

平成 27 年度 環境経済の政策研究

環境汚染被害地域における

環境・経済・社会の統合的向上による再生に関する研究

研究報告書

平成 28 年 3 月

慶應義塾大学 SFC 研究所



# 目次

I. 研究計画・成果の概要等.....	1
1. 研究の背景と目的.....	1
2. 3年間の研究計画及び実施方法.....	1
3. 3年間の研究実施体制.....	3
4. 本研究で目指す成果.....	4
5. 研究成果による環境政策への貢献.....	5
II. 平成27年度の研究計画および進捗状況と成果.....	7
1. 平成27年度の研究計画.....	7
2. 平成27年度の進捗状況および成果（概要）.....	9
3. 対外発表等の実施状況.....	14
口頭発表.....	14
ミーティング等.....	14
4. 英文サマリー.....	15
英文.....	15
和文.....	19
5. 平成27年度の進捗状況と成果（詳細）.....	22
序論.....	22
本論.....	24
(1) 現状分析および計画立案にむけた情報収集.....	24
水俣環境アカデミア・キックオフシンポジウム.....	24
オープンリサーチフォーラム2015.....	26
水俣市域以外の公害地域の調査（四日市）.....	28
九州大学医学部へのヒアリング.....	28
公害疲弊地域の現状.....	29
水俣市民の意識調査.....	34
(2) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上.....	38
水俣市における妊娠期の健康課題の抽出と持続可能な健康増進運用モデルの検討.....	38
水俣市の静脈産業と地域コミュニティ.....	46
(3) ICTを用いた環境および健康モニタリング.....	54
PM2.5センシングシステムの開発.....	54
PM2.5センサーを用いた市民コミュニケーションの可能性検証.....	58
(4) バイオマスコージェネレーションを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察.....	68
バイオマスコージェネレーション運用の可能性検討.....	68
木質バイオマスを支える地元の林業の現状 ～永田林業～.....	75
中間処理業者による燃料用ペレット生産に関するヒアリング ～吉永商店～.....	80

ドローンを用いた環境センシング.....	80
マイクロ水力発電.....	94
再生可能エネルギーに関する意見交換会.....	99
(5) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計.....	105
結論.....	108
<b>III. 今後の研究方針（課題含む） .....</b>	<b>109</b>
<b>IV. 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録等） .....</b>	<b>111</b>
1. 参考文献.....	111

# 1. 研究計画・成果の概要等

## 1. 研究の背景と目的

本研究の研究対象地域である水俣市は、工業排水によって公害病を発生させ、その後長年にわたって直接的、間接的に公害病に苦しめられてきた地域である。1956年の水俣病公式確認から60年が経過する現在でも、その傷跡が癒えたとは言いがたい。このため、2009年の「水俣病被害者の救済及び水俣病問題の解決に関する特別措置法」において、公害病への対応だけでなく、疲弊した地域住民の健康増進、不安の解消、地域の絆づくり、経済など包括的に問題を解決することが規定されている。一方で、水俣市の高齢化率は約35%に達しており、また、産業も1企業が市域の生産額の25%を占める典型的な企業城下町の様相を呈している。現在、同市は環境首都としてリサイクル事業やバイオマスなどの事業を推進しているが、それらを成功に導くと共に、市の情勢に合わせたそれ以外の新たな産業も振興する必要がある。

本研究においては、水俣市域およびその周辺地域における地域の特徴を踏まえた地域住民の絆の修復による環境・社会・経済の統合的向上を実現するための新産業創出のシナリオの作成とその概念実証を実施する。現在、水俣市は環境に対する住民の高い意識、医療施設の充実、交通の変化、コミュニティの崩壊、高齢化などの特徴を有している。これらの資産の活用と負の資産の解消のためには、健康、環境・エネルギー、農林、観光のすべての分野で、地域の特色を活かした計画を立案することが肝要である。そうすることにより、他の追従を許さないものとなり、強い地域経済を創出することが可能となる。本研究では、現在の市域の特徴をエビデンスに基づいて調査、整理、分析し、新たな地域戦略の構築を目指す。また、それに必要なソーシャルキャピタルの醸成にも務める。

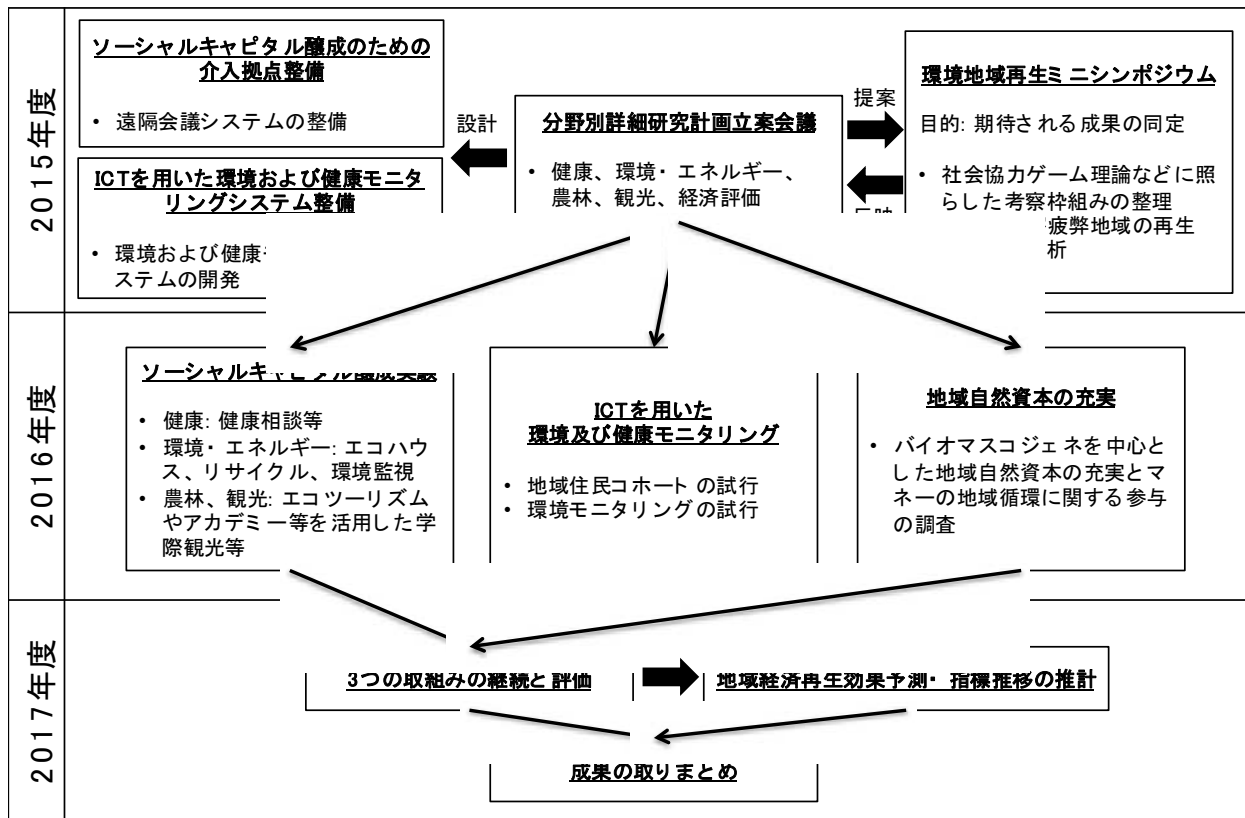
## 2. 3年間の研究計画及び実施方法

研究の背景と目的でも述べたとおり、本研究においては、水俣市域およびその周辺地域における地域の特徴を踏まえた地域住民の絆の修復による新産業創出のシナリオの作成とその概念実証を実施する。水俣市は「環境モデル都市」を掲げており、住民もまた環境に対する高い意識を持っている。その背景を踏まえ、環境・健康を中心とした産業創出の可能性を検証する。

研究は大きく次の4つのパートから構成される。それぞれ、地域の絆づくりによる新産業創出の可能性の検討、地域住民の健康増進、現在進められている環境産業への参与観察、本研究自体の自己評価と位置づけられる。

- (1) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上
- (2) ICTを用いた環境および健康モニタリング
- (3) バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察
- (4) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

本研究の流れを下図に示す。



2015年度は準備段階と位置づける。研究分野についてその現況を調査し、具体的な研究計画を立案する。立案にあたっては、海外の研究者や水俣市の関係者を招聘したミニシンポジウムを開催し、海外の事例との対比を通してより効果的な策を模索する。また、ソーシャルキャピタル醸成のための介入拠点整備およびICTを用いた環境および健康モニタリングシステムの整備を進める。

2016年度は実際に活動を開始する年と位置づける。2015年度に詳細化した研究計画計画および研究のための拠点整備にも基づいてソーシャルキャピタルの醸成実験、ICTを用いた環境および健康モニタリングの試行、地域自然資本の充実を目指したバイオマスコジェネを中心とする参与調査を進める。

2017年度は研究の継続と取りまとめの年と位置づける。2016年度の活動を継続するとともに、研究によって考案した新産業創出のシナリオの経済再生効果の予測・指標推移の推計をおこない、本研究自体の自己評価をおこなう。

以下、それぞれの研究内容について詳しく述べる。

### (1) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上

本研究項目は、ソーシャルキャピタルの醸成、すなわち地域住民の絆の修復により、健康、環境・エネルギー、農林、観光等の経済活性化を目指すものである。提案者らの先の研究[4]では、ソーシャルキャピタルと健康の関係を明らかにした。ソーシャルキャピタルの高い地域では健康な人が多く、また、介入することによりソーシャルキャピタルを高めた地域では健康な人の割合も向上した。また、CEMSのようなシステムでは近隣の協力が不可欠であり、地域におけるソーシャルキャピタルがエネルギー消費に影響を与えることが予想される。その他、農林や観光などにおいても地域の団結は良い効果をもたらすと考えられる。

そこで、遠隔会議システム等を用いた地域コミュニケーションの促進によってソーシャルキャピタルの醸成を促し、経済活性化につながる地域活動の活発化を促進する。2015年度は主として拠点整備を行い、2016年度の水俣環境ア

카데미機構の開設に合わせて、健康相談、エコ学習を目的とした観光などの実際の活動を開始する。

## (2) ICTを用いた環境および健康モニタリング

本研究項目は、水俣市の特徴の一つである環境と健康に対する高い意識を、感覚的なものではなく実際のデータ（エビデンス）を用いて可視化するものである。水俣市は、2016年度に水俣環境アカデミー機構の開設を控えており、世界における環境研究の中心的な拠点となることを目指している。これを達成するためには、水俣市自身が他に類を見ない特徴ある研究フィールドとなることが求められており、そのために環境や健康に関するデータを研究者が容易に入手できる環境を整える。そのために必要なモニタリングの仕組み、データ公開の仕組みを検討し、その概念実証を行う。

2015年度においては、環境および健康モニタリングのための装置の開発を行う。2016年度～2017年度にはそれらの設置および運用を行い、2017年度に評価を行う。

## (3) バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察

本研究項目は、水俣市が有する森林などの自然資本の活用と持続可能なシステム形成の可能性を明らかにするものである。水俣市においては、2016年の発電開始を目指すバイオマス発電所の開設が計画されている。この発電所は6.5MWの木質バイオマス発電設備として計画されていたが、市の周辺地域を含めた資源供給の制限から、2MW弱の発電設備となる予定である。このため、発電設備のコジェネ化が検討されており、周辺の企業との連携が重要となる。

2015年度には九州地域における木質バイオマス発電のための資源の供給量と消費量の関係およびその循環についての推計、現在の生態系の調査を行う。また、コジェネ化のための温水の活用策の検討を実施する。2016年度以降は、持続可能な供給と消費のバランス、供給維持のための生態系に配慮したシステムの提案等を行う。

## (4) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

本研究項目は、本研究全体の評価と位置づけられる。昨今の取り組みは、トリプルボトムラインとして認識されるように、経済のみならず、社会や環境にも配慮した持続的発展可能性の観点から評価する必要がある。本研究項目においては、地方、地方中核都市、日本全体といったマルチな視点で本研究全体の取り組みを見た場合の経済効果および指標推移の推計を行う。

## 3. 3年間の研究実施体制

本研究には下記のメンバーが参画する。

氏名	所属	専門分野
植原 啓介 (研究代表者)	慶應義塾大学 環境情報学部 准教授	ICT
小林 光	慶應義塾大学 政策・メディア研究科 特任教授	環境政策論
金子 郁容	慶應義塾大学 政策・メディア研究科 教授	コミュニティ論
ティースマイヤ リン	慶應義塾大学 環境情報学部 教授	開発論 (東南アジア)
一ノ瀬 友博	慶應義塾大学 環境情報学部 教授	景観生態学
秋山 美紀	慶應義塾大学 環境情報学部 准教授	健康政策
丹治 三則	慶應義塾大学 環境情報学部 専任講師	環境工学

前節で述べたとおり、本研究は大きく4つのパートから構成される。パート毎の実施体制を以下に示す。

(1) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上

本研究項目は、ソーシャルキャピタルを長年研究してきた金子の知見を活かしながら、本分野の詳細な研究計画を作成する。また、健康分野については慶應義塾大学医学部・大学院医学研究科・同健康マネジメント研究科教授の武林亨教授のアドバイスを受けながら秋山の活動を元に研究を推進する。さらに、東南アジア環境経済開発等との対比においてはティースマイヤの研究をもとに本研究を推進する。

(2) ICTを用いた環境および健康モニタリング

本研究項目は、ICTを専門とする植原を中心として、環境の整備および研究計画の策定を行う。また、植原は本年度から開始された文科省科研費プロジェクトである「市民・行政・専門家の連携による環境監視・減災支援基盤の構築と社会実装」にも分担者として参加しており、そのプロジェクトとの連携を図る。また、健康モニタリングについては、(1)と同様に慶應義塾大学医学部・大学院医学研究科・同健康マネジメント研究科教授の武林亨教授のアドバイスを受けることにより、より専門的にも意義のあるシステムを構築することができる。

(3) バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察

本研究項目は、生態系に配慮した緑地計画等を専門とする一ノ瀬、水系環境を専門とする丹治を中心に詳細な研究計画を策定し、研究を進める。丹治は、これまでも九州地域の森林資源の総量と九州地域で計画されている木質バイオマス発電設備が必要とする資源量の推計などを行っている。

(4) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

本項目は、小林および植原が中心となり進める。具体的には、九州大学大学院工学研究院 都市システム工学講座 馬奈木教授の協力を得ながら推計を行う。

#### 4. 本研究で目指す成果

本研究では、ソーシャルキャピタルの醸成により、健康、防災、観光、農林のそれぞれの分野での効率と魅力の向上による経済活性化を目指す。まず、地域におけるソーシャルキャピタル向上のための仕掛け作りとして、ICTを用いた拠点づくりをおこない、その有効性を検証する。水俣市においては、特にコミュニティの崩壊が認知されており、市が推進する「もやい直し」の活動への貢献を実証する。また、健康、環境・エネルギー、農林、観光それぞれの分野において、ICTを用いた拠点の活用方法を開発する。

更に、ICTを用いた環境および健康モニタリングシステムを構築し、環境と健康にかかるデータを扱うコホートを形成する。これらのデータは市民が自らの状況を知るために使えるとともに、水俣環境アカデミー機構を中心とした学術研究活動の基盤として機能し、環境や健康分野の研究・産業の誘致に資する。

また、バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察を行うことで、2016年度に運転開始予定のバイオマス発電所の市域への影響を評価する。

更に、地域経済再生効果予測および指標推移調査を行うことによって、研究全体の経済への影響を明らかにする。



## 5. 研究成果による環境政策への貢献

本研究においては、ソーシャルキャピタルの醸成、すなわち地域住民の絆の修復による地域の経済振興を目的としており、その概念実証を行う。概念実証によりその効果が認められた場合、更にその方針を推し進めることにより、2009年の特措法が定める「健康増進事業の実施等」等を効果的に実施することが可能となる。

また、環境汚染により被害を受けた人口集団の健康状況の正確で継続的なモニタリングおよび環境汚染により被害を受けた地域の生態系や食物の健全性の継続的なモニタリングを実施することにより、健康状態をビッグデータの形で把握する仕組みが導入され、住民と行政との間の推測や思い込みに基づく不信や軋轢や一次産品の風評被害の回避に資することができる。更には、環境保全を通じた地域振興が可能になると、持続可能な発展の地域実装例が登場することとなり、環境経済策にとって明るい未来を示すことができる。

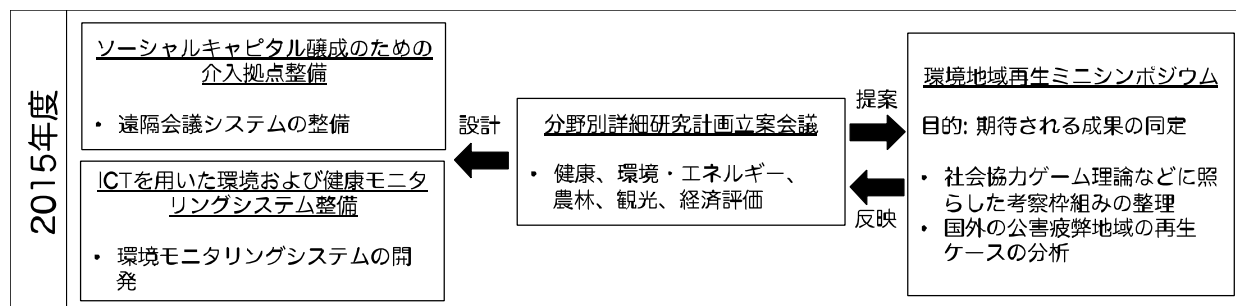


## II. 平成 27 年度の研究計画および進捗状況と成果

### 1. 平成 27 年度の研究計画

本研究においては、水俣市域およびその周辺地域における地域の特徴を踏まえた地域住民の絆の修復による新産業創出のシナリオの作成とその概念実証を実施する。水俣市は「環境モデル都市」を掲げており、住民もまた環境に対する高い意識を持っている。その背景を踏まえ、環境・健康を中心とした産業創出の可能性を検証する。

2015 年度は、主として全体詳細計画の立案および実験準備を行う。2015 年度の研究の流れを次図に示す。



全体としては、次のような項目を実施する。

分野別詳細計画を立案するため、11月に開催される慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスのオープンリサーチフォーラム 2015 において、ミニシンポジウムを開催する。シンポジウムでは海外の事例紹介、水俣市の状況紹介を行い、環境地域再生のあり方について検討する。

同様に、水俣市において開催される水俣環境アカデミア関連シンポジウムに参加し、水俣の現状を把握する。

また、それぞれの分野においては次のような活動を実施する。

#### (1) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上

2016 年度以降の研究のための準備として、遠隔会議拠点づくりを行う。具体的には、来年度開設予定の水俣環境アカデミアを中心拠点とした市域内および市域-他地域のコミュニケーション環境を整える。ただし、水俣環境アカデミアは 2016 年度開設予定のため、開設と同時に利用できるよう準備を進める。

また、現在の健康、環境・エネルギー、農林、観光についての調査を行う。主として 8 月および年度末に水俣市にてフィールドワークを行い、それぞれの分野の課題を明らかにする。

#### (2) ICT を用いた環境および健康モニタリング

地域の環境を住民が自身でモニタリングすることを可能にする、環境モニタリングシステムを構築する。市民自ら環境モニタリングシステムを設置することによりモニタリングシステムへの意識を向上させるため、市域の高校などと連携してシステムを構築する。

また、健康モニタリングのためのシステム検討を行う。

(3) バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察

バイオマスコジェネの実現可能性を、地域自然資本を中心に調査する。現在、九州に地域には多くのバイオマス発電所が立地しており、燃料の確保が課題になると考えられている。そこで、市や県にデータの提供を依頼するとともに、現地関係者へのヒアリング調査を実施し、その解析を行うことで水俣市域を中心とした周囲の森林による資源の確保の可能性について検討を行う。

(4) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

国際会議などに出席することによって、国際的に実施されている最新の地域経済再生効果予測・指標推移手法について調査を行うとともに、研究終了時の研究全体の経済への影響を明らかにするためのベースラインを検討する。本研究では、九州大学大学院工学研究院 都市システム工学講座の馬奈木教授に協力を要請する。

## 2. 平成 27 年度の進捗状況および成果（概要）

平成 27 年度は、研究の多くの部分を調査に割いた。また、その結果をうけて、次年度以降の方針を策定した。

### (1) 現状分析および計画立案にむけた情報収集

本研究項目においては、研究を進める上で必要な調査・ヒアリングを実施した。

まず、2015 年 9 月 12 日に開催された「水俣環境アカデミア・キックオフシンポジウム」に出席し、これまで蓄積された水俣病あるいは水俣市の再生に関する活動について、網羅的に調査をおこなった。当然ながら、約 60 年前の水俣病確認当時は、水俣病の原因や病気の症状に関する研究が盛んに行われた。これらの研究によって、現在ではそのメカニズムは完全に解明されている。一方で、その後の裁判の歴史や風評被害などによる、地域の疲弊の解消に長年多くの研究者や活動家が携わってきたが、現在でも完全にこれらの問題が解決したとは言いがたい。一度、外側と内側から社会的に大きなダメージを受けた地域を再生することは、非常に難しいと言わざるを得ない。そのような中で、現在の水俣で広く認知されているのが「もやいなおし」である。「もやいなおし」は、1994 年に吉井氏が市長になった際に提案された概念であり、壊れたコミュニティをつなぎ直すことを謳っている。しかし、ここにきて、一部の市民からは「もやい直し」も形骸化しつつあるとの声も聞かれ、次の一手が待たれる状況である。

次に、2015 年 11 月 20 日に、慶應義塾大学 SFC 研究所が主催するオープンリサーチフォーラム 2015 (ORF2015) において、「公害疲弊地域の再生」と題してシンポジウムセッションを開催した。この中では、ジェームス・トンプソン氏（米国アレゲーニー郡保健省環境衛生局 次長）に基調講演をお願いし、公害疲弊から見事に立ち直ったピッツバーグ市の事例について講演をいただいた。講演の中では、①市民が声をあげ、②行政がそれに応じて規制を作り、③企業が規制を守り、④それによって街の価値が上がって市民が増える、といったポジティブなループを作ることが重要であるとの主張がなされた。また、その後のパネルディスカッションにおいても、市民が一眼となって地域再生の原動力となることが重要である旨が合意された。

また、本研究の横展開を睨んで、2016 年 2 月 22 日に三重県四日市市の四日市環境未来館を訪問して同館副館長や本庁の環境保全部長と意見を交換し、公害から脱却するための政策の浸透方法が重要であることが議論された。また、四日市市としては、公害疲弊地域の横のつながりに非常に興味があり、継続して意見を交換していきたいという意思をもっていた。

さらに、公害疲弊地域では無いが、長期間にわたるコホート研究の事例調査のため、九州大学医学部へのヒアリングを 2016 年 3 月 11 日に実施した。同大学の総合コホートセンターは、福岡県久山町において 50 年にわたるコホート研究を行っている。そのような中で、コホート研究により、学术界も健康な地域づくりに貢献できるという知見を得ていた。

また、公害疲弊地域の現状を把握する必要があるため、これまでも多く実施されてきたことではあるが、資料館での調査、胎児性水俣病患者へのヒアリング、かつての水俣病患者支援者へのヒアリングを実施した。水俣病資料館は、12 月より改装が進められており、これまでの反省に基づいて、過去、現在、未来という時間の流れを意識した展示に改められている最中であった。副館長によると、以前の展示では、水俣病が前面にでており、その後の水俣の経験を伝えられていないということであった。このような中からも、水俣が未来に向けて変わろうという意思を強

く持ちは始めていることが分かる。胎児性水俣病患者へのヒアリングでは、未だにまわりに遠慮をしている患者の苦悩を聞くことができた。胎児性の患者も既に還暦を迎える時期にきているが、患者が生存している限り、医療面はもちろん、生活や精神面での支援が必要であることは明らかである。しかし、そのことが患者の負担になっているという、皮肉な側面があることも見逃してはならない。かつての活動家にもヒアリングを行ったが、30年前とは活動家の意識も変わっており、未来を見据えて水俣を支援すべきであるという強い意思を感じた。

これらのことより、水俣市全体が、大枠としては未来をみて動きたいという意思を強くもっていることは明らかである。また、そのための原動力は「市民」であり、「市民」がうちに秘める思いを無理なく引き出すことが、水俣、あるいは他の公害疲弊地域を再生するためには不可欠である。

## (2) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上

水俣市は、いわゆる地方の小さな自治体である。我が国における地方の小自治体はどこでも、少子高齢化や労働人口の空洞化など、同じような問題を抱えている。水俣市も同様の問題を抱えているため、公害を原因とする経済の停滞と地方小自治体であるための経済の停滞をわけて調査をすることは難しい。包括的な政策検討する必要がある。

水俣市の人口は、2016年現在、約26,000人であり、人口ピラミッドは典型的な逆三角形となっている。このため、今回我々は「将来の担い手を健康で元気に！」というビジョンを掲げ、環境と並ぶ新たな「健康」という視点での地域活性と人口増加への取り組みについて検討することにした。今回は「妊娠期」の健康課題の抽出と課題解決のために実施している施策調査を行った。さらに、今後の健康増進がさらに持続可能な運用モデルを検討した。その結果、水俣市における妊娠期の健康課題としては、以下のような課題があることがわかった。

- ・ 非妊娠時のBMI18.5未満のやせの妊婦が20%。
- ・ 妊娠以前から高血圧や糖尿病等の生活習慣病の既往を持った妊婦がいる。
- ・ 妊婦健診では、初期の1割、後期の5割が貧血。
- ・ 低出生体重児が国・県に比較して高い。

また、施策としては、数年前より水俣市開催の母親学級がなくなったことにより、市域の産婦人科2施設で母親学級を実施しているとのことだった。また、水俣市保健管理センターでは、2014年4月から保健師が実施する妊娠期の妊産婦健康指導を強化したと思われる。従来、母親学級で集団にて実施していた健康指導を、母子手帳交付時、個別指導としたのだ。母子手帳交付時に、保健師による妊産婦向けの生活指導及び妊娠時期や体格に合わせた栄養指導と支援を実施する自治体は他にはないだろう。今回、この指導や支援が、妊産婦の食行動変化を起し低出生体重児予防に大きく関係した可能性が高く、今後、さらなる分析を行う価値があると思われた。その有効性が確認できれば、水俣発の取り組みということでPR効果も狙えるのでは無いかと考えられる。

また、水俣市特有の環境に対する取り組みとして、ゴミの分別やそれに続く静脈産業の育成がある。本研究においては、実際に市民のゴミ分別収集に参加したり、クリーンセンターやリサイクル企業にヒアリングを行うことにより、その実態把握に努めた。ゴミ分別収集では、リサイク

ル推進委員が収集場所にコンテナを広げて、市民が持ち込むゴミを分別している。分別収集は毎月1回のため、大量のゴミを持ち込む市民も散見された。そのような中で、分別風景を見学していると、市民同士で世間話などを行っている様子が見受けられた。このゴミ分別は、住民のご近所内でのコミュニティ形成に一役買っていると言える。また、これらのゴミ分別収集は、リサイクル還付金に支えられている。水俣市では、分別収集によって集められた資源ゴミの売却益を市民（自治会）に還元している。還付金の使いみちは、自治会によって様々で、自治会の支えになっているとのことであった。ここでも市民のゴミ分別が、コミュニティを支えることに一役買っているということがわかる。

### (3) ICT を用いた環境および健康モニタリング

今年度は、ICT を用いた環境モニタリングとして、PM2.5 を題材としたセンサーシステムの開発および、それを用いた水俣高校でのワークショップを実施した。

水俣市は、九州の西側に位置し、大陸からの大気汚染物質の飛来や桜島や雲仙、阿蘇などからの火山灰の飛来、スギ花粉など、多くの大気浮遊物のリスクを抱えている。このことを鑑み、体への影響が大きい、PM2.5 のモニタリングシステムを開発することとした。現在、水俣市には政府が設置した PM2.5 のモニタリングポストが 1 箇所存在しているが、水俣市は、海から山まで様々な自然環境を有しており、十分なモニタリングができているとは言いがたい。そこで、個人が購入でき、また、持ち運べるようなモニタリングシステムの開発を目指した。

今回開発した PM2.5 モニタリングシステムは、プロトタイプではあるが、スマートフォンに接続し、値を計測できるようなものになっている。また、部品の費用は約 6,000 円と個人でも十分に購入可能な範囲に収めることができた。将来的には、持ち運びやすいように、ケースなどに収める必要がある。

更に、開発した PM2.5 モニタリングシステムを用いて、水俣高校で高校生とのワークショップを開催した。ワークショップの目的は、このような環境モニタリングシステムがコミュニティ、特に水俣病とは関係の薄い若世代においてどの様に働くかを観察することである。ワークショップでは、PM2.5 が健康に及ぼす影響と PM2.5 モニタリングシステムに関する座学講義、PM2.5 モニタリングシステムの制作、PM2.5 モニタリングシステムの応用に関するアイデアソンから構成された。その結果、このようなワークショップを開催することによって、もともと環境に思い入れの深い地域で生活する人々ではあるが、表面的な意識だけではなく、その意味を深く理解していくことが感じ取れた。

このように、市民自らの手によるモニタリングを実施することによって、「この地に生活しているからなんとなく環境に高い意識を持っている」というところから、「環境について深く理解し、まわりに伝えることができるようになる」というレベルに引き上げることができ、水俣の環境に対する思いを形にして、横展開できる可能性が見いだせた。

