

特集「島嶼経済と環境」

[解説]

下五島の持続可能な発展に向けたライフサイクル思考に基づく取り組み
—現状と今後の研究展望重富 陽介^{1,*}, 種田 あずさ²

1 長崎大学 環境科学部 環境政策コース,

2 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門 土壤環境管理研究領域

*連絡先: y-shigetomi@nagasaki-u.ac.jp

概要：離島は多様性のホットスポットであるとともに様々な脆弱性を抱えており、その閉じられた境界の中で持続可能な発展の道筋を示すための先行研究が数多く実施されてきた。本稿では、長崎県にある約600の離島の中で最も人口が多い五島列島に焦点を当てる。五島列島の中で、五島市を行政の中心に据える下五島では、かねてより洋上風力発電や潮汐発電の日本初の実証地として再生可能エネルギーの利活用を軸とする地域活性化に力が入れている。本稿では、下五島における持続可能な発展に向けた知見を得るための、同島の肉牛やうどん等の食の特産品に注目したライフサイクル分析のフレームワークと研究展望について紹介する。

キーワード：地域の持続可能性、島嶼経済、下五島、窒素ロス

1. はじめに

離島は文化的、生物学的、地球物理学的に固有の価値を持つ多様性のホットスポットである (Kueffer and Kinney 2017)。しかしながら、その規模や本土との遠隔性等の地理的要因を背景に、経済・社会・環境の面における様々な脆弱性を抱えている (United Nations 2014)。例えば、多くの離島では食糧やエネルギー等の様々な財を外部からの移輸入に依存しているため、それらの市場価格の急騰による経済的な打撃をより強く受けやすい (Praene et al. 2018)。また、近代化や都市化に伴う急激な需要増から資源不足に陥りやすく、その一方で高齢化の急速な進行も懸念されている (Hay 2013)。さらに、離島環境での淡水の供給は従来から指摘されている課題である (Nurse et al. 2014)。廃棄物処理も離島内では困難であり、その高いコストにも悩まされやすい (Foolmaun and Ramjeeawon 2013; Eckelman et al., 2014; Popescu et al. 2020)。加えて、気候変動による海面上昇や異常気象をはじめとする自然災害だけでなく、昨今の新型コロナウイルス感染症のような感染症に対するリスクも大きいとされる (Forbes et al. 2013; Hambleton et al. 2020)。したがって、いわゆる経済・社会・環境の3つの要素を考慮した持続可能な発展の道筋を示すことは、どの離島地域にとっても喫緊の課題である (Connell 2018)。離島の持続可能な発展に向けて、これまでに離島における水や食糧、土地利用等の資源管理に関する研究 (例: Allen 2015; Babu et al. 2020; Noda et al. 2019) や、特産品やツーリズムがその地域の経済や環境に及ぼす影響を定量化する研究 (例: Fabinyi 2010; Hof and Schmitt 2011; Serra-Cantalops et al. 2021) が数多く実施されてきた。

日本の離島の数は、定義は様々あるものの、7000近くにのぼるとみられる (日本離島センター n.d.)。このうち長崎県には壱岐・対馬をはじめ、無人島を含めて約600の島々があり、2020年時点で約11万人が居住している (長崎県 2022)。これらの離島は、中国や朝鮮半島に近いこともあり、歴史的に海上貿易や領海警備の重要な拠点として位置づけられてきた。しかしながら、近年では若年層を中心に島外への人口流出や少子化の影響が表れており、同県の国境離島の総人口は2005年から15年間で約4万人減少した。同時に、高齢化の影響は第一次産業を中心に特に深刻化しており、社会・経済的に厳しい状況が続いている。

本稿では、まず近年 (2010年以降) における日本LCA学会の関連分野における離島研究を概観する。次に、それを踏まえた上で、筆者らが注目する長崎県内において特に福江島を中心に経済的に発展している五島市 (下五島; 図1) について取り上げる。また、そこで計画している今後のライフサイクル研究の展望について紹介する。

