてこのような循環フローを調査したのは、確認出来る限り今回の取組が初である。本調査における長岡市の窒素循環を弊社独自の窒素循環モデルを用いて以下の図5-1にまとめた。消費者に取り入れられる農業、畜産業、水産業に関わる窒素源はオレンジ、家畜や農作物に必要とされる窒素源は黄、廃棄物に関わる窒素源はグレー、自然から固定、流入される窒素源は青、また再利用される窒素源は緑で示した。また、長岡圏外に排出される窒素は（1）固体・液体、（2）温室効果ガスを除く気体、および（3）温室効果ガスである一酸化二窒素と、形態別に記載した。

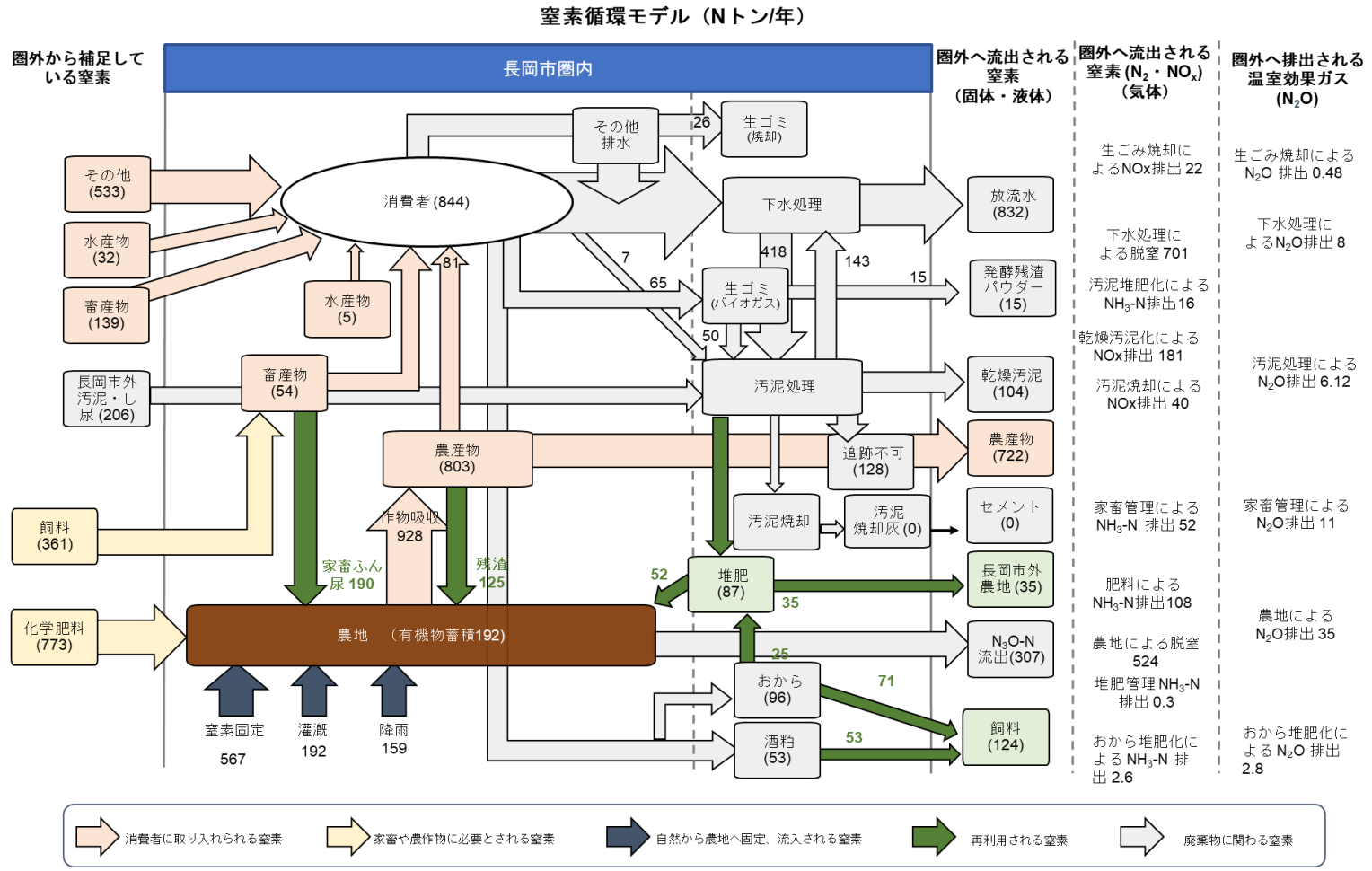


図 5-1. 長岡市窒素循環モデル

## 5.2 長岡市の窒素物質循環フロー

### 5.2.1 長岡市民が必要な窒素量・消費量

長岡市民（消費者）が必要なタンパク質に含まれる窒素量を長岡市人口分布、及びタンパク質の食事摂取基準をもとに算出した結果、長岡市民が必要なタンパク質に含まれる窒素量は年間おおよそ 844 トンと算出した。また、長岡市民が消費している水産物、畜産物、農産物に含まれる年間窒素量はそれぞれ、おおよそ 37、193、81 トンであった。これらの数値は 2 名以上の世帯における年間消費量（家計調査より）に長岡市における 2 名以上の世帯数を乗じて算出した。

### 5.2.2 長岡市内で生産されている農産物・畜産物・水産物

長岡圏内で生産されている農産物、畜産物、水産物に含まれる窒素量はそれぞれおおよそ 803、54、5 トンであった。本調査では、長岡市で水揚されている水産物に含まれる窒素を市内で生産されている水産物に含まれる窒素とした。また、畜産物は鶏肉、鶏卵、豚肉、牛肉、牛乳の市内生産量の合計とした。牛肉、豚肉、鶏肉は出荷頭数をもとに、鶏卵及び牛乳は飼育頭数より年間生産量を計算し、それぞれに含まれる窒素量を算出した。また、農産物は、米及び 30 トン以上の出荷が確認できる野菜（大豆、枝豆、れんこんなど）に含まれる窒素量を出荷量より算出した。

### 5.2.3 長岡市外から流入・流出している農産物・畜産物・水産物

長岡圏外で生産されている水産物、畜産物に含まれる窒素量はそれぞれ、おおよそ 32、139 トンであった。また、おおよそ 722 トンの窒素を含む農産物が長岡圏外に流出されていることがわかった。長岡市外からの流入窒素量（以下、市外流入）と長岡市外へ流出する窒素量（以下、市外流出）は、長岡市民が消費している水農畜産物に含まれる窒素量と長岡圏内で生産している水農畜産物の窒素量の差とした。長岡市民による窒素消費量が長岡圏内窒素生産量を上回る場合、窒素は長岡圏外から流入されるとし、長岡圏内窒素生産量が長岡市民による窒素消費量を上回る場合、窒素は長岡圏外へ流出されるとした。また、農産物、畜産物、水産物の年間窒素消費量（おおよそ

311 トン) と長岡市民が必要な窒素量 (おおよそ 844 トン) の差を長岡圏外から食品 (加工食品など) として流入している窒素量をその他 (おおよそ 533 トン) とした。

#### 5.2.4 自然界から農地に取り入れている窒素量

自然界から農地に固定、流入される窒素量は植物 (微生物) による窒素固定、灌漑及び降雨により農地に流入される窒素量の合計とした。水田のような酸化還元環境においてはそれぞれの環境に適応した微生物が存在する。還元状態では水田に存在する微生物が大気中から窒素を土壌に固定する。また雨水や灌漑水により窒素が農地に流入する (図 5-2.)。豆類は大気中より窒素を固定する微生物と共生関係にある (図 5-3.)。これらの農地に固定および、流入された窒素を農作物は栄養素として吸収する。長岡圏内における窒素固定・灌漑・降雨による農地に固定および、流入される窒素量は、それぞれおおよそ 567 トン、192 トン、159 トンと想定された。これらの数値はそれぞれ長岡市の米農地面積、豆類農地面積、降雨量などのデータをもとに文献を参照し算出された [8] [9] [10]。