### (4) バイオマスコージェネレーションを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察

地域自然資本の充実とその経済価値の観察においては、まず、バイオマスコージェネレーションの運用可能性について検討した。現在、九州地域には多くのバイオマスコージェネレーション

施設が建設されており、その燃料の奪い合いのような状況が発生しつつある。このため、安定して運用できるバイオマスコージェネレーションの大きさを明らかにすることが急務である。本研究では、県や市から得たデータを元に、水俣市域の森林から供給可能性な木質バイオマスの量を明らかにした。その際、森林の傾斜や道路からの距離などを鑑み、経済的に現実的な量を GIS を用いて算出した。その結果、平均集材コストが 5,000 円/m<sup>3</sup> となるように低価格の林班から材を回収すると、概ね 47,800m<sup>3</sup>/年程度の木材(林地残材, 間伐材)が平均価格以内で回収可能であると明らかになった。この量で発電可能な電力量は 2MW 程度である。このことより、水俣市にバイオマスコージェネレーションを建設する場合は、2MW 程度の規模のものとする必要がある。

また、木質バイオマスを支える地元の企業として、永田林業へのヒアリングを実施した。永田林業は、鹿児島県出水市に位置する林業会社である。平成 17 年に従業員 2 人でスタートし、現在は、素材生産業をはじめ、林業事業、木材チップ事業、運送事業を計 27 人で支えている。特徴は、最新鋭の高性能機械を用いた林業と人材育成である。木材チップ事業を行っている永田林業では、バイオマス発電にも意欲的である。現在九州では木質バイオマス発電への新規参入が目覚ましい中で、原料となるチップの需要が急増している。中でもバイオマス利用が進んでいる宮崎では乱開発が進み禿山が増えて既に問題となっている。永田林業では、将来のことを考慮し、森林を保全しながら必要なチップを生成するための活動にも参加している。このような林業家が水俣市近隣で多く育つことによって、バイオマスコージェネレーションは発電だけではなく、地域自然資本の保全にも役立つものと考えられる。

地域自然資本の調査という視点から、ドローンを使った水俣市の森林調査について、検討と試行をおこなった。試行は、冬季でかつ風の強い状況下での空撮となったが、ドローンによる環境センシングの有効性が明らかになった。以下の 4 点にまとめることができる。

- ・ 高精度の空撮画像が、容易に（実質 1 名の調査者で）取得できる。
- ・ 危険性が少なく、必要に応じていつでも撮影ができる。
- ・ 広範囲の環境センシングが短時間で可能である。
- ・ 容易に近づけない場所であってもセンシングできる。

地形が急峻で多くの植林地を抱える水俣市にとっては、ドローンを使った調査では、特に大きなメリットとなる。

また、同様に地域自然資本を用いたエネルギー供給という視点から、マイクロ水力発電について調査をおこなった。水俣市には 2 つの川が流れており、安定した水量が見込める。今回、2 箇所のマイクロ水力発電を調査したが、発電量が小さく市域に貢献することは難しい。また、売電の仕組みが整っていないことが、大きな課題となっている。しかし一方で、自然エネルギーの開発という意味では、良い広告塔となる可能性があり、広告宣伝効果も見込んだ有効性検討の必要がある。

##### (5) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

本研究では水俣市の特徴である「環境」に着目し、新国富指標を構成する上記の 3 つの資本のうち最も環境と関連する自然資本の計測を開始する予定である。2015 年度は、その予備段階として、水俣市の自然資本の概要を把握することとした。水俣市では、35~40%を森林資源に、60%近く農地に依存する構造になっている。森林資源は 91 年頃から増加傾向にあり、99 年から 2004



年まで停滞していたが、2005年以後また増加に転じている。また、農地資本の価値は一貫して増加傾向にある。森林資源も、その豊富なストックを背景に自然資本の増加に貢献している。ただし、森林資源のうち市場的価値以外を表すエコシステムの価値がかなり小さい点は見逃せない。これは、水俣市の東部に広がる森林地帯が人材不足などの要因で適切に管理されておらず、放置されているためエコシステムとしての機能を低下させている点を示唆するものである。

今回の予備調査において、この研究をすすめる上で、森林の管理の問題や農地における耕作放棄地の問題など、従来のデータでは詳細に評価できない点があることが分かった。他にも、水俣市は美しい棚田を有しているが、その景観などを新国富指標にどのように加えるかといった新たな検討課題も明らかになった。

### 3. 対外発表等の実施状況

#### 口頭発表

- 丹治 三則、竹内 優、小林 光、「水俣市のバイオマス発電事業を対象にした収集可能な木質バイオマスの推計に関する研究」、土木学会、環境システム研究論文発表会講演、Vol.43, pp. 343-346, 2015

#### ミーティング等

- 環境省とのミーティングを実施（2015年7月22日）
- 慶應義塾大学 SFC 研究所が主催するオープンリサーチフォーラム 2015 (ORF2015) において、「公害疲弊地域の再生」と題してシンポジウムセッションを開催（2015年11月20日 12:20～13:50）
- 四日市環境未来館を訪問した上での同館副館長や本庁の環境保全部長などと意見交換会を実施（2016年2月22日）
- 水俣高校とのワークショップを実施（2016年3月4日～6日）

## 4. 英文サマリー

### 英文

Fiscal Year 2015 Environmental Economics and Policy Studies

Studies Regarding Rebirth of Environmentally Contaminated Area through Integrated Improvement of Environment, Economy and Society

Minamata city in Kumamoto Prefecture is a place where industrial effluents resulted in a pollution-related illness (Minamata disease) and the people of the area had been directly and indirectly affected by the disease for many years since then. 2016 marks the 60th year of the official acknowledgement of the Minamata disease in 1956 and its impact is visible even today. There are Minamata disease victims alive even now and one can directly feel the presence of the disease, but the impact of the disease is not limited to those patients. Most people outside of the city still associate the place name Minamata with the disease and think of the polluted sea. For this reason, Minamata city's sea food continues to suffer from the damage caused by unfounded rumors even after Minamata Bay was declared safe in 1997. Socially too, the city was struck by misfortune. In the city, which was the corporate town of the company that caused the pollution, the company had wielded enormous power, and the patients came to distrust the company as well as the municipality. Moreover, the repeated lawsuits created conflicts between citizens. Currently, though majority of the residents of the city does not have anything to do with Minamata disease, they are finding it difficult to completely eliminate the disease from their lives. To improve this situation, the central government and the company that caused the pollution have been providing various supports. In 2009, the Act on Special Measures Concerning Relief for Victims of Minamata Disease and Solution to the Problem of Minamata Disease (hereinafter referred to as the "Special Measures Act") was established and it stipulates to provide comprehensive support including those for the local economy.

This study is aimed at creating a sustainable economic model for supporting the community to enhance the citizen's health, preserve the environment and utilize the natural capital taking into account the current situation of Minamata city. In particular, the study will implement the following: 1) improvement of efficiency of health, environment and energy, forestry and agriculture and tourism, and enhancement of its appeal through fostering of social capital, 2) monitoring of environment and health using ICT, 3) enhancement of local natural capital centered on biomass cogeneration and participant observation regarding local circulation of funds, and 4) prediction of local economic rejuvenation impact and estimation of the trend in indices.

In fiscal year 2015, we primarily carried out a fact-finding survey regarding Minamata city and formulated a detailed plan of the project to be implemented in the future. As for the study to find out the current status, we carried out a survey of the actual situation of the research on Minamata city so far at Minamata Environmental Academia Kick-off

Symposium, study of overseas cases through holding of a symposium at SFC Open Research Forum 2015, study of suburban areas other than that of Minamata city targeting Yokkaichi city, study of regional cohort research and awareness survey of Minamata city citizens. The activities and research held in Minamata city to date were reported in a comprehensive manner at the Kick-off Symposium. Almost all of the studies were related to the health damages for a while after the identification of the Minamata disease, but subsequently studies were carried out on the challenges in restoring the community. In addition, the Open Research Forum suggested that it was important for the victimized residents to come together and make the municipality and the company to respond so as to create a better living environment and attract visitors to get the economy going. In the survey targeting Yokkaichi city, we learned that it is necessary to recognize the importance of the ability to disseminate the information regarding pollution-related diseases and restoration of the affected area as well as the horizontal collaboration of areas ravaged by pollution. In the study of the cohort research regarding Hisayama-machi, Fukuoka Prefecture, we acquired the knowledge that gathering data in cohorts and disclosing it changes the residents' awareness and academia can also contribute to the development of a region. Moreover, the research and interviews in Minamata city revealed that various information dissemination initiatives, support activities and community restoration activities that have been implemented have become commonplace and implementation of innovative measures has become necessary.

Based on the above findings, in this study, we came to think it is necessary for rejuvenation of local economy to support young people who will play a central role in the next generation and decided to intervene especially with the younger generation. In addition, we decided to carry out participant observation in utilization of natural capital primarily of biomass cogeneration positioned at the current starting position in line with the initial plan. First of all, we considered intervening in childrearing support as assistance for the young generation from the health perspective. Currently, the number of births in Minamata city has dipped below 200 and stands at 171 for 2015. However, on the other hand the total fertility rate from 2008 to 2012 was 1.83, which is a high figure in Japan. Currently, the city faces the following issues, which require improvement: 20% of pregnant women fall under the low weight category with BMI of less than 18.5 prior to the pregnancy; there are pregnant women with a medical history of lifestyle diseases such as high blood pressure and diabetes before getting pregnant; 10% of expectant mothers in the initial stage of pregnancy and 50% in the late pregnancy had anemia; and the rate of low birth weight babies is comparatively higher than the country and prefectural average. To address these issues, the Minamata Pregnant Women Nourishment and Lifestyle Guidance Program is being implemented at the time of issuing the maternity record book and we are waiting for the confirmation of its effect. If the effectiveness of such a measure can be confirmed, we could consider development of smartphone applications, etc. to address the issue in order to make it a sustainable health

enhancement operational model, and even if the local government grows in scale it can provide similar support. This could lead to the possibility of lateral deployment of the Minamata model.

Moreover, Minamata city has been focusing on venous industry. Currently, the residents of the city segregate their waste into 21 categories, which has led to a highly value added garbage processing. It is a fact that the recycle refund paid to the local council plays an important role in its continuation, but more than that we should also not overlook the fact that the garbage segregation place has become a place for the residents to talk to each other and plays a role in the formation of the community.

Further, we developed a PM2.5 sensor in fiscal year 2015 as an environment monitoring tool using ICT and held a workshop at the Minamata High School using the sensor. We aimed to make the PM2.5 sensor as a small lightweight model that can connect to smartphones and to make it available at a cost that is affordable to individuals. Currently, there is one monitoring post in Minamata city operated by the government, but this sensor can be used to enable citizens to carry out measurements and supplement the deficiency in measurement points. In the workshop, we formulated the policy for the sensor and carried out an ideathon. High school students in Minamata city have many opportunities from childhood to learn about the environment and therefore have a high awareness regarding the environment. Nevertheless, it is a fact that they do not have the skills to use the knowledge or disseminate related information. Therefore, by working solidly with their hands and creating opportunities for information dissemination using ICT, they would be able to have a deeper understanding of the environment, which would also contribute to the development of next-generation industries.

In the participant observation related to the enrichment of the regional natural capital focused on biomass cogeneration, we discussed the feasibility of the planned biomass power generation facility. According to the results of the analysis using GIS, etc. it is possible to provide raw materials from the forests within Minamata city limits for a power generation facility of about 2MW. However, to continue with forestry, it is necessary to reforest and secure the management costs, which would be a challenge. The recent drone technology may be considered for management of forests, and we also carried out feasibility tests for it. As a result, it became clear that it is possible to carry out reasonably good forest investigation at a low cost. Further, we also held a meeting of the stakeholders concerning the local production of renewable energy for local consumption in the Minamata city limits. In the meeting, the current difficulties in forest management and forestry operation were revealed and it became clear that the urgent task is to reduce the costs and unearth demand.

In predicting the impact of rejuvenation of local economy and estimating the trend in indices, of the three capitals that form the Inclusive Wealth Index, we are planning to start the measurement of the natural capital, which is the most important of all. As a preliminary step, we decided to get an overview of natural capital in fiscal year 2015. Forest resources have

increased since 2005 within Minamata city limits, and the value of farmland capital is consistently on a rising trend. On the other hand, a feature of its forest capital is that its ecosystem value, which shows the value other than market value, is very low. Another thing we found out was that there are issues of management of forests and the problem of abandoned, non-cultivated fields in farmland that cannot be assessed in detail with the existing data. Further, Minamata also has beautiful terraced paddy fields, and new challenges such as how to add this landscape to the Inclusive Wealth Index also became clear. As described above, Minamata city, which is an area ravaged by pollution, still faces many challenges. At the same time, the region has abundant natural resources and the spirit of the people, and it became clear that we can bring back the vitality of the region by nurturing the youth. From next fiscal year on, it becomes important how we support in nurturing these buds.

## 和文

平成 27 年度 環境経済の政策研究

「環境汚染被害地域における環境・経済・社会の統合的向上による再生に関する研究」

熊本県水俣市は、工業排水によって公害病（水俣病）を発生させ、その後長年にわたって直接的、間接的に公害病に苦しめられてきた地域である。2016 年で 1956 年の水俣病公式発見から 60 年となるが、現在でもその影響を目の当たりにすることができる。現在でも存命の水俣病患者が存在し、そこに水俣病を直接的に感じることができるが、水俣病の影響はそれだけではない。水俣市外の人々の多くは「水俣」という地名を聞くと、依然として水俣病を連想し、汚染された海を想像する。このため、1997 年の水俣湾の安全宣言の後も、水俣市の水産物は継続して風評被害を受けている。また、水俣市は社会的にも不運な運命を辿った。原因企業の企業城下町であった水俣市では企業の力が圧倒的に強く、患者らは企業や自治体に対して不信感を持つようになった。また、再三の訴訟によって、市民同士の対立も招いた。現在では、多くの市民が水俣病とは関係なく過ごしているが、それでも生活の根底から水俣病を消し去るのは難しい状況となっている。このような状況を改善するため、国や原因企業なども様々な支援を実施している。2009 年には「水俣病被害者の救済及び水俣病問題の解決に関する特別措置法」（以下、特措法）が制定され、地域経済も含めて包括的に支援することとなっている。

本研究では、水俣市の現状を踏まえ、健康増進や環境保全、自然資本の活用をコミュニティの力で支援するための、持続可能な経済モデルを作成することを目的としている。具体的には、1) ソーシャルキャピタルの醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光などの効率化と魅力の向上、2) ICT を用いた環境および健康モニタリング、3) バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察、4) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計、の 4 つを実施する。

2015 年度は、主として水俣市の現状調査と今後実施する事業の詳細計画の立案をおこなった。現状調査としては、水俣環境アカデミア・キックオフシンポジウムにおけるこれまでの水俣市研究の実態調査、SFC オープンリサーチフォーラム 2015 におけるシンポジウムの開催をとおした海外事例の調査、四日市市を対象とした水俣市域以外の郊外地域の調査、地域コホート研究の調査、水俣市民の意識調査などを実施した。キックオフシンポジウムにおいては、これまでに実施されてきた水俣市での活動や研究が包括的に報告された。水俣病発見当時からしばらくは健康被害に関する調査がほとんどであったが、その後はコミュニティ再生への挑戦などが実施されていた。また、オープンリサーチフォーラムにおいては、被害にあった地域の市民が結束して自治体や原因企業を動かすことで住み良い環境を作り、人を呼びこみ経済を回すことが重要であるとの示唆が得られた。四日市市を対象とした調査では、公害病やその地域の復興の発信力が重要との認識と、公害疲弊地域の横の連携が必要であることがわかった。福岡県久山町のコホート研究の調査では、コホートでデータを収集し、公開していくことで住民の意識が変わり、学术界も地域づくりに貢献できるとの知見を得た。さらに、水俣市における調査・ヒアリングでは、様々な情報発信、支援活動、コミュニティ再生活動が行われているが、そのことが常態化し、新たな施策が必要とされていることが明らかとなった。

以上のことより、本研究においては、次世代を担う若い世代の支援が地域経済の活性化に必要

であると考え、特に若い世代への介入を行うこととした。また、自然資本の活用については、当初の予定通り、現在スタート地点にあるバイオマスコジェネを中心とした参与観察を行うこととした。

まず、健康面からの若い世代の支援として、子育て支援への介入を検討した。現在、水俣市の出生数は、2015年は171人と200人を切っている状況である。しかし、一方で2008年から2012年の合計特殊出生率は1.83と国内においては高い水準となっている。現在、非妊娠時のBMI18.5未満のやせの妊婦が20%、妊娠以前から高血圧や糖尿病等の生活習慣病の既往を持った妊婦がいる、妊婦健診では初期の1割、後期の5割が貧血、低出生体重児が国・県に比較して高い、などの課題を抱えており、改善が必要とされている。これらに対して、母子手帳交付時に実施する「みなまた妊婦栄養&生活指導プログラム」を実施しており、効果の確認が待たれる。こういった施策の有効性が確認できた場合、持続可能な健康増進運用モデルにするために、スマートフォンアプリなどを開発し、対応することも検討すれば、自治体規模が大きくなっても支援は可能と考えられ、水俣市をモデルとした横展開の可能性も見えてくる。

また、水俣市域は静脈産業に力を入れてきた。現在、市民によるゴミの分別は21分別に達しており、このことが付加価値の高いゴミ処理につながっている。この継続には自治会に支払われるリサイクル還付金が重要な役割を担っているのも事実であるが、それ以上にゴミ分別会場が住民同士の会話の場となっており、コミュニティの形成に一役買っていることも見逃せない。

また、ICTを用いた環境モニタリングとして、2015年度はPM2.5センサーの開発と、それを用いて水俣高校でワークショップを実施した。PM2.5センサーはスマートフォンに接続可能な小型軽量なものとし、個人で購入可能なコストで実現することを目指した。現在、水俣市には国が運用するモニタリングポストが1箇所存在するが、開発したセンサーを用いることにより、市民の力で計測地点の少なさを補完できる。ワークショップにおいては、このセンサーの政策とアイデアソンを実施した。水俣市の高校生は小さい頃から環境学習の機会が多いこともあり、環境に対する意識が高い。しかし一方で、それを活用したり発信したりする術を持たないのも事実である。このため、具体的に手を動かし、ICTを活用した情報発信の機会を持つことにより、より深く環境について学び、また次世代の産業育成にも資すると考えられる。

バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実に関する参与観察では、現在計画されているバイオマス発電設備の実現可能性について検討した。GIS等を用いた解析結果によると、水俣市域の森林は2MW程度の発電設備であれば原料を提供可能であることが明らかになった。しかし、林業を継続していくためには再植林や管理費用の確保も必要であり、これが課題となる。森林の管理には最近の技術であるドローンの活用も考えられ、その実現可能性の検証も実施した。その結果、概ね良好な森林調査が安価に実現できる可能性があることが明らかになった。更に、水俣市域で再生可能エネルギーの地産地消に関するステークホルダー会議を開催した。会議の中では、現状の森林管理や林業運営の難しさが浮き彫りになり、コストの削減と需要の掘り起こしが急務であることが明らかとなった。

地域経済再生効果予測・指標推移の推計では、新国富指標を構成する3つの資本のうち、最も重要な自然資本の計測を開始する予定である。その前段階として2015年度は、自然資本の概要を把握することとした。水俣市域においては、森林資源は2005年以降増加、農地資本の勝ちは一貫して増加傾向にある。一方で、森林資源のうち、市場的価値以外を表すエコシステム価値が



かなり小さいという特徴がある。また、森林の管理の問題や農地における耕作放棄地の問題など、従来のデータでは詳細に評価できない点があることが明らかになった。また、水俣市は美しい棚田を有しているが、その景観などを新国富指標にどのように加えるかといった新しい検討課題も明らかになった。

以上のように、公害疲弊地域である水俣市は依然として多くの問題を抱えている。一方で、地域には豊かな自然資本や人々の思いがあり、若い世代を育成することによって地域の活力を再生できる可能性があることも明らかとなった。次年度以降は、この芽が育つのを如何に支援していくかが重要となる。

## 5. 平成 27 年度の進捗状況と成果（詳細）

### 序論

熊本県水俣市は、工業排水によって公害病（水俣病）を発生させ、その後長年にわたって直接的、間接的に公害病に苦しめられてきた地域である。2016 年で 1956 年の水俣病公式発見から 60 年となるが、現在でもその影響を目の当たりにすることができる。無論、存命の水俣病患者が存在し、そこに水俣病を直接的に感じることができるが、水俣病の影響はそれだけではない。水俣市外の人々の多くは「水俣」という地名を聞くと、依然として水俣病を連想し、汚染された海を想像する。このため、1997 年の水俣湾の安全宣言の後も、水俣市の水産物は継続して風評被害を受けている。また、水俣市は社会的にも不運な運命を辿った。原因企業の企業城下町であった水俣市では企業の力が圧倒的に強く、患者らは企業や自治体に対して不信感を持つようになった。また、再三の訴訟によって、市民同士の対立も招いた。現在では、多くの市民が水俣病とは関係なく過ごしているが、それでも生活の根底から水俣病を消し去るのは難しい状況となっている。

このような状況を打開するため、国は「水俣病被害者の救済及び水俣病問題の解決に関する特別措置法」（以下、特措法）を 2009 年に制定した。特措法では、公害病である水俣病への対応はもちろんのこと、第三条において「この法律による救済及び水俣病問題の解決は、継続補償受給者等に対する補償が確実に行われること、救済を受けるべき人々があたらすべて救済されること及び関係事業者が救済に係る費用の負担について責任を果たすとともに地域経済に貢献することを確保することを旨として行われなければならない。」として地域経済への貢献も謳っている。また、第三十五条（地域の振興等）では「政府及び関係地方公共団体は、必要に応じ、特定事業者の事業所が所在する地域において事業会社が事業を継続すること等により地域の振興及び雇用の確保が図られるよう努めるものとする。」、第三十六条（健康増進事業の実施等）では「政府及び関係者は、指定地域及びその周辺の地域において、地域住民の健康の増進及び健康上の不安の解消を図るための事業、地域社会の絆の修復を図るための事業等に取り組むよう努めるものとする。」「2 政府及び関係者は、関係事業者が排出したメチル水銀による環境汚染を将来にわたって防止するため、水質の汚濁の状況の監視の実施その他必要な措置を講ずるものとする。」としており、水俣市およびそのまわりの被害地域の包括的な救済を目指している。

実際、これまで多くの産業振興策が水俣市およびそのまわりの被害地域において実施されてきた。しかし、同地域は我が国における典型的な「地方」であり、振興策がうまく機能しにくい土壌にある。水俣病の確認以降、人口減少の一途をたどっており、水俣市の現在の人口は約 26,000 人と、全国にある約 800 ある市の中でも下位 5% に程度に位置する人口しかもたない。また、高齢化も進んでおり、高齢化率は約 35% に達している。産業も、現在でも、原因企業の系列の 1 企業が市域の生産額の 25% を占める典型的な企業城下町の様相を呈している。

しかし一方で、公害疲弊地域ならではの産業の土壌も存在する。水俣市では、公害を経験したことから、市民の多くが環境に対する並々ならぬ思いを抱いている。環境首都創造 NGO 全国ネットワーク（旧 環境首都コンテスト全国ネットワーク）のコンテストにおいて、水俣市は唯一「日本の環境首都」の称号を受けた自治体であり、また、2008 年には国の環境モデル都市の指定も受けている。健康に対する意識も高いと考えられ、1 人あたりの病床数は全国でもトップクラスである。

このように、逆境をバネに環境や健康にやさしい生活環境の実現に、時代を先取りして取り組

んできた水俣市は、次世代のモデル地方にふさわしい土壌を既に形成しているとも見ることもできる。現時点で不足しているのは、地域社会の絆の修復と既にある土壌を活用した産業化である。本研究においては、このような背景をより深く調査、整理、分析し、新たな地域戦略の構築を目指す。また、それに必要なソーシャルキャピタルの醸成にも務める。

## 本論

### (1) 現状分析および計画立案にむけた情報収集

#### 水俣環境アカデミア・キックオフシンポジウム

2015年9月12日に9:30~12:00にかけて「水俣環境アカデミア・キックオフシンポジウム ～持続可能な社会づくりを水俣から考える～」が開催された。プログラムは下記のとおりである。

9:30~12:00 開会宣言、主催者挨拶

- 基調講演：講師 張 添晋 教授（国立台北科技大学循環型環境研究センター）

13:00~18:00 研究発表

- ① 「水俣から世界へ語り継ぐべきこと 紛争変容・平和構築学の視点から」  
熊本大学大学院社会文化科学研究科准教授 石原 明子
- ② 「水俣の子育て世帯におけるソーシャルキャピタルと多様なネットワーク」  
わかたけ保育園 副園長 井上 章久
- ③ 「水俣市への政策提案に向けた新たな試み ―フューチャーセッションから地域創生へ―」  
国立水俣病総合研究センター地域政策研究室長 岩橋 浩文
- ④ 「人口減少時代の地域ガバナンス ―水俣市の市民協働の地域づくりと水俣環境アカデミア構想―」  
熊本県庁 参事 黒木 誉之
- ⑤ 「自然のポテンシャルを活かす学校の環境学習に関する研究（住環境に関する新たな「気付き」を地域社会につなげる）」  
東海大学工学部教授 高橋 達
- ⑥ 「ビジネスと市民活動の間にあるもの（リサイクルビジネスとソーシャルビジネスをめぐって）」  
北九州市立大学大学院マネジメント研究科准教授 松永 裕己
- ⑦ 「熊本学園大学・水俣学研究センターの10年 環境破壊を経験した地域社会の再構築のための新たな統治とその評価 ～住民主体の実践的展開の可能性～」  
熊本学園大学社会福祉学部教授 宮北 隆志
- ⑧ 「自然・経済・社会、多面的に地域の持続性向上策を考える 都市・地域計画から見た水俣環境アカデミアの役割」  
熊本大学名誉教授 両角 光男
- ⑨ 「みなまたエコタウンの取組み ～エコタウン協議会の活動～」  
みなまたエコタウン協議会 渡邊 輝樹（アクトビーリサイクリング）

午前中は水俣市長他のご挨拶のあと、国立台北科技大学循環型環境研究センターの張添晋教授より基調講演があった。基調講演の中では、張教授の日本留学中の経験なども踏まえて、経済発展のなかでの環境への配慮の大切さ、様々な取り組み事例等について触れられていた。



図 1. 講演中の張添晋教授

午後は、これまで水俣市において各方面から取り組みをされてきた方々からのご講演および、最後にそれらの方々が参加したディスカッションが行われた。



図 2. ディスカッションの様子

## オープンリサーチフォーラム 2015

2015年11月20日 12:20～13:50に慶應義塾大学 SFC 研究所が主催するオープンリサーチフォーラム 2015 (ORF2015) において、「公害疲弊地域の再生」と題してシンポジウムセッションを開催した。セッションには、下記のメンバーが参加した。

- ジェームス・トンプソン氏 (米国アレゲーニー郡保健省環境衛生局 次長)
- 西田弘志氏 (水俣市 市長)
- 武林亨 (慶應義塾大学 健康マネジメント研究科 研究科委員長 / 医学部 教授)
- 小林光 (慶應義塾大学 政策・メディア研究科 特任教授)
- 植原啓介 (慶應義塾大学 環境情報学部 准教授)

まず始めに、ジェームス・トンプソン氏より米国ピッツバーグ市における公害疲弊地域の経験についてご講演をいただいた。同市は1850年～1980年にかけて鉄の街として知られており、多くの製鉄所が立地していた。製鉄のために沢山の石炭が燃やされ、大気が汚染される結果となった。特に、1948年に発生した Donora Smog では、20人が死亡し1000人を越える人たちが体調不良を訴えた。このことから、市民主導で多くの規制が作られていくこととなり、企業もそれに応え、環境改善に結びつけることができた。トンプソン氏によると、市民を巻き込んだポジティブループを作ることが必要とのことであった。このポジティブループでは、①市民が環境改善を訴える、②自治体が規制などにより環境を改善する、③市民がピッツバーグに移り住む、④経済が潤う、という4つが相互に後押しし合うループである。



図 3. 公演を行うジェームス・トンプソン氏

次に水俣市長である西田氏から、水俣の事例について紹介頂いた。水俣市では日本初と言われる公害病、水俣病が 1956 年に公式確認されてから、約 60 年が経過する。水俣病は、企業の工業排水にメチル水銀が含まれていたことによって引き起こされた病気であるが、時代背景もあり、その公式確認にはかなりの時間を要した。そのような経験から、現在は環境を強く意識する自治体となっており、環境首都の称号や環境モデル都市としての指定を受けている。水俣エコタウン事業や 21 種類のゴミの分別などを行っている。また、県内の小学 5 年生が全員水俣市を訪れて、公害について学ぶ機会があることなどが紹介された。



図 4. 水俣市の事例について説明を行う西田氏

その後、慶應義塾大学の 3 人の教員を交えてパネルディスカッションを行った。この中では、環境（あるいは健康）と経済のバランスをどう取っていくかが鍵となることが議論された。水俣の事例では、企業城下町という特殊な事情から、市民が一致団結して行政や産業界に働きかけることができなかった。一方、ピッツバーグの事例では、まず市民が行政を動かし、行政が規制を使って企業を動かし、その企業の努力を市民が高く評価する、という流れができたために復興ができた。また、公害で既に疲弊した地域には、公害病の患者への補償だけではなく、市民主導の復興策に行政が手を貸す形の支援が必要であることが議論された。