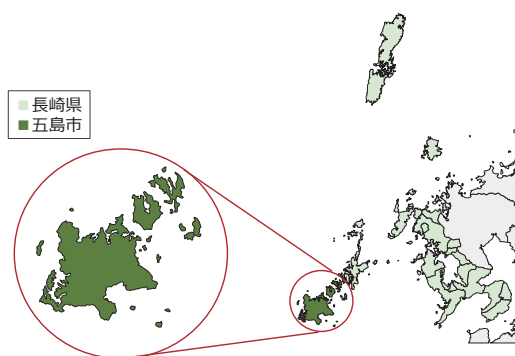


図1 長崎県五島市(下五島)の所在地

2. 関連分野における離島を対象とした既往研究

日本LCA学会とも馴染み深い産業エコロジーのコミュニティでは、少なくとも2000年代からマテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis; MFA) や積み上げ型のライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment; LCA)、産業連関分析 (Input-Output Analysis; IOA) 等を用いて、世界各国の離島の経済活動に伴うエネルギー・資源フローや社会・環境負荷を可視化する重要性を認識してきた (Deschenes and Chertow 2004; Eckelman et al. 2014; Singh et al. 2020)。

例えば、Krausmann et al. (2014) は島嶼国であるトリニダード・トバゴとアイスランドに着目し、1961年から2008年までの両国における資源利用の実態を把握することを目的とした動的MFAを実施した。その結果、両国はともに再生可能なバイオマス資源から移行して固有の鉱物および化石資源の開発とその輸出に大きく依存しており、またその依存度は地域内におけるインフラの継続利用の可能性や制度的背景に強く影響を受けていることが明らかとなった。Clifford et al. (2019) は豊富なリン鉱石の採掘場として知られるナウル共和国の関与物質総量と関与物質生産性をシナリオ別に算定し、リン鉱石の副産物として生じる石灰石を廃棄せずに新たな「島のエコな」製品として活用できれば、同島の生態系の再生や経済の多様化に貢献しうることを見出した。Noll et al. (2019) はギリシャ・サモスラキ島における建設とその取り壊しに伴う廃棄物を対象とするMFAを実施し、廃棄物管理コストの高い離島におけるサーキュラーエコノミー戦略の重要性を示した。この研究に関連して、Noll et al. (2022) は同島を対象に動的MFAを実施し、1929年から2019年までの資源ストックと物質およびエネルギー収支の推移を推計した。その2019年の結果に対してバイオマスや非金属鉱物の循環利用や利用期限の延長等のサーキュラーエコノミー戦略を適用すると、域内の資源投入と最終処分における循環利用率においてそれぞれ10%と7%の改善が見込めるとしている。

IOAは元々マクロ経済分析に利用される手法であることもあり、離島のサプライチェーンに着目した経済波及構造を可視化した研究事例が見られる。天達ら (2012) は島根県隠岐の島における「緑のコンビナート」と呼ばれたバイオマス資源事業の経済波及構造を分析し、バイオマス発電プラントの建設費の多くが原料調達等を通じて島外に流出している点を明らかにした。藤本 (2015) は島根県、長崎県、鹿児島県、沖縄県の31の離島を対象にノンサーベイ法にもとづく産業連関表を作表し、観光による所得の地域外漏出が小さくない可能性を指摘している。尾下ら (2019) は異なる方法で作表された3つの産業連関表を用いて、鹿児島県種子島におけるサトウキビや木質バイオマス等を利

用した分散型発電技術の導入における域内生産額と移輸入額への波及効果を計測した。また、IOAは対象とする地域の最終需要に由来するサプライチェーン環境負荷 (環境フットプリント) の定量化に最もよく用いられるツールであり (Wiedmann and Lenzen 2018)、離島経済におけるフットプリント解析にも有用である (Lenzen 2008; Malik 2016)。例えば、Shirley et al. (2012) はヴァージン諸島の家計由来一人あたりカーボンフットプリントの構造を同定した。その結果、アメリカ本土の同フットプリントと比較して約35%低いものの、エネルギーや食品関係の消費による寄与が移輸入の影響でより顕著であった。これらの研究結果は、外部経済に大きく依存しやすい離島の特徴を反映していると言える。