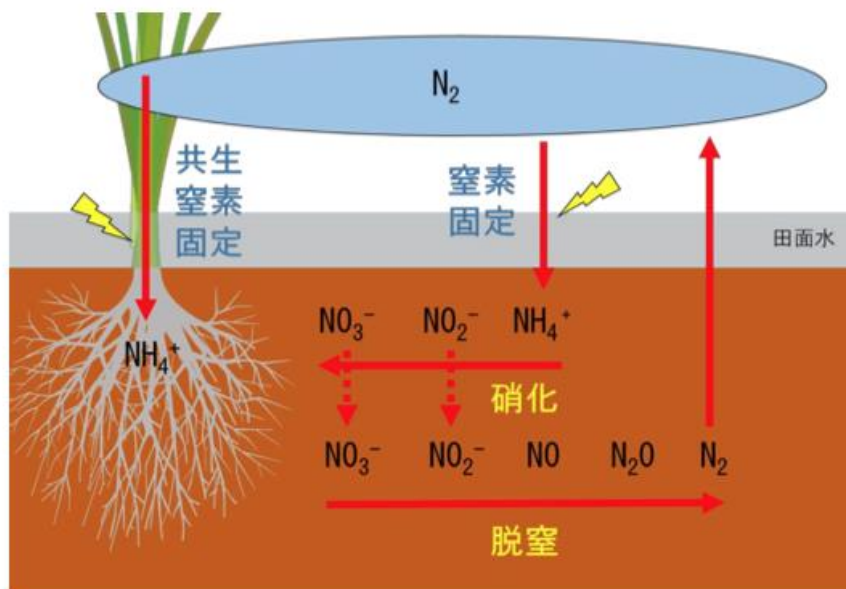


図 5-2. 水田による微生物プロセスの窒素固定と窒素循環 [11]

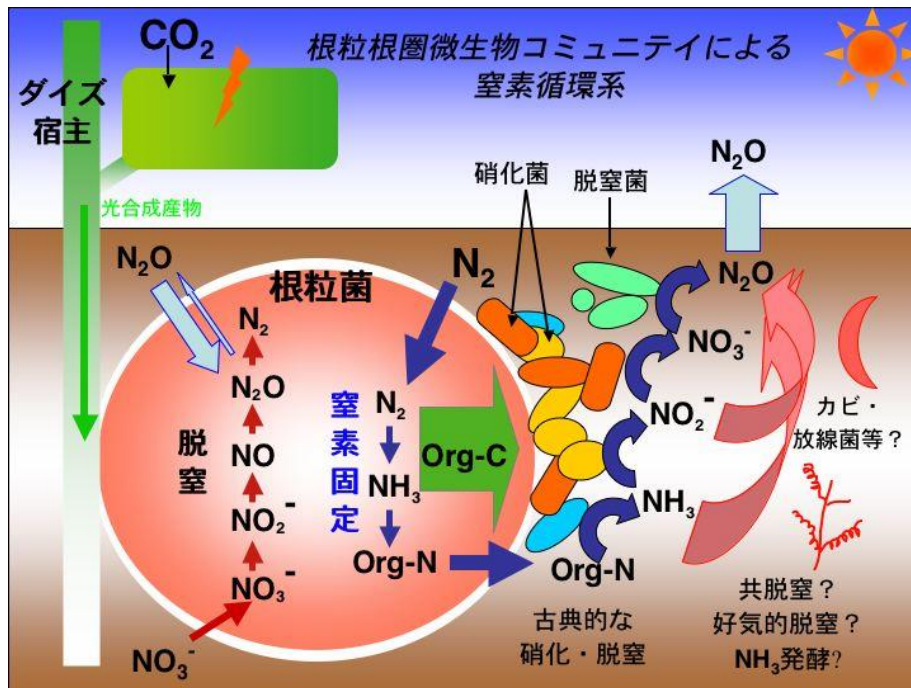


図 5-3. 豆類による微生物プロセスの窒素固定と窒素循環 [12]

### 5.2.5 長岡市外から補足している農畜産業に必要な窒素量

農作物に必要な栄養素である窒素は上記に挙げた微生物による窒素固定・灌漑・降雨による窒素流入のみならず、化学肥料からも農地に投入されている。また、家畜は飼料より必要なタンパク質を取り入れ分解した後タンパク質を再形成する。現在長岡市では化学肥料や飼料を生産していないため、化学肥料や飼料は全て長岡圏外から流入されていると想定した。長岡圏外から流出している化学肥料・飼料に含まれる窒素はそれぞれおおよそ 773 トン、361 トンと算出した。化学肥料は長岡市の主要農作物（30 トン以上の出荷が確認できる品目）における平均施肥量より算出し、飼料に含まれる窒素は家畜ふん尿に含まれる窒素量と市内畜産物収穫に含まれる窒素の合計とした。

### 5.2.6 下水処理及び汚泥処理における排出物に含まれる窒素量

長岡圏内における公共下水道施設へ流入されている下水に含まれる窒素量はおおよそ 1,918 トン、農業集落排水施設へ流入されている農業集落排水に含まれる窒素量はおおよそ 43 トンであった。これらの窒素量は実際の計測に基づき算出した。公共下水道施設及び農業集落排水施設から排出される脱水



汚泥に含まれる窒素量はおよそ 418 トン、放流水に含まれる窒素量はおよそ 832 トン、下水処理の過程における脱窒によって大気中に放出される窒素量はおよそ 701 トンと想定した。放流水に含まれる窒素量は実際の計測値に基づくものであるが、汚泥に含まれる窒素量は長岡中央浄化センターで計測された消化汚泥中の窒素濃度を参照し、その他の公共下水道処理施設・農業集落排水施設から排出される汚泥に含まれる窒素量を算出した。脱窒によって大気中に放出される窒素量は公共下水道処理施設及び農業集落排水施設へ流入した窒素量の合計から放流水および、汚泥に含まれる窒素量の合計を差し引いた量とした。長岡市内の下水道施設へ流入・流出される窒素量およびその形態を表 5-1 にまとめた。

表 5-1. 長岡市内の下水道施設における流入・流出窒素量およびその形態

内容物	窒素量 (トン)	内容物	窒素量 (トン)
<b>流入</b>		<b>流出</b>	
下水（公共）	1,918	汚泥（汚泥処理施設へ）	418
農業集落排水	43	汚泥（下水道施設へ）	3
		放流水	832
		脱窒	701
		N <sub>2</sub> O 排出	8

公共下水道施設・農業集落排水施設から排出された汚泥は緑水工業株式会社、中越流汚泥処理センター、中越環境開発株式会社、寿クリーンセンター、清流園へと運搬される。緑水工業株式会社は下水汚泥の堆肥化、中越流汚泥処理センターはセメント原燃料化（乾燥汚泥）、中越環境開発株式会社はセメント原燃料化（汚泥焼却灰）を担っている。寿クリーンセンターはし尿・浄化槽汚泥・農排汚泥のし尿処理した排水を、バイオ排水（バイオガス発電後の発酵残渣、消化液を固液分離した液体）と共に希釈水を加え長岡中央浄化センターに放流水として圧送している。また、中越流汚泥処理センターで発生した排水を長岡浄化センターへ圧送しているものが返流水である。

清流園はし尿や汚泥に更に処理を加え、長岡圏外に運搬し焼却処分している。以下の表は長岡市の汚泥処理センターに運搬（流入）された汚泥や浄化槽汚泥および、各処理センターで処理された堆肥・セメント原燃料や返流水などに含まれる窒素量をまとめたものである（表 5-2）。

また、各処理センターで処理された堆肥・セメント原燃料に含まれる窒素量は文献値を参照し算出した。そのため、各汚泥処理施設における窒素流入量（インプット）に対し、処理された堆肥・セメント原燃料に含まれる窒素および、ガスとして排出される窒素量（アウトプット）が下回る結果となった。したがって、インプットの窒素量からアウトプットの合計窒素量を引いたものを「追跡不可」とした。

また、各汚泥処理センターで処理の過程によって排出される一酸化二窒素・アンモニア・窒素ガス・窒素酸化物も係数を用いて算出した。なお、それぞれの汚泥処理センターは長岡圏外からの汚泥も受入・処理を行っている。