図 5. パネルディスカッションの様子

#### 水俣市域以外の公害地域の調査（四日市）

2016年2月22日に、四日市環境未来館を訪問した上で、同館副館長や本庁の環境保全部長などと意見交換を実施した。

四日市の課題は、下記のとおりであった。

- ・ 四日市公害の経験が、公害から脱却するための環境政策や都市政策、産業政策にどう生かされたのかの、分かりやすい伝え方の開発。
- ・ さらに、その経験が、未来に向けた、環境共生的な持続可能な形の経済への移行にどう役立て始められているかの、そもそもの分析と、これまた分かりやすい提示。
- ・ しかし、現実の企業の対応は過去の経験を踏まえ咀嚼して活かしたものになっていない。いかに、求心力を出していくかが課題。

また、引続き水俣と協力し、上記のような論点についてのワークショップなどしたいとの希望があった。

#### 九州大学医学部へのヒアリング

2016年3月11日に、福岡県久山町において50年にわたるコホート研究を続けている九州大学大学院医学研究院附属総合コホートセンターへのヒアリングを実施した。これは、現在も続く



公害疲弊地区でのコホート研究の重要性を検討するために実施したものである。ヒアリング結果の概要を以下に示す。

- ・ 地域の人口集団の健康情報の集積と利用は、町の政策があつてのこと。
- ・ 久山町は、その政策として都市的開発を望まず、健康重視な方針なので、人口集団の出入りが少なく、長期的な疫学調査に向いている。
- ・ 九大としては、脳血管障害の頻度などのデータを欲しくて 50 年前に始めたが、その任務が終わっても、町の政策があつて、継続的にコミットして地域の健康増進に対し、データを踏まえた助言の役割を果たしている。直接の介入はしていない。
- ・ 現在は、認知症の危険因子発見などに力を入れている。
- ・ この経験に基づけば、健康な地域づくりは、極めて重要で、学术界にも貢献が可能である。

現在、水俣市も認知症へ取り組みを強化しており、健康な地域づくりに学术界が貢献できる可能性を明確に述べられたのは参考にすべきである。

## 公害疲弊地域の現状

### [1] 市立水俣病資料館

2月29日に改装工事中であつた水俣病資料館を見学することができた。以前は照明等も暗く、かなり怖い印象であつたが、改修後は照明が明るく展示一つ一つにわかりやすさを求めて作ったことがわかるような展示となつていた。この展示には映像を使ってよりリアリティを出す工夫はもちろんのこと、実際に患者に投与された薬の残骸や作品の原稿が展示されており、より恐怖が伝わりやすいものとなつていた。

この展示には過去から現在、未来へと繋がるような展示になつている。チッソ（現 JNC）が水俣市にやってきた明治時代から水俣病の原因になる百閒排水の様子、実際に自然環境に影響が出現し始めて、人に影響を与えるようになり・・・というような流れを写真や映像を多く使用することで多くの世代にも伝わりやすくなつていた。特に水俣病で誤解されやすい遺伝する、感染するといった事項は丁寧に扱つていた。

図 6～図 8 は時間軸上で言えば過去・現在にあたる部分を説明している展示である。

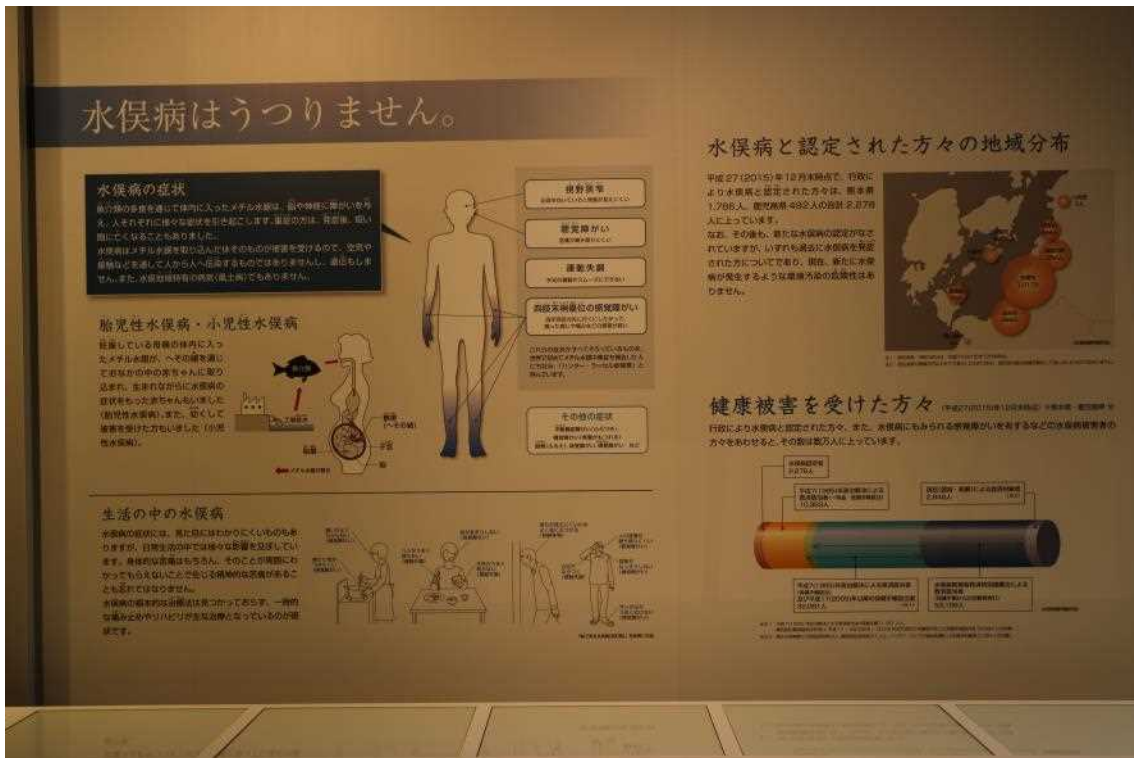


図 6. 「水俣病」そのものに関する展示



図 7. 水俣病の怖さを伝える展示



図 8. 近年のコミュニティ再生の取り組みに関する展示

## [2] 水俣病患者患者支援施設の現状調査

水俣病は公式確認から約 60 年が経過するが、現在でも約 500 人の認定患者が生存している。このようななかでも、胎児性水俣病患者等の障がいを持つ人の自立のための共同作業所として 1998 年に「ほっとはうす」が設立された。ここに胎児性水俣病の患者が集って、市民や学生・生徒向けに自分たちの体験と水俣病について話し、自らの体験で多くの人に水俣病について理解して、啓発活動を行っている。また、押し花を作ったり、本のしおりを作ったり、販売したりしており、これが施設で活動する方の生きがいにつながっている。今年でほっとはうすは創設して 18 年目になる。創設当時は水俣病の患者 7 人しかいなかったが、現在は水俣病の患者さんだけでなく、ほかの障害を持つ方も施設に通っており、約 30 人でともに働いている。

今回、2016 年 3 月 2 日にほっとはうすの現状についてヒアリングを実施した。公害疲弊地域である水俣に立地するほっとはうすで患者の生の声を聞くことは、多くの人にとって、本で読んだり、写真集で見たりするよりもはるかにインパクトがある。患者らが写真を見せながら、自分たちの生き立ちと闘病生活について話すことは、患者自身の自立のためという意味と訪れる人の心に公害病を深く刻むといった視点で非常に重要なプログラムとなっている。ほっとはうすのプログラムは生身の人間の触れ合いであることから、毎回、必ずしも同じ話がされるというものではない。子供時代の話と今の生活ぶりをフリースタイルに話すこともあれば、水俣病についての思いを語ることもある。そのため、患者一人一人のその時その時の思いを直接多くの人に伝える結果になっており、聞く内容は違えども現実味をもって水俣病を体験することができる。今回のヒアリングにおいては、患者の「いろいろな人に支えられているが、そのことが申し訳ない」と

いった言葉があり、患者に対するケアが不十分なところが露出していた。図 9 にほっとはうすでのヒアリングの様子を示す。



図 9. ほっとはうすでのヒアリングの様子

以下、今回のヒアリングでの患者らとの会話を記し、そのことから得られた水俣市、公害疲弊地域の出口を考察する。

松永幸一郎氏は 1963 年生まれで、今年で 52 歳になる。同氏がほっとはうすに入って既に 15 年になる。松永氏は写真を見せながら、「若いころはこうして自転車にも乗っていて、自由に動き回っていたよ。」とおっしゃっていた。現在は、車椅子生活を送られており、公式確認から 60 年が経過しようとしている現在でも、患者の体調悪化が進んでいることが印象的であった。また、松永氏は当時、チッソ工場の横に居住しており、2 歳の時に両親が離婚して、父方についていった。しかし、その父が名古屋に出稼ぎに出たため、小学校 4 年まで叔父の家で従兄弟と一緒に生活していた。子供のころの三輪車に乗って遊んでいる写真を見せていただいたが、平衡感覚がよくなく、手足の共同作業も苦手だったため、三輪車をこぐことができず、地面に足をつけて遊んでいたとのことであった。

金子雄二氏は 1955 年生まれで、今年で還暦になる。金子氏はほっとはうすにいる胎児性患者の中でも、病状が重く、平衡感覚と言語に障害を持っている。初めて会う多くの人にとって、金子氏の言葉は聞き取りづらく、ほっとはうす代表の加藤氏がそれを聞き取って代弁するスタイルとなる。加藤氏は、「心がなじんできると自然と聞き取れるようになる」としているが、多くの方は、ほっとはうすに複数回行くチャンスに恵まれることは少なく、直接患者と話をすることの難しさを露呈している。金子氏は、若いころに「少年クラブ」の雑誌のモデルにもなったことがあり、若いころの闊達さを示している。同氏は、もともとは農家の息子で、今水俣病資料館あると



ころが金子氏の畑であった。そこで彼の父は小麦粉、サトウキビなどを作り、農閑期にチッソで働いた。しかし、彼の父は水俣病にかかり、金子氏が生まれる3か月前に他界した。

加賀田清子氏は金子氏と同じく1955年生まれで、今年で還暦となる。彼女は生まれる前に祖父を水俣病で亡くしている。金子氏は加賀田氏と同級生であった。彼女は昭和40年に湯の児病院に通っており、金子氏と一緒に病院からバスで通学していた。胎児性水俣病患者は小さいころに発作を繰り返し、勉強についていけないことが多かった。加賀田氏も特殊学級に入れられ、テレビばかりを見て過ごしており、学校に行くのが嫌いだったとのことであった。昭和44年に病院の中に学校ができ、学校に行けなかった人は病院の中の学校に通うようになった。その頃、院内学校にカメラマンが多く押し寄せていたとのことであった。加賀田氏は若いころ、自分も胎児性水俣病患者であるにもかかわらず水俣病患者のお世話をしていたこともある。



図 10. 加賀田氏の作品

図 10 は加賀田氏の作品である。加賀田氏は手足に障害を持つが、このような作品を残している。加藤氏曰く「胎児性水俣病患者で、生まれてこない人もたくさんいたから、生まれた人は皆すごい生命力を持っているよ」とのことであった。

しかし一方、つついスタッフに遠慮して、言いたいことがいえず、子ども扱いされてしまうというジレンマも加賀田氏が吐露していた。そのことについて、加藤氏は、松永氏もよく居酒屋に行きマスターとおしゃべりをする、自立出来ているという意識を持つことが重要であるとの認識を示していた。また、普通の胎児性水俣病患者は水銀によって脳の一部に障害を持って、両手同時に行う作業が苦手であるが、金子氏の場合は皆ができない片手にたばこをもって、もう片方の手にもったマッチで火をつけることができたとのことである。更には、水を飲むのも難しいが、酒を飲むときに限って、むせないとのことである。加藤氏はこれを、楽しいことをするときには脳が興奮すると解釈していた。

患者も、体が不自由でも友達がほしい、趣味を楽しみたい気持ちは一般の人々と同じである。加賀田氏の「日頃は明るくふるまっているけど苦しい時もある。それを隠しながら生きている。」の一言がとても印象的であった。障害を持っている方を弱い立場において、つつい子ども扱い

してしまうことが多々あるが、平等に接するためにはどうすればよいのか、彼らの生活をもっとカラフルにするためにはどうすればよいのかをもう一度考え直す必要がある。ほっとはうすのような施設がしてきた経験をまとめ、今後我が国が直面する超高齢社会への対応に活かしていくなどの方策が、水俣市の今後の政策に結びつくのではないだろうか。

### [3] 公害疲弊地域としての課題

以上のヒアリングを踏まえると、現状、以下の2点の課題あると考えられる。

- ① 水俣病資料館の認知度をどのようにして向上させ、多くの人に水俣市の今と未来を知ってもらおうかということ。
- ② 胎児性水俣病患者の方の個人としての生活の充実と健康状態の改善を図ること。

①については、現状、九州以外で水俣の名前を聞くと、水俣病が第一に出てきてしまい、水俣市＝水俣病の構図が出来てしまっている。この状況を変えるためには、水俣病資料館のような「伝える」施設にリーチするためのパスを形成する必要がある。水俣病について学ぶことに加えて、環境学習により力を入れていかなければならない日本社会の現実を考えると、この水俣病資料館は貴重なものとなると考えている。

②については、健康問題を専門にしている研究員が、ほっとはうすを訪れた際に、「運動不足による肥満体質が目に見える」というアドバイスをしていたことに加えて、2014年にできた「ケア・ホーム おるげ・のあ」での暮らしの中で、今までの経験が邪魔をして言いたいこともキッチンと口に出していうことができないという胎児性患者の悩みからこの課題を挙げた。水俣病患者に対して、専門のトレーニングを受けた心療内科士やケア・マネージャーの配置が求められるのではないだろうか。健康調査としては(牛島, 北野, & 二塚, 2009)などが存在するが、既に10年以上前の調査であることに加え、習慣病など現代医療に基づく健康調査が行われていないため早急に行われる必要がある

### 水俣市民の意識調査

今回の研究をすすめるにあたり、水俣病患者の支援団体にかかわり、そのまま水俣市に居住するようになった吉永利夫氏に話を聞いた。吉永氏は20歳で水俣に来て、約40年水俣で暮らし活動家の応援をしてきたがまだ自分は外の人イメージであり、今でも水俣病の活動を行っているため市民からは嫌われている、と語った。最初に水俣入したときの支援は、みかん山に行き水俣病で男手が不足している家族の手伝いを行っている。次に当時としては珍しく車の免許を持っていたため、酸素ボンベを患者の家族のもとへ運ぶことや、体調が悪くなった患者を病院へ連れていくことなども行っていた。その頃から徐々に活動を活発化させ、裁判では1,600万円の一時金を水俣病患者に保障として支払うよう支援を行ってきた。これらの活動の中心人物として、川本輝夫氏があり、吉永氏も彼の活動に惹かれて活動を共にした。

#### [4] 川本輝夫

川本輝夫氏は熊本県水俣市出身であり、父川本嘉藤太氏は新日本窒素肥料株式会社に勤めていた。生活は厳しく、学校を中退して父嘉藤太氏と家計を支え主食は父が釣りで取ってきた魚であった。1960年頃父嘉藤太に水俣病知覚障害が生じ父の家での看護が始まった。輝夫氏は看護をしつつ准看護師の資格を取得し1964年に父を入院させた。その後、父親は急性劇症で狂乱状態に陥り精神病院の畳もない部屋で誰にも看取られず亡くなった。これをきっかけに輝夫はチッソとの長い闘いを始めていった（川本ミヤ子, 2008）。

活動としては体調の悪い人の家に行き、水俣病の申請を促した。水俣病という社会現象が一時収束しかけたのだが、水俣では水俣病であるという認定が降りない人が多く、問題として取り上げることで火を点けた。声を上げる対象はチッソ工場から県知事へ移っていった。

#### [5] 相思社

相思社は、1973年に川本輝夫を中心に設立された、患者支援団体である。当初の機能役割として、以下のような役割を担っていた（一般社団法人水俣病センター相思社, n.d.）。

1. 患者の拠り所となり、闘いの根拠地ともなる。そして「もうひとつのこの世」をつくる場所として
2. 潜在患者を発掘し、患者の側に立った医療機関の設立を目指す
3. 水俣病資料センターの機能を持つ
4. 若い患者のための共同作業所を持つ

相思社は、働きながら学べるフリースクールである「水俣生活学校」を1982年につくり、昼間は働き夜に学ぶ形式で、農業や水俣病について話し合う場として10年継続し1992年に閉校した。

さらに、相思社の活動として元漁民らの生産グループ「水俣病患者家庭果樹同志会」がつくる甘夏販売の引き受けも行っていった。そこでは減農薬を売りとして、販路を拡大した結果注文に生産が追い付かず農薬を使用した他の農園の甘夏も混ぜて販売してしまった。そのことが内部告発により明るみにされ、相思社の理事は全員辞任し、相思社自体も水俣病を伝えることに梶をとるきっかけとなった。

#### [6] もやい直し

水俣市立水俣病資料館の資料によると（水俣市立水俣病資料館, n.d.）、もやい直しについて次のように述べられている。

もやいとは、もともと船をつなぐことや共同でことを行う意味です。人と人との関係、自然と人との関係がいったん壊れてしまった水俣で水俣病と正面から向き合い、対話し協働する取り組みを「もやい直し」と名づけています。水俣病が発生した当時、水俣病患者は伝染病や奇病と疑われ、近所づきあいを断られるなど大変つらい思いをしました。その後、原因がチッソの排水中の水銀であることがはっきりしても、チッソに頼る市民から、

患者は裁判や補償でチツソをおびやかす存在としてうとまれてきました。また、認定申請した患者の中に「ニセ患者」がいるとの、あらぬうわさも流されるなど補償金にまつわる差別やいやがらせも生まれました。水俣病が経済的に依存してきたチツソが原因で水俣病が発生したり、チツソの大きな労働争議も重なったため住民間の対立が激しく起こり、立場が違う人とは対話が途絶えた状態が長く続きました。しかし、近年そうした過ちを乗り越え「対立からは何も生まれない」ということに気付いた行政・市民・被害者は、対話や催しを積み重ねながら水俣の再生に向かって行動しています。

市民と行政によるもやい直しは 1990 年代頃から始まった。1989 年 4 月に熊本県に「水俣推進室」設置。水俣推進室では「環境創造みなまた事業」を開始し 1993 年 4 月に水俣市へ事業の運営を移行するまで中心的部分を担った。

また、1990 年 9 月には東京地裁による和解勧告が出され、国以外は勢いに弾みをつけた。その国も政権が変わり 1994 年 6 月に誕生した村山政権は重要課題の一つとして水俣病の解決をあげ、本格的なもやい直しが始まるように思われた。

事実 1995 年に水俣病政府解決策により 22 年にわたる水俣病未認定患者問題に区切りはついたが、1999 年に環境創造みなまた事業が終了したこともあり、もやい直しは停滞期に入った。というのも、水俣市民からすると「水俣病は終わった」と思いたい人が多く、もやい直し=紛争終了を意味し水俣病にもうかかわりたくない人が多かったことが考えられる。

#### [7] 水俣教育旅行プランニング

水俣教育旅行プランニングは、2000 年に、吉永利夫氏と水俣の旅館経営者、物産館の館長とともに設立した NPO である。全国の中高生が修学旅行として水俣病や水俣での取り組みを視察しやすいようにコーディネーションを行っている。内容は予算に応じるが、水俣病資料館への見学から患者家族への経験談、かまぼこづくりの体験といったところまで行っている。今では約 1 万人の修学旅行生が毎年水俣市を訪れ、シンガポールやタイといった日本国外からも学生が来るようになった。

そんな活動を行っている吉永氏は、水俣に対し「水俣病でメシを食え」という。水俣病という負のイメージがある限り水俣はいつまでも、ネガティブなイメージを抱えることになる。水俣病があつてよかつたというくらいに考え、あつたからこそゴミの分別やリサイクル工場の誘致を行いその結果「日本の環境首都」の称号を獲得できた。過去のことは変えられないので辛いこともわかるが、水俣市民には水俣病から目を背けず受け止め、今後の水俣についてどうしていくのか考えていくことが大切である、と語った。



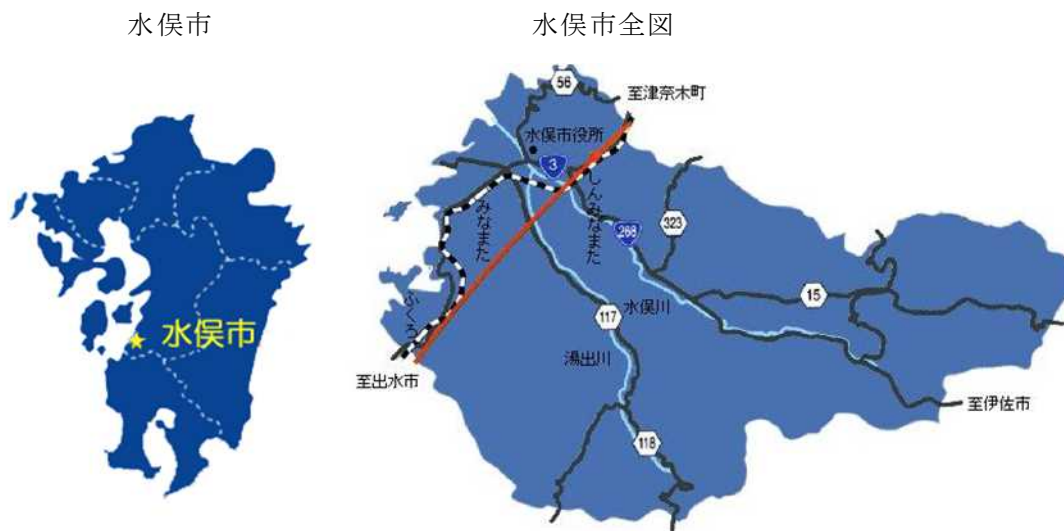


図 11. 吉永氏へのヒアリングの様子

## (2) ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上

### 水俣市における妊娠期の健康課題の抽出と持続可能な健康増進運用モデルの検討

熊本県水俣市は日本の九州南西部、熊本県の最南端に位置し、東西 22.4km、南北 13.8km、総面積 162.88km<sup>2</sup> で約 75%が山林を占め、源流から河口まで水俣川が市内を東西に流れ、その流域に市街地が形成されている。



(地図：水俣市 HP/水俣市の概要より引用 <http://www.city.minamata.lg.jp/121.html>)

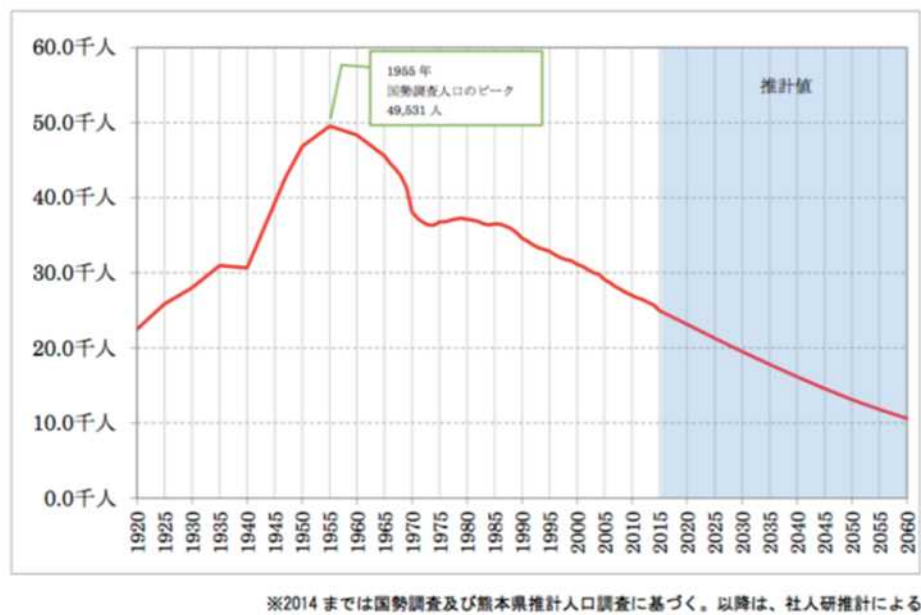
図 12. 水俣市の所在地と水俣市全図

水俣市には、不知火海を望むリアス式海岸を有する湯の児海岸や美しい夕日を楽しめる温泉もある。地元の生産物としては、デコポン、みかん、お茶、お米をはじめとした大地や山の恵みや、透き通った海でとれた魚や海藻、水俣独自のスイーツも最近話題となっている。

「みなまた」と聞くと、まだまだ「公害」「水銀」「白黒写真」「水俣病」というマイナスイメージを持つ方も多いが、「水俣病」の経験と教訓を活かし、「水俣市第 5 次水俣市総合計画第 2 期基本計画（平成 27 年度～平成 29 年度）」〔水俣市役所企画課政策推進室, 2014〕において、「平成 22 年度に第 5 次水俣市総合計画をスタートし、基本構造（平成 22 年度から平成 29 年度）に掲げる「まちづくりの基本理念」に基づき、目指す将来像「人が行きかい、ぬくもりと活力のある『環境モデル都市水俣』の実現に向け、様々な取り組みを実施」していると述べており、行政と市民が一体となって環境まちづくりを進めている都市みなまたから、学ぶべきところはたくさんだろう。

環境モデル都市として発展している一方で、水俣市は人口減少に悩まされていることも事実である。「まち・ひと・しごと創生 水俣市人口ビジョン」（水俣市, 2015）によれば、1950 年代前後に 5 万人だった人口は、1970 年代から 80 年代にかけては、3 万 6 千人前後で一時的にプラトーとなったが、平成（1988 年）を迎えてから、出生数の減少により自然増減がマイナスに転じたことと、社会減が拡大したことにより、平成 22 年国税調査では約 2 万 6 千人と報告され、今後も

人口減少が進むと予測されている。



(まち・ひと・しごと創生 水俣市人口ビジョン /平成 27 年 10 月・水俣市 )

図 13. 水俣市の人口推計

さらに、1989 年以降の人口の推移では、2014 年までの 25 年間で約 1 万人、平均して年間約 400 人程度減少している計算となると報告されている。

水俣市の人口構成については、下図で示す通り、2010 年の年少人口割合は 12.1%、老年人口割合は 32.9%であり、人口減少だけでなく少子高齢化の進行も考えなくてはならない。

1980年	2010年	2040年推計
人口 37,150 人	人口 26,978 人	人口 16,157 人
年少人口割合 22.2 %	年少人口割合 12.1 %	年少人口割合 9.5 %
生産年齢人口割合 64.7 %	生産年齢人口割合 55.0 %	生産年齢人口割合 45.6 %
老年人口割合 13.2 %	老年人口割合 32.9 %	老年人口割合 44.8 %
後期老年人口割合 4.7 %	後期老年人口割合 18.6 %	後期老年人口割合 30.2 %
年少人口指数 34.3	年少人口指数 22.1	年少人口指数 20.9
老年人口指数 20.4	老年人口指数 59.8	老年人口指数 98.2
従属人口指数 54.6	従属人口指数 81.9	従属人口指数 119.1
老年化指数 59.4	老年化指数 271.1	老年化指数 471.0

※年少人口(0～14歳)、生産年齢人口(15～64歳)、老年人口(65歳以上)、後期老年人口(75歳以上)

年少人口指数=年少人口÷生産年齢人口×100、老年人口指数=老年人口÷生産年齢人口×100、

従属人口指数=(年少人口+老年人口)÷生産年齢人口×100、老年化指数=老年人口÷年少人口×100

高齢化率 = 老年人口割合

(統計メモ：<https://ecitizen.jp/Population/City/43205>)

図 14. 水俣市の人口に関する指数

水俣市の出生数と死亡数については、下図に示す通り、1989年に初めて、死亡数が出生数を上回り自然減となり、その後も、[水俣市, 2015]において「出生数の減少は続き、自然減は拡大の傾向を示す」ことが報告されている。水俣市福祉環境部健康高齢課へのインタビューによって2015年の出生数は171人であったことが明らかとなり200人を切っている状況である。

さらに、[水俣市, 2015]では、「合計特殊出生率は、国、熊本県の平均を上回りつつも低下傾向が続いていたが、2008年から2012年の値は1.83と比較的高い水準を回復し、県内45市町村中12位、14市では3位である」と報告されている。

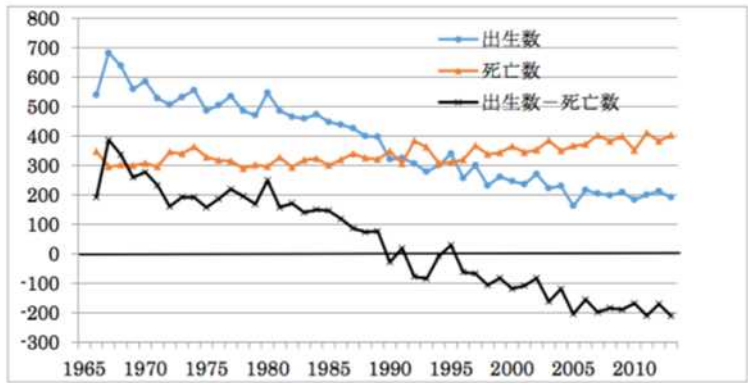


図 15. 水俣市における出生数と死亡数の推移（[水俣市, 2015]より）



※ 15歳から49歳の女性がその年次の年齢別出生率を合計した数値。  
その年次において、一人の女性が一生の間に生む子どもの数を理論的に示す指数。

図 16. 水俣市における合計特殊出生率と出生数（[水俣市, 2015]より）

環境モデル都市として注目される一方で、人口減少と少子高齢化が進む水俣市の姿が浮き彫りになっており、今後、若者不足による地域力の低下の加速が懸念される。

そこで、今回我々は「将来の担い手を健康で元気に！」というビジョンを掲げ、環境と並ぶ新たな「健康」という視点での地域活性と人口増加への取り組みについて検討することにした。