また、LCAとIOAは、それぞれ複数の指標を同時に考慮することができるため、離島の持続可能性評価の観点から利用されていることも多い。Pergola et al. (2013) はイタリア・シチリア島のレモンおよびオレンジの生産に注目し、LCAによって両者ともに有機栽培を行う方が収量あたりの複数の環境影響が小さく、同島においてより持続可能な農法であると結論付けている。Foolmaun and Ramjeeawon (2013) はモーリシャス島における使用済みペットボトルの処分方法別にLCAおよび社会LCA (Life Cycle Social Assessment; LCSA) を実施し、それぞれ影響評価まで行うことで、同島内で複数の環境・社会要素を考慮した最適な処分方法について提言した。Tyedmers et al. (2020) はニュージーランド・クック諸島におけるトラック用の軽油、ビール、および豚肉製造の輸入品を、島内で生産可能な廃食油、地ビール、および豚肉製品で代用した場合の経済 (生産波及)・社会 (家計所得)・環境要素 (温室効果ガス排出量) をシナリオ解析した。その結果、地元産業の活用によって同島の輸入に伴う外貨流出を抑制しつつ生産波及や家計所得の島内循環の促進し、さらに全球規模で温室効果ガス排出量を抑制できることが定量的に示された。

上述したように、多くの商品を移輸入に頼る離島を対象とする研究においては、その島内外のサプライチェーン構造をより詳細に考慮することが肝要である。近年、複数の地域経済を一つの表内に記述した多地域間産業連関モデル (multi-regional input-output model; MRIO) (Wiedmann 2009; 南齊ら 2013; Inomata and Owen 2014) の発展が目覚ましい。このサプライチェーンの拡張の対象は国際貿易だけでなく、国内地域間の取引にも見られる (Hasegawa et al. 2015; Faturay et al. 2017; Wakiyama et al. 2020)。Tyedmers et al. (2020) はオーストラリア・ノーフォーク諸島の地場産業における経済・社会・環境要素の分析を実施したLenzen (2008) を踏襲しているが、Global Industrial

Ecology Virtual Laboratory (Lenzen et al. 2017) による MRIO を利用して、地域外のサプライチェーンを考慮している。このように、MRIO による拡張は、離島のサプライチェーン全体で生じる影響を分析する研究においては特に重要な意義を持つと考えられる (Malik 2016)。また、尾下ら (2019) も、バイオマスのように生産技術やサプライチェーンが地域によって異なる可能性が高い商品に着目した分析を実施する場合、既存の産業連関表 (例えば都道府県表) の部門拡張および修正の重要性を指摘している (この研究も含む詳細な当該プロジェクト内容については、本号の尾下・菊池 (2022) を参照されたい)。

3. 下五島の現状と今後の研究展望

3.1 地域の状況とこれまでの地域活性化に向けた政策的取り組み

下五島は、長崎港から西へ約 100 km の東シナ海に浮かぶ大小 63 の島々からなり、有人島は 11 である。これらは長崎県五島市の管内にあり、そのうち福江島は五島市総面積 420.1 km² の 78%、2015 年時点で同総人口 34,391 人の 64% を占めている主要な産業の集積地である。福江島には長崎市から高速フェリーで 1 時間 25 分、通常のフェリーでも 3 時間 10 分で到着するほか、長崎空港や福岡空港からも 1 時間以内で渡航できる。気候は九州本土と比べると夏は

涼しく、冬は暖冬の傾向にあり、梅雨と台風による影響で年間降水量は多い (1990 年から 2019 年の 30 年間で平均 2326.8 mm/年) 傾向にある (五島市 2020)。

下五島は江戸時代における潜伏キリシタン所縁の地であり、2018 年に「長崎と天草地方の潜伏キリシタン関連遺産」として国連教育科学文化機関 (UNESCO) の世界遺産に指定された教会群も多く存在する。こうした歴史的背景もあり、産業は観光業が中心となっており、新型コロナウイルス感染症流行前の 2016 年から 2019 年までは観光客および観光消費額ともに増加傾向であった (五島市 2021b)。また、農業と水産業が盛んであり、近海で獲れるイカ類やアジ類、サバ類、養殖も含むマグロ類やブリ類等に恵まれている (農業特産品については後述する)。これらの水産物は主に県外市場に出荷されており、魚種によっては消費地から高い評価を得ている (長崎県 2021)。しかしながら、下五島も背景で述べた離島の社会・経済的な課題に直面しており、地域内の人口は 2000 年から 20 年間で約 20,000 人以上減少した (ただし、2020 年から 2021 年にかけては転入数が転出数を上回っている (総務省 2021a))。また、65 歳以上の高齢者率は 2015 年時点で 36.8% であり、同年の国内の高齢者率を約 10% 上回っている (五島市 2021b)。下五島と管轄県である長崎県の最新の地域情報を、表 1 に示す。