表 5-2. 長岡市内の下水汚泥処理施設における流入・流出窒素量およびその形態

内容物	窒素量 (トン)
<b>流入</b>	
＜長岡市内＞	
下水汚泥（下水道施設からの流入）	418
汚泥（汚泥処理施設からの流入）	7
し尿のみ	7
し尿および汚泥	2
バイオ排水	50
＜長岡市外＞	
下水汚泥	206
浄化槽汚泥	<1
農排汚泥	<1
し尿	<1
<b>流出</b>	
堆肥	62
乾燥汚泥（セメント原燃料）	104
焼却灰（セメント原料）	<1
コンポスト原料	7
返流水	40
放流水	103
汚泥処理による N <sub>2</sub> O 排出	6
汚泥堆肥化による NH <sub>3</sub> -N 排出	16
窒素ガス・NO <sub>x</sub> など	221
追跡不可窒素	128

※表中の「し尿および汚泥」、および長岡市外から流入している「浄化槽汚泥」「農排汚泥」「し尿」は窒素量が少ないため、図 5-1 には含まれていない。また、返流水と放流水中の窒素量の合計（143 トン）が図 5-1 では「下水処理」に圧送されている。

### 5.2.7 水産物・畜産物・農産物の生産に必要な窒素量

水産物は長岡市で水揚げされているため、水産物に含まれる窒素は全て自然界から補足されているとし長岡圏内由来と考える。一方、畜産物の生産に必要な飼料は長岡圏外から補足されているため、圏外から100%補足されると考えた。また、農産物の生産に必要な窒素源は圏外からの化学肥料及び窒素固定・灌漑・降雨によって自然界から農地に投入される。農産物の生産に必要な窒素の合計は、おおよそ1,691トンと算出した。このうち、化学肥料がおおよそ773トン、窒素固定・灌漑・降雨による農地への窒素の投入が、それぞれおおよそ567トン、192トン、159トンと算出した。したがって、農産物の生産に必要な窒素量のうち、約46%が長岡圏外由来とし（長岡圏外より補足）、約54%が長岡圏内由来（長岡圏内由来の窒素が農地に投入）と想定した。

### 5.2.8 長岡圏内で再利用している窒素

現在、長岡圏内で再利用している窒素源は家畜ふん尿、作物残渣、汚泥由来の肥料、酒粕由来の飼料、おから由来の堆肥・飼料である。家畜ふん尿は家畜飼育頭数を基に算出し、ふん尿保管時に排出される窒素量を除き、おおよそ190トンと算出した。酒粕は酒粕の出荷量から酒粕の排出量を計算し、おから由来の堆肥・飼料は、日本豆腐協会 [13]が公表している利用割合のデータを参照し、それぞれの窒素量を算出した。

## 5.3 長岡市の現在の循環率

長岡市の現在の循環率は57%という結果となった。日本国内全体と比べ、長岡市の循環率はおおよそ26ポイント高い結果であった。循環率を以下のように10段階評価（SS～D）で示す（表5-3）。現在の循環率はBB、日本国内平均の循環率はCCとなった。長岡市の現在の循環率およびその評価を表5-4、循環率の算出方法を表5-5にまとめた。なお、日本国内平均の循環率は農業環境技術研究所[7]が公表しているデータを用いて循環率を算出した。

表 5-3. 循環率およびその評価

循環率 (%)	評価
90-100	SS
80-89	S
70-79	AA
60-69	A
50-59	BB
40-49	B
30-39	CC
20-29	C
10-19	DD
0-9	D

表 5-4. 長岡の窒素循環率

	長岡現状	国内
窒素循環率 (%)	57%	31%
評価	BB	CC

表 5-5. 本調査業務における循環率の算出方法

窒素量または 循環率	内訳	計算式
857 トン	長岡圏内で収穫される農畜産物に含まれる窒素量—①	畜産物(54) + 農産物(803)
844 トン	長岡市民が必要な窒素量—②	消費者(844)
918 トン	長岡圏内で農地に固定される窒素量—③	窒素固定(567) + 灌漑(192) + 降雨(159)
537 トン	長岡圏内で現在再利用されている窒素量—④	家畜ふん尿(190) + 残渣(125) + 汚泥堆肥(72) + 酒粕(53) + おから堆肥(27) + おから飼料(71)
1,134 トン	長岡圏外から補足される窒素量—⑤	飼料(361) + 化学肥料(773)
482 トン	長岡圏内由来窒素量—⑥	長岡圏内で生産される農畜産物に含まれる窒素量 × (長岡圏内で固定や再利用される窒素量 / 農畜産物の生産に必要な窒素の合計) ① × [(③ + ④) / (③ + ④ + ⑤)]
57 %	循環率	長岡圏内由来窒素量—⑥ / 長岡市民が必要な窒素量—②

## 5.4 温室効果ガスの排出

### 5.4.1 温室効果ガスと地球温暖化係数について

温室効果ガスは地表から大気中に放出される熱を吸収し、再び放出する性質をもったガスであり、主に二酸化炭素・メタン・一酸化二窒素・代替フロンなどが挙げられる。これらの温室効果ガスが地球温暖化の原因となると考えられている。温室効果ガスはそれぞれ温室効果が異なるため、二酸化炭素の温室効果を1とした場合にそれぞれの温室効果の度合いを示す「地球温暖化係数」が定められている。例えばメタンの地球温暖化係数は25、一酸化二窒素は298とされている。長岡窒素循環フローにおいて長岡市で排出される温室効果ガスの排出量は地球温暖化係数を乗じて、同様の効果を及ぼす二酸化炭素の量に算出した値（単位：t-CO<sub>2</sub>）とする（例：温室効果ガス排出量（t-CO<sub>2</sub>）＝ 一酸化二窒素排出量（トン） × 298（一酸化二窒素の地球温暖化係数））。

下水、汚泥、および生ゴミ処理の工程、また家畜管理や農地管理（農地の窒素蓄積、化学肥料および、農産物残渣の投入など）における曝気により温室効果ガスとして一酸化二窒素が排出される（図 5.1）。各工程における一酸化二窒素の排出量は、環境省が策定した温室効果ガス総排出量算定方法ガイドラインをもとに算出した [14]。

### 5.4.2 バイオ産業の取り組み前の長岡市における温室効果ガス排出量

汚泥堆肥化及びバイオガス発電の取り組み以前は、汚泥及び生ごみは焼却処理されていたと仮定し、バイオ産業の取り組み以前（バイオガス発電・汚泥焼却）の長岡市における年間温室効果ガス排出量（t-CO<sub>2</sub>）の合計はおおよそ 23,256（t-CO<sub>2</sub>）と算出された（表 5-6）。

### 5.4.3 現在の長岡市における温室効果ガス排出量

現在の長岡市における年間温室効果ガス排出量（t-CO<sub>2</sub>）の合計はおおよそ 19,088（t-CO<sub>2</sub>）と算出された。また、バイオ産業の取り組み以前の温室効果ガス排出量を現在の温室効果ガス排出量と比較し、削減率を「温室効果ガ

ス改善率（％）」として表記した（表 5-7）。更に、温室効果ガス改善率（％）を以下のように 8 段階評価（S～D）査定したところ、長岡市の現在の改善率は約 18％となり、評価は C ランクであることがわかった（表 5-7）。

表 5-6. 各工程における温室効果ガス排出量（t-CO<sub>2</sub>）

		温室効果ガス 排出量（t-CO <sub>2</sub> ）
	工程	
バイオガス発電・ 汚泥堆肥化取組前	生ごみ焼却	255
	汚泥焼却	4,339
	下水処理	2,384
	汚泥処理	1,399
	生ごみ焼却 （燃やすごみ中）	143
	家畜管理	3,357
	農地	10,536
	おから堆肥化	843
	合計	23,256
	長岡市現在	下水処理
汚泥処理		1,825
生ごみ焼却 （燃やすごみ中）		143
家畜管理		3,357
農地		10,536
おから堆肥化		843
合計		19,088