#### [1] はじめに

水俣市の深刻な少子高齢化に対応するには、「健康日本 21(第 2 次)」(厚生労働省, 2012)で示されている「健康寿命の延伸」、いわゆる寝たきり予防や生活習慣病予防とともに、「子どもを産み育てやすい環境整備」の両方について取り組む必要があると考えている。

水俣市は、「水俣市第 5 次水俣市総合計画第 2 期基本計画（平成 27 年度～平成 29 年度）」(水俣市役所企画課政策推進室, 2014)において、「環境と経済が一体となって発展する、持続可能な地域社会の構築を目指し、環境都市づくりを強力に推進する」という総合計画の基本理念に基づいた都市づくりを実践している。さらに、2014 年に策定された「水俣市健康増進計画第 2 期（平成 25 年～29 年）」(水俣市役所健康高齢課健康推進係, 2013)では、「持続可能な地域社会の構築には、地域に住む人々の健康が最優先で、すべての市民が心身ともに自立し、健康的に暮らすことを基本理念に健康づくりを進め「健康寿命を延伸」を目指すこと」を公表している。

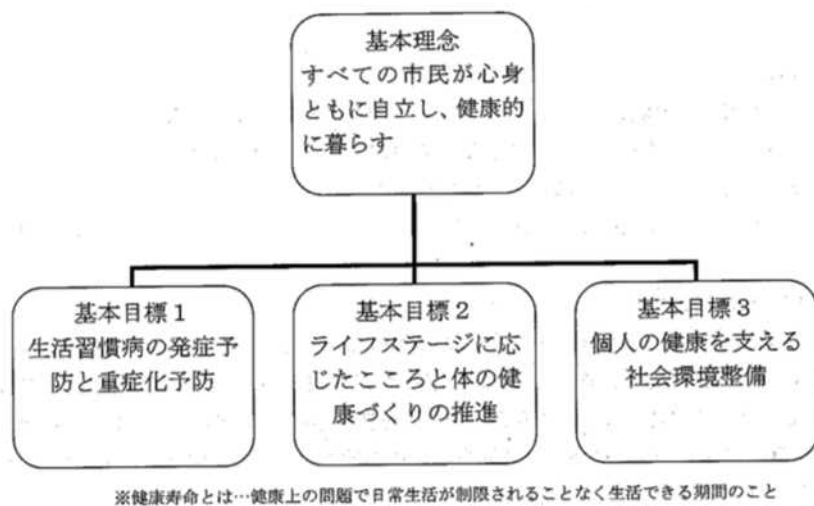


図 17. 「水俣市健康増進計画（第2期）」の体系（水俣市役所健康高齢課健康推進係, 2013）

表 1 に水俣市の健康の現状データを示す。マルで囲まれた部分は、国・県と比較し問題となるものである。



表 1. 水俣市の健康の現状 (水俣市役所健康高齢課健康推進係, 2013)

項 目		全国		熊本県		水俣市		
		人数	割合	人数	割合	人数	割合	
1	人口構成 H22年 国勢調査	総人口	128,057,352 人	—	1,817,426 人	—	26,978 人	
		0歳~14歳	16,803,444 人	13.2%	249,606 人	13.8%	3,272 人	12.1%
		15歳~64歳	81,031,800 人	63.8%	1,093,440 人	60.5%	14,834 人	55.0%
		65歳以上	29,245,685 人	23.0%	463,266 人	25.6%	8,872 人	32.9%
		(再掲)75歳以上	14,072,210 人	11.1%	253,926 人	14.1%		
2	死亡 H22年 人口動態調査	死亡原因	死亡原因	死亡率 (10万対)	死亡原因	死亡率 (10万対)	死亡原因	死亡率 (10万対)
		1位 75歳未満の 年齢調整死亡率	悪性新生物	279.7 84.3	悪性新生物	294.2 79.3	悪性新生物(103人)	381.8
		2位 急性心筋梗塞 年齢調整死亡率	心疾患	149.8 男性:20.4 女性:8.4	心疾患	163.6 男性:13.5 女性:5.4	心疾患(47人)	174.2
		3位 年齢調整死亡率	脳血管疾患	97.7 男性:49.5 女性:26.9	肺 炎	112.5	脳血管疾患(35人)	129.7
		4位 年齢調整死亡率	肺 炎	94.1	脳血管疾患	106.1 男性:45.5 女性:24.7	肺炎(26人)	96.4
		5位	老 衰	35.9	老 衰	42.6	老衰(16人)	59.3
		自殺	—	23.4	18位	24.9	位(3人)	11.1
	早世予防からみた 死亡(64歳以下) H22年 人口動態調査	合計	176,549 人	14.7%	2,448 人	12.7%	36 人	10.0%
	男性	119,965 人	18.9%	1,634 人	16.9%	24 人	14.0%	
	女性	56,584 人	10.0%	814 人	8.5%	12 人	6.4%	
3	介護保険 H21年度 介護保険事業状況報告	要介護認定者	4,845,942 人		86,592 人		1,756 人	
		1号被保険者の認定 (17年度以降の認定者/1号被保険者数)	4,696,384 人	16.2%	84,240 人	18.2%	1,717 人	19.6%
		2号被保険者の認定 (17年度以降の認定者/60~74歳人口)	149,558 人	0.35%	2,352 人	0.39%	39 人	0.42%
		1人あたり介護給付費 (17年度末時点/1号被保険者数)	218,842 円		246,002 円	17 位	266,669 円	
介護給付費総額 (17年度末時点/1号被保険者数)	6,328,280,696,000 円		113,692,900,000 円		2,330,959 円			
4	後期高齢者医療 H22年度後期高齢者 医療事業状況報告	加入者	14,059,915 人		255,304 人		4,909 人	
		1人あたり医療費	904,795 円		988,639 円		1,054,392 円	
		医療費総額(概算)	12,721,335,977 円		252,403,981 円		5,176,011,943 円	
5	国保 平成22年度 国民健康保険中央会	被保険者数	人数	割合	人数	割合	人数	割合
		うち 65-74歳	35,849,071 人	—	547,774 人	—	7,812 人	
		一般	11,222,279 人	31.3%	162,354 人	29.6%	7,127 人	91.2%
		退職	33,851,629 人	94.4%	517,608 人	94.5%	685 人	8.8%
	加入率(国勢調査値使用)	1,997,442 人	5.6%	30,166 人	5.5%	685 人	8.8%	
医療費 医療費:1人あたり医療費 =各被保険者数による概算	医療費総額 (概算)	医療費	1人あたり	医療費	1人あたり	医療費	1人あたり	
一般	10,730,826,914,577 円	299,333 円	178,807,705,558 円	326,426 円	3,648,966,286 円	467,098 円		
退職	9,981,583,067,737 円	294,863 円	166,351,545,348 円	321,385 円	3,326,191,780 円	468,703 円		
	749,243,846,840 円	375,102 円	12,456,160,210 円	412,921 円	322,774,506 円	471,204 円		
医療 *全国数値は 国民健康保険中央会HP 医療費統計情報より (2011.5) *全国脳血管疾患は 脳出血、脳梗塞、 くも膜下出血の合計	治療者数	全受療者に 占める割合	被保険者数に 占める割合	治療者数	全受療者に 占める割合	被保険者数に 占める割合	治療者数	全受療者に 占める割合
虚血性心疾患	300,350	1.1	0.8	4,142	0.75	79	0.99	
脳血管疾患	385,902	1.5	1.1	5,050	0.91	91	1.02	
脂質異常症				17,142	3.09	427	5.36	
糖尿病	1,177,727	4.5	3.3	21,121	3.80	464	5.83	
高血圧症	3,495,750	13.2	9.8	68,791	12.40	1,248	15.68	
人工透析				2,111	0.39	49	0.63	
6	特定健診 H22年度 市町村国保 実施状況調査	受診者数	7,169,761 人		112,166 人		1,215 人	
		受診率	32.0%		32.4%		22.0%	
		保健指導修了者数	198,778 人		5,047 人		26 人	
		実施率	20.8%		30.4%		17.7%	
7	出生 H22年 人口動態調査	出生数	人数	割合	人数	割合	人数	割合
		1,071,304	8.5 (人口千対)	16,246	9.0 (人口千対)	192	7.1 (人口千対)	
		低体重児 (2500g未満)	103,049	9.62 (出生百対)	1,508	9.28 (出生百対)	23	11.97 (出生百対)
		極低体重児 (1500g未満)	8,086	0.75 (出生百対)	136	0.84 (出生百対)	4	2.08 (出生百対)

表 1 に示すように、水俣市では、悪性新生物、心疾患、脳血管疾患は県や国と比較しても高く、医療費も高くなっている。さらに、低出生体重児も国や県に比較して高値である。

現在、日本では、水俣市同様、全国的に低出生体重児は増えており問題となっている。その背景には女性のダイエット志向や喫煙習慣との関連などが指摘されている。水俣市で増加している原因は明らかではないが、**2,500g** 未満で生まれた小さい赤ちゃんは、将来的に成人病（生活習慣病）や肥満、骨粗しょう症を発症するリスクが高いということもわかってきている。よって、妊娠期（胎児期）から、生活習慣病を予防する健康の取り組みが重要であり、水俣市における「妊娠期」の健康増進の取り組みについて調査したので報告する。

## [2] 調査目的

今回我々は「妊娠期」の健康課題の抽出と課題解決のために実施している施策調査を行った。さらに、今後の健康増進がさらに持続可能な運用モデルを検討した。

## [3] 調査方法

2016年2月29日から3月4日、熊本県水俣市を滞在訪問し、水俣市福祉環境部健康高齢課と医療機関を訪問し、「妊娠期」における健康課題の聞き取りとそれを解決するための取り組みについて調査した。

## [4] 調査結果

### 1) 水俣市における妊娠期の健康課題

- ・ 非妊娠時の **BMI18.5** 未満のやせの妊婦が **20%**。
- ・ 妊娠以前から高血圧や糖尿病等の生活習慣病の既往を持った妊婦がいる。
- ・ 妊婦健診では、初期の1割、後期の5割が貧血。
- ・ 低出生体重児が国・県に比較して高い。

（[水俣市役所健康高齢課健康推進係, 2013]より）

### 2) 水俣市における妊娠期の健康施策の方向性

妊娠期の健康施策について、（水俣市役所健康高齢課健康推進係, 2015）によると「水俣市食育推進計画（平成27～29年）（案）」では、「妊産婦が健康な児を産み育てるために規則正しい食生活を送り、時期や体格に合わせた栄養必要量を考えた食事を実践できるよう支援する」と述べられている。



- 3) 水俣市における妊娠期の健康施策の実施状況（産婦人科へのヒアリングより）  
水俣市で出産できる病院は2施設で、ヒアリングした。

【水俣市内の産婦人科】

- ① 本田レディースクリニック 熊本県水俣市浜町 3-6-21（約9割出産）  
産婦人科医1名
- ② 国保水俣市立総合医療センター 熊本県水俣市天神町 1-2-1  
産婦人科医2名

数年前より水俣市開催の母親学級がなくなったことにより、この2施設で母親学級は実施している。実施時期は30週前後であり、食事の食べ方などの詳しい栄養指導は、母親学級以外では担当助産師が行う程度とのことであった。

体重指導は、増えすぎる人の方が多い印象だが、母子手帳に貼られているグラフを参考にするように指導している。グラフは少し基準が厳しい気がするという意見もあった。

- 4) 水俣市における妊娠期の健康施策の実施状況（水俣市福祉環境部健康高齢課）

水俣市の妊産婦の健康課題について [水俣市役所健康高齢課健康推進係, 2015]では、「低出生体重児率が国・県に比較して高いこと、妊婦健診で初期の1割、後期の5割が貧血である」と述べており、水俣市福祉環境部健康高齢課では、平成26年4月から、表2のように保健指導を強化している。

表 2. 保健指導の強化方針

施策の方向性	妊産婦が健康な児を生ま育てるために規則正しい食生活を送り、時期や体格に合わせた栄養必要量を考えた食事が実践できるように支援する	
	～2014年3月 母親学級	2014年4月～ 母子手帳交付時 (妊娠10週前後)
形式	保健師による集団指導	保健師による個別指導
時間	確認中	30分-1時間
場所	保健センター	保健センター
出産数	2014年 173件	2015年 171件
低出生体重児割合	13.3%	4.7%
配布資料（体重グラフ）	×	◎
配布資料（胎児期成人病発症・貧血発症チャート）	×	◎

2014年4月からの個別保健指導の効果については、今後さらなる分析が必要ではあるが、低出生体重児が1年間で13.3%から4.7%に減少（厚生労働省の目標：5%）したことが明らかとなった。貧血についてのデータは、今後、追加調査予定である。

#### [5] 考察と提案

水俣市は環境モデル都市として注目される一方、人口減少と少子高齢化が進み、今後、若者不足による地域力の低下がさらに懸念される。今回、我々は、環境と並ぶ新たな「健康」という視点で、地域活性と人口増加の取り組みができないかを検討した。

水俣市は（水俣市役所健康高齢課健康推進係、2013）において「すべての市民が心身ともに自立し、健康的に暮らす」という基本理念に基づき市民の健康づくりを目指している。この理念に基づき、水俣市保健管理センターでは、2014年4月から保健師が実施する妊娠期の妊産婦健康指導を強化したと思われる。従来、母親学級で集団にて実施していた健康指導を、母子手帳交付時、個別指導としたのだ。母子手帳交付時に、保健師による妊産婦向けの生活指導及び妊娠時期や体格に合わせた栄養指導と支援を実施する自治体は他にはないだろう。今回、この指導や支援が、妊産婦の食行動変化を起し低出生体重児予防に大きく関係した可能性が高く、今後、さらなる分析を行う価値があると思われた。

低出生体重児の予防は、将来的に生活習慣病予防にもつながることであり、我が国の周産期課題としても優先度は非常に高い。今後、水俣市と地域医療センターの協力を得て、2014年前後の母体や出生児の体格や分娩状況、妊娠中の合併症の確認を行い、水俣市の妊産婦保健指導の有効性の確認していきたい。これが検証できれば「みなまた妊婦栄養&生活指導プログラム」として、全国に発信・普及していきける可能性がある。

さらに、今後、母子手帳交付時に実施する「みなまた妊婦栄養&生活指導プログラム」の有効性が確認できた場合、持続可能な健康増進運用モデルにするために、アプリを開発し、対応することも検討すれば、自治体規模が大きくなっても支援は可能だと考えられる。

水俣市における妊娠期・子育て期母子を対象とした健康増進の良い取り組みはまだまだあると思われる。それらを見える化・検証し、全国に発信する取り組みを行い、地域活性につなげていくことで、水俣のイメージをマイナスからプラスへ。そして、水俣で子どもを産み、育てたいと思うパパ、ママを増やしていくことにつなげていきたい。

### 水俣市の静脈産業と地域コミュニティ

#### [1] 市民によるゴミ分別収集

2016年2月29日(月)16:00~18:00 ごろ、水俣市役所駐車場にて行われていた市民による家庭ゴミの分別収集の見学と市民へのヒアリングを実施した。図18にゴミ分別収集の様子を示す。当日は16時ごろから地区内の当番（リサイクル推進員）が収集場所にコンテナを広げ、全21品目のゴミの分別収集を開始した。毎月1回、月末にのみ行われる資源ゴミ収集の機会ということで、市民は1ヶ月分のペットボトルや缶、びんなどを持ち寄った。



図 18. 市民による分別収集の様子

家庭ゴミを持ち込む市民の多くは、あらかじめ大まかに種類ごとに分けた状態で持参し、該当する品目がわからないゴミについてはリサイクル推進員に尋ねて分別をする。私たちも分別収集のお手伝いをさせていただいたが、持ち込まれたゴミがどの品目に該当するかわからないことが多く、難しいと感じた。数年前に県外から移住してきた市民に聞くと、やはりまだわからないことが多く難しいが、わからない都度、リサイクル推進員に聞いて徐々に慣れてきたという。一方で水俣に長く住む市民はすでに慣れているので難しくはないとのことであった。



図 19. 分別された資源ゴミ

分別収集は市内 26 箇所あり、分別されたゴミは翌日朝、市の担当者が回収をし、水俣芦北広域事務組合クリーンセンターに集められる。

分別風景を見学していると、市民同士で世間話などを行っている様子が見受けられた。このゴミ分別は、住民のご近所内でのコミュニティ形成に一役買っていると言える。

## [2] 水俣芦北広域行政事務組合クリーンセンター施設見学と関係者ヒアリング

2016年3月1日(火)10:00 から、水俣芦北広域行政事務組合クリーンセンター関係者へのヒアリングと施設内見学を実施した。担当者から「水俣市のリサイクル事業」と題して水俣市のゴミ分別の歴史、分別システムの基本方針、分別の成果・実績などを伺ってから、施設内の焼却炉や資源ゴミ処理施設を見学させていただいた。

水俣市で家庭ゴミの分別収集がスタートした平成2年(1990)当時は、「燃えるゴミ」と「燃



えないゴミ」の2種類分別であった。清掃センター（現・クリーンセンター）施設内には、ゴミを燃やす施設（＝焼却炉）とゴミを破砕する施設（＝破砕機）しかなかった。その後、水俣が分別数を増やしたのは平成5年（1993）のことで、この時点で20分別へと分別数を増やした。動機としては、平成3年（1991）時点で最終処分場埋め立て完了まで4～5年であったこと、平成4年（1992）に「水俣市環境モデル都市宣言」をしたものの宣言に見合った実績がなかったことが挙げられる。これらに加え、平成4年に当時の燃えないゴミの中に卓上コンロ用ガスボンベが混入していたことによる爆発事故が2度起きたことが直接的なきっかけとなり、市民による20種類の細かな分別収集へと踏み切ることになった。途中、より詳細な分別になったり、逆に分ける必要のないものをまとめたりといったことをしながら、現在では21種類の分別収集をおこなっている。



図 20. クリーンセンターに集められたペットボトル

水俣市では、コンテナ方式での分別収集を実施している。コンテナ方式の利点としては、次のような点が挙げられる。

- ・ コンテナの札に従って分別すれば良いのでわかりやすく簡単。
- ・ 細かい分別が容易（びんの色、乾電池、電気コードなど）
- ・ ゴミ袋というゴミが発生しない
- ・ ご近所で分別するため、様々な助け合いが生じ、結果分別制度が高まる

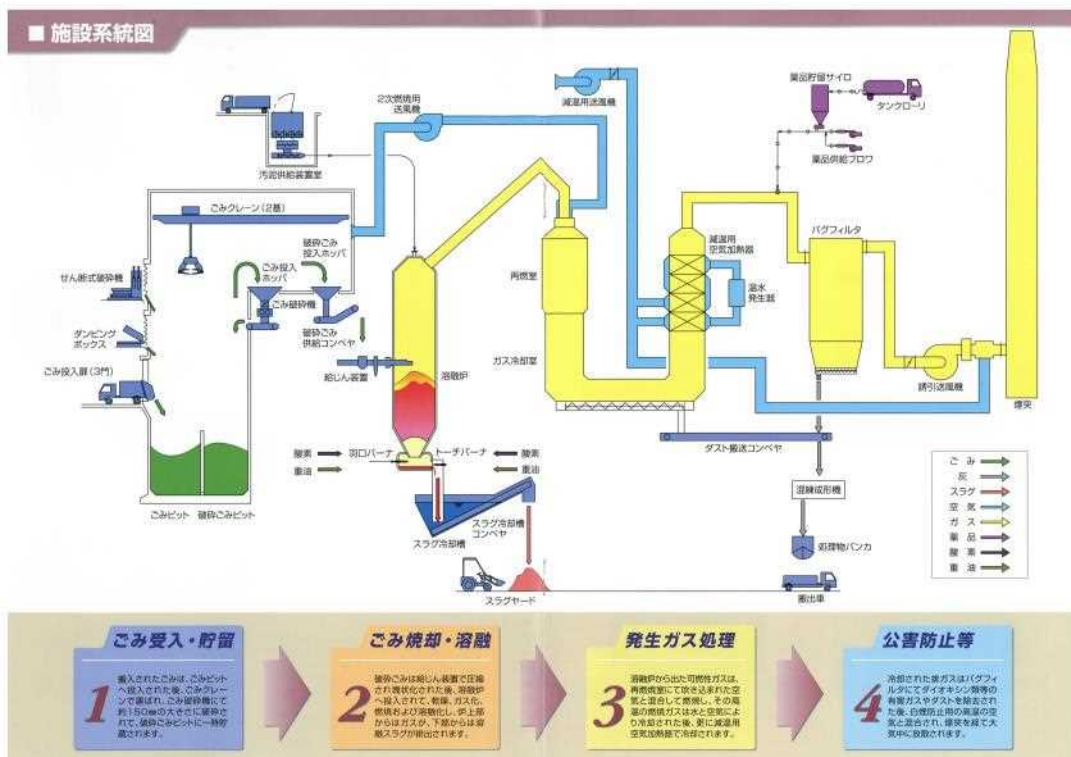
一方で、欠点としては次のような点を挙げることができる。

- ・ コンテナを展開するためのスペースを確保するため、結果的に収集場所が少なくなり収集場所が家から遠くなる。

- ・ コンテナを展開する当番が必要
- ・ 排出日に当番が収集場所に立つ関係上、排出時間に制限がある
- ・ 前日のコンテナの配布と当日の収集のために同じ場所に2回行かなければならない
- ・ コンテナは袋と違って変形しないので収集効率が悪い
- ・ 天候に弱い

水俣市独自の制度として、リサイクル還付金がある。これは、分別収集によって集められた資源ゴミの売却益を市民（自治体）に還元するというものだ。水俣市では、缶・ペットボトルなど量が多く売れるものや、電気コードなど量は多くないが高く売れるものを中心に回収した資源ゴミを売却しており、その利益を分別に協力してくれた市民に還元する仕組みを構築している。

施設内見学ではまず、不燃物の一時保管場所を見学したのち、可燃物の焼却施設を見学した。水俣市では過去に石油を使ってゴミを燃やすストーカ方式の焼却炉を使っていたが、法改正によりダイオキシンが発生するこの炉を使うことができなくなった。そのため現在では熔融炉式という高熱でゴミを溶かしてしまうような炉を使っている。ストーカ方式は価格が抑えられるがダイオキシンの問題で使用ができない。一方で熔融炉式はゴミを溶かすため燃えかすとして残る飛灰などの量が少なく、最終処分場への負担を減らすことができるが、炉を高温に保つために大量のエネルギーが必要になるためコストが高い。



クリーンセンター内の資源ゴミ処理は、容器包装プラ、缶類、紙類などを一定の大きさにプレスしたり、仕分けたりする作業を行う。その後、プレスされた資源物、分けられた資源物はそれ



それぞれの処理業者に売却される。これらの資源の売却益は先述した通りリサイクル還付金として自治体に還元される。中でも水俣市では、電気コード類や紙類は値段が高いという。

分別が始まった平成2年（1990）当時は、燃えるゴミと燃えないゴミの2種類しか分別をしていなかったため、クリーンセンターは本来燃やす施設と破砕する施設しかなかった。そのため、資源物の集積場所や処理施設は後から自作したものや、追加で建てられたものであった。



図 22. 圧縮前の容器包装プラ



図 23. 圧縮後の容器包装プラ



図 24. プレスされ集積された缶類



図 25. ペットボトルのふた





図 26. 種類ごとに分けられた紙類

### (3) ICT を用いた環境および健康モニタリング

環境センシングシステムの開発においては、2015 年度から開始された文科省科研費プロジェクトである「市民・行政・専門家の連携による環境監視・減災支援基盤の構築と社会実装」と連携を図りながら、ICT を用いた PM2.5 センサーの開発をおこなった。

本研究のフィールドである熊本県水俣市は九州の西側に位置し、大陸から偏西風によって PM2.5 が流れてくることがあり、テレビ放送等でも PM2.5 予報が出るなど大気汚染に敏感な地域である。一方で、水俣市には PM2.5 のモニタリングポストは 1 箇所しかなく、全体の状況が把握できているとは言いがたい。そこで、可搬型の PM2.5 センサーを開発することによって、市民により市域の状況を知ってもらうとともに、それを話題としたコミュニケーションの促進を図る。

#### PM2.5 センシングシステムの開発

##### [3] PM2.5 センシングシステムの概要

今回開発する PM2.5 センサーは、可搬型のものとして開発する。その目的は、上でも述べたように、市民自身が必要に応じて計測をし、自分が生活している場所の危険度を理解し、それを話題にコミュニケーションが取れるようにするためである。図 27 に今回開発したシステムの全体像を示す。今回開発したシステムは、PM2.5 センサーの出力を組み込み型計算機に入れ、そこからスマートフォンに取り込む構成となっている。将来的にはスマートフォンからインターネットを介して、インターネット上のサーバにデータを収集することが可能である。このような構成にすることによって、スマートフォンを除いた部分を 6,000 円程度で構成することができる。

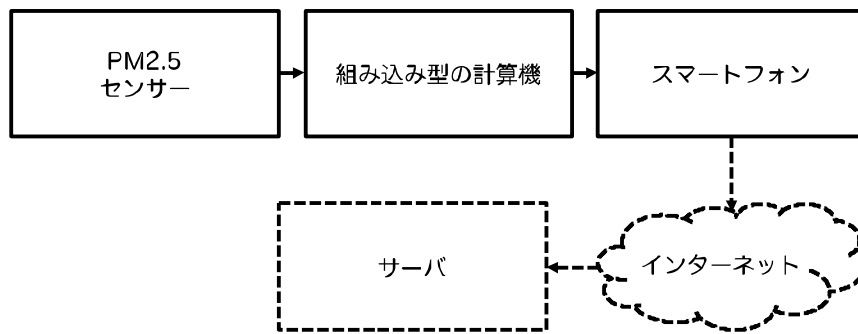


図 27. PM2.5 センサーシステムの構成

##### [4] PM2.5 センサーモジュール

今回は、PM2.5 センサーモジュールとして Nova Fitness 社の Laser PM2.5 Sensor SDS011 を採用した。図 28 に写真を示す。他にも PM2.5 センサーモジュールとしては、シャープ社などが開発しているが、Nova Fitness 社の製品は安価であり、3,500 円/個程度で購入可能である。また、本製品は PM2.5 の他に PM10 もデータとして出力することができる。インターフェイスとしては、独自コネクタの UART を採用しており、1pps でデータを出力する。



図 28. Nova Fitness 社の PM2.5 センサー-Laser PM2.5 Sensor SDS011

PM2.5 センサーモジュールの仕様を表 3 に示す。

表 3. PM2.5 センサーモジュールの主な仕様

No	項目	値	備考
1	計測項目	PM2.5 及び PM10	
2	計測範囲	0.0-999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
3	定格電圧	5V	
4	定格電流	70 $\pm$ 10mA	
5	スリープ電流	< 4mA	
6	温度範囲	保管温度 -20 $^{\circ}\text{C}$ ~60 $^{\circ}\text{C}$ 動作温度 -10 $^{\circ}\text{C}$ ~50 $^{\circ}\text{C}$	
7	湿度範囲	保管湿度 Max 90% 動作湿度 Max 70%	
8	気圧	86kPa~110kPa	
9	応答速度	1s	
10	シリアル出力	1Hz	
11	粒子の最小解像度	0.3 $\mu\text{m}$	
12	計測歩留まり	70% @0.3 $\mu\text{m}$ 98% @0.5 $\mu\text{m}$	
13	誤差範囲	$\pm$ 15%, $\pm$ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $^{\circ}\text{C}$ , 湿度 50%
14	大きさ	71 $\times$ 70 $\times$ 23mm	
15	認証	CE/FCC/RoHS	

Laser PM2.5 Sensor SDS011 の仕様書を和訳

本センサーモジュールは、1 秒毎に 10 バイトのバイナリデータを UART から出力する。UART

の設定は、9600bps、8ビットノンパリティ、1ストップビットである。また、センサーモジュールの出力仕様を表4に示す。

表 4. PM2.5 センサーモジュールの出力仕様

バイト番号	名称	内容
1	Message Header	“AA”
2	Commander Number	“C0”
3	DATA1	PM2.5 下位バイト
4	DATA2	PM2.5 上位バイト
5	DATA3	PM10 下位バイト
6	DATA4	PM10 上位バイト
7	DATA5	ID バイト 1
8	DATA6	ID バイト 2
9	Check-sum	チェックサム
10	Message tail	“AB”

Laser PM2.5 Sensor SDS011 の仕様書を和訳

本センサーモジュールからの出力例を図29に示す。本スクリーンダンプはWindows用のシリアル通信モニタリングツールであるSerialDebugTool R2.03.3を使用して表示したものである。