こうした中で地域活性化方策の一つとして、地域資源を

表 1 下五島と長崎県の地理的、人口統計学的、経済的、環境的特徴

		下五島 (対県割合)		長崎県	備考
地理					
面積	[km ²]	420.1	(10.2%)	4,131	2020 年
人口密度	[人 / km ²]	86.4		323.4	a
平均気温	[℃]	17.4		17.9	2019 年
人口統計					
人口	[人]	36,288	(2.7%)	1,336,023	2021 年
うち 65 歳以上人口率		40.1%		32.7%	2021 年
世帯数	[世帯]	19,796	(3.1%)	633,550	2021 年
平均家族人数	[人]	1.83		2.11	2021 年
経済					
1 人あたり地域総生産	[千円]	3,125		3,491	2018 年
第一次産業生産額	[億円]	8,033	(6.1%)	131,691	2018 年
第二次産業生産額	[億円]	17,830	(1.5%)	1,179,382	2018 年
第三次産業生産額	[億円]	84,192	(2.5%)	3,337,580	2018 年
環境					
CO ₂ 排出量	[kt-CO ₂]	238.1	(3.5%)	6,800	2018 年度
1 人あたり CO ₂ 排出量	[t-CO ₂]	6.6		5.1	b

地理的要素の 2019 年値と 2020 年値はそれぞれ総務省 (2021b) と五島市 (2020b)、人口統計学的要素は総務省 (2021a)、経済的要素は長崎県 (2021) を参照している。a は 2021 年の人口を 2020 年の面積で除して得られた数値、b は 2018 年度の CO₂ 排出量を 2021 年の人口で除して得られた数値を指す。下五島の括弧は、長崎県の数値と比較した割合を示す。

活かした再生可能エネルギーの導入が早くから進められている。その代表的な事例が、2010年から五島市梶島沖において実証事業が実施されている世界初の浮体式洋上風力発電の設置である。2012年に100キロワットの小規模試験機、2013年に2000キロワットの実証機の設置が続けて行われ、2016年からは設置場所を移して崎山沖2メガワット浮体式洋上風力発電所「はえんかぜ」として継続運転されている。また、2021年1月に日本初の大型潮流発電の実証実験を成功させた。こうしたエネルギーの先進的な取り組みは、五島市が国の第四次エネルギー基本計画を受けて2014年に策定した「五島市再生可能エネルギー基本構想」に基づいている。本基本構想において、2030年度を目標に「『エネルギーのしま』として先進地域となり、かつ経済的にも持続可能な発展を遂げていく」（五島市 2014, p4）と宣言されており、再生可能エネルギーに関連した雇用の創出やエコツーリズムによる外貨獲得も見込まれている。

このほか、下五島は国土交通省が主導するスマートアイランド事業地にも選定されている。スマートアイランド事業とは、最先端の情報通信技術やドローン技術の活用によって、物流、交通、エネルギー、医療等の課題解決を図ることを目的とする（国土交通省 n.d.）。下五島においては、長崎大学や民間企業と連携することで、アバターロボットの遠隔操作やドローンによる処方薬配送による遠隔医療体制の実現、スマート水道メーターとエネルギーマネジメントシステムの普及推進を目指している（五島市 2021a）。

3.2 特産品の生産拡大を基軸とした持続可能な発展の方向性と研究展望

前節で説明した下五島での取り組みは、いずれも新技術の導入を基軸とするものであり、行政におけるトップダウン的な側面が強い。そのため、島内に関連の地場産業がない場合はそこに住む人々や企業が主体となって進めることが困難となりうる点（天達ら 2012）や、地場産業と新技術に関わるステークホルダーとの間に新たな信頼関係を築く必要がある点（Wever et al. 2015）に留意する必要がある。また、単なる外生的なツーリズムに依存した短期的な経済対策は、主に観光客の長距離移動に伴う環境負荷の増加によってサプライチェーン全体の長期的な損失を引き起こすことも懸念される（Gössling et al. 2002; Lenzen 2008; Tyedmers et al. 2020）。