表 5-7. 温室効果ガス改善率およびその評価

温室効果ガス改善率 (%)	評価
80-100	S
70-79	AA
60-69	A
50-59	BB
30-39	B
20-29	CC
10-19	C
0-9	D

#### 5.4.4 (参考) 環境汚染物質として排出される窒素

今回のバイオ産業創出による循環型社会形成のための調査の対象は、長岡市民が必要とする炭素と窒素のマテリアルバランス及び温室効果ガスの削減量であるが、循環フローにおいてバイオ産業から排出される窒素酸化物

( $\text{NO}_x$ )、アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )、硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) といった環境汚染物質についても参考までに記述する。温室効果ガスの他に環境汚染物質として排出される窒素の形態に窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ )、アンモニア態窒素

( $\text{NH}_3\text{-N}$ )、硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) が挙げられる。窒素酸化物は主に物質を高温で燃焼した際に排出され光化学スモッグの原因となる。アンモニア態窒素は堆肥化工程、家畜ふん尿・肥料管理、また肥料そのものから大気に排出され酸性雨を引き起こす大気汚染物質として知られている。また、硝酸態窒素は土壌に蓄積し植物の栄養素として吸収されるが、過剰に農地に投入された硝酸体窒素は河川や地下水に流出し、湖沼の富栄養化やメトヘモグロビン血症の原因となる。長岡市において下水、汚泥、および生ゴミ処理の各工程、また家畜管理及び農地管理により環境汚染物質として排出される窒素量は年間おおよそ 729 トンと算出された (表 5-8)。

表 5-8. 汚染物質として排出される窒素の形態および排出量

工程及び発生源	窒素形態	窒素排出量 (N トン/年)
生ごみ焼却	窒素酸化物	22
乾燥汚泥化	窒素酸化物	181
汚泥焼却による窒素排出	窒素酸化物・窒素ガス	40
家畜管理	アンモニア態窒素	52
堆肥管理	アンモニア態窒素	<1
汚泥堆肥化	アンモニア態窒素	16
おから堆肥化	アンモニア態窒素	3
肥料	アンモニア態窒素	108
農地	硝酸態窒素	307
合計		729

## 5.5 炭素物質循環フローに関して

### 5.5.1 炭素物質循環フローについて・調査概要

窒素循環と同様に長岡圏内における炭素物質循環のフローを作成した。炭素においてはエネルギー起源における炭素循環についても調査を行なった。

### 5.5.2 長岡市民が必要な炭素量・消費量 (非エネルギー起源)

長岡市民（消費者）が必要な炭水化物、タンパク質及び脂質に含まれる炭素量を長岡市人口分布、また炭水化物、タンパク質、脂質の食事摂取基準をもとに算出した [15]。長岡市民が必要な炭水化物、タンパク質及び脂質に含まれる炭素量はそれぞれ 43.5%、53%、77% [16]とし、年間おおよそ 15,292 トンと想定された。農畜産物による炭素収穫量は窒素収穫量をもとに、それぞれ文献を参照し炭素と窒素の比率を用いて算出された。植物は光エネルギーを用いて大気中の二酸化炭素を吸収し、大気中に酸素を供給、また土壌に炭素を固定する（光合成）。作物による光合成炭素量は地上部、及び地下部バイオマスを考慮し、長岡圏内農産物収穫量の 1.3 倍に当たる炭素量を加算して算出し、おおよそ 107,392 トンと想定された。また農地から排出される炭素量、及び家畜ふん尿や作物残渣として農地へ戻される炭素量

(算出法は「地方公共団体実行計画(区域施策編)策定・実施マニュアル算定手法編」[17]を参照)を考慮し、年間おおよそ1,922トンの炭素が有機物として長岡の土壤に蓄積されると想定した。下水・汚泥また生ゴミ処理によって排出される炭素量も同様に文献を参照し炭素と窒素の比率を用いて算出した(表5-9)。家畜管理や放牧、および、家畜ふん尿管理による炭素の排出量、農地による炭素排出量、下水、汚泥、及び生ゴミ焼却などによる炭素排出量はメタンや二酸化炭素を炭素に換算して算出し表示した(表5-9)[18]。

結果、非エネルギー起源の炭素循環において、長岡では現在光合成による農地への炭素固定と再利用されている炭素量(家畜ふん尿や食物残渣により農地へ戻される炭素量おおよそ11,737トン、および、堆肥として再利用される炭素量おおよそ195トンを含む)の合計がおおよそ119,324トンとなり、メタンや二酸化炭素など温室効果ガスを含む炭素排出量、おおよそ77,356トンを上回ることがわかった。

表5-9. 二酸化炭素、及びメタンを含む炭素排出量とその排出源

排出源	炭素形態	炭素排出量 (C トン/年)
消費者排泄	メタン	118
下水処理	メタン・二酸化炭素	8,106
汚泥焼却	メタン・二酸化炭素	9,617
生ゴミ焼却	メタン・二酸化炭素	1,134
家畜管理 (ふん尿、放牧を含む)	メタン	218
農地管理	メタン・二酸化炭素、有機炭素 など	58,163
	合計	77,356

### 5.5.3 エネルギー起源による二酸化炭素排出量と森林による炭素固定量 (非エネルギー起源)

環境省は2020年9月、脱炭素社会実現に向け経団連との連携方針をまとめた合意文書を取り交わした。その中に地方公共団体における脱炭素化がある。二酸化炭素量の多くはエネルギー起源によるものであり、前述した通

り、多くの自治体ではエネルギー起源の二酸化炭素量削減に着目している。環境省は「2050年に温室効果ガスの排出量又は二酸化炭素を実質ゼロにすることを目指す旨を首長自らが又は地方自治体として公表された地方自治体」をゼロカーボンシティと定義しており [19]、2021年3月現在でゼロカーボンシティ表明自治体人口は約1億516万人とされる [20]。各自治体は環境省から平成29年に刊行された地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル算定手法編 [21] をもとに、主に交通、産業、店舗、家庭などによって消費されるエネルギー量を二酸化炭素に換算し二酸化炭素の年間排出量を算出している。2021年3月現在、長岡市はゼロカーボンシティの表明宣言をしていないが、2007年から2017年までの10年間、エネルギー起源による年間二酸化炭素排出量を算出し、平成29年レポートを作成、公開している [22]。このレポートから本調査では2017年のデータを用いて炭素フローを作成した。エネルギー起源による炭素循環は全て二酸化炭素に換算されて表示、おおよそ2,276,000トンと想定された（表5-10）。

森林による炭素固定量（光合成）は針葉樹、広葉樹、竹林、草生地の面積、また樹齢（20年以上・以下）によって分類され算出された後に [23]、二酸化炭素量に換算され表示、おおよそ679,681トンと想定された。このうちおおよそ360,231トンが土壌呼吸により二酸化炭素量として大気に排出されると想定された。

結果、エネルギー起源による二酸化炭素排出量は森林によって固定される炭素量を大幅に上回ることがわかった。

エネルギー起源による炭素排出量削減においては国、または自治体による大幅なインフラストラクチャーの改革（再生可能エネルギーの導入ポテンシャルとして太陽光発電、風力発電、バイオマス発電・熱利用、水力発電や波力発電など）が必要とされるため本調査では対象外とする。

表 5-10. エネルギー起源による温室効果ガス排出量

カテゴリー	二酸化炭素排出量 (CO <sub>2</sub> トン/年)
産業	633,000
店舗・オフィス	521,000
交通	677,000
家庭	445,000
合計	2,276,000

## 5.6 循環型社会における優位性

現在の長岡市の窒素循環率は 57% となり、長岡市は国内循環率 31% と比べ、約 26 ポイント高いことがわかった。本調査によって明らかになった循環型社会の達成において長岡市の優位性（長岡市が循環率に寄与している点）を以下にまとめる。