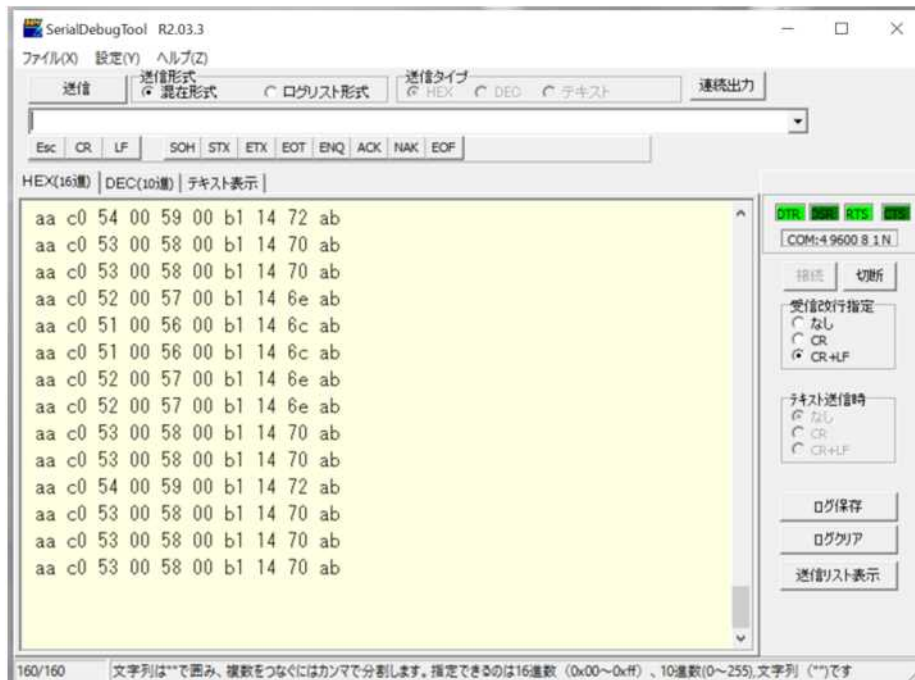


図 29. PM2.5 センサーモジュールからの出力例

#### [5] 組み込み型計算機

今回、PM2.5 センサーモジュールからデータを取り込むにあたり、組み込み型の計算機を介してスマートフォンにデータを取り込みやすい形に変換してから取り込むこととした。このための組み込み型計算機として、Adafruit Metro Mini 328 を選定した。本製品は USB より供給された電源で動作する Arduino 互換機であり、周囲の端子に UART を接続することにより UART との通信が可能である。また、本製品は 2,000 円/個程度で購入可能である。図 30 に Adafruit Metro Mini 328 の写真を示す。また、表 5 に Adafruit Metro Mini 328 の主な仕様を示す。

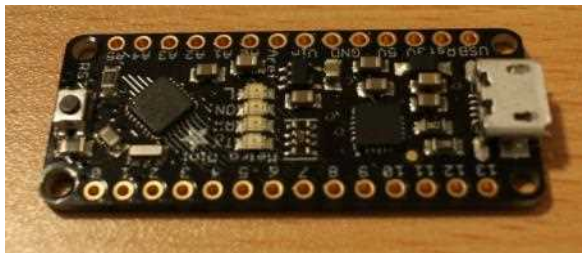


図 30. 今回使用した組み込み型計算機 (Adafruit Metro Mini 328)

表 5. Adafruit Metro Mini 328 の主な仕様

No	項目	値	備考
1	CPU	ATmega328	
2	動作周波数	16MHz	
3	動作電圧	外部入力 6-16V (USB 5V 利用可能)	
4	汎用入出力	20 ポート/5V 動作	ジャンパにより 3.3V に変更可能
5	その他	USB-Serial 変換機能あり LED 搭載	

組み込み型計算機では、PM2.5 センサーモジュールから 1 秒毎に出力される 10 バイトのデータを読み込み、PM2.5 および PM10 の値を計算した上で、それを USB に文字列として出力する。

#### [6] PM2.5 センサーシステムの全体

[4]および[5]で説明した PM2.5 センサーモジュールおよび組み込み型計算機は、PM2.5 センサーモジュールの TX/RX/Vcc/GND をそれぞれ、組み込み型計算機の RX/TX/Vcc/GND に接続することによって接続する。また、組み込み型計算機とスマートフォンは USB ケーブルで接続する。接続されたシステム全体を図 31 に示す。



図 31. PM2.5 センサーシステム全体の写真

#### PM2.5 センサーを用いた市民コミュニケーションの可能性検証

水俣で「市民コミュニティ」といえば、真っ先に連想されるのは「もやい直し」であろう。もやい直しとは、「1973 年には、熊本水俣病裁判第一次判決は原告勝訴 となり訴訟や未認定患者に関する動きが活発化するのと同時期には、水俣病患者が補償を受けることに対して、非難中傷などの負の感情を示す市民が現われるなど、水俣市の地域コミュニティは一度崩壊したといえる」(小田 & 北村, 2008)状況から始まったコミュニティ再生事業である。「もやい」とはもともとは、船と船をつなぐこと、共同で作業を行うことである。定義を調べると、「『ばらばらになってしまった心のきずなをもう一度つなぎあわせる』という意味の造語で、水俣病被害者が提唱し始めた」とされる。吉井正澄元水俣市長が使うようになって広まり、水俣地域再生の合言葉のように使われている。」(コトバンク「もやい直し」, n.d.)と出てくる。

しかし、吉井元市長が就任した 1994 年から 22 年経った現在でも、市民の中では未だに軋轢が残っている、と言われる。外部から調べる場合、水俣の市民コミュニティに関する情報は、産業や市民団体、被害者など活動をしている人々の声が大きく取り上げられる。今回の調査では、なかなか表に声が出て来ない水俣病に関連する活動に積極的に携わっていない市民との交流を通し、水俣の市民コミュニティの実情を探った。その一例として、PM2.5 センサーに関する水俣高校でのワークショップを取り上げる。

#### [1] 水俣環境アカデミア 高大連携未来塾 2016

今回、市民を巻き込んだ ICT を用いた環境モニタリングの可能性を検証するべく、水俣市や県立水俣高校の協力を得て「水俣環境アカデミア 高大連携未来塾 2016」と題した、高校生とのワ

ークショップを実施した。ワークショップの概要を以下に示す。

目的	高校生を対象に、PM2.5 センサー測定を通じたアイデアを考える、環境ワークショップを開催し、ICT を用いた環境や健康に関するモニタリングが、公害疲弊地域に資する可能性を検証する。
日時	平成28年3月4日 16:30~17:00 5日 9:30~16:00 6日 9:30~16:00
場所	県立水俣高校
対象	水俣高校1、2年生 30名程度

また、ワークショップにおいて実施した内容は下記のとおりである。

3月4日 顔合わせ。水俣高校、慶應義塾、両校の紹介や簡単なガイダンスを行った。

3月5日 講義、実習。

1. 今日の作業についてのガイダンス  
(慶應義塾大学 環境情報学部 准教授 植原啓介)
2. センサーについてレクチャー  
(慶應義塾大学 理工学部 教授 松本佳宜)
3. PM2.5 による健康被害についてレクチャー  
(産業医科大学 准教授 盛武敬)
4. 実習 センサー作り、校内での測定

3月6日 アイデアソン

テーマ「センサー技術やインターネットを用いたアイデアを考える」

発表内容

- 1班 中国の大気汚染問題
- 2班 PM2.5 や花粉の値によって色が変わる髪の毛
- 3班 環境問題に楽しく向かい合おう(測定器ファッションショー、環境イケメンアイドル、空気のお掃除ロボットになるEV自動車)
- 4班 あったらいいなと思う技術(靴型測定器、食べられるカイロなど)
- 5班 生活を豊かにする技術(医療、災害など)

結果は市長賞が3班、慶應 SFC 賞が2班となった。受賞の理由は、3班は発想が特異ながら、その理由はしっかりと環境に根ざしたものであったため。ファッションショーやアイドルといった高校生ならではの内容をつめることができた。2班も、内容がユニークであり、なおかつ社会問題を見据えた内容であった。



ワークショップの様子を図 32～図 40 に示す。



図 32. 初日の自己紹介、学校紹介の様子



図 33. 講義の様子





図 34. PM2.5 から防護するためのマスクの付け方を実習する高校生



図 35. PM2.5 センサーを作成する高校生



図 36. 蚊取り線香を用いた PM2.5 センサーの動作確認



図 37. 校庭の PM2.5 を計測する高校生





図 38. アイディアソンで環境センサーの活用方法について検討する高校生ら



図 39. とりまとめたアイデアを発表する高校生



図 40. 授賞式の様子

[2] ワークショップに関する考察

今回のワークショップは、水俣環境アカデミアに関連した高大連携のきっかけを目的としたものであった。そのため、大学の教員が教え、大学生がサポートに入るという形で、センサーやIT技術を用いながら高校の授業のように「正しい答え」が必ずしもない問題に挑んだ。生徒のアンケート結果では、満足度が高く「次回も参加したい」と答えた生徒が半数以上となった。

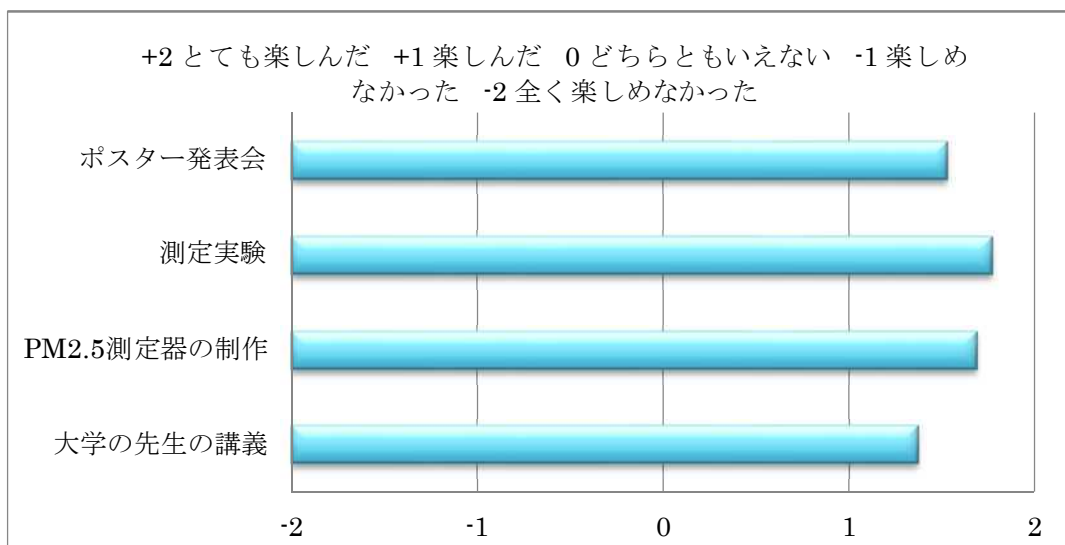


図 41. 高校性によるワークショップの評価

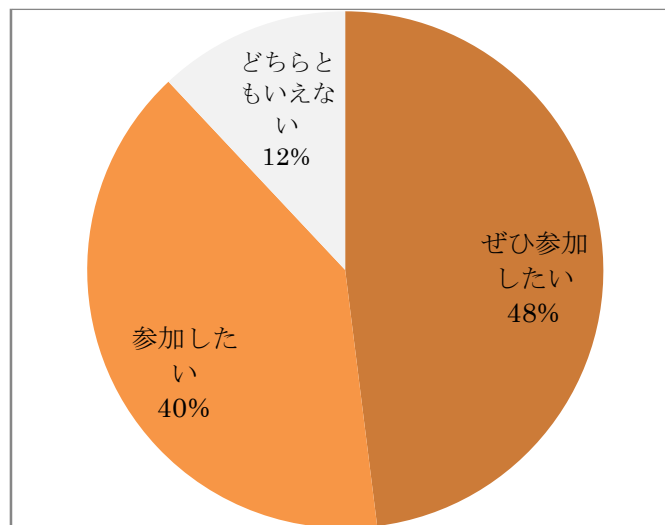


図 42. 次回もワークショップに参加したいか

さらに、「次回のワークショップテーマ案」の項目では、水質を挙げる生徒が多かった。例えば、「水俣と日本海側の水質の違い」など、水俣病にちなんだテーマを連想していた。また、その他にも「環境について」や、「水俣について（水俣の特産品や水俣の PR など）」が挙がり、「地元」を強く意識している様子が感じられる。

この結果から、約 9 割の生徒が「次回も参加したい」を選択し（図 42）、満足度が高いプログラムであったといえる。「水俣病を忘れない」という水俣市民の声も大きいと言われる中で、今後のプログラム案では水俣（水俣病）と結びつけて考えたいという意欲のある学生が多くいることは、若い高校生世代の水俣病に対する新たな感覚を表しているのかもしれない。今後、若い世代の水俣や水俣病に対する意識を調べていく必要性を感じた。

### [3] 水俣高校における市民コミュニティの考察—キャリアの観点から

今回のワークショップのアンケートでの「もっとも印象に残った点」に、「大学生や大学教員との交流」を挙げた生徒も多く見受けられた。水俣高校は、水俣市唯一の高校であり、普通科、商業科、機械科、電気建築システム科を抱える。しかし、例えば普通科の偏差値 40 はであるが、定員割れという課題がある。

今回のワークショップでは大学生による慶應義塾大学の紹介、教員による総合政策学部、環境情報学部の入試説明を行った。交流を通して、最初は全く関心のなかった SFC にも興味を抱く生徒が現れはじめ、大学生というキャリア形成にもつながっているように感じた。市内コミュニティ唯一の高校のキャリア教育、キャリア選択という観点から、市民を考察してみたい。

### 5) ロールモデルの不在

水俣市内には大学がない。また、水俣・芦北地域（水俣市・芦北町・津奈木町の 1 市 2 町の区域）では、求人に関しても厳しい状況が多い。例えば「一般有効求人倍率については、平成 22 年度の 0.35 倍から平成 24 年度には 0.66 倍にまで上昇し、県内に所在するハローワーク 9 箇所のうち、水俣・芦北地域は中位に位置しているが、全国（0.82 倍）と比較すると未だ

低位にあり、厳しい水準が続いている」（熊本県，2013）ことだ。さらに表 6 に示す就業構造を見ても、熊本県全体に比べ、第一次・第二次産業の比率が高く、第三次産業の割合が少ない。

表 6. 水俣芦北地域の産業別人口（単位：人）

	第 1 次産業	第 2 次産業	第 3 次産業
県全体	85,007	171,899	555,227
割合	10.2	20.6	66.6
水俣・芦北地域	2,585	5,307	14,191
割合	11.7	24.0	64.2

資料：国勢調査（平成 22 年）

このことから、就業段階においても若者の市外流出が推測される。また、市外の大学を出ても、Uターン就職も多くはないのではないか。これらのことから、水俣の市民コミュニティ内、特に高校生の生活コミュニティ内での大学生、またはロールモデルとなるような若い高卒社会人の存在の薄さが考えられる。身近に大学生がいないため、今回のワークショップを通じた大学生との交流が印象に残ったのだろう。

#### 6) 親の職業の影響

水俣高校の生徒や教員との交流を通して、高校生のキャリア選択には、親の職業等の制約が大きいように感じた。例えば、年収ガイド（2014）総務省発表の統計資料をもとに、市区町村別の課税対象所得の総額を納税者数で除算した額を平均所得と規定し、水俣市の平均所得（年収）を算出した平均年収は、248万円であり、全国平均とくらべても低い数値である。家庭の経済状態は、キャリア選択の際に大きなポイントとなる。また、教員間で生徒の進路の話をする場合も、親の職業は鍵となっている。例えば「あの子の父親は JNC で働いているため、私大に行かせられる」といった話を耳にした。また、家庭の事情に起因する物か判別はできないが、アルバイトをしている高校生も見受けられた。

#### 7) 考察

このように、高校生のコミュニティ内のロールモデルの不在や制約により、キャリア選択の問題点が推測できた。高校側もこの点を危惧しているようで、校内には卒業生の顔写真付きの大学案内や求人案内を掲示していた。また、我々大学生にも「雑談の際等に、大学生活について話してほしい」と頼んでいた。高校生側も、大学生活や大学の入り方に関して多く質問を寄せてくれた。水俣環境アカデミアを通じて、今後はより多くの研究者や大学生が水俣のコミュニティに入り、水俣高校生と関わってることが期待される。どのような影響が出てくるのか引き続き調査の必要性を感じる。

#### [4] 水俣の市民コミュニティ考察

今回の高校生を中心とした水俣の市民コミュニティ調査を通して、以下のようなことが見えてきた。

- ・ 高校生の水俣病に対する認識や感覚
- ・ 高校生のキャリア育成の課題

若い、新たな感覚をもった世代が台頭することで、水俣をより発展させるような、新たな未来図を描くことができるかもしれない。さらに、高校生のキャリア育成を発展させることで、その未来図を実行にうつせる人材の育成につながっていく。そのための起爆剤として、水俣環境アカデミア、大学、水俣高校間の密でかつ長期的展望による関係性の構築や連携プログラムの促進が望まれる。

#### (4) バイオマスコージェネレーションを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察

##### バイオマスコージェネレーション運用の可能性検討

本研究では、バイオマス発電所の新設が計画されている水俣市において、林地残材と間伐材を対象とした木質バイオマスの利用ポテンシャルを評価することを目的としている。特に木質バイオマスの回収コストに着目し、回収工程における諸条件（傾斜、小林班と林道の距離、発電所までの輸送距離）を考慮した推計を行った。加えて発電所におけるバイオマス資源の需要量および買い取り価格から、林地残材および間伐材の回収可能量と回収可能林班を特定した。

その結果、現在計画されているバイオマス発電所の木質バイオマスの需要量は、発電所の出力が 6.5MW の場合 85,213m<sup>3</sup>/年、2.0MW の場合 26,219m<sup>3</sup>/年であることに對し、水俣市の森林における林地残材のおよび間伐材の賦存量は約 138,186m<sup>3</sup>/年であることが明らかにされた。さらにバイオマス発電における木材の購入限界コストを 5,000(円/m<sup>3</sup>)とすると、この価格以下のコストで回収可能性のある林班の面積は 3,159ha あり全体の 35%を占める。また材積量で評価すると、限界コスト以下で収集可能な林地残材および間伐材は 47,800m<sup>3</sup>/年あり、発電所の材の需要量と比較すると年間 2.0MW～3.0MW の出力に相当する木材の供給能力があることが明らかにされた。

##### [1] はじめに

平成 24 年 7 月 1 日から、再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度が開始され、未利用バイオマス資源の有効利用が期待されている。そのため固定価格買い取り制度の高い買い取り価格設定を背景に、全国各地で木質バイオマス発電所の建設および建設計画が増加している。特に森林の面積が広くバイオマス資源量の多い九州地方では、多くのバイオマス発電所が計画中であり、これまで使われてこなかった未利用材（間伐材等）や建設廃材等の利用により、電力や熱の供給による事業収入だけではなく、林業の振興や、新規雇用創出への期待が寄せられている。

一方で、新設計画の増加に伴って木材の供給不足が懸念されつつある。大分県、熊本県、宮崎、鹿児島県等全国でも森林蓄積量が比較的多く林業の盛んであるが、当該地域では 2013 年～2016 年までに稼働する計画のバイオマス発電所が 11 か所ありその出力の合計は 112MW に相当し、これを木質バイオマス量に換算すれば 185 万 dry-t/年、相当の資材が必要とされその持続的な供給の可能性が不安視されている。NEDO は現在の林業生産を前提とする間伐材および林地残材の推計を行っているが、これによると沖縄県を除く九州地方全域の林地残材と未利用の切捨間伐材の合計は、約 89 万 t/年であり、林地のバイオマスだけでは 100 万程度不足する見込みとなる。そのため、現在管理放棄されているが搬出等の地理的、コスト的条件が優れている森林は、林業振興の観点からも積極的に活用することが求められる。そこで本研究では、バイオマス発電所の新設が計画されている熊本県水俣市を対象に、市域の森林において営林されていない森林を含むすべての木質バイオマスの供給可能性を評価するとともに、バイオマス発電における材の調達限界コストを基準とした際に、供給可能な木材の量と範囲を特定することを目的としている。



[2] 方法

8) 水俣市の森林および林業

水俣市は熊本県の南端、鹿児島県との県境に位置し、人口27,000人、面積163km<sup>2</sup>の地方都市である。水俣川が源流から河口まで市域を東西に流れその流域に沿って市街地が形成されている。多くの地方都市と同様に人口減少傾向にあり、特に生産年齢の人口現象は著しい。

水俣市の森林における樹種別材積量を表 7に、森林齢級別傾斜別材積量を図 43に示す。山林面積は市の75%を占めており、森林面積12,117haのうち国有林が1,755ha、 民有林10,422haである。植生別の材積量をでは明治初期より植林事業が行われてきたため、人工林は全体の94%(天然林6%)を占めている。これを樹種別に材積量みるとスギが58%、ヒノキが38%、竹林類、その他広葉樹の順に優先的である。齢級別にみると概ね伐期となる10齢級までの森林と、11齢級以上の森林が同じ比率で蓄積されており、間伐及び主伐の遅れが齢級別の材積量に影響をあたえていると考えられる。また斜度別の材積量を比較すると、森林管理を実施することが比較的容易である0°～30°までに全体の材積量の78%が集積している。つまり現在は木材価格の低下により木材生産量が低下しているが、傾斜や樹種の材積状況から考えれば、木材生産の活性化と林地残材等を活用したバイオマス発電の適地である可能性がある。

表 7. 水俣市森林における樹種別材積量

樹種	人工林(m <sup>3</sup> )	天然林(m <sup>3</sup> )
スギ	2,173,871	125,046
ヒノキ	1,526,615	111,072
マツ	10,480	2,192
孟宗竹	136,608	1,272
苦竹	27,991	261
淡竹	468	
こさん竹	1,786	
その他の竹	324	
その他の針葉樹	105	53
クヌギ	5,617	445
広葉樹等	138,740	4,723
その他の広葉樹	4,531	489
合計	4,027,136	245,553

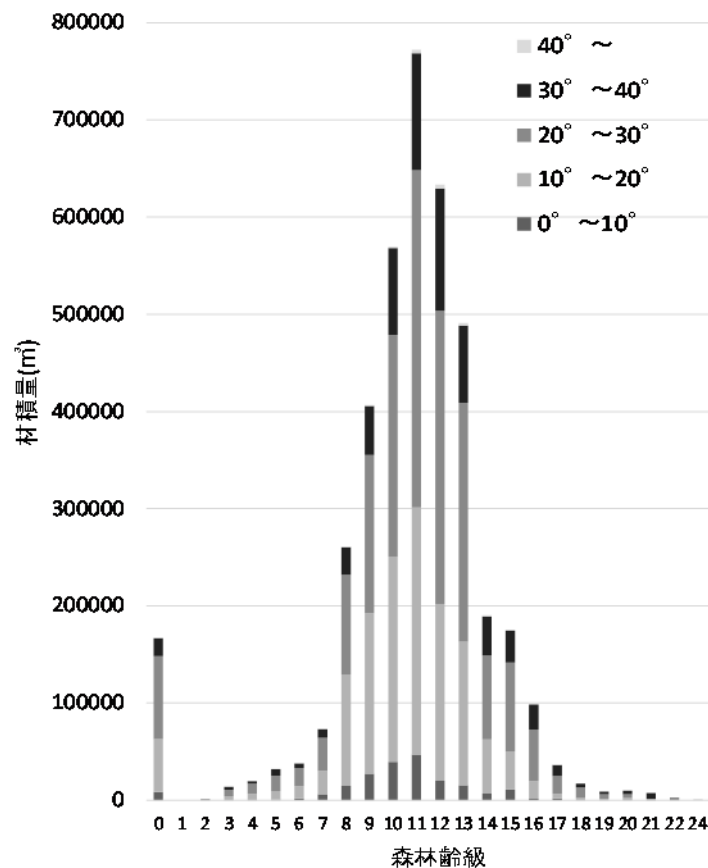


図 43. 森林齢級別傾斜別材積量

9) バイオマス発電事業

水俣市におけるバイオマス発電事業には、地域経済循環の観点から、2つの主要な地域外への資金流出である①市民の消費額、②生産と消費活動での電力・エネルギーの購入額に対して、市域内の再生可能エネルギー資源を活用し、別途市域の環境産業への投資ファンドを準備することで、地域内の資金循環を保持することを狙いとしている。このような地域経済を志向しつつ個々にはおおむね以下の目的がある。

- ① 水俣における低炭素化を推進すること。
- ② 燃料収集業者への適切な利益配分等を通じて地域の振興・雇用の確保に貢献し水俣の再生を加速すること。
- ③ 地元の森林保全・林業再生：水俣周辺の間伐材等を利用することにより、地域の森林の保全・林業の振興を行う。
- ④ 地元資本が出資することで地域への利益還元を行い地域と産業の融和を目指す(もやい直し)。
- ⑤ 水俣再生の認知度を高める広報活動として、東京のオフィス街等にバイオマス発電を供給する。

一方で実務的な課題として、原材料となる木材の安価継続的な供給に不透明さがある。そのた

め、事業主体は未利用材にとどまらず、一般材や輸入PKS素材等も含めて事業を計画しているが、発電規模の縮小を視野にいれ計画を推進している。水俣市のバイオマス発電事業の概要及び関連主体を表 8に示す。

表 8. 水俣バイオマス発電所概要

設置場所	熊本県水俣市工業団地内
発電規模	未定 (2000kW~6500kW)
使用燃料	未利用材、一般材、PKS
燃料の仕入先	熊本県南部、鹿児島県北部
熱・電力供給先	水俣市内、東京都丸の内地区
燃料調達	地元林業関係事業者、(株)エナリス、日本紙パルプ商事(株)、ほか大手林業関係者
発電所建設 運転管理	JNC(株)、JNCエンジニアリング(株)
電力需要確保	三菱地所(株)、(株)エナリス
事業開始予定	平成 28 年(予定)

#### 10) 木質バイオマス利用可能量推計方法

木質バイオマスの推計に関する研究については数多く行われておりいる(竹内 & 齊藤, 2013)(小山 & 友博, 2013)(国井, 澤内, & 林, 2014)。吉岡ら(吉岡 & 小林, 2016)は、傾斜と林道からの距離に応じて搬出価格を求める式を作成しており、寺田ら(寺田, 横張, & 田中, 2010)はこの式を用いて都市近郊部平地林のバイオマス搬出コストを算出している。本研究では、水俣市の利用可能な木質バイオマス量を推計するために寺田らが作成した式を元にして、①主な植生別の森林成長量予測と間伐・主伐サイクルを含む管理シナリオの設定、②各林班からバイオマス発電所までの木材の搬出価格の推計を行った。

#### a) 森林成長量推計と管理シナリオ設定

バイオマスの成長量に関して樹齢別に報告されてる林分の成長率データをもとに、齢級別に成長率を推計する回帰式を作成した。その結果を(1)、(2)式に示しこれを用いてバイオマスの成長量を推計する。

$$[\text{スギ}] \quad G_s = 5.6029X^{-1.61} \quad (R^2=0.9949) \quad (1)$$

$$[\text{ヒノキ}] \quad G_h = 7.8836X^{-1.701} \quad (R^2=0.9928) \quad (2)$$

ここでGは成長量(m<sup>3</sup>/齢級)、Xは森林の齢級である。

次に一般的な森林管理方法と基にして、間伐率を以下のとおり設定した。また主伐サイクルに

については熊本県の標準主伐サイクルである10齡級（50年）を基準とした。50年間で推定期間とした上で、現状の林齡構成を踏まえ、蓄積量の経年変化を推計して、個々の林班の木質バイオマス生産量を推計し、これを期間で除して1年あたりの木質バイオマス発生量の平均値を算出した。

#### b) 木材搬出価格推計

収集・輸送コストは、集材距離（林内から林外への搬出）、収集距離（林分からプラントまでの輸送）、地形傾斜の三つの変数からなる推定式で求められる。本研究では、吉岡・小林(2006)による、樹種別、集材機械別に整理された既往の推定式を引用し、林分ごとに収穫・輸送コストを求めた。この推定式は林業における標準作業工程表を元に作成されており、特にスギ・ヒノキ植林に関して当てはまりがよい。広葉樹に関しては、人工林と比較すると精度が落ちるが、収穫・輸送コストの概算を分析可能なものとして引用した。ここでのコストには伐採、集材、破砕（チップ化）、輸送のそれぞれに伴う燃料消費量、人件費、機械費用が含まれている。なお、水俣葦北森林組合のヒアリングにより集材にはすべて林業用トラクタを利用していることがわかったため、林業用トラクタを想定した搬出価格の推定を行った。

$$P(i, j) = (2.11L_{sy}(i) + 0.068L_r(i, j) + 229e^{0.117*d(i)} + 11408) * 0.314 \quad (3)$$

$L_{sy}(i)$  : 林小班*i*から道路までの輸送距離(m)

$L_r(i, j)$  : 道路から輸送地までの輸送距離(m)

$d(i)$  : 小班*i*の平均斜度

3つの変数の値は、以下のプロセスに沿って空間的解析を行った。林小班から道路までの輸送距離は、熊本県森林GISデータに収録されている「公道林道小班距離」を元に推計した。このデータは小班から最近傍の公道林道までの直線距離であり、林班内における作業道等が考慮されていない。そのため収録されている距離に迂回係数0.52を乗じて推計した。道路から輸送地までも輸送距離に関しては、森林GISに含まれている小班の位置情報データ、バイオマス発電所の位置情報データ、OpenStreetMapに収録されている熊本県南部、鹿児島県北部地方の道路ネットワークデータを加工し、道路から輸送地までの最短ルートを抽出しその距離を推計した。