そこで筆者らは、研究の初期段階として、五島にすでに存在する地場産業の力に着目した新しい地域発展の可能性を模索している。下五島は豊かな水産資源以外に農林業資源にも恵まれており、多様な特産品を有している。例えば、第10回全国和牛能力共進会で内閣総理大臣賞を受賞した長崎牛など県内外のブランド牛の種牛として注目が高まり

つつある五島牛のほか、生育本数の多い椿油やワイン向けの醸造用ぶどう等が農林業の再生の鍵と認識されている（長崎県 2022）。また、細麺に椿油を塗り込まれることで独特の食感を有する五島うどん（図2）は、遣唐使往来の時代に伝えられたとされ、稲庭うどんや讃岐うどん等の手延うどんのルーツと称されている。しかしながら、これらは小規模事業ゆえに商品開発力や営業力に課題があり、ブランド化を通じた域外需要の取り込みや関連企業の誘致が課題となっている（長崎県 2022）。そこで筆者らは、研究の初期段階として、IOAやMFAに基づく新たな分析フレームワークの開発を通じて、これらの特産品の生産に伴う現状の経済・社会・環境影響の構造を詳細に把握することを目指している。このうち環境影響については、地域内の水資源が地下水に依存していることから、農業と関係が深い栄養塩汚染に着目する。具体的には、農業特産品の生産過程を通じた土壌および水圏への窒素ロス（環境中への窒素化合物の排出）（Vitousek et al. 1997; Sutton et al. 2021）の定量化を図る。

研究の初めのステップとして、下五島の特産品のサプライチェーンを反映した同地域を中心とする産業連関表の作成が必要である。ベースとなる投入産出表は価値総合研究所が発行する五島市産業連関表（2015年）を想定しており、その中の「農業」や「食料品」等の特産品の需給に該当する商品部門の拡張を試みる。また、同時に先行研究（Monsalve et al. 2020）の手法をもとに、五島市、長崎県（五島市を除く）、その他国内外地域のサプライチェーンを内包したMRIOの開発を目指す。次に、施肥や作物による生物学的窒素固定、灌漑水による人為的な窒素投入、生産物中の窒素含有量などから生産過程における窒素ロスを推計し、開発するMRIOに接続する。この接続には、栄養塩拡張産業連関（NutrIO）分析（Oita et al. 2021）のモデル開発の知見が応用できる。これらの操作を通じて、特産品の生産に伴って下五島や長崎県内で生じる生産波及効果や



図2 五島うどんの地獄炊き（筆者撮影）

雇用創出効果と、下五島内の窒素ロスを定量可能とする。島嶼における人為的窒素フローについては、筆者らの見識下において懸念要素として挙げる研究が一部見られるものの (Jargers et al. 2016)、持続可能性を検討する文脈での詳細な検討は行われていない。また、農業由来の窒素が水系の窒素濃度に与える影響をみた事例 (例: Payet et al. 2009; Jiang et al. 2015; Paradis et al. 2016; Chang et al. 2021) や、カリブ海に位置するオランダ領シント・ユースタティウス島の自給自足農業 (島の主要産業は観光と石油備蓄拠点の運用) に関わるMFAの事例 (Firmansyah et al. 2017) がみられるものの、島嶼スケールにおいて産業が窒素ロスに与える影響についてマテリアルフローの観点から検討した事例はない。したがって、筆者らの研究が狙いとする成果を実現できれば、島嶼地域の持続可能な発展において学術的にも大いに貢献できると期待される。