- 自然界から農地へ固定される窒素（窒素固定量）が多い。

全国トップクラスの米収穫量や枝豆の作付面積が日本一といった長岡の特色が窒素固定量（おおよそ 567 トン、図 5-1 参照）に寄与している。

- 降雨による農地への窒素の流入量が多い。

特に長岡市は降雨量が多いことから、他自治体と比べ降雨による農地への窒素の流入量が多い。

例えば、長岡市と同じように農業が盛んな北海道北見市は農地面積が 23,800 ha と長岡市農地面積（13,951 ha）の倍ほどになるが、長岡市の年間降雨量（1741 mm）と比較して年間降雨量が 700.4 mm と大幅に低いため、降雨による窒素流入量はおおよそ 109 トンと算出される。長岡市の年間窒素流入量はおおよそ 159 トンと算出され（図 5-1 参照）、北見市の約 1.5 倍と想定される。

- 家畜ふん尿および農作物残渣は炭化・焼却処理などされずにそのまま農地に散布され、窒素が農地に還元され再利用されている。

炭化・焼却処理により家畜ふん尿や農作物残渣中に含まれる窒素から一酸化二窒素や窒素酸化物が生成、排出され、窒素の再利用は不可能となる。一方、家畜ふん尿や残渣をそのまま農地に散布することで窒素が農地に還元され、農作物の栄養源となる。

長岡市では家畜ふん尿（190 トン）と作物残渣（125 トン）によるおおよそ 315 トンの窒素が農地に還元されている（図 5-1 参照）。一酸化二窒素や窒素酸化物が削減されている点においても、循環型社会の達成における優位性を示している。

- 下水汚泥の堆肥化による窒素の再利用、及びおからや酒粕の堆肥・飼料化による窒素の再利用の検討がされている。

焼却処理がされていないため、一酸化二窒素や窒素酸化物として大気に排出される窒素量が少なく、堆肥や飼料として家畜や作物の栄養源として年間おおよそ 87 トンが再利用されている。

- 生ごみ分別回収し、バイオガス発電を行っている。

多くの自治体は生ごみを分別回収せずに焼却処理を行っている。焼却処理が行われると、生ごみに含まれる窒素は、一酸化二窒素や窒素酸化物として大気中に排出される。バイオガス発電により生ごみに含まれる窒素は消化液に留まり、大気中に放出される一酸化二窒素や窒素酸化物の大幅な削減が可能である。

また、物質循環の観点のみならず、バイオガス発電によって長岡市は年間おおよそ 2,000 トンの二酸化炭素の削減に成功している [24]。

また、以下のような長岡市の特色も循環型社会の達成における優位性を示していると考えられる。

- 伝統的な発酵産業がある。

廃棄物から物質を再利用するための手段の 1 つとして発酵があげられる。発酵生産において、廃棄物を原料とし、微生物による発酵という過程を経て有用物質が生産され廃棄物中の物質の再利用が可能となる。例えば、長岡市の取り組みの 1 つであるバイオガス発電はメタン発酵によりバイオガス（メタンガス）を生成している。したがって、長岡市の伝統的な発酵産業は循環型社会の達成において優位となる。

- SIP による廃水処理の取り組みがされている。

現在長岡市には SIP（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）事業関連で、生ごみバイオガス発電センターの廃水処理プロセスの

効率化・高度化に関する実証実験を行っている。高窒素含有廃水を効率よく処理することにより、次工程の汚泥堆肥化などの効率化にも繋がり、循環型社会の達成に貢献することが可能である。

● 豊かな水資源がある。

長岡市は日本海に面しており、さらに長岡市の中央には信濃川が流れている。このような豊かな水資源は循環型社会の達成に必要なバイオ産業（発酵産業など）や農業に大きく貢献している。

## 6 長岡市のバイオ産業創出に向けた目指すべき理想像とその効果

### 6.1 循環型コンポーネントとそのビジネス

現在長岡市では、乾燥汚泥・セメント原燃料（乾燥汚泥の焼却灰）・発酵残渣パウダー・酒粕・おからなどに含まれる窒素が市内でほとんど再利用されずに有機廃棄物として廃棄または長岡圏外へ流出している。また、一般的な下水処理工程において一定量の窒素が脱窒され大気に放出されるが、長岡市も同様である。循環型社会の形成のためには、これらの窒素源を再利用することが必要とされる。再利用の為に期待される循環型コンポーネントは、有機廃棄物から堆肥とミズアブ（食料廃棄物をもとに飼育し、飼料などのタンパク源として、近年利用が期待されている。）を製造する技術が考えられる。これにより長岡圏由来の窒素量を増やし、長岡圏外から流入している化学肥料及び飼料に含まれる窒素量を長岡圏内で再生された窒素量で補うことによって、循環率の評価をSランク、またはSSランクに達成することを目指すべき理想像とする。さらに、再利用によって排出される一酸化二窒素の削減も目指すべき理想像に含むものとする。

表 6-1. 再生可能資源と循環型コンポーネント

再生可能源	再生に用いる循環型コンポーネント
乾燥汚泥	堆肥化、ミズアブ飼料化
セメント原燃料 (乾燥汚泥の焼却灰)	堆肥化、ミズアブ飼料化
発酵残渣パウダー	堆肥化、ミズアブ飼料化
酒粕	堆肥化、ミズアブ飼料化
おから	高機能製品化、堆肥化、 ミズアブ飼料化
下水	窒素循環マネジメントシステムによる 下水処理の最適化

しかし、各循環型コンポーネントのみを導入してもビジネスとしては成立しない。ビジネスとして成立させるためには、循環型コンポーネントが組み込まれ



た産業の発展が不可欠である。それぞれの詳細は第6章及び第7章にて記述するが、循環型コンポーネントとそれぞれに必要な産業を表6-2にまとめた。

表6-2. 循環型コンポーネントと産業の関わり

循環型 コンポーネント	ビジネスとして成立させるため に必要な産業	循環型社会への貢献	
		循環率	温室効果ガス削減
窒素循環マネジメントシステムによる下水処理の最適化	- (堆肥化やミズアブ飼料化に活用する下水中の窒素を有機廃棄物として回収する。)	✓	-
堆肥化	有機廃棄物から生産される堆肥化を用いた持続可能で高付加価値な農業生産	✓	✓
ミズアブ飼料化	ミズアブ飼料化と持続可能で高付加価値な養殖業・畜産業の創出	✓	✓
高機能製品化	発酵を用いた未利用有機資源の高機能化による機能性商品の開発	✓	✓

## 6.2 循環型コンポーネントの実装プラン

現在、長岡市で再生可能な資源は乾燥汚泥・セメント原燃料・おから・発酵残渣パウダー・酒粕が有力視される。さらに、下水処理工程における脱窒によって大気へ排出される窒素も「窒素循環マネジメントシステム」により汚泥として回収され、堆肥化またはミズアブの飼料の原料として再利用が可能である。

目指すべき理想像を達成するためのプラン（循環型コンポーネントの選択）を表 6-4 に、各プランにおける最終製品の窒素量・重量、循環率、温室効果ガス改善率を表 6-5 にまとめた。なお、窒素循環マネジメントシステムによる下水処理の最適化は下水中から窒素を含んだ汚泥を回収する手段であり、全てのプランに導入される前提となっているため各プラン内では言及しないこととする。

目指すべき理想像を達成するためのプランを表 6-4 に、各プランにおける最終製品の窒素量・重量、循環率、温室効果ガス改善率を表 6-5 にまとめた。

### 6.2.1 プラン 1

プラン 1 では、再利用可能な窒素を全て堆肥化し、再利用することを提案する。現在、長岡市はおおよそ 773 トンの窒素を含む化学肥料を長岡圏外から購入している。これらをすべて有機廃棄物より製造する堆肥に置き換えるとすると、現在利用可能と思われる乾燥汚泥・セメント原燃料・おから・発酵残渣パウダー・酒粕から製造される堆肥（合計 243 トンの窒素が含まれる堆肥）に加え、下水処理工程における脱窒によって排出される窒素を汚泥として回収することによって製造する堆肥（530 トンの窒素が含まれる堆肥）が新たに必要となる。プラン 1 では、新たに再利用堆肥に含まれる窒素量はなおおよそ 773 トンと算出され、改善後の循環率は約 86% となり、温室効果ガス改善率は約 74% と想定される。