### [3] 結果・考察

#### 1) 平均搬出価格及び搬出可能量の推計結果

(3)式より個々の小林班のからの搬出価格(円/m<sup>3</sup>)を算出し、搬出コストの小さな小林班から搬出可能木材量を集計し、あわせて平均搬出価格を推計した。その結果を図 46に示す。水俣市のバイオマス材積量のすべてを回収したとすると平均回収価格は6,262円/m<sup>3</sup>となる。つぎにバイオマス発電のフィージビリティスタディの結果から、5000円/m<sup>3</sup>(120,00円/wt)を集材の限界コストとして収集可能な範囲と材積量を推計した。その結果、平均集材コストが5,000円/m<sup>3</sup>となるように低価格の林班から材を回収すると、概ね47,800m<sup>3</sup>/年程度の木材(林地残材、間伐材)が平均価格以内で回収可能であると明らかにされた(図 46)。ここで選定された回収可能な範囲の林班の分布データを図 47に示す。図 44の小林班別の平均傾斜分布データと比較すると、材の回収には林業用のトラクタを用いたと想定しているため、平均斜度が影響度の高いことが明らかになったと考え

られる。

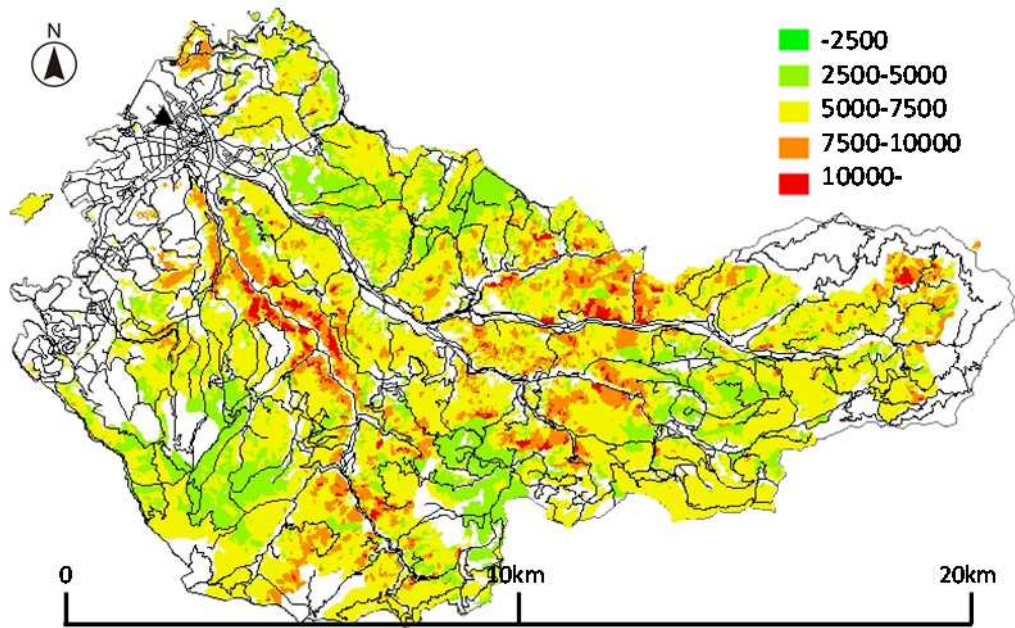


図 44. 小林班別の木質バイオマス搬出価格(円/m³)

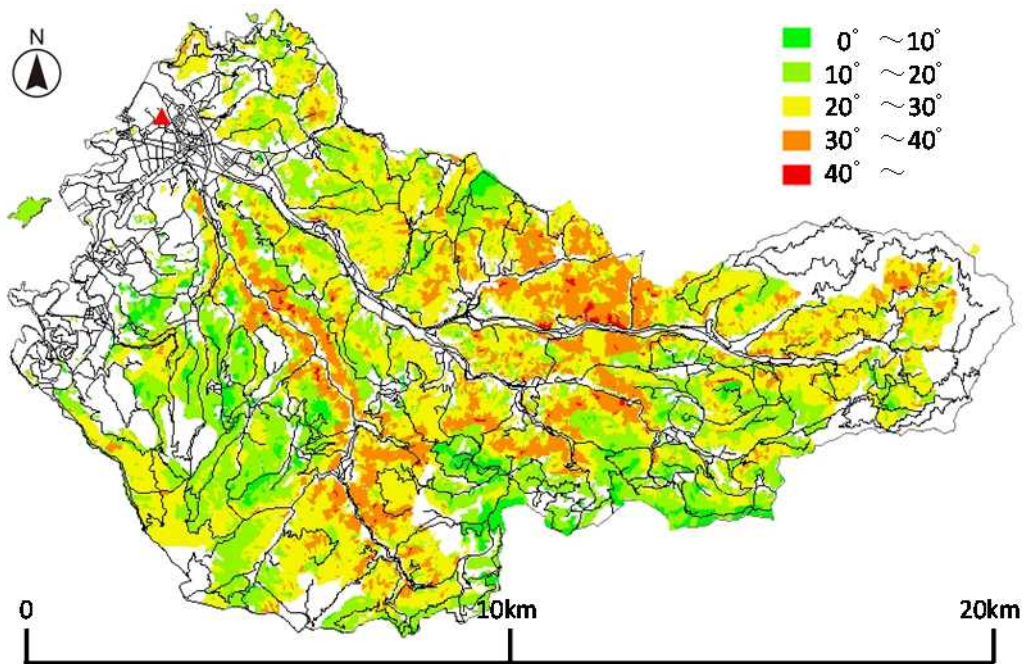


図 45. 小林班ごとの平均傾斜分布

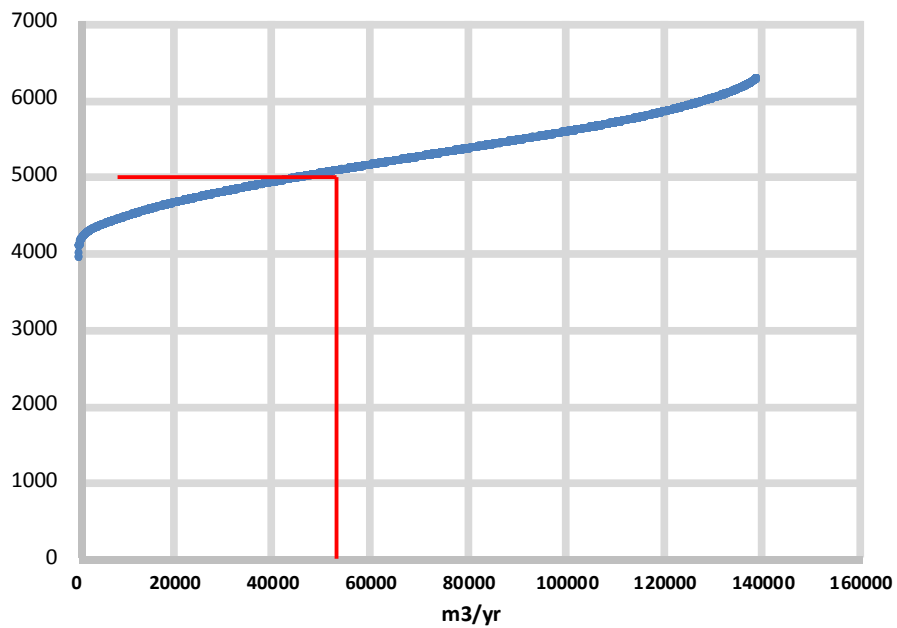


図 46. 木質バイオマスの搬出量および平均価格

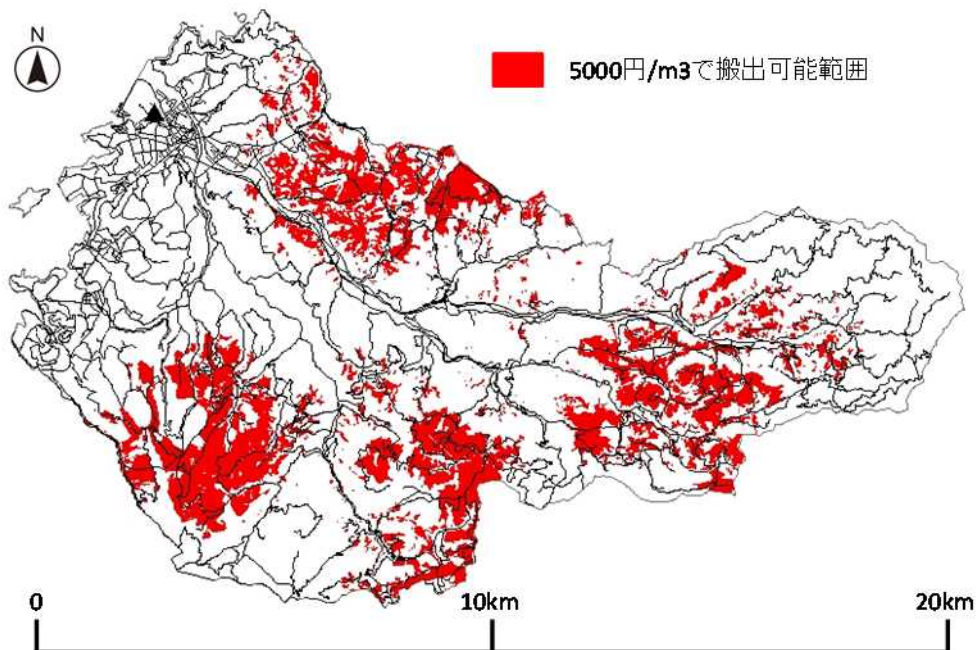


図 47. 限界費用にて搬出可能な小林班

## 2) 発電所の木材需要量との比較

新設予定の木質バイオマス発電所については、2MWの場合および6.5MWの場合の双方で、必要な木材量の推計を行った。その結果、2MWの場合年間に必要な木材量は26,219m<sup>3</sup>/年、6.5MWの場合、85,213m<sup>3</sup>/年となる。1)において推計したバイオマス発電の採算ラインである木材の搬入価格の範囲内において収集可能な材と比較すると、2MW程度の発電容量であれば水俣市内の間伐

材、林地残材のみで発電所を運営可能であることが明らかにされた。

#### [4] おわりに

本研究の分析により、水俣市で計画されている2MW級のバイオマス発電施設に対して、市域の森林を活用することで木質バイオマスの資材供給を達成できることが明らかになった。研究で基準とした木材の限界コストは、電力のみの供給を念頭に推計された価格であり、本事業では工業団地内の熱供給を追加的に検討しており、限界コストが上昇し、より広範囲から材を回収する可能性も残されている。

### 木質バイオマスを支える地元の林業の現状 ～永田林業～

林業の現状を調査するため、永田林業にヒアリングを行った。以下、そのヒアリング結果について述べる。

#### [1] 永田林業とは

株式会社永田林業〔永田林業，日付不明〕（南日本新聞，2009）は、鹿児島県出水市の林業会社である。平成17年に従業員2人でスタートし、現在は、素材生産業をはじめ、林業事業、木材チップ事業、運送事業を計27人で支えている。平成21年頃より、国有林や鹿児島県森林整備公社などの国や県の請負事業にも携わり始め、鹿児島県の認定事業体として登録された。

日本では珍しい高性能林業機械の積極的な導入など徹底的なコスト削減の実現が評価され、国有林野事業における円滑な間伐の推進、及び間伐材の利用促進を図ることを目的とした林野庁の国有林間伐推進コンクールにおいて、『間伐コンクール優秀賞受賞』（H23）を受賞〔農林水産省林野庁，日付不明〕した。先進技術の導入だけに留まらず、林業改革といった長期的な目標を持ち鹿児島県内で行われているバイオマス事業にも参入している。また、現在は隣県であるものの、熊本県水俣市において木材バイオマス発電事業の中核を担う原料提供の面でも参画を計画している。

他林業業者と異なり若い経営者である永田社長は、従来の林業体系であった徒弟制を撤廃し、従業員一人ひとりが仕事に目標を持ち全員参加型のチームワークを重視するといった道を切り開いたパイオニアである。また、商材である山林の持続可能な利用に心がけ、環境保全やバイオマス発電への意欲も見せている。





永田林業経営理念（5つの誓い）

1. 人に負けず、己に負けず
2. がむしゃらに
3. 三步以上駆け足
4. すべてのことに感謝する心
5. 全従業員の幸せを追及する組織

図 48. 株式会社永田林業

[2] 永田林業の強み

1) 高性能林業機械

永田林業は現在 18 台の重機を保有している。作業種毎に重機を適切に配置することにより、作業効率の向上とコストの低減を図っていることが、国有林間伐推進コンクール等で高く評価されている所以である。

2) 所有する機械

所有する重機の種類も様々である。例えば、フェラーバンチャザウルスロボは、路網作設及びグラップル(集材)作業を同時に行う事ができるザウルスロボに格納式の刃物を装備することで、さらに立木の伐倒作業も可能とした機械である。伐採、集材（伐採した木材を一定の場所に集めること）、路網（森林内にある公道、林道、作業道作り）を行うことができる。グラップルとロングリーチグラップル、フォワーダは、集材と搬出（玉切りした材を荷台に積んで、林道を上り下りし、運搬用のトラックへ材を運ぶ。）を行う。

グラップルは、木材を掴んで荷役(木材の積み込みや荷おろし)を行なう。木寄せ・玉切り・はい積み・積み込み・荷おろし・枝条処理など様々な作業をこなし、素材生産に欠かすことのできない機械である。

ロングリーチグラップルは、水平 20m のリーチで 1km の作業道を開設した場合、約 3.6ha の集材が可能となり、一台で広範囲の作業を行える。

フォワーダは、運送に特化した機械であり、玉切りした短幹材を荷台に乗せて運ぶ、集材専用の自走式機械である。グラップルクレーンにより、広い範囲を移動することなく集材・積み込みが可能である。

ロングリーチハーベスターは、伐採した木材(伐倒)を一定の場所に集め(集材)、伐倒した木の枝と梢を切り落とす「枝払い」、決められた長さに丸太を切る「玉切り」をする作業(造材)を一台でこなすマルチプレイヤーである。また、プロセッサも林道や土場などで集材されてきた材

の枝払い、測尺玉切りを連続して行い、玉切りした材の集積作業を一貫して行う機械である。このような多種多様な機械のコラボレーションにより、永田林業の仕事は行われている。どの機械も高度な技術を要するため、人材育成に労力がかかることは明白である。

### 3) 注目の機械

多くの高性能林業機械を有する永田林業の機械の中で、特に注目すべきはフィンランド製のシャベルである。このシャベルは永田社長が海外研修で見つけてきた、日本で初めて導入された作業機械である。国内メーカーにはない馬力をもつだけでなく、アーム自体が15m伸びるため縦横無尽に作業が出来る点が先進的である。この機械は県内外の林業従事者が興味を抱き、多くの人々が見学にきている。

### [3] 人材育成について

永田林業の競争力は、高性能林業機械を所有しているだけでなく、優秀な人材の育成を行っていることがあげられる。高性能機械を揃えるだけであれば、資金を調達するだけで可能である。しかし永田社長は、それ以上に重要なこととして高性能機械を使いこなせる人材育成に励んでいる。そのエキスパート育成という投資が、他では真似できない永田林業の競争力の強化、および確固たる地位の確立に一役買っていることが今回のヒアリングを通して感じられた。まさに、これが地元で根付き成長を遂げている永田林業の力である。

また、現場での人材育成では、仮にオペレーターとして50人くらいの若者を雇った場合、15人程度が定着するというのが現状である。（※定着率は年々大きく向上している。）中でも、特徴的な点は、定着する15人の経歴がバラバラであるということである。地域産業ということもあり、ほぼ地元出身者を雇用しているが、内訳は高校卒の方や、卒業後フラフラしていた人など多様な人材が集まっている。なお、人材育成面での課題は、「叩き上げに時間がかかる。」ということであった。

次に、人材育成を大事にする永田社長だが、仕事で一番大切にしていることはチームワークである。多くの機械を扱うため、機械ごとに必要な適性を見極め、バランスよく仕事を行うチーム力を高めることに尽力している。チーム力を磨くために、社員には一日の目標を伝え、全員で達成に向けチームで努力しあう方針を採用している。この経営方針の背景には、お金を得るだけでなく、チームで問題発見から解決に至るプロセスの中で生まれる喜びを分かち合うといった、当事者意識を育む姿勢がみられる。これは、所謂「親方日の丸」な日本の林業界に対する永田社長の挑戦でもある。



図 49. 現場で活躍する高性能林業機械

#### [4] 山森の環境保全

##### 1) 伐採時における環境保全について

先に述べてきた通り、永田林業は高性能機械が使えるため、伐採単価は同業者の半分程度である。しかし、初期投資が多額のために、採算を合わせるためには量を取らないとまらない。効率を重視した伐採の場合は、皆伐が安価であるが、一帯を伐採してしまうため、景観破壊等の新たな問題が浮上してしまう。ならば間伐を行うのか、ということになると手間が増えるため、その分コストがかさんでしまう。コストを考えた場合、択伐も考えられるが、一般の業者が行うと高く売れる木ばかり切ってしまう、残された森は痩せこけてしまう。そこで、永田林業が取った選択は、帯伐という列をなした伐採方法である。この場合、木々の良しあしに関わらず、列単位で伐採するため、コストを抑えられるだけでなく、後の再植林や林地残材を出さないで済むというメリットがある。また、木の状態によっては全量をチップ加工することで、採算を合わせるなど適宜対応している。

##### 2) 伐採後の環境保全について

伐採後の森林管理に関しては、永田林業自体では再植林までの工程は請け負っていない。しかし他林業社と異なり永田林業では帯伐や皆伐適齢期の木々に対して以下のような対策を施しており、これらの事前確認により、持続可能な林業経営に努めている。

- 林地残材を極力出さないようにすることで再植林を行いやすい環境の整備を行う。
- 伐採に当たっては、事前に山持ちに対し再植林を森林公団の補助金等できちんとやるように、といういわば公団を交えた三者で合意しておくようにしている。
- 伐採地がそもそも国有林のため、再植林の管轄体制が整っている。



図 50. 作業現場の様子

#### [5] 林業が抱える課題

ここまで、永田林業が提唱する林業改革について述べてきたが、実現には次のようなクリアしなければならない課題がある。

- ・ 自治体や所有者が山林経営を学ぶ必要がある  
所有者の賛同があって成り立つ林業においては、伐採の適齢期や保育への姿勢が肝心であるため所有者がもっと当事者意識を持っていくことが望まれる。
- ・ 行政の協力が不可欠である  
例えば、県を跨いで林業を行う際には、よそ者が自分たちの山を開発に来たといったようなネガティブな意見が生じることがある。これは九州という土地柄でもあるが、よそ者への不信感が生じるのは自然なことである。ここで必要なことは、行政の一次産業への協力と資産の共有共存関係の形成である。

#### [6] 木質バイオマス発電への展望

木材チップ事業を行っている永田林業では、バイオマス発電にも意欲的だ。現在九州では木質バイオマス発電への新規参入が目覚ましい中で、原料となるチップの需要が急増している。中でもバイオマス利用が進んでいる宮崎では乱開発が進み禿山が増えて既に問題となっている。このような問題を起こしてはいけないと考える宮崎県を中心とした林業者が、「ひむか維森の会」を設立し、国の認証制度などの活用を始めた。永田林業も県外の業者であるが、その一員として林業業者としての責任を果たすために動いている。

今回訪問した目的である、水俣バイオマス発電については、林業の収入源を増やし、林業改革に繋がる機会であると考え、是非参画したいと考えている。参画にあたっては、発電規模が小さくなると、発電機の場所が多少変わると、林業の将来展望につながると一因になると考え、事業への意欲は極めて高いことが伺えた。

## 中間処理業者による燃料用ペレット生産に関するヒアリング ～吉永商店～

燃料用ペレットを生産する吉永商店に、2016年3月11日にヒアリングを行った。吉永商店は、生ごみ・下水汚泥等のリサイクルをおこなう中間処理業者で、水俣市のバイオマス燃料実験計画の際にペレット生成業者として実験に参加した。

吉永商店の年間取引量は1,000～1,200t程度であり、水俣・芦北・津奈木町から搬入されている。作業現場は、オートメーション化されておらず、3台のパワーショベル等を利用している。本的に中間処理機能で商売をしているため、如何に集めたものを減量できるかが仕事であり残りを堆肥等に加工し、安価で農家等へ220円/20lあるいは5,400円/2tで販売している。また、袋の工場にて2年前より0.5Mの太陽光発電を導入しており、九州電力へ売電している。

燃料用ペレットの生産では、原料は生ごみ・下水汚泥・鶏糞・おがくず等を使用し、発酵させたものをだいたい45日くらいかけて、切り返しやみずうちをして製品にしていく。加工はだいたい1tあたり1万円ほどの費用がかかる。事業計画当初は年間6万トンの供給を計画していた。

現在、代表が県議会議員を務めているため、地域雇用については積極的である。会社自体は約60名、平均年齢46歳くらいであり若者の雇用も行っている。また、若者の定着率も高い。

現在の課題としては、バイオマス燃料用に加工する機械はあるものの計画が止まっていることが一番先に挙げられる。水俣市はごみの分別は小学校からの環境教育もあり進んでいるが、それで満足せず、より積極的に新しいことに取り組むことが必要である。また、補助金等もあるが、書類の準備などが負担になり、自己資金があれば補助はうけないでやっていく方が事業が進めやすい現状がある。

## ドローンを用いた環境センシング

### [1] ドローンとは

2015年4月にドローンが首相官邸に落下する事件があり、ドローンの名が一躍注目されることになった。ドローンとは、自律運行ができる無人機の総称で、船舶なども含まれるので、必ずしも飛行するものだけを指しているわけではない。無人航空機は、UAV (Unmanned Aerial Vehicle)と呼ばれることも多い。また、ドローンは自律運行できることが、いわゆる「ラジコン機」と最も大きな違いであるが、この点については多々誤解されていて、常に人により制御をしなければならぬものは一般的にドローンとは呼ばない。近年急増してきたドローンやラジコン機による事故を受けて、政府は航空法を改正し、2015年12月に施行したが、国土交通省の解説では「ドローンとラジコン機等」というように並記をしている。一般的に市販されているものの多くは、GPSを使った帰還機能などはあるものの、ほとんどがラジコン機と呼ぶべきものである。

ドローンと呼ばれているもののほとんどが、ヘリコプタータイプのもので、プロペラが2つ以上あるものをマルチコプターと呼んでいる。安価に市販されているラジコン機を含め、4つのプロペラを持つものが一般的で、クワッドコプターと呼ばれる場合もある。さらに、プロペラが6つ、8つと多いものもあり、当然ペイロード（可搬重量）も大きくなる。個々のモーターの馬力を上げれば、クワッドコプターでもペイロードを引き上げることができるが、個々のプロペラにかかる力は大きくなるので、プロペラによる事故（怪我など）の危険性は高くなる。マルチコプターによる空撮が大きな関心を集めており、それ故に数々の事故が引き起こされているが、より

専門的な機材を搭載するためには大きなマルチコプターが必要になる。2万円以下の機種の場合、一般的にペイロードは、100g程度か、それ以下である。この程度であると、市販のデジタルカメラを搭載することも困難であるので、専用のカメラ（あるいはビデオ）を内蔵しているのが一般的である。10万円程度の機種であると、300～400g程度のペイロードがあるので、市販のデジタルカメラであっても搭載可能になる。ミラーレス一眼レフのようなより性能の高いカメラやビデオを搭載するためには、1kg前後のペイロードが必要となり、プロペラが6枚以上あるマルチコプターが必要で、価格も40万円以上と高価になる。ペイロードを上げようとする、機材が大形化し、自重自体が大きくなるので、それに伴って大きなバッテリーが必要となるため、飛躍的にペイロードは大きくならない。なお、最近のドローンブーム以前には、エンジンを動力としたヘリコプターが農業分野などで一般的であったが、機材は大きく、出力が高い分だけ危険性も高く、使用には長期間のトレーニングを要する。

ペイロードと飛行範囲、自動帰還機能、自動運行機能などは、独立したものであるが、一般的にペイロードが大きな大型機では、2km程度の大きな飛行範囲、自動帰還機能を備えている。1～2万円程度のラジコン機の飛行範囲は50m程度であるので、その違いは歴然としている。自動帰還機能とは、離陸した地点がGPSを使って把握されており、飛行中に機体を見失った場合に離陸地点上空まで帰還させる機能で、バッテリーが消耗し帰還できない可能性がある場合自動的に帰還モードになる機能を備える機種も多い。先に、自律的に運行できて初めてドローンであると述べたが、あらかじめプログラムした飛行経路を自律的に飛行する機能を持った本来のドローンは高価で、ここで扱う環境センシングを主な目的として利用されている。

先に、エンジンを搭載した無人ヘリコプターについて述べたが、現在ドローンやラジコン機といわれているもののほとんどは、バッテリーを搭載した電気モーターで駆動する。このような電動ドローンは手軽でコストも小さい一方で、飛行時間の短さが最大の弱点である。安価なマルチコプターでは、10分程度の飛行時間で、高価な機種になっても20分程度である。様々な条件でバッテリーを消耗させてしまう可能性が考えられるので、カタログに記載されている飛行時間を飛ばすことには墜落のリスクが伴うので、実際には半分から7割ぐらいの飛行時間となる。離陸と着陸に一定の時間を要することから、空中に滞在できる時間は短くなる。これが風の影響や気温が低いなどの気象条件が加わればさらに短くなる。この飛行時間の短さが、マルチコプターを用いた環境センシングの最も大きな障害である。

最後に、完全に自動運行させるのでなければ、操縦技術の習得が欠かせないことも大きな課題である。数々の事故が報道されていることから分かるように、マルチコプターの操縦には一定の習熟が不可欠である。基本的に有人のヘリコプターと原理は同じあり、機体の空力特性や気象条件などについて一定の知識も要するし、予想外の事態に陥ったときに、とっさに危険を回避する判断力も必要である。特に離着陸時に事故が起こる可能性が高く、機体が大きく傾いたような事態にすぐに対応できないと揚力を失い落下事故につながる。他には樹木や電線、建物といった構造物との接触や機体を見失ってしまうことによる事故が起こる。カメラなどを含め、200～300gの機体であれば、落下による危険性はそれほど大きくないが、カメラ等の機材と合わせ数kgの機体となると大きな事故につながる可能性がある。マルチコプターの多くはプロペラガードなどが標準、あるいはオプションで装着されているが、落下事故の際にはたいして役に立たない。一般的にヘルメットの着用などの安全管理はあまり進んでいない。操縦者のみならず、離着陸の場



所に居合わせる人々は、すべてヘルメットを着用することが望ましい。加えて、プロペラガードがあっても、プロペラによる怪我を避けるために、肌の露出を避けるなどの配慮も要する。

## [2] 固定翼のドローンを用いた環境センシング

本研究では固定翼型のドローンを用いた環境センシングを採用した。先にドローンについて解説したが、我が国では固定翼タイプのドローンはほとんど一般的に活用されていない。ラジコン機という意味では、古くから若干エンジンタイプのもが存在することと、農業においては農薬散布に用いられたりしてきた。一方、欧米においては UAV といわれるものの多くは固定翼型で、アメリカ軍が紛争地域での軍事行動に用いている RQ-4 グローバルホークなどが有名である。偵察活動以外に、攻撃能力も有する。高度な技術が結集された軍事兵器でなくても、安価で軽量の固定翼型のドローンも紛争地域の偵察活動に活用されている。

本研究で用いた固定翼型のドローンは、スイスに本拠を置く SenseFly 社の eBee という機種である。SenseFly 社はマルチコプタータイプのドローンを多数発売しているフランスの Parrot 社のグループに属する。eBee の本体は写真 1 の通りで、本体のほとんどが翼で構成されるような形状をしていて、翼の幅は 96cm、プロペラは本体後部に着いている。ほとんど発泡スチロールでできていて、カメラとバッテリーを搭載して 690g である。マルチコプタータイプに比べて軽量である。通常は、可視光のセンサーとして、Canon のデジタルカメラを改造したものが搭載されている。これは市販されているデジタルカメラとほとんど同じもので、SD メモリカードに画像が保存される。



写真 1. 調査に用いた固定翼型のドローン eBee

本研究で採用した eBee のような環境センシングを目的とした固定翼型のドローンは、近年いくつか発売されるようになってきているが、マルチコプタータイプに比べて、以下のようなメリットがある。

- 軽量であること
- 航続距離・時間が長いこと
- 広範囲のセンシングが一度に可能であること
- 操縦技術が不要であること
- 安全性が高いこと

固定翼タイプは滑空することができるので、マルチコプターに比べてそれほど強い動力を必要としない。よって、モーターは小さく、バッテリーの容量も小さくできるために、結果的に軽量になる。軽量でありながら、eBee はカタログ値で 50 分の飛行が可能であり、通常は 40 分以内で飛行計画を作成する。飛行範囲によるが、概ね 120ha 程度を空撮することができ、マルチコプターの飛行範囲とは比べものにならない。一度の飛行で広範囲を撮影できるので、日照条件の変化などをそれほど気にする必要がなくなる。加えて、あらかじめパソコン上で飛行計画を作り、後は離陸させるだけで、操縦する余地が全くない。後述するように、考慮しなければならない諸