上記のプロセスには、五島市や長崎県の農業協同組合や役所の農業担当者等へのヒアリング調査に基づくサーベイ法と五島市統計書等を利用したノンサーベイ法の併用を検討しており、地域関係者 (ステークホルダー) との協力が不可欠である。こうした地域密着型の課題解決への挑戦は、離島を管轄下に置く都道府県の公立大学の強みを活かしながら、その使命を果たせるものであると言える。また、開発するモデルから得られる現状分析の結果は、データ取得に協力いただいたステークホルダー等と共有し、今後どの特産品に力を入れて、その販路をどうしていくのか (現状維持か、あるいは全国展開も見据えて拡大していくか)、また特産品の各原料はどこでどのような調達が可能か (下五島内で行えるのか、下五島以外の長崎県内で行えるのか、あるいは県外で行うしかないか、どのような生産・加工・流通方法の選択肢があるのか) について協議したいと考えている。この協議のもとで将来シナリオを複数作成して再び開発するモデルに組み込み、できる限り下五島内ないし長崎県内の社会・経済的な好循環と島内の窒素ロスの抑制を実現するための考察を行うことができれば、経済 (域内生産波及)・社会 (域内雇用創出)・環境 (窒素ロス量) の3つの持続可能性を踏まえた新たな政策提言が可能になるであろう。

4. おわりに

本稿では、離島における持続可能な発展の必要性とそれに向けたライフサイクル研究分野の先行事例を説明した。また、その中で得られている知見を踏まえ、筆者らが模索している長崎県下五島に焦点をあてたライフサイクル研究の展望について紹介した。上述した研究計画を実施するためのデータ整備や手法、研究体制については、引き続きさらなる検討と精査が必要である。

Kueffer and Kinney (2017) は広範な離島研究のレビューを通じて、持続可能な生活と環境保全の方法を管理可能な規模で発展させることができる希望の場所であると結論付けている。離島の持続可能性に関する知見が集積することで、他の離島や社会経済的な要素の類似する限界集落地域に対しても、新たな切り口で活路を見出すことが可能となるかもしれない。国際産業エコロジー学会 (International Society for Industrial Ecology; ISIE) においても、2021年に島嶼研究のセクション (Island Industrial Ecology; <https://is4ie.org/sections/islands>) が新たに創設されたことから、今後国際的にもますますこの領域に対する研究の関心度が高まっていくであろう。筆者らも本稿の展望をもとに、下五島に焦点を当てた離島の持続可能な発展の一つの道筋を示す事例研究となるように、注力して取り組んでいきたい。

(2022年3月5日受付)

参考文献

- 天達洋文, 岡野徹, 藤本栄之助, 天達泰章. (2012): 産業連関, 20(3), 243-252
- Allen (2015): Reg. Environ. Chang., 15(7), 1341-1353
- Babu R., Park N., Nam B. (2020): Environ. Earth Sci., 79(1), 47
- Chang C.-T., Song C.-E., Lee L.-C., Chan S.-C., Liao C.-S., Liou Y.-S., Chiang J.-M., Wang S.-F., Huang J.-C. (2021): Landsc. Urban Plan., 207, 104017
- Clifford M. J., Ali S. H., Matsubae K. (2019): Ambio, 48 (4), 397-408
- Connell J. (2018): Environ. Conserv., 45(2), 111-124
- Deschenes P. J., Chertow M. (2004): J. Environ. Plan. Manag., 47(2), 201-217
- Eckelman M. J., Ashton W., Arakaki Y., Hanaki K., Nagashima S., Malone-Lee L.C. (2014) Journal of Industrial Ecology, 18(2), 306-317
- Fabinyi M. (2010): Human Ecol., 38(3), 415-427
- Firmansyah I., Spiller M., de Ruijter F.J., Carsjens G.J., Zeeman G. (2017): Sci. Total Environ. 574, 1521-1532
- Faturay F., Lenzen M., Nugraha K. (2017): Econ. Syst. Res., 29(2), 234-251
- Foolmaun R. K., Ramjeeawon T. (2013): Int. J. Life Cycle Assess., 18(1), 155-171
- Forbes D. L., James T. S., Sutherland M., Nichols S. E. (2013): Sustain. Sci., 8(3), 327-344
- 藤本高 (2015): 農業経済研究, 86(4), 257-272
- Gössling S., Borgström Hansson C., Hörstmeier O., Saggel, S. (2002): Ecol. Econ., 43(2-3), 199-211
- 五島市 (2014): 五島市再生可能エネルギー前期基本計画,