### 6.2.2 プラン 2

プラン 2 では、再利用可能な窒素を全てミズアブ飼料化及び摂食後の残渣（以下、処理残渣）を堆肥化し、おおよそ 975 トンの窒素を再利用することを提案する。乾燥汚泥・セメント原燃料・おから・発酵残渣パウダー・酒粕・脱窒によって排出される窒素を全てミズアブに摂食させ、虫体を飼料源とした場合、ミズアブに含まれる窒素はおおよそ 390 トンと算出される。現在、圏外から流入している飼料に含まれる窒素量はなおおよそ 361 トンと算出されるため、下水処理工程における脱窒によって排出される窒素量のおおよそ 701 トンのうち、650 トンを回収・再利用することにより、圏外からの飼

料を長岡圏内で再生される飼料ですべて補うことができると想定した。プラン2の場合、新たに再生されるミズアブに含まれる窒素量がおおよそ 370 トン、堆肥に含まれる窒素がおおよそ 546 トンとなり、改善後の循環率は約 91%となり、温室効果ガス改善率は約 74%と想定される。

### 6.2.3 プラン3

プラン3では、乾燥汚泥・セメント原燃料・発酵残渣パウダー・下水処理工程における脱窒に含まれる再利用可能な窒素を堆肥化し、ミズアブの摂食の可能性が高いと予想されるおから・酒粕をミズアブ飼料化し、処理残渣を堆肥化することによっておおよそ 917 トンの窒素の再利用を提案する。戦略プラン3では、下水処理工程における脱窒によって排出される窒素量のおおよそ 701 トンのうち、592 トンの窒素を堆肥化によって回収・再生が必要とした。新たに堆肥化することによって再生される窒素量がおおよそ 773 トン、ミズアブに含まれる窒素量が 62 トンと算出され、改善後の循環率は約 88%となり、温室効果ガス改善率は約 74%と想定される。

### 6.2.4 プラン4

プラン4では、プラン3と同様に、乾燥汚泥・セメント原燃料・発酵残渣パウダーに含まれる再生可能な窒素を堆肥化し、また、おから・酒粕をミズアブ飼料化し処理残渣を堆肥化、更に下水処理工程における脱窒に含まれる再生可能な窒素のうちおおよそ 462 トンを堆肥化、おおよそ 200 トンをミズアブ飼料化することによっておおよそ 987 トンの窒素が再利用できると想定する。プラン4の場合、現在圏外から流入している化学肥料および飼料に含まれる窒素の大半を長岡圏外で補足することが可能であり、循環率は約 91%となり、温室効果ガス改善率は約 74%と想定される。

### 6.2.5 プランの比較

すべてのプラン1~4において循環率は約 85%~92%、温室効果ガスの改善率約 73%~75%とあまり大差が見られなかった。すべてのプランにおいて循環率および、温室効果ガス改善の見込みは大きいと考えられる。下水汚泥

および、食品残渣の堆肥化はすでに事業化されているため（例：緑水工業・ホーネンアグリ）、今回提案している再生に用いる循環型コンポーネントのうち肥料化の難易度は低いと考えられる。特におから及び酒粕などの食品残渣をミズアブに摂食させ、ミズアブを飼料化することにおいては研究開発が進んでおり、事業化の可能性は非常に高いと考えられる。一方、下水汚泥をミズアブに摂食させることは課題が多く、長期的な研究開発が必要となる。したがって、今回提案したプラン1~4のうち、下水汚泥をミズアブに摂食させる循環型コンポーネントを除いたプランの中で循環率が最も高くなると想定されるプラン3における経済効果を次項6-3.にて検証する。プラン3を実行した場合の循環フローを図6-1にまとめた。



表 6-4. 各プランにおいて再生される資源、再生方法、および再生量

再生可能窒素	プラン1		プラン2		プラン3		プラン4	
	循環型コンポ ネント	再生量 (トン)	循環型コンポ ネント	再生量 (トン)	循環型コンポ ネント	再生量 (トン)	循環型コンポ ネント	再生量 (トン)
乾燥汚泥 (104)	堆肥化	104	ミズアブ飼料化	104	堆肥化	104	堆肥化	104
セメント原燃料 (44)	堆肥化	44	ミズアブ飼料化	44	堆肥化	44	堆肥化	44
おから (109)	堆肥化	109	ミズアブ飼料化	109	ミズアブ飼料化	109	ミズアブ飼料化	109
発酵残渣パウダー (15)	堆肥化	15	ミズアブ飼料化	15	堆肥化	15	堆肥化	15
酒粕 (53)	堆肥化	53	ミズアブ飼料化	53	ミズアブ飼料化	53	ミズアブ飼料化	53
汚泥 (701)	堆肥化	530	ミズアブ飼料化	650	堆肥化	592	堆肥化 ミズアブ肥料化	462 200
合計		855		975		917		987

表 6-5. 各プランにおける最終製品の窒素量・重量、循環率、温室効果ガス改善率および技術開発度

	プラン1		プラン2		プラン3		プラン4	
最終製品：窒素量（トン）	堆肥	773	ミズアブ	370	堆肥	683	堆肥	565
			副産物（堆肥）	547	ミズアブ	62	ミズアブ	138
					副産物（堆肥）	91	副産物（堆肥）	203
最終製品：重量（トン）	堆肥	15,156	ミズアブ	14,912	ミズアブ	2,477	ミズアブ	5,537
			副産物（堆肥）	10,715	堆肥*	15,164	堆肥*	15,057
提案実行後の循環率（%）	86		91		88		91	
提案実行後の評価	S		SS		S		SS	
温室効果ガス改善率（%）	74		74		74		74	
提案実行後の評価	AA		AA		AA		AA	

堆肥\*…最終製品の「堆肥」は「堆肥」および「副産物（堆肥）」の合計とする。

## 6.3 経済効果の考察

本章では、6-2.にて選択したプラン3の提案による経済効果を考察する。

### 6.3.1 有機廃棄物から製造される堆肥化を用いた持続可能で高付加価値な農業生産による経済効果

堆肥を製造する事によって既存の農業への貢献が期待される。今回の提案で製造される堆肥は下水汚泥を原料とするものを含むため、有機 JAS 認定の取得は難しいと考えられるものの、循環から産まれた農作物としてブランド価値の訴求は可能と考える。農作物を有機野菜に切り替える事の経済効果について農林水産省は有機食品に係る市場実態調査にて次のように述べている。

*“消費者調査によれば、有機食品に対しては、通常の商品に比べて、基本的な品質が同等の場合には、最大 10~15%のプレミアムを支払う用意があるとのことである。”*

今回の堆肥は有機 JAS の対象とはならないが、循環型社会から生まれる堆肥の活用と第7章で記述する地域の有機廃棄物と土壌の健全性(微生物の活性度)の視点での堆肥の製造技術を組み合わせて行う持続可能で高付加価値な農業のブランド化に対する作物のプレミアムを10%と仮定する。今回のプラン3における堆肥の製造量は、調査対象の農作物(年間30トン以上の収穫量がある農作物)を栽培するために必要な施肥窒素量773トンを、全量賄うことができる(表6-6)。長岡市の米、豆、いも類、野菜の合計産出額は185億円[25]であるが、これらの作物の肥料全量が有機廃棄物から製造される堆肥に置き換わり、10%のプレミアムがつくと仮定すると、18.5億円の増収が見込まれる。



表 6-6. 長岡市の収穫量年間 30 トン以上の作物の作付面積と必要窒素量  
(長岡市作成)

	作付面積 (ha)	N (kg/10a)	P (kg/10a)	K (kg/10a)	N (トン/長岡)
米	12,800.0	5.5	2.4	3.0	704.0
大麦	100.0	8.0	9.0	11.0	8.0
枝豆	36.8	4.0	10.0	4.0	1.5
大豆	924.0	4.0	7.0	7.0	37.0
れんこん	76.0	25.0	22.5	27.5	19.0
さといも	8.3	20.0	46.6	15.6	1.7
きゃべつ	3.0	30.0	20.0	30.0	0.9
さつまいも	0.7	4.0	12.5	13.5	0.0
ながねぎ	2.4	30.0	20.0	15.0	0.7
農作物の必要窒素合計量					772.7