条件はあるものの、技能の習熟は必要ない。これはマルチコプタータイプと比べて大きなメリットである。離陸は、写真 2 のようにモーターの起動後、手を放すだけである。原理は飛行機と同様であるので、向かい風を受けて離陸することが望ましい。飛行中は、飛行計画を作ったパソコンの上で、現在位置が常にモニターできる(写真 3)。これはパソコンと USB でつなぐ通信機で、eBee と通信をしているために現在位置と飛行の状況、バッテリーの残量などを知ることができる。機体とアンテナの間に建物などの障害物があると、通信が一時的に切れる場合があるが、飛行のコースはあらかじめ本体に転送されているので、飛行には全く支障がない。飛行中に指示を出すことができるのは、離陸地点に戻って上空で待機させたり、着陸の指示ができる。途中で帰還させる必要が生じるのは、風が強くなることや降雨などの気象条件の変化、そしてバッテリーの消耗が主なものである。なお、軽量で、出力が小さいので、落下やプロペラを触ってしまっても危険性が少ない。着陸は、着陸地点まで高度を下げ、2m ぐらいの高さで地面をセンサーが感知するとプロペラが止まり、水鳥が着水するように着陸する。滑空してきて落ちるような形となる。



写真 2. eBee の離陸の様子（撮影場所は福井県若狭町梅の里小学校）



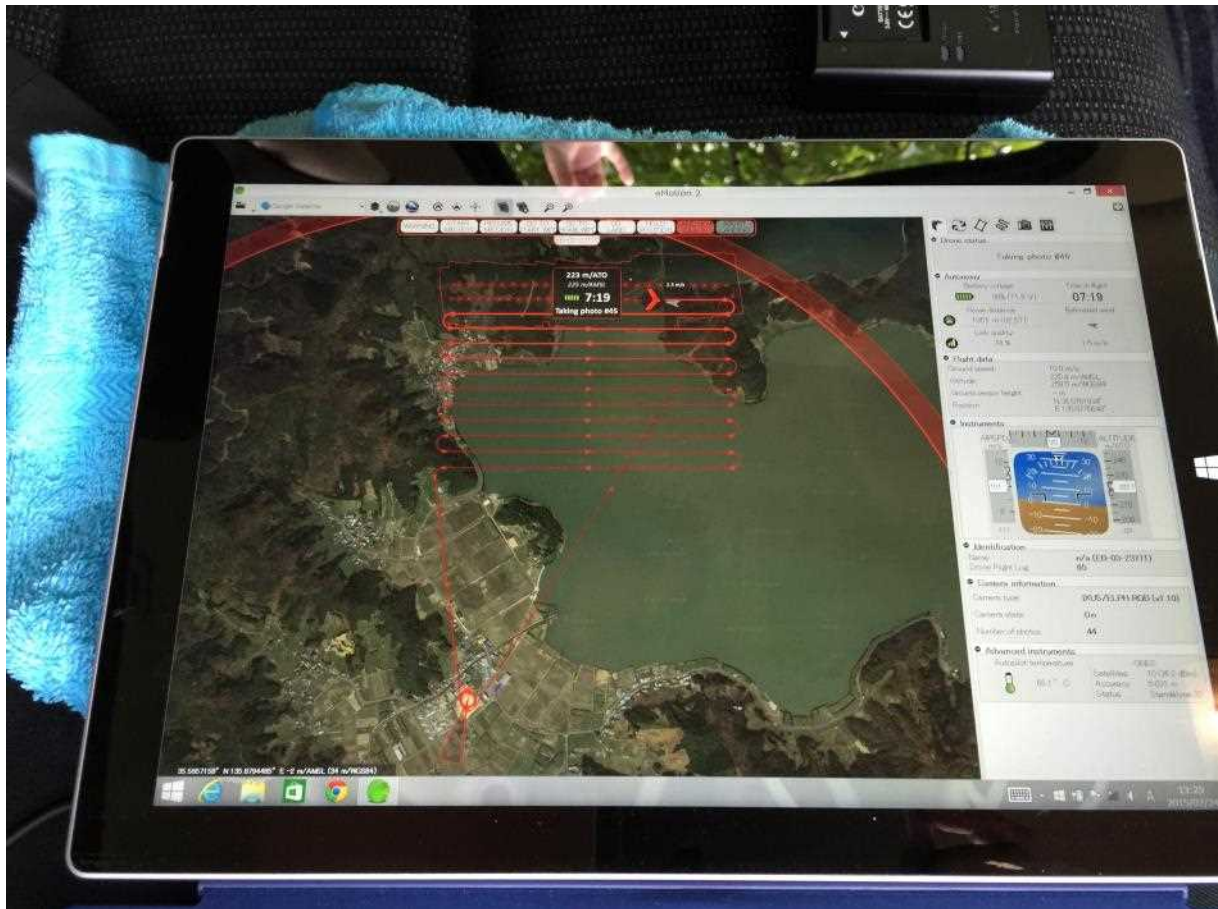


写真 3. 飛行中にパソコンにおいてモニターしている様子  
(赤い飛行機の形が現在位置で、線が飛行経路である。福井県三方湖を空撮したときの様子。)

eBee の空撮においては、離陸と着陸場所の選定に気をつけなければならない。離陸については、上昇し始めれば一気に高度を上げるので、それほど神経を使わないが、マルチコプターと異なり真上には上昇しないので、進行方向に立木や建物、電線がないことを十分に確認する必要がある。また、先に述べたように風上に向かって離陸させる方がすぐに風をつかみ上昇しやすい。風がある場合は、人の手の高さから離陸させても十分であるが、無風の場合、あるいはやむを得ず追い風の下で離陸させなければならない場合は、写真 2 のようにある程度の高さを確保してリリースした方が安全である。ただし、離陸に失敗し地面に接触しても、自動的にプロペラは停止するので、機体を損傷することはほとんどない。プロペラはモーターと輪ゴムで固定されているので、過度な力がかかれば、すぐにはずれるようになっている。しかし、着陸時に落下することもあり、プロペラは消耗品で一定の回数を飛行すると欠けたり、折れたりする場合がある。一方で、着陸には十分な注意が必要である。eBee は GPS により位置を把握し、飛行し、着陸する。GPS の精度が 5m 以下であると、そもそも離陸自体ができないが、ある程度の誤差があることを前提に着陸場所を選定しなければならない。通常の飛行機と同様に、着陸地点に向けて高度を徐々に下げなければならないので、進入方向に立木や電線などが無い場所を確保しなければならない。加えて、向かい風で着陸する方が安定して着陸できる。このような条件を考えると最低でも 50m×50m ぐらいの開けた土地が確保できることが望ましい。学校の校庭などは理想的であるが、校舎や樹

木、照明などが周囲に存在するので注意が必要である。着陸地点は大きな石などが露出しておらず、水たまりなどがない場所が望ましい。しかし、多少の石やススキなどの植物などがあっても、2m ぐらいでプロペラを止めて落下するので、それほど支障はない。防水ではないので水面に落ちないように配慮が必要である。風の条件によって、着陸位置は進行方向に向かって前後する。よって進入路方向にはできるだけ開けた空間が確保できることが望ましい。また、軽量の機体であるが、人との衝突の危険もない場所を選ぶことは言うまでもない。

一方で、マルチコプタータイプに比べて、デメリットもある。動画が撮れないことと風の影響を受けやすいことである。マルチコプターはそもそも動画を撮影することが目的の利用者も多いが、プロペラによる振動や風によって機体がおおられるため、ジンバルという機器を装着しており、常に一定の方向にカメラやビデオのレンズが向くようにされている。よって、スムーズな動画を取得できるし、静止画もぶれが少ない。このジンバルが機材を重くすることにもつながるが、固定翼タイプではジンバルを通常装備していない。よって、動画の撮影も一般的に想定されていない。そのことにより、風の影響を受けると撮影される画像は鉛直方向ではなく、ずれてしまうことになる。eBee では、カタログ上風速 12m/s まで飛行が可能であるが、安定した撮影のためには、経験的には風速 5m/s 以下、さらに風はないに越したことがない。2~3m/s の風速であれば、極めて良好な直下の画像が取得できるが、好条件に合わせて撮影するのはなかなか困難である。しかし、マルチコプターであっても、風は飛行に大きな影響を及ぼす、ジンバルによって飛行中の撮影にそれほど支障はなくても、離着陸に風の急な変化によって事故を起こす可能性は高くなる。なお、ジンバルがないため eBee では直下の画像を常に撮れるわけではないと説明したが、プロペラの振動も撮影の妨げになる。eBee ではプロペラによる飛行と、プロペラを弱めての滑空を繰り返しているようで、撮影の際のプロペラの振動をできるだけ避けていると考えられる。これは、バッテリーを長持ちさせることにもつながると言える。

マルチコプターを含め、多くのドローンは様々な機材をペイロードの範囲で搭載できることがメリットである。eBee は専用のセンサーしか搭載できないが、それでも可視光に近赤外線を加えたマルチスペクトルセンサーや、赤外線センサーを搭載することができる。今回の調査では用いていないが、マルチスペクトルセンサーは、植生のタイプや活力度を把握するのに適している。赤外センサーでは、地表の温熱環境のモニタリングが可能である。eBee には農業専用の機種も存在し、広大な農地の中で生育が悪い部分を抽出し、肥料の投入や灌水の目安とするような活用がされている。

eBee では、撮影も自動で行われる。一般的な飛行機による空中写真と同様に、一枚一枚の画像が 60% ずつ重なるように撮影される。このことにより、すべての画像を合成したオルソ画像を生成できるほか、地表面の凹凸をモデル化した DSM (Digital Surface Model) を作成できる。このような画像の取得をするのは、ラジコン機のマルチコプターでは極めて難しい。動画から静止画を切り取ることは容易にできるが、解像度が低くなる。静止画を撮影する場合、画像の重なりを考えて撮影の指示を出すには、かなりの習熟が求められるだろう。解像度の高いオルソ画像を簡単に取得できるのが、eBee の大きな強みで、デフォルトである地表面から高度 130m で撮影すると、1 画素が 4cm 程度であるとのことであるので、飛行機により撮影する空中写真に比べても大きな利点となる。

### [3] 水俣市における固定翼型ドローンによる空撮

2016年2月7日から9日かけて、水俣市内において固定翼型のドローン eBee を用いた空撮を行った。空撮は、主に共同研究者一ノ瀬友博が一人で行ったが、愛林館の沢畑亨氏、水俣市役所の山根悠也氏の協力を得て、対象地を選定した。2月7日午後に久木野地区の棚田、8日午前は無田湿原、9日午前之宝川内集地区を撮影した。本調査期間は、天候には恵まれたものの冬型の気圧配置が強まり、徐々に風が強くなるような気象条件であった。

久木野地区の棚田を空撮し、合成したものを図 51 に示した。画像の合成には、PhotoScanPro を用いた。eBee による空撮では、先に述べたように撮影コースに沿って 60% の重なりを持って画像が取得される。この空撮では 30 分弱の飛行で、約 200 枚の画像が撮影された。この画像に対し、eBee に付属する撮影計画を作成するソフトでもある eMotion2 というソフトを使って、撮影画像と位置情報のデータをパソコンに取り込んだ。本調査ではバージョン 2.4.9 を用いた。

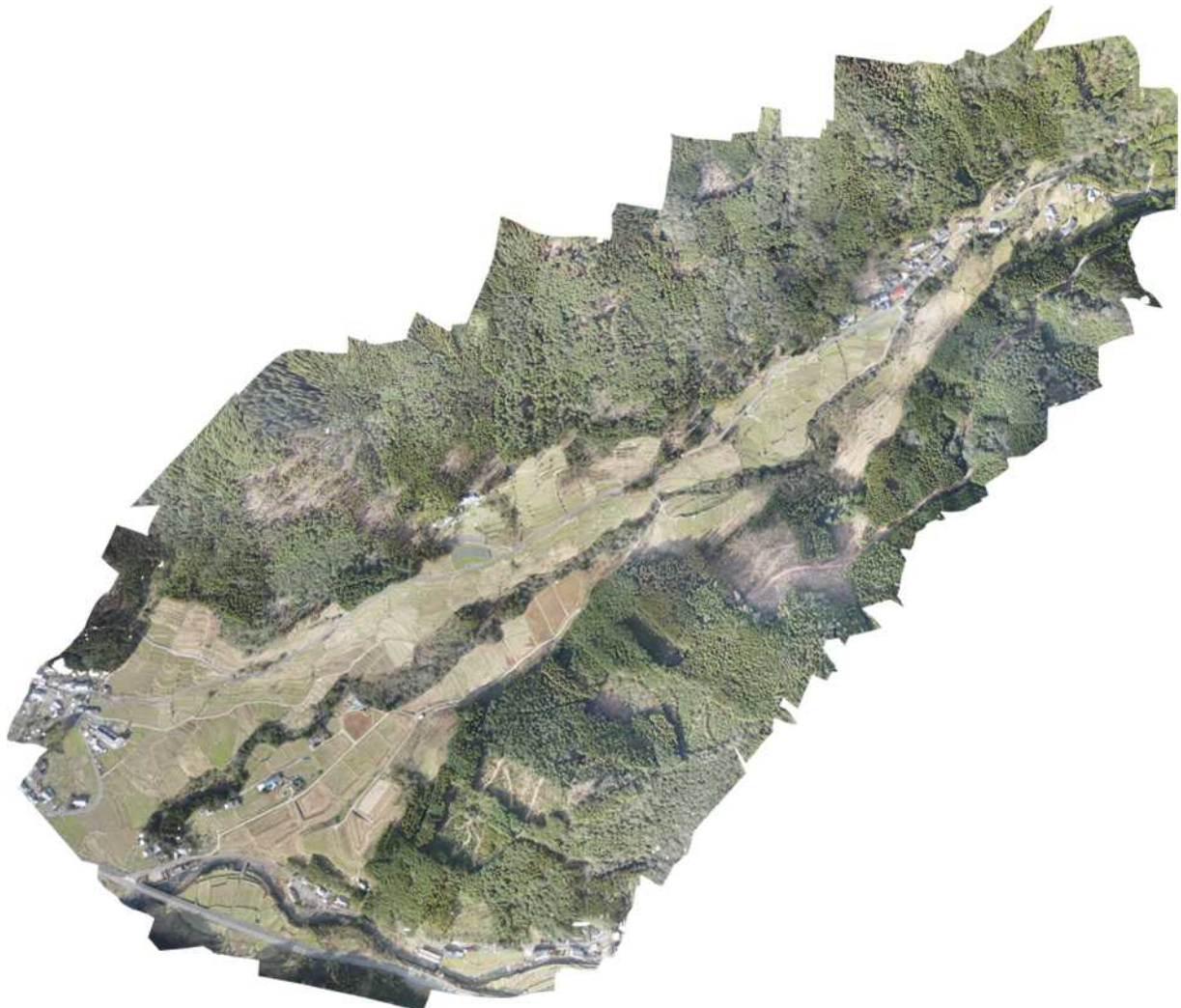


図 51. 水俣市久木野の棚田の空撮画像

PhotoScanPro は画像の合成を行う汎用ソフトで、このような空撮画像の合成以外に、彫刻などを周囲から撮った画像に基づき 3D のデータを構築するような場合に用いられる。本調査では



バージョン 1.2.3 を用いた。画像の合成はいくつかのステップに分けられるが、それぞれ精度や画像の品質などが選択できる。久木野地区の空撮で 200 枚の画像を使い、最高品質で合成すると、1GB 以上の合成画像が生成される。この合成には処理能力の高いパソコンが求められ、Apple 社の MacPro の 6 コアのモデルであっても、合成画像を出力するまでに 24 時間以上を要する。しかし、先に述べたように通常の場合 4cm ぐらいの精度で画像が取得されるため、畦畔の植生などについても被度が容易に判別できる。

PhotoScanPro では様々データを取り出すことができる。通常は、位置情報を持った Geotiff 形式で合成したオルソ画像を生成するが、Google Earth の kmz 形式でもデータを出力できる。この形式であればそのまま Google Earth に取り込み、衛星画像の上に貼り付けることができ、さらに高さのデータを保持しているため、斜めからの視点で画像を見ることができる。図 52 は Google Earth からのスナップショットであるが、久木野の棚田が細い谷間の地形に形成されていることが簡単に理解できる。Google Earth で公開されている衛星画像も近年は非常に高精度であるため、重ねただけでは精度の違いをそれほど感じないが、拡大してみると精度の高さを認識できる (図 53)。なお、この久木野地区の棚田を空撮した際は、風速が 5~6m/s 程度であった。必ずしも良好な条件ではなかったが、風の影響により画像が傾きマッチングができないようなものはほとんどなかった。よって、周縁部を除けば、良好な合成画像を得ることができた。



図 52. 取得した画像を kmz 形式に変換し Google Earth 上に取り込んだ様子



図 53. eBee による空撮画像と Google Earth の衛星画像の比較（ただし、取得した時期は異なる）

図 54 は無田湿原における合成画像である。2 月 8 日の午前中に空撮を行ったが、地上ではほとんど風を感じなかったにもかかわらず、上空では 7~8m/s 程度の風速であった。このような風速になると、機体が傾くことによりマッチングができない画像が出てくる。また、風速が強くなると機体が流されて、それを常に補正しなければならなくなるので、バッテリーの消耗も早くなる。合成画像は複雑な形になっているが、周縁部の画像でマッチングができないものが多く、合成ができなかった。また、画像の左側（西側）では、道路や畦畔が途切れている様子が見え、風の影響もあり合成が上手くなされなかったと考えられる。無田湿原は標高も高く、周囲に遮るものもほとんどないため、上空の風がかなり強かったと思われる。図 55 は kmz 形式のデータを Google Earth に取り込んだスナップショットで、無田湿原を北側から望んでいる。水俣市周辺の地形は、谷が深く斜面は急峻であるが、尾根部の地形は緩やかな山地が形成されているが、緩やかな地形上に無田湿原が形成されている様子が良く分かる。湿原の周囲の植林地を拡大してみると、2015 年 8 月の台風 15 号による強風でなぎ倒された針葉樹があちこちに判別できる（図 56）。ドローンを用いた環境センシングは、災害時に大きな威力を発揮することが知られているが、洪水や土砂崩れといった規模の大きなものでなくても、eBee のように広範囲に高精度の画像が得られれば、植林地の倒木の判別も容易に行える。





図 54. 無田湿原の空撮画像



図 55. 無田湿原の空撮画像を Google Earth に取り込み北側から見た様子





図 56. 2015 年 8 月の台風による倒木（ため池の右側に複数の倒木が見られる）

2月8日は次第に風が強くなり、午後は撮影を断念した。風速が強くなることは、撮影の品質に関わるのはもちろんのこと、着陸の際に強風にあおられるなどのリスクも高まる。マルチコプターのように墜落の危険性はそれほど強くないが、横風の場合には着陸予定地点から大きく流される可能性が高くなる。2月9日は朝から風が強かったが、宝川内集地区で2003年の土砂災害被災箇所の空撮を試みた。

宝川内集地区は、2003年7月19日からの豪雨により7月20日の早朝に集落の上流で表層崩壊が発生し、集川の上流を堰き止め、その自然ダムが決壊して土石流によって大きな被害を受けた。死者は15名に上り、全壊13棟、半壊2棟の甚大な被害となった。19日の朝から災害が起こった20日の早朝までの累積降水量は300mmを超える猛烈な集中豪雨に襲われた。発生が深夜から早朝であったことと、豪雨のため崩壊の音や震動、河川の変化などに住民が気づくことができなかったと推察される。今回の空撮の優先地域の一つであったが、あいにくの強風に、朝から靄がかかったような天気であった。図57が合成した画像であるが、集川と宝川内川が合流する集落の下部にあたる地域ではそれほど風はなかったが、表層崩壊が起こった上流部までドローンが上昇すると風速は10m/sを超え、飛行自体が危険なほどの風速であった。その後も風の強さが弱まることもなく、予定の4分の1程度の範囲の撮影で、既にバッテリーが半分程度に消耗してしまったため、撮影を中断してeBeeを帰還させた。図57の画像は靄がかかり白っぽくなっている上に、マッチングできない画像が多々あったため、穴が空いたような画像になっているが、被災後の復旧で建設された砂防ダムと中央部には崩落した後に植栽された樹木の様子が良く判別できる。図58はGoogle Earthに載せた画像であるが、崩壊地は良く分かるものの画像全体が白っぽくなり、あまり分かりやすいものではなかった。



図 57. 2003 年に宝川内集地区に甚大な被害をもたらした表層崩壊の跡  
(中央に見られる低木が多い部分)



図 58. 崩壊地の画像を Google Earth に載せた様子  
(撮影範囲外であるが下に見えるのが甚大な被害を受けた宝川内集地区である)

#### [4] ドローンによる水俣市の環境センシングの考察

ここまで述べてきたように、2015年度は固定翼のドローンである eBee を用いた環境センシングの予備調査を水俣市で行った。冬季で、かつ風の強い状況下での空撮となったが、ドローンによる環境センシングの有効性が明らかになった。以下の4点にまとめることができる。

- ・ 高精度の空撮画像が、容易に（実質1名の調査者で）取得できる。
- ・ 危険性が少なく、必要に応じていつでも撮影ができる。
- ・ 広範囲の環境センシングが短時間で可能である。
- ・ 容易に近づけない場所であってもセンシングできる。

近年防災分野でのドローンの活用は自治体を始め、様々な団体で注目されている。被災直後であっても、気象条件が許せば空撮を行うことにより、被害の詳細を把握することができる。アメリカでは、ヘリコプターを使った救助活動に、個人によるマルチコプターを使ったドローンの撮影が悪影響を及ぼしたことが報道されており、日本でも同様の懸念が示されているが、救助活動などが終了した局面ではすぐに活用できる。eBeeのような固定翼のドローンでは一度に正確な空撮が行えるので、そのメリットは大きい。また、大規模な災害時ではなくても、植林地の倒木被



害や伐採跡地での小規模な浸食の有無など、細かな変化もモニタリングでき、また人間が立ち入るには困難、あるいは危険な場所であっても、容易に取得できる。これは、地形が急峻で多くの植林地を抱える水俣市にとっては、特に大きなメリットとなる。

2015年度は試行的に3箇所の空撮を行ったのみであったが、2016年度は木質バイオマスの活用の視点から、植林地、特に伐採跡地のモニタリングを行う。また、マルチスペクトルセンサーも活用して、樹木の生育状況についてもモニタリングを試みる予定である。

## マイクロ水力発電

水俣市域にある寒川水源においては、今年度からマイクロ水力発電が開始される。今回視察をおこなった3月1日はちょうど発電設備の検査の日であり、見学はできなかった。しかし、個人で発電を行っている市民の話聞くことができたので、その施設を中心に調査結果を述べる。

### [1] 寒川水源

寒川水源は地下水が湧き出ている地点であり、1年を通して安定した水温、湧水量が保たれている。愛林館の館長である沢畑氏のお話でも大雨や晴天続きの後でも湧水量の変化はほとんど見られないとのことから、山に吸収された水は相当な時間をかけてこの水源に湧き出てきていると考えられる。この水源から湧き出た水は近くにある棚田に使われたり、そのまま久木野川へと流れていき、久木野川は最終的に水俣川に合流する。寒川水源では流しそうめんが有名であり、水源の近くでは寒川水源亭という流しそうめんが出来る店がある。水源の水は、癖のないものであった。1年を通して同じ温度とのことで、視察当日は、水が温かく感じられた。(熊本県, n.d.)

### [2] 寒川水源のマイクロ水力発電

まず、マイクロ発電には明確な定義は存在しない。一般的には、200kW以下の水力発電を指す。多くのマイクロ水力発電機は水車の原理を応用したものが多く、場所を選ばず、一定の水量が保たれた状態であれば発電が可能であり、また環境にも配慮された発電である。

寒川水源のすぐ下流において、新しい取り組みとしてマイクロ水力発電機が設置された。調査に行った3月1日は、検査の日で、見学もお話を伺うこともできなかった。

後ほど聞いた話によると、寒川水源の発電量は平均して1.5kW、最大で3kW程度の発電が見込めるとのことであった。まだ実験中の施設とはいえ、平均1.5kWとなると一部の電化製品を動かす事しか出来ない。この発電量では、1軒の家庭のピーク電力を賄うのは難しい。そのため、家庭向けに利用することは難しいと考えられる。水力なので、ある程度の安定した電力供給がcaうではあるが、より安定させるためには、蓄電池との組み合わせが必要となると考えられる。また、このマイクロ水力発電所の所有者らは、九州電力に電気を販売することも視野に入れているとのことであった。現在、九州電力では1kWあたり税込み36.72円で買取を行っている。平均1.5kWの発電量として年間約30万円程の売上となる。

### [3] 個人所有のマイクロ水力発電

一方で、地元で独自に水力発電をされている3名の方にお会いすることができ、ヒアリングを

することができた。同発電設備のオーナーである有限会社村川の村川幸治氏は、もともと久木野川に簡易なダムを個人所有しており、そのダムからの水力を用いて、石臼で小麦を製粉していたとのことである。ダムの様子を図 59 に示す。このダムは、戦前の昭和 12 年に建造（図 60）されたものであり、現在ではこのように川をせき止めてダムを作ることは許されない。このダムを使った製粉機の石臼を取り外し、発電機を取り付けることによって、マイクロ水力発電機を動作させていた。



図 59. 個人所有のダム



図 60. ダムを使って水車を回したことの記念碑

この発電機も水車を応用した作りで、仕組み自体はとても簡単であった。流れる水が水車を回し、その上に取り付けられた発電機が回転し電気を作っている。発電機の様子を図 60 および図 61 に示す。



図 61. 水車の上に取り付けられていた発電装置





図 62. 発電機全体の構成

現在、ここで発電された電気は、すぐ横にある建物で使われている。その建物は2階建てになっており、1階は倉庫のようなもので冷蔵庫があり、主としてその電源として使用されたこともあった。この地域ではそうめんが有名であり、その建物でも昔はそうめんを作っており、材料やそうめんを保管するために建物の1階部分が冷蔵庫になっていたとのことであった。今では物置になっているそうだが、水車で作られた電気はその冷蔵庫を動かすために使われたこともあった。

ここでは、マイクロ水力発電をよりよいものにするために、様々な試行錯誤が繰り返されていた。発電した電気を消費して発電量を計測するために、自作のヒーターが設置されていた(図 63)。



図 63. 電力を消費中のヒーター

現在、このマイクロ水力発電にはいくつかの課題が存在している。その1つは、連続稼働にむけた技術的課題である。当然ながら、発電機の稼働中はシャフトや発電機本体を含め、全体が稼働しなければならない。しかし、その一部であるベルトなどに耐久性の問題があり、監視をする必要があるが、それができないとのことであった。また、寒川水源の発電機同様に九州電力への売電を検討・相談しているが、個人所有の水力発電という例がなく、申請が全て協議ベースとなっており、時間がかかることが問題となっていた。

#### 再生可能エネルギーに関する意見交換会

水俣市域およびその周辺における再生可能エネルギーの地産地消の可能性を探るべく、ステークホルダを集めて、「再生可能エネルギーに関する意見交換会」を開催した。開催概要は以下のとおりである。



開催日時：2016年3月10日 14：00－16：00

開催場所：水俣病情報センター2階講堂

参加者数：計13名（内地域関係者10名：慶應2名：水俣市1名）

議事次第：

1. 自己紹介兼再生可能エネルギーとの関わり合いについて
2. 水俣市で再生可能エネルギーを活用していく場合にあっての問題点
3. 地域の利益に繋げるために留意すること 等
4. 市役所・国・金融機関に望むこと
5. その他

会議においては、はじめに趣旨説明として、慶應義塾大学と水俣市の関係の説明をした。慶應義塾大学の2学部1研究科は水俣市との連携協定を2015年2月に締結しており、今後、アカデミアとの連携や市域での様々な活動に参加したい旨を説明した。

その後、小林教授より自己紹介として、環境省時代から現在に至るまでの経緯を説明し、山林関係、再生可能エネルギー関係に尽力したい意思を説明した。「再エネとの関わりでは、水俣市ではまだまだ未利用の森林資源が賦存はしている。なお、自分が役員を務める会社の働きから見ると、水俣で行うのは森林経営上では確かに難しいと思う。役員を務める会社でやっているのは、東北の山であり、傾斜がなだらかで6MWの発電用のバイオマスを提供している。一方で水俣でも、計算上では2MWくらいの発電のためのバイオマスなら切り出せるという計算はしている。森林バイオマスでも使い尽くしているわけではない。他の再生可能エネルギーではJNCが7割程度の電力を売っている（これは数字だけなら水俣市分は賄うことができている）。電力を使うに際しての系統問題や原発問題等はあるが、再生可能エネルギーを受け入れる体制が整っているわけではない。使えるものはあるが使うのが難しいというのが水俣ではある。2030年のエネルギーミックスでは再エネを使わないといけなくなっている、一方で再生可能エネルギーの設置量はまだまだである。出来ることなら水俣でも使っていけないといけない。賦存量はあるが使いにくいという反面、社会では使わないといけない。その中でどう使っていくことができるかをここで話していきたい。」といった趣旨を説明した。