- 43pp.
- 五島市 (2020): 五島市気候エネルギー行動計画 (令和2年7月), 30pp.
- 五島市 (2021a): 五島スマートアイランド構想 Ver 1.0, 52pp.
- 五島市 (2021b): 令和2年版五島市統計書, 69pp.
- Hambleton I. R., Jeyaseelan S. M., Murphy, M. M. (2020): *Lancet Glob. Health*, 8(9), 1114-1115
- Hasegawa R., Kagawa S., Tsukui M. (2015): *J. Econ. Struct.*, 4(1), 5
- Hay J. E. (2013): *Sustain. Sci.*, 8(3), 309-326
- Hof A., Schmitt T. (2011): *Land Use Policy*, 28(4), 792-04
- Inomata S., Owen A. (2014): *Econ. Syst. Res.*, 26(3), 239-244
- Jagers S., Povitkina M., Sjöstedt M., Sundström A. (2016): *Sustainability*, 8, 285
- Jiang, Y., Nishimura, P., van den Heuvel, M.R., MacQuarrie, K.T.B., Crane, C.S., Xing, Z., Raymond, B.G., Thompson, B.L. (2015): *J. Hydrol.* 529, 213-230
- 国土交通省 (n.d.), スマートアイランドに関する取組, 国土交通省ホームページ, 入手先 <<https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chirit/smartisland.html>>, (参照 2022-01-10)
- 公益財団法人日本離島センター (n.d.), 公益財団法人日本離島センターホームページ, 入手先 <<https://www.nijinet.or.jp/>>, (参照 2021-11-02)
- Krausmann F., Ritcher R., Eisenmenger N. (2014): *J. Ind. Ecol.*, 18(2), 294-305
- Kueffer C., Kinney K. (2017): *Environ. Conserv.*, 44 (4), 311-322
- Lenzen M. (2008): *J. Clean. Prod.*, 16 (18), 2018-2035
- Lenzen M., Geschke A., Abd Rahman M.D., Xiao Y., Fry J., Reyes R., Dietzenbacher E., Inomata S., Kanemoto K., Los B., Moran D., Schulte H., in den B€aumen, Tukker A., Walmsley T., Wiedmann T., Wood R., Yamano N. (2017): *Econ. Syst. Res.*, 29 (2), 158-186
- Malik A. (2016): *J. Clean. Prod.*, 112, 4890-4895
- Monsalve F., Ortiz M., Cadarso M. Á., Gilles E., Zafrilla J., López L. A. (2020): *J. Econ. Struct.*, 9(1), 8
- 長崎県 (2021), 平成30年度長崎県の市町民経済計算, 長崎県ホームページ, 入手先 <<https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/kenseijoho/toukeijoho/shichomin/507030.html>>, (参照 2022-02-15)
- 長崎県 (2022), 長崎県特定有人国境離島地域の地域社会の維持に関する計画 令和4年4月, 103pp.
- 南斉規介 (編著), 近藤康之 (著), 加河茂美 (著), 猪俣哲史 (著), 山野紀彦 (著), T.L.ウォルムスリー (著), A. H.アギアール (著), B. ナラヤナン (著), A. タッカー (著), E. デイツェンバッハー (著), B. ロス (著), M. ティマー (著), D. モラン (著), A. ゲシユク (著), M. レンツェン (著), 金本 圭一朗 (訳著), 尾下優子 (訳), (2013): “特集「世界経済を対象とした多地域間産業連関表の開発と応用」”, *日本LCA学会誌*, 9(2), 65-107
- Noda K., Iida A., Watanabe S., Osawa K. (2019): *Environ. Res. Lett.*, 14(5), 054004
- Noll D., Lauk C., Haas W., Singh S.J., Petridis P., Wiedenhofer D. (2022): *J. Ind. Ecol.*, 26(2), 577-591
- Noll D., Wiedenhofer D., Miatto A., Singh S.J. (2019): *Resour. Conserv. Recycl.*, 150, 104405
- Nurse L., McLean R., Agard J., Briguglio L.P., Durvat-Magnan V., Peleskikoti N., Tompkins E., Webb A. (2014): “Small Islands”, *Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part B, Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, GBR*, 1613-1654
- Oita A., Katagiri K., Eguchi T., Morioka R., Shindo J., Hayashi K., Matsubae K. (2021): *Environ. Res. Lett.*, 16(11), 115010
- 尾下優子, 兵法彩, 大内田弘太郎, 兼松祐一郎, 福島康裕, 菊池康紀 (2019): *日本LCA学会誌*, 15(4), 360-376
- 尾下優子・菊池康紀 (2022): *日本LCA学会誌*, 18 (3), 142-151
- Paradis D., Vigneault H., Lefebvre R., Savard M.M., Ballard J.-M., Qian B. (2016): *Earth Syst. Dyn.* 7, 183-202
- Payet N., Findeling A., Chopart J.-L., Feder F., Nicolini E., Saint Macary H., Vauclin M. (2009): *Agric. Ecosyst. Environ.* 134, 218-233
- Pergola M., D'Amico M., Celano G., Palese A. M., Scuderi A., Di Vita G., Pappalardo G., Inglese P. (2013): *J. Environ. Manag.*, 128, 674-682
- Popescu R., Beraud H., Barroca B. (2020): *Sustainability*, 12(17), 6731
- Praene J., Payet M., Bénard-Sora F. (2018): *Util. Policy*, 54, 86-91
- Serra-Cantallops A., Ramón-Cardona J., Vachiano M. (2021): *Sustainability*, 13(5), 1-21
- Shirley R., Jones C., Kammen D. (2012): *Ecol. Econ.*, 80, 8-14
- Singh S., Fischer-Kowalski M., Chertow M. (2020): *Sustainability*, 12, 9516
- 総務省 (2021a): 住民基本台帳に基づく人口, 人口動態及び世帯数, 66pp.
- 総務省 (2021b): 統計でみる都道府県のすがた 2021, 日本統