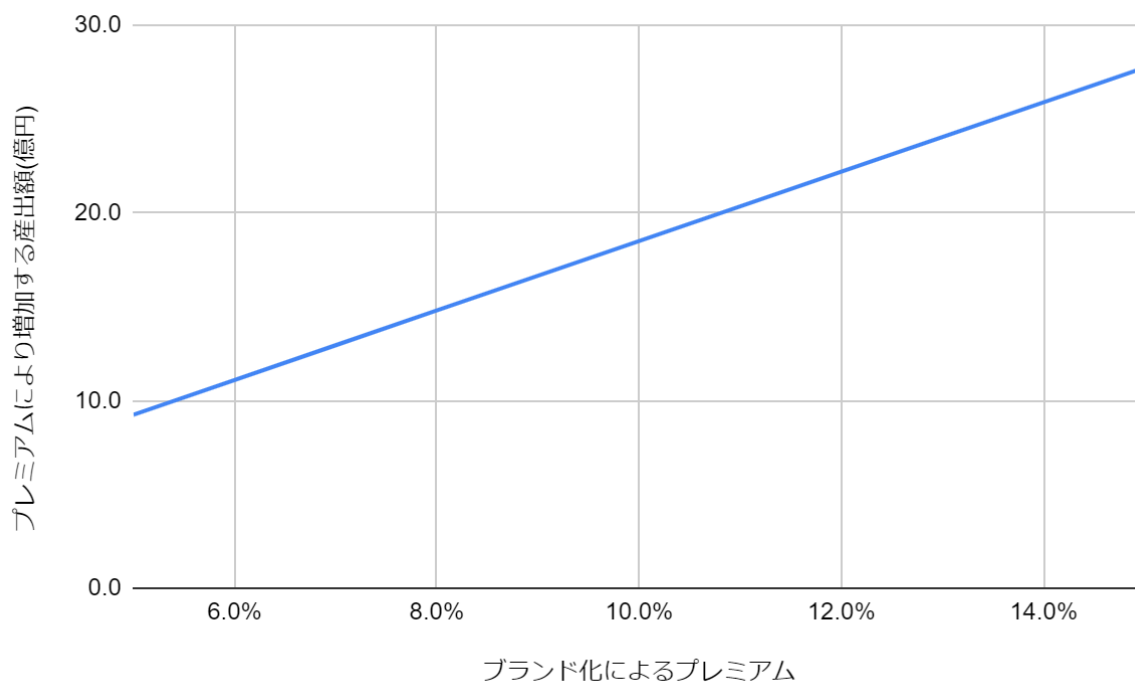


図 6-1. ブランド化によるプレミアムと産出額

### 6.3.2 ミズアブ飼料化と持続可能で高付加価値な新規産業養殖業・畜産業の創出による経済効果

ミズアブを生産する事による経済効果の考え方は2通りある。一つ目はミズアブの飼料を製品として考えること、二つ目はミズアブ飼料を用いた産業を誘致することである。

#### (a) ミズアブの飼料化による金銭的価値

ミズアブを飼料とする場合、顧客は養殖や畜産に魚粉を使っている養殖業者や農家となる。生産されたミズアブの養殖飼料化による金銭的価値は次のように想定されている。



図 6-2. 生産されたミズアブの養殖飼料化による金銭的価値

(環境研究総合推進費 終了研究成果報告書 ミズアブの機能を活用した革新的資源循環系の構築 平成 28 年度～平成 30 年度より [26])

今回算出したミズアブの最大生産量は乾燥重量で 891 トン(ウェットで 2,477 トン) であるため、飼料として販売した場合の売上げは約 2 億円に上る。

#### (b) ミズアブ飼料を用いた産業を誘致する場合

ミズアブ飼料を用いた産業は養殖業に加え、養鶏、養豚、肉用牛といった畜産業が考えられる。ここでは、長岡の新産業の誘致を考えるべく、養殖の場

合を考えたい。養殖業における収入とコストは次のようにまとめられる(表 6-7.)。

表 6-7. 漁労所得と支出の内訳  
(農林水産省「漁業経営調査報告」に基づきちとせ研究所作成)

漁労所得	100
漁労支出(生産コスト)	80
雇用労賃	13
餌代	16
減価償却費	10
その他	41

漁労支出を 100 とした場合

生産コストに対する餌代は 20%であり、このうち半分(全体の 10%)をミズアブ飼料にて賄うものと仮定する。202,400 円/トンのミズアブ飼料(乾燥重量)が使われた時の漁労所得は 253 万円となるため、891 トンのミズアブ飼料が使用された場合の売上げ(漁労所得)は約 23 億円と見込まれる。

## 7 長岡市におけるバイオ産業創出に向けた戦略

前章では長岡市の循環型社会形成を実現するバイオ産業の理想像について述べた。本章ではそれぞれの循環型コンポーネントをビジネス化する際に必要な点を考察する。

### 7.1 有機廃棄物から生産される堆肥化による持続可能で高付加価値な農業生産

堆肥をバイオ産業による循環型社会の循環型コンポーネントに組み込むためには、持続可能で付加価値の高い農業が求められる。その上で地域の農作物に適した堆肥を製造し、地域の土壌や農作物にあった施肥を行う事が重要となる。例えば、長岡市の農業の主作物である米の窒素必要量はその他多くの農作物より比較的少量であるため、長岡市内で必要とされる堆肥量は比較的少量で良い、もしくは堆肥の窒素含有量は比較的少量で良いと考えられる。こうした需要側（この場合農作物を作る農家）の要望は供給側（この場合堆肥製造業者）と共有されておらず、供給側の作りやすい製品が作られがちである。廃棄物や副産物の有効活用だけに視点を置いた堆肥の製造を行うのではなく、地域の有機廃棄物と土壌の健全性(微生物の活性度)の視点での堆肥の製造技術を合わせて行う持続可能で高付加価値な農業を目指す必要がある。そのためには、今後、農作物の生産と堆肥の製造に知見を持ち、以下のような条件を満たす事業者や大学などの機関との連携の強化が望まれる。

- 作物の栽培に詳しい人材を有していること
- 土壌の健全性（微生物の活性度など）の評価の経験があること
- 多様な有機廃棄物から、多様な堆肥の製造の経験があること、もしくは製造の為のアドバイスができること
- 農作物のブランド化が可能なこと

（参考） 堆肥製造における課題

本項目の目的とは少し離れるが、長岡市で下水汚泥を原料に作られる堆肥の製造と販売における課題を記述したい。現在の堆肥化の工程は、原料であるバイオマスを廃棄物と捉え、いかに廃棄物を減容するかを念頭にオペレーションが

組まれている。また、堆肥化は複数の微生物がバイオマス中の有機物を分解する工程であるにも関わらず、微生物に適した管理ができておらず、現場の作業員の感覚によって堆肥化工程が決定されている。さらに、堆肥化完了の指標もあいまいであることから、不必要に長期間（3か月～6か月）堆肥化を行っており、エネルギー、人件費が無駄になっている。また、ロット間にバラつきが生じており、ロット毎に品質が異なることから、堆肥を使用する栽培農家にとっては使いにくい製品になっている場合が多い。

本来、堆肥化の目的は、①作物の生育に障害を及ぼさないレベルまでバイオマス中の易分解性有機物を分解させること、②土壌微生物にとって有用な有機物（主に繊維質）を豊富に残すこと、③作物の肥料成分を豊富に含む状態にすることである。

しかしながら、上述したように、いわゆる現場の作業員の感覚で堆肥化工程が決定されていることから、本来の堆肥化の目的を達成できていないケースが多く見られる。

堆肥化工程において温度、含水率、pH、通気流量、積高さを管理する必要がある。これらを適切に管理するには新たに設備投資をする必要はなく、堆肥化工程を変えることで十分対応可能である。