次に参加企業からの自己紹介となった。自己紹介の内容は概ね下記のとおりである。

A氏

会社としては生ごみを始めとしたリサイクル関係。分別した生ごみを中間処理場でたい肥化する業務を15年くらい行っている。以前は、焼酎廃棄瓶のカイギョウトウキ事業を行っていたがH23から陸上処理に変化していく中で生ごみの分別事業にもチェンジしていった。3年前から自社建物で太陽光発電を行っている。

粉黛から2年前から水俣市のバイオマスの研究で燃料のペレット作成に成功した。

B氏

寒川水源亭の小水力発電会議にも携わっていた。再エネに関しては、水俣市が3年前から3銀

行で水俣グリーン制度を創ったことでグリーン保障制度に則った利息を補助してくれたことから、太陽光への融資は多く行ってきた。保証料も全額市からの補助がでていた。なお、現在は太陽光発電に関しては、規制の問題がでてきたため融資が減ってきた。(最盛期は1億8000万) 他エネでは現状ではほとんどお客さんが来ていない。

#### C 氏

S10-12にかけて自宅で水車を保有し、30年前に発電機を取り付け7kWの発電を行っている。5kW-7kWだと中途半端で維持管理をする気にはそこまでならない(維持管理するなら100kWくらいから)。管理に関しては発電量によってそこまで変わらないとおもう。費用対効果を考えると小さいと使いにくい。

自家用として電熱器と照明に活用している。土石流があった際に発電機が道路に埋まり壊れてしまったため、市から発電機を寄付してくれないかと打診。夜の発電分は日本一長い運動場へ寄付するからといった打診をしたものの良い返答をもらわなかった。現在壊れた水車はばらして鉄工所で最新の者に変えて順調に動いている。

仕事は米・麺・焼酎かす処理等を行っている。焼酎用のこうじまいや畜産用の餌。出水の和牛の餌。出水のまるいさんに燃料を入れている。鶴の餌も行っている。鶴の餌170-180tがワンシーズン。

#### D 氏

森づくりを行っている。木は小さいが現在進行形でバイオマス材料をつくっているようなものです。職場では太陽光パネル1枚と小型バッテリーを用いた小さい自家発電をつくる講座を行っているが好評である。バイオマスエネルギーは小規模に使っているが、資源はあるものの使える状態にするまでにするのは難しい。バイオマス発電に関してはちょうどよい大きさを見極めるのが難しい。炭は燃やさず田畑に飢えて土壌改良に使っている

#### E 氏

制度現場をみていた。動力分野での経験はないが、総務として発電所見学等の案内をすることがふえてきた。水力発電はすでにあるが太陽光の設置も増えてきている。ソーラーは系統に戻してFITで運用している。(以前はユーティリティー部門で扱っていたが、現在は安い値段で売っている。)新しい法律に合った体制の発電方法を模索し、電気を製品として扱う電力事業部になっている(まだ認可はもらっていない。50Hzなので変換等が大変である。それに比べて九電は質が良い。機械の脆弱性からも供給責任の観点からまだむずかしいという現状)

バイオマスに関しては、県南企業の日本化学合成でもバイオマスをやっているが、燃料の手配を懸念していた。

#### F

林業事業者で、バイオマスをやっている。現状では働いても利益にならないのがバイオマスの現状である。売値が他のところに比べると安く、投資してまで増産する価値がないのが現状である。

## G 氏

林業・加工・製材をやっている。バイオマスは今後を考えるといいのではないかな。中国の発展により今後はバイオマス材にも期待ができるのではないかな。おがくずが畜産関係で間に合わなくなってきた。長嶋ファームという豚舎があるが、6万頭の家畜に対して100tの餌を与えるため、来年以降メタン装置からのバイオマス発電を企画している。(敷料単価を下げるためにメタンガス発生装置を)

仕入先は半径50km未満で行い2万5000tくらい

## H 氏

製材所経営。昔は住宅棟で消費が多かったため、国内産だけでは賄えなかった。一方で木材の関税が撤廃されて安い外材が入ってきたため、国内の小売り単価が外材に太刀打ちできなくなった。現状として、植林して50年かかる中で、その間は間伐をしても利益は経費として相殺して手元には残らない。50年立った時ようやく収入が出る中で、今の単価では業者さんへ売って裸の土地に植えて5年で50年生の山と交換したようなもの。つまり50年ものの利益はその後の5年間の経費で消えてしまうということ。山林面積で考えると回るが、林家からでは先祖が植えた木を売って回すだけでは到底不可能である。50年モノは粗利があって植えていたが今では商いとして考えるとむり。耕地面積だけで考えても利益から考えて植林もせずに荒廃していくところが増えていくと考えられる。林家としては、山を持っていたら銀行に預金するよりも良い投資と思える仕組みが出来ればいいが。

また50年モノを伐採する中で、切った後は荒廃していくがだんだん山に木がなくなってきた場合は孫たちに影響がでてくるから回避できるような安定的に供給できるようなサイクルにできればいいと思う

## I 氏

育林・収穫。バイオマスが出てきて木材の需要が増えてきたが供給するための人材と価格が追いついていない。特に林業の場合は補助金を利用して育林が可能になっている中で、A材の価格が落ちているため、その改善がほしい

## J 氏

3県に工場を構え、木くずの産業廃棄物の処理を行い木質チップの製造を行っている。現在は発電所への供給をメインに行っている。1月から津奈木町のほうへ集荷ヤードを構え受け入れを行っている。

設置の状況を考えると、ロジスティクスが課題である。買取金額の観点から地域に還元できていないと感じている。地域に近い発電所が出来れば仕入れ金額にも反映できると考えられるが、鹿児島に現状チップを卸しているため、反映できていない。現状の買取価格が自社利益も含めぎりぎりである。バイオマスは正直薄利な事業であるなかで、林業振興や地域振興という面で水俣での放置竹林等を活かして事業を大きくしていければと思う。

K 氏

チップを供給する場合は使えないものを使い、段階的に使うことが必要。C材以下の需要が多くなり適正バランスが保たれていない。合板企業としてはB.C材に需要があるが、チップ部門が侵食は脅威であり、現状のまま進むと困る。長期的にはなるが人材育成や森林資源の川上川下の解決策、および情報共有を図っていき適正なバランスを決めることが重要であり、その先でバイオマス発電事業が出てくるのではないか。

引き続き、水俣市での再生可能エネルギーを活用する場合の問題点について議論した。議論の中では次のような意見が出された。

- 規制の問題があり、保証協会含め扱いを減らしている。客も採算が合わず来ないのではないか。まず見通しが立たない。急に止められるなどのリスクがあると稼働率が読めず採算があわなくなってしまう。
- 系統接続でなく、自家消費を行うという選択肢はないか。家庭用は今でも問題なく、融資要望の相談がある。家庭の場合は、住宅ローンにのせて出ている。
- 水俣市において、そもそも商店はあまりないし、潰れてしまっている。商店での利用は難しいとかがえられる。
- 太陽光発電などは、簡単に発電できる。しかし、小規模なものは自家消費は可能でも事業化は考えていない。
- 補助金をもらってやってみたこともあるが、報告書が重荷である。自己資金があるなら民間はそれを使いたい。
- 蓄電設備が安くなれば可能性がでてくるのではないか。規制の問題も緩和できるし。まずは市場がやすくなってくればよい。
- 工場利用の電気はもとから安いこともあり、再生可能エネルギーでは採算が取りにくい。
- 再生可能エネルギーを使えというのに、契約の仕方が不自由な点も改訂の必要がある。
- 太陽光を使う場合、水俣は不利。出水とかに比べると2時間くらい不利になる。山を伐採した後にしければいいが、昔の飯山はだいたい北向きになっている。条件が不利である。山を太陽光発電に使うのであれば、バイオマスを考えたいほうが良い。
- 竹林は取り扱いが難しい。竹は中空であるため、効率が悪い。炉の構造的にも不便である。竹は熱量が高いため炉を悪くしてしまう。成分の都合上、灰が多く出してしまうため、現状受け取らない。山以外でも竹が迷惑になってきていて着る側も産廃としてしか処理できないのが現状。そのため竹のリサイクルといった面で再利用や制度が必要。
- 竹は運搬費がかさむ。滑るので取り扱いが難しく、単価も安い（竹 1t = 7,000 円程度）。山元でチップにしてしまうにも、場所の条件が整う必要がある。
- 共同投資によって機械化すれば採算がとれるかもしれないが、それにしてもまずは人材が必要。また、水俣の地形では機械の活用が難しい。
- 温度管理が可能であれば、ハウスの暖房にチップを利用できる可能性がある。
- 安くチップにすることができれば、森林の活用も進む可能性がある。
- 山の管理を安くあげるには薬方式の採用も視野に入れるとよい。

- 材料需要によって単価の変換や作り方のシフトをしていくことが必要。時代に合った植林ができればいいが、採算が合うかどうかのデータがないことが問題。
- 天然林の刈り取りだけでは環境インパクトとしてはあまりない。切ってほったらかしておいても株が残っておけば生物等にも影響はすくない。
- バイオマス発電の熱利用については、病院あたりにも熱需要は見込める。

以上のように、水俣市域における森林の活用の難しさが浮き彫りになった。一方で、ステークホルダの横の連携が不十分だったという側面もみえる。今後もこのような会議を継続することにより、森林関係者のコミュニティから森林活用の方策が見いだせる可能性がある。

### (5) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

(馬奈木, 2016)では、優れた持続可能性指標として注目される新国富指標（新国富は自然資本、人的資本、人工資本から構成される）を用いた地域への応用評価およびその結果から得られる地域の持続可能性の実態を検討すべく、水俣を事例として詳細な計測を開始している。

本研究では水俣市の特徴である「環境」に着目し、新国富指標を構成する上記の3つの資本のうち最も環境と関連する自然資本の計測を開始する予定である。具体的には、森林資源、農地資源、水産資源、鉱物資源の4項目にわたる自然資本に関するデータを、公開データおよび水俣市役所からの提供データを基に収集・整理し、それらを基に自然資本の価値を試算するのである。その際の課題を洗い出すために、まず水俣市の自然資本の概要を把握することが肝要である（図64）。

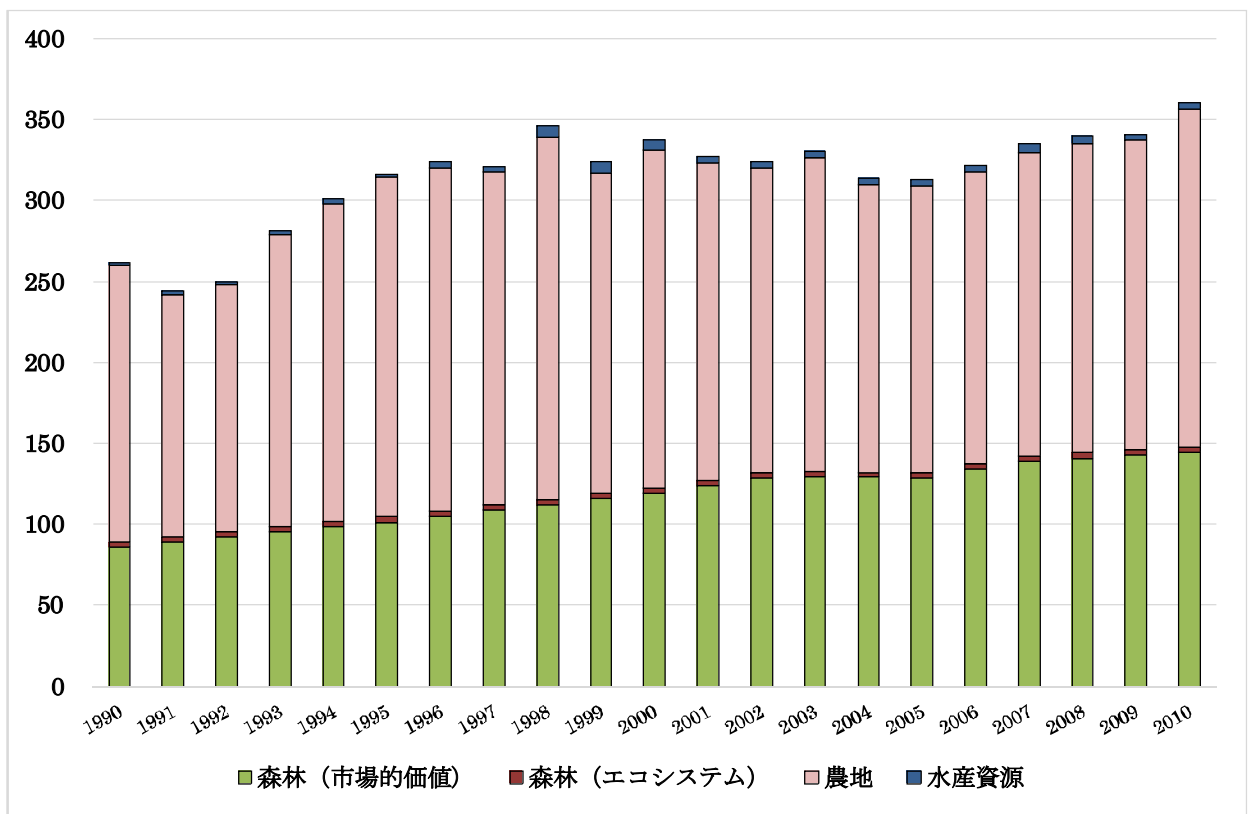


図 64. 水俣市の自然資本の構成要素（億円）出典：（馬奈木, 2016）

図 64 から全体的に、35～40%を森林資源に、60%近く農地に依存する構造になっていることが読み取れる。森林資源は91年頃から増加傾向にあり、99年から2004年まで停滞していたが、2005年以後また増加に転じている。また、農地資本の価値は一貫して増加傾向にある。増加率で言えば農地資本の方が自然資本の増加に貢献しているが、森林資源も、その豊富なストックを背景に自然資本の増加に貢献している。ただし、森林資源のうち市場的価値以外を表すエコシステムの価値がかなり小さい点は見逃せない。図 65 に示した熊本県の新国富指標の水準で言えば10%程度を構成しても良い資本であるが、現状数パーセントにしか相当しない。水俣市の東部に広がる森林地帯が人材不足などの要因で適切に管理されておらず、放置されているためエコシ



システムとしての機能を低下させている点を示唆するものである。農地に関しても同様に耕作放棄地の問題が指摘されるが、全国的な問題であり、その解決は中々難しい。水俣市では他の自治体で行われている通常レベルの管理を森林資源に対して施す方が効率的に自然資本の価値を向上させることができる可能性があるのである。

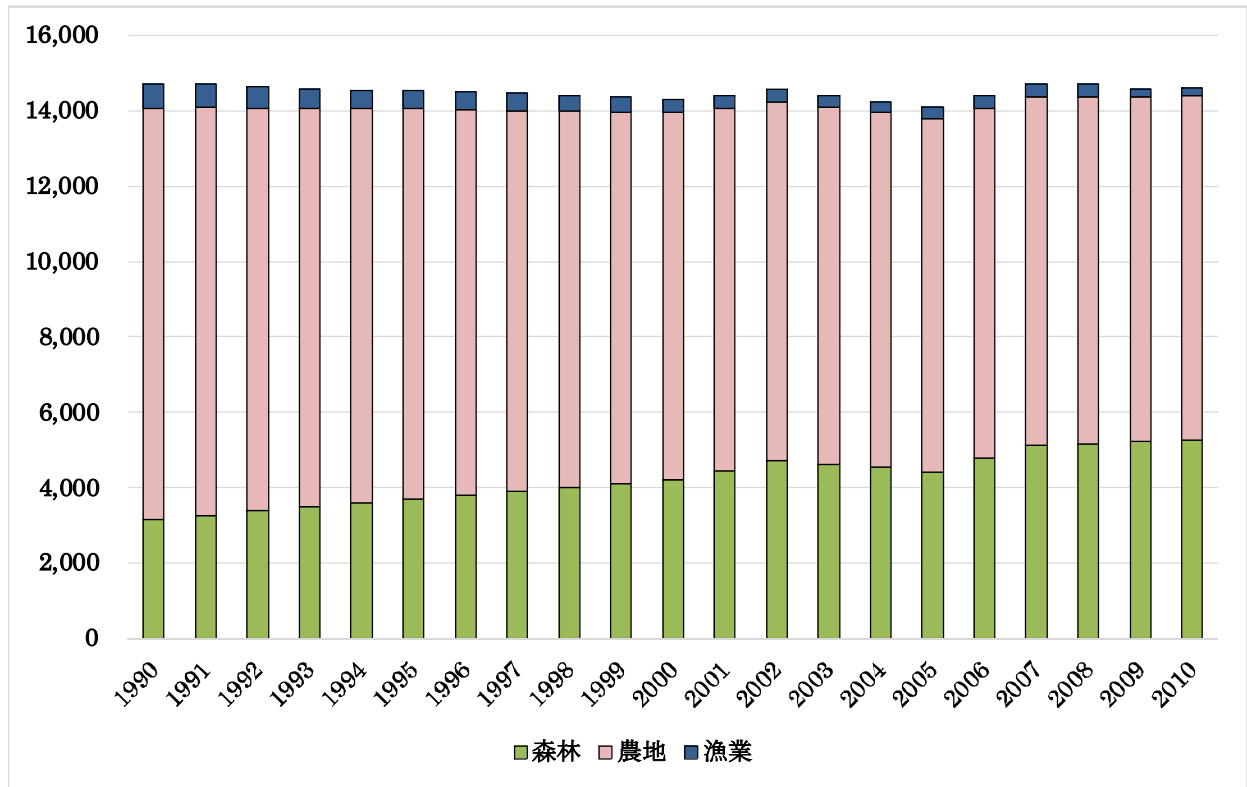


図 65. 熊本県の自然資本の構成要素 (億円)

注) 森林資本の市場的価値とエコシステムの価値は合算した。

出典：(馬奈木, 2016)より筆者作成

水俣の自然資本についての馬奈木(2016)による新国富計算から、上記の様々な知見を得ることができるのである。持続可能性研究を地域社会で行う場合には通常、サンプリング調査、ないしセンサスを行い、一次データから地域特性を把握する傾向が強かったのに対して、二次データを積極的に活用して、地域の持続可能性を議論できることを示されていると言えよう。二次データであっても公共経済学を背景とした新国富概念のように、理論的に支えられた指標であれば意義を引き出すことができるのである。また、その簡便性から多数の地域への適応可能性も高く、今後さらに多くの地域で新国富指標を計算することは重要である。

しかしながら、新国富指標の計算を進めるうえでの課題を本研究で指摘しておきたい。森林の管理の問題や農地における耕作放棄地の問題など、従来のデータでは詳細に評価できない点があることが分かったのである。他にも、水俣市は美しい棚田を有しており、それが市民に社会文化的・景観的価値を与えているとの地域の声を聴くことができた。仮に棚田にそのような価値があるのであれば、その評価を新国富指標にどのように加えるかといった新たな課題も重要なのかも

しれない。また、既述のとおり、水俣市は工業排水によって公害病（水俣病）を発生させ、その後長年にわたって直接的、間接的にその公害病に苦しめられてきた地域である。このことは、自然資本のみならず他の資本にも直接的、間接的に大きな影響を及ぼす点を示唆する。特に、自然資本の減耗ないし増加が、人の健康に与える影響の解明は重要な課題である。たとえば、自然資本が増加したことで、新国富指標における人的資本が増加したのか、さらに全体として新国富指標は増加したのか、という点は、環境と人の健康を持続可能性の観点から包括的かつ客観的に評価することを意味する課題と言えよう。

これらのことを踏まえて、次年度以降、自然資本の試算の改善のみならず、さらに多分野にわたるデータの入手と整備を推し進めることにより、教育と健康の価値で構成される人的資本、道路や製造施設などで構成させる人工資本も追加的に評価を試みることは重要であろう。

## 結論

今年度は、主として、これからの研究の方向性を定めるためのヒアリング調査や検討をおこなった。その結果、水俣市の市民コミュニティとしては、未来を見据えて進みたいという思いはあるが、公害疲弊地域としてのまわりの認知が足かせとなっている側面が否めないことが浮き彫りになった。また、公害疲弊地域としてかかえる問題と、地方小自治体として抱える問題が明確に分離できないため、他の自治体での成功事例が必ずしも公害疲弊地域でうまく実施できない可能性があることも明らかになった。一方で、水俣市の成功事例は、多くの場合、他の自治体への波及効果が見込めると考えられる。

また、ピッツバーグの事例を見てもわかるように、公害疲弊地域から再生するためには、市民が一致団結して活動することが重要である。このためには、水俣の「もやい直し」を加速する必要がある。これまでにも、祭りやイベント等を開催して、コミュニティの再生を図ってきたが、ここにきて形骸化の兆しが見え始めている。そこで、子育て世代や、より若い世代（高校生やそれより下の学年）の横のつながりを強化していくことが重要であると考え。来年度以降は、主として 30 代以下の世代の支援を中心として、どのように魅力ある地域を形成していけるかを検討する予定である。

また、自然資本については、コージェネレーションバイオマス発電ようの木質バイオマスの水俣市周辺で調達できる可能性を明らかにした。今後は、この研究をより精緻なものとするとともに、森林の調査を続けることによって、より良い自然資本の充実のための方策について検討していく予定である。

### III. 今後の研究方針（課題含む）

次年度以降は、今年度の調査に基づき、介入の度合いを増やしていく予定である。

#### （1）ソーシャルキャピタル醸成による健康、環境・エネルギー、農林、観光等の効率と魅力の向上

本項目では、主としてソーシャルキャピタル醸成による健康および環境・エネルギー分野の活性化を試みる。2015年度の調査では、水俣市は年間170人程度の出生者に対して10を超える保育施設があり、十二分な保育環境がある一方、母親学級のようなイベントを開催してもあまり人が集まらず、子育てについての情報を十分に共有できていないことが明らかになった。このような背景からコミュニティ形成を通して子育て世代を支援する。また、高齢者に関しては現在、認知症体サックに力を入れており、物忘れ相談プログラム(MSP)を医療機関に導入している。2016年度には市域の全ての医療機関に導入される予定となっている。また、水俣市は市域全体が市の中心部から20km以内であり、いまのところ病院への通院は問題視されていない。今後、高齢化が進むと考えられることから、市域の医療環境全体に関してもう一度調査し、対策を検討する。

また、環境・エネルギーに関しては、次世代を担う若者の世代へのアプローチが有効であると考えられる。環境・エネルギーについては、市域をとおしてゴミの分別など様々な取り組みがされているが、そのような地域に住まう若者は環境に対して意識が高いというより、体に染み付いているため意識せずにそのような行動を取ることが2015年度の調査でわかった。初等教育においては、このような体で覚える教育は有効であると考えられるが、中等教育段階では、その意味を考え、理解することが必要になると考えられる。そこで、市域の唯一の高校である水俣高校との連携をはかり、より高い意識で環境・エネルギーについて理解するプログラムを実施する。具体的には、年に2回程度のワークショップの実施および遠隔会議システムをつかった議論などを実施する。

#### （2）ICTを用いた環境および健康モニタリング

2015年度には、可搬型のPM2.5モニタリングシステムを試作し、水俣高校とのワークショップを通してその使い方を市域の高校生に教授した。また、その後、アイデアソンを開催し、環境に関する高校生のアイデアを募集した。その結果として、「普段から環境について考えているつもりだったが、ここまで深く考えたことはなかった」「センサーを使って計測することの大切さを感じた」といった意見をを得ることができた。このような取り組みを広げていくために、引き続き環境センサーの開発に取り組む。また、モニタリングの範囲を広げて健康計測にも取り組む。更に、市域において継続的に環境や健康に関するモニタリングシステムを運用するための課題を明らかにし、その課題解決に取り組む。取得されたデータは、水俣環境アカデミアにおいて共有を図る。

#### （3）バイオマスコジェネを中心とした地域自然資本の充実とマネーの地域循環に関する参与観察

現在、水俣市域においてはバイオマスコジェネや小型水力発電などの、地域自然資本の活用が

進んでいる。一方で、その経済的な実現可能性を検討すると、必ずしも売電だけでは経済的な自立が難しいことが、2015年度の調査で明らかになった。一方で、森林などの地域資源を現在の状態にしておく、自然災害などのリスクが高いことも明らかになっている。そこで2016年度は、森林保全とエネルギー経済の両方の観点から引き続き調査を進める。また、市域の関係者との議論を通じて、環境に配慮したエネルギー開発の可能性について検討する。

#### (4) 地域経済再生効果予測・指標推移の推計

水俣市域において地域経済再生予測のためのデータを取得するとともに、地域経済再生効果予測のための全国を対象としたインターネット調査を実施する。これらを比較することにより、政策や外的変化による再生効果の推計が可能となる。



## IV. 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録等）

### 1. 参考文献

- コトバンク「もやい直し」.(日付不明). 参照日: 2016年3月14日, 参照先: コトバンク: <https://kotobank.jp/word/もやい直し>  
-881757#E6.9C.9D.E6.97.A5.E6.96.B0.E8.81.9E.E6.8E.B2.E8.BC.89.E3.80.8C.E3.82.AD.E3.83.BC.E3.83.AF.E3.83.BC.E3.83.89.E3.80.8D
- 一般社団法人水俣病センター相思社.(日付不明). 相思社のあゆみ. 参照日: 2016年3月14日, 参照先: 一般社団法人水俣病センター相思社: [http://www.soshisha.org/jp/about\\_soshisha/history](http://www.soshisha.org/jp/about_soshisha/history)
- 永田林業.(日付不明). 永田林業ホームページ. 参照日: 2016年1月13日, 参照先: <http://www.nagataringyou.com/kaisishashoukai.html>
- 吉岡拓如, 小林洋司.(2016). 中山間地におけるエネルギー利用が可能な森林バイオマス資源量と収穫・輸送コスト. 第57回日本森林学会関東支部大会発表論文集, pp.335-338.
- 牛島佳代, 北野隆雄, 二塚 信.(2009年2月17日). 水俣病認定患者の健康と生活の実態に関する調査研究,1999. 日本衛生学雑誌, 58(3), pp.395-400.
- 熊本県.(2013). 熊本県 水俣・芦北 地域雇用開発計画. 熊本県.
- 熊本県.(日付不明). 寒川水源と棚田（さむかわすいげんとたなだ） 水俣市. 参照日: 2016年3月13日, 参照先: 熊本県: [http://www.pref.kumamoto.jp/kiji\\_7711.html](http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_7711.html)
- 厚生労働省.(2012). 健康日本21（第二次）.
- 国井大輔, 澤内大輔, 林岳.(2014). 木質バイオマスの需給マッチングをもとにした環境及び経済の多角的影響評価. 地域学研究, 44(4), pp.481-493.
- 寺田徹, 横長真, 田中信彦.(2010). 収穫・輸送コストからみた都市近郊平地林の木質バイオマス利用の可能性. ランドスケープ研究, 73(5), pp.663-665.
- 小山敦士, 友博一ノ瀬.(2013). 福島県いわき相双地区における木質バイオマス利活用システムの検証. 農村計画学会誌, 32(1), pp.24-28.
- 小田美由紀, 北村真一.(2008年11月1日). 水俣市における環境モデル都市づくりと地域再生の過程. 第38回土木計画学研究発表会講演集.
- 水俣市.(2015). まち・ひと・しごと創生 水俣市人口ビジョン.
- 水俣市役所企画課政策推進室.(2014). 「第5次水俣市総合計画実施計画 第2期基本計画」(平成27年度～平成29年度).
- 水俣市役所健康高齢課健康推進係.(2013). 水俣市健康増進計画第2期(平成25年～29年).
- 水俣市役所健康高齢課健康推進係.(2015). 水俣市食育推進計画(平成27～29年).
- 水俣市立水俣病資料館.(日付不明). [http://www.minamata195651.jp/pdf/tishiki/10tisiki\\_09.pdf](http://www.minamata195651.jp/pdf/tishiki/10tisiki_09.pdf). 参照日: 2016年3月14日, 参照先: [http://www.minamata195651.jp/pdf/tishiki/10tisiki\\_09.pdf](http://www.minamata195651.jp/pdf/tishiki/10tisiki_09.pdf)
- 川本ミヤ子.(2008年10月20日). 夫、川本輝夫と水俣病. 参照日: 2015年3月14日, 参照先: Seminar on Sustainable Human Security and Capacity Development: [http://www.glocol.osaka-u.ac.jp/hscd/2008/hscd08\\_024ja.pdf](http://www.glocol.osaka-u.ac.jp/hscd/2008/hscd08_024ja.pdf)
- 竹内奈緒, 齊藤修.(2013). 森林バイオマス利用によるエネルギー自給ポテンシャルの推定—北海道下川町を事例とし

て。土木学会論文集 G (環境) , 69(6), pp. II\_321-II-327.

南日本新聞. (2009年8月30日). <http://www.yamatokikai.com/news005.jpg>. 「林業で独立」挑む若者. 参照日: 2016年1月13日, 参照先: 「林業で独立」挑む若者.

農林水産省 林野庁. (日付不明). H23 国有林間伐推進コンクール表彰事例の概要. 参照日: 2016年1月13日, 参照先: [http://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/hanbai/pdf/h23\\_kokuyurin\\_contest.pdf](http://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/hanbai/pdf/h23_kokuyurin_contest.pdf)

馬奈木俊介. (2016). 第二章 新たな持続可能性指標の国内地域への適用. 著: 馬奈木俊介, 平成 27 年度環境経済の政策研究研究報告書 「第五次環境基本計画の策定に向けた各種指標の開発、指標の評価方法等の開発、諸施策・総合的環境指標の在り方の検討」 (ページ: pp.34-50).