- 計協会, 東京, 163pp.
- Sutton M.A., Howard C.M., Kanter D.R., Lassaletta L., Moring A., Raghuram N., Read N. (2021): *One Earth*, 4, 10-14
- Tyedmers E., Malik A., Fry J., Geschke A., Yousefzadeh M., Lenzen M. (2020): *J. Clean. Prod.*, 277, 123045
- United Nations (2014): *Trends in Sustainable Development in Small Island Developing States (SIDS)*, 37pp.
- Vitousek P.M., Aber J.D., Howarth R.W., Likens G.E., Matson P.A., Schindler D.W., Schlesinger W.H., Tilman D.G. (1997): *Ecol. Appl.* 7, 737-750
- Wakiyama T., Lenzen M., Geschke A., Bamba R., Nansai K. (2020): *Resour., Conserv. Recycl.*, 154, 104588
- Wever L., Krause G., Buck B. H. (2015): *Mar. Policy*, 51, 251-259
- Wiedmann T. (2009). *Ecol. Econ.*, 69(2), 211-222
- Wiedmann T., Lenzen M. (2018): *Nat. Geosci.*, 11(5), 314-321

[Commentary and Discussion]

Life Cycle Approach Towards Sustainable Development of the Shimo Goto Islands, Japan: Current Situation and Prospects for Future Research

Yosuke SHIGETOMI^{1,*} and Azusa OITA²

¹ Faculty of Environmental Science, Nagasaki University

² Institute for Agro-Environmental Sciences, National Agriculture and Food Research Organization

*Corresponding author: y-shigetomi@nagasaki-u.ac.jp

Synopsis: Small islands are often hotspots of diversity, confronting various vulnerable issues. Numerous studies have investigated possible pathways for achieving sustainable development within the closed boundaries of small islands. Among about 600 small islands of Nagasaki Prefecture, Japan, we shed light on the Goto Islands with the most population. The Shimo (South) Goto Islands, also known as Goto City, have aimed to revitalize the regional economy by making use of renewable energy by providing the first Japanese demonstration sites of both offshore wind power generation and tidal power generation. This article introduces our research framework and prospects of life cycle assessment for the production of the signature agricultural specialties in the Shimo Goto Islands, such as cattle and udon noodles, for a better understanding of the sustainable development of the islands.

Keywords: regional sustainability; small island economy; Shimo Goto Islands; nitrogen pollution