一方、堆肥を使用する多くの栽培農家は堆肥の良し悪しを判断する指標を持ち合わせておらず、ロット間または年毎の堆肥の品質のバラつきを受け入れざるを得ない状況にある。

堆肥を使用する栽培農家側から堆肥のスペックを要求し、堆肥の製造業者がそれに応えるという生産方式が理想であり、この関係を確立することによって、堆肥の有効利用が促進され、さらに堆肥の価値を向上させることが可能になる。そのためには、下記の技術や視点を持った専門家が必要であると考えられる。

- 堆肥化原料を有用なバイオマスと位置づけ、様々なバイオマスの組成を熟知し、堆肥化における原料組成を算出できる
- 堆肥化の最適条件に関する知識を有し、条件をマネージすることができる。
- 製品堆肥のバラつきを最小化するオペレーションができる
- 堆肥化の終了に関する指標を科学的かつ定量的に評価することができる

- 科学的根拠に基づいた、土壌の状態と対象作物に最適で栽培農家が求める堆肥の条件を指標化することができる

## 7.2 ミズアブ飼料化と持続可能で高付加価値な養殖業・畜産業の創出

ミズアブを含んだ昆虫の飼料化は、魚粉の材料となる魚の乱獲による枯渇が不安視される中、代替飼料として期待されている。ミズアブ飼料化も堆肥と同様にバイオ産業による循環型社会の循環型コンポーネントに組み込むためには、ミズアブの飼料を使って養殖業、畜産業を持続可能で付加価値が高い産業にする事が必要となる。ミズアブが飼料として有効であることはすでに多数報告されているためここでは議論をしないが、開発要素の大きいミズアブを飼育するために有効な地域の有機廃棄物の選定を産学官の連携により推進する事が事業化のカギと言える。一方で、堆肥と違い有機廃棄物を活用し飼料を作り産業に貢献する事は社会実装されておらず、どの事業者が飼料化を行う事業者になるかが持続可能なビジネスをする上で重要になる可能性がある。廃棄物を出す業者が行う場合や、養殖業や畜産業を営む業者が行う場合が想定されるが、それぞれの事業者が行うメリットとデメリットを十分に整理し、最適な協力体制を組むために、以下のような条件を満たす視点を提供できる事業者や大学などの機関との連携の強化が望まれる。

- 生産物(養殖魚・家畜)に詳しい人材を有していること
- 飼育条件(水質、給餌など)の最適化を行えること
- ミズアブ飼料製造の為のアドバイスができること
- 農作物のブランド化が可能な事

## 7.3 発酵を用いた未利用有機資源の高機能化による機能性商品の開発

未利用有機資源の発酵による高機能製品化は高付加価値な製品としての期待が高く、今回の調査対象となったおからだけにとどまらず、余剰米など多くの未利用食品が適用可能な循環型コンポーネントとして挙げられる。長岡市は古くから発酵産業が盛んであり、発酵を利用した高機能製品の商品化においては多くの特産品を商品化している地元企業(米菓、餅菓、醸造等)の参画が期待さ

れ、長岡市の産学官の各組織が参画している発酵イノベーションハブにおいてもその活用が議論されている。高機能製品の製造が軌道に乗れば長岡市の地元企業だけでなく、多くの商品を手掛ける企業と長岡市のブランド価値を高める商品の開発も期待され、それが可能な企業との取り組みが推奨される

一方で産業として行うには新たな機能性を有する微生物を探索・分離する必要があり、研究開発に対する支援が必要とされる。おからをはじめとした有機廃棄物に由来する成分を分解して新たに高機能な化合物を生成する菌株の取得は、目的とする成分ごとにその菌株を取得する技術開発が必要である。新たな菌株を取得する基本的な手法はすでに確立されているが、より最短で、より少人数で、また目的の菌株をより多く取得するため各社が新たな手法を開発するべくノウハウを競っている状況にある。長岡市には長岡技科大においてミリオンスクリーニングという技術で、極めてハイスループットに新しい機能性を有する微生物を探索・分離するための研究が行われている。一方、菌株取得のためには多くのライブラリーへのアクセスが必要となるため、ライブラリーへのアクセス可能な機関や企業と連携した研究開発が望まれる。複数の大学や日本のナショナルバイオリソースセンターである製品評価技術基盤機構(NITE)といった菌株のライブラリーを維持管理している組織と協力関係にある企業等との連携強化、及び共創の場の整備や補助金による研究費の獲得を産学官一体となっていくことが期待される。

## 8 まとめ

本調査では物質循環率と温室効果ガス削減率の2つの指標を用いて長岡市のバイオ産業創出による物質循環型社会の達成の可能性について考察し、世界トップクラスの循環型社会の形成において長岡市のポテンシャルの高さを再認識した。また、長岡市の資源循環達成のために必要な循環型コンポーネントを提案すると共に、各循環型コンポーネントをビジネスとして成立させるために必要な産業の構築及び強化事項について考察を行った。長岡市のビジョンの1つである「愛着と誇りの持てる『ふるさと長岡』」の実現のため、長岡市の様々な優位性を活かしたバイオ産業による世界初の真の循環型社会の達成を長岡市に期待したい。



## 9 参考文献リスト

- [1] <https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/catell/senryaku/file/rejuvenation-01.pdf>
- [2] [https://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku/tenkengaiyo3\\_3.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku/tenkengaiyo3_3.pdf)
- [3] [http://www.env.go.jp/recycle/circul/area\\_cases/attach/pamph\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/circul/area_cases/attach/pamph_1.pdf)
- [4] <https://modia.chitose-bio.com/articles/40/>
- [5] [https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/basic/conference/resource/tokyo/history\\_waste/index.files/kankyo2797.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/basic/conference/resource/tokyo/history_waste/index.files/kankyo2797.pdf)
- [6] <https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>
- [7] <http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/press/090818/press090818.html>
- [8] Shin-ichiro Mishima, Naruo Matsumoto & Kenjiro Oda (1999) Nitrogen flow associated with agricultural practices and environmental risk in Japan, *Soil Science and Plant Nutrition*, 45:4, 881-889.
- [9] <http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/soshiki/soshiki07-shigen/01shigen/pdf/sekkeitohyouka/5-3.pdf>
- [10] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-012-9525-x>
- [11] 細谷啓太(2017) 自然栽培水田における 窒素循環と収量成立機構, 岩手大学大学院連合農学研究科 寒冷圏生命システム学専攻
- [12] 板倉学, Sánchez Cristina, 森内真人, 南澤究(2013). ダイズ根圏の N<sub>2</sub>O 発生機構と根粒菌による削減, *Journal of Environmental Biotechnology* (環境バイオテクノロジー学会誌), 13(2), 85-88.
- [13] [https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/recycle/haiki\\_h23\\_04/pdf/111202\\_data2-6.pdf](https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/recycle/haiki_h23_04/pdf/111202_data2-6.pdf)
- [14] [https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/data/guideline.pdf](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/guideline.pdf)
- [15] <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf>
- [16] <http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/soshiki/soshiki07-shigen/01shigen/pdf/sekkeitohyouka/huzoku-1.pdf>
- [17] [https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/data/manual\\_sakutei.pdf](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_sakutei.pdf)
- [18] [https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/data/guideline.pdf](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/guideline.pdf)
- [19] [https://www.env.go.jp/policy/02\\_example.pdf](https://www.env.go.jp/policy/02_example.pdf)
- [20] [https://www.env.go.jp/policy/zero\\_carbon\\_city/01\\_ponti\\_210319.pdf](https://www.env.go.jp/policy/zero_carbon_city/01_ponti_210319.pdf)
- [21] [https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/data/manual\\_sakutei.pdf](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_sakutei.pdf)
- [22] <https://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/cate09/ondanka-taisaku/file/2017onshitsu-koukagas.pdf>

[23]

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/pagel-4-per-year.pdf>

[24] [http://nagaoka-biocube.com/wp/wp-content/uploads/2015/02/catalog\\_150216.pdf](http://nagaoka-biocube.com/wp/wp-content/uploads/2015/02/catalog_150216.pdf)

[25] <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003322472>

[26] [https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika\\_1\\_r01/1-1604\\_2.pdf](https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_1_r01/1-1604_2.pdf)