

## 島嶼学ことはじめ（四）

### —持続可能「島嶼型」技術を求めて—

嘉 数 啓

（台湾澎湖県アドバイザー）

- I 「島嶼型」技術とは何か
- II 「沖縄型」グリーンテクノロジーの概要
- III ハワイと連携した「沖縄型島嶼型技術・ノウハウ」の海外移転

キーワード：複合・循環型社会，島嶼型技術，グリーンテクノロジー，島嶼資源活用型技術，  
ハワイと連携した島嶼型技術の海外移転

#### I 「島嶼型」技術とは何か

技術とは、科学的知見・ノウハウを実際の生活目的達成のために応用する知恵を意味する。島嶼学研究仲間には、技術系の研究者は少ない。筆者が知る限り、日本島嶼学会でも環境工学、土木工学を専門とする研究者は散見されるが、生産技術を扱う専門家はほとんど見当たらない。何故だろうか。大学の生産技術系の研究者に訊ねてみると「技術には島嶼系、大陸系という分類はない」とのことである。つまり技術は「汎用性」がその特性であり、使う場所によってその本質が変わることがないとのことである。具体的にいうと、耕耘機は、大陸、小島嶼、先進国、発展途上国、温帯、熱帯を問わず、有用な生産技術である。そうであれば「島嶼技術」という概念はもともと存在しないことになる。ここで敢えて「島嶼型」技術にしたのはそのため

である。つまり同じ耕耘機でも、使う場所によってその技術の使い方が違うはずである。例えば広大な土地で使う耕耘機と傾斜の多い狭い土地で使う耕耘機とでは自ずからその「仕様」が異なるはずである。1998年にアジア人初のノーベル経済学賞を受賞した、筆者のロンドン政治経済学院（LSE）での恩師の一人であるアマルティア・セン（Amartya Sen）教授は、母国のインドにおける生産技術に関する古典的な著書を著している（Sen 1968）。これによると、織物技法に関して、原初的な手作業から高度の機械技術に至るまで、生産現場における原料、労働力、資本の賦存量および市場の規模に応じて、10種類以上の技法が併存していると論じている。これは原初的技法であっても市場が限定され、労働力と原材料が豊富で賃金が低い環境では比較優位性があり、有用な生産技術であることを物語っている。

本稿では、前稿で議論した持続可能な島嶼発

展の視点から、小島嶼に適したグリーンテクノロジー (green technology) を中心に、特に沖縄の事例に基づき論述する。グリーンテクノロジーとは、応用生産技術の中でも地球環境に優しい一連の技術体系のことで、再生可能エネルギーから無農薬農業、ゼロエミッション、資源・製品再利用、地場資源の活用、技術管理、消費の仕方に至るまで広範囲に及ぶパラダイムシフトの技術体系のことである。地球温暖化や環境汚染の影響を受けやすく、大型技術の応用が困難な島嶼社会において、小規模グリーンテクノロジー・イノベーション思想が島嶼経済の持続可能性との関連で議論され、多くの島々で実践されてきた。特にスウェーデンのゴットランド島とデンマークのロラン島は示唆的なモデルケースを提供している (北村 2012)。小規模島嶼に適した技術は、1970年代にシューマッハーによって提案された「中間技術 (intermediate technology)」に相当すると考えてよい。彼によると、中間技術とは「人間の顔をした技術 (technology with human face)」で、「過去の古い技術でも人間が機械に使われるようなスーパー技術でもなく、分権化、環境、それに人間に優しく、大衆の自立を助けるための技術 (self-help technology)」のことである (Schumacher 1973)。

石油、石炭、鉱石などの枯渇資源を前提に開発された大型装置技術に依存する大国経済でも、深刻な地球温暖化、自然破壊、環境汚染を目のあたりにして、今やグリーンテクノロジー・イノベーション、あるいは代替技術 (alternative technology) へのシフトが焦眉の急となりつつある。ここで「イノベーション (革新)」とは、新商品の開発、製品化する技術を超えて、既存技術・ノウハウの導入・改良・普及を含む

幅広い概念で使っている。

前稿で分析したように、小島嶼地域における生産拡張のボトルネックは、土地と市場の狭小性である。そのため、小島嶼地域での装置型産業の立地は困難である。小島嶼地域といっても、それぞれの規模、環境、発展段階に応じて、最適生産技術体系は当然異なる。図1は島のサイズ (面積、市場) に適合した労働力・技術水準の組み合わせを示したものである。横軸は土地・市場で表した島のサイズを示し、縦軸は人 (労働力) の投入量と技術水準を示している。あるいは労働力に「体化」した技術と言い換えてもよい。生産可能能力は曲線 P で示され、曲線上の点はすべて同じ生産水準を示す。技術革新によって生産性が向上すると  $P_1$  から  $P_2$  へと土地・市場規模の制約を超えて生産を拡張できることを意味する (Kakazu 1990)。

いま、沖縄本島のような比較的規模の大きい島のサイズを  $L_2$ 、粟国島のような極小島の規模を  $L_1$  で表すと、与えられた土地面積の下で、 $P_1$  水準の農産物を生産するには、図で技術水準  $T_2$  と  $P_1$  の交差点 (B) で示すように、粟国島が沖縄本島の生産技術水準 ( $A = T_1$  と  $P_1$  の交差点) よりはるかに土地節約・労働集約型技術を採用する必要がある。つまり、規模が小さ

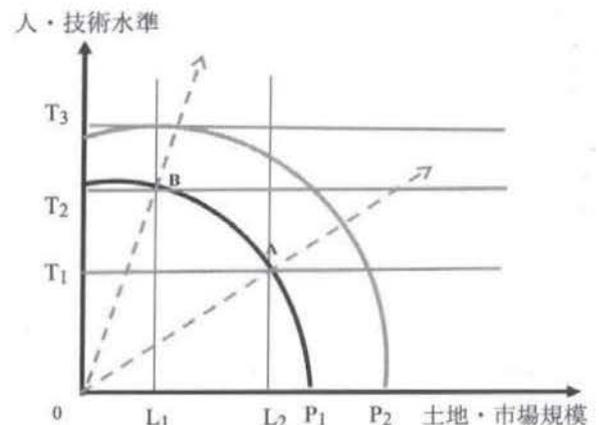


図1 島嶼技術と生産可能曲線

ければ小さいほど、同じ生産量を実現するのに土地単位あたりの生産性は高くなるを得ない。そのことは、シンガポール（淡路島の面積に相当）の例に見るように、島嶼経済に適合した技術・ノウハウを開発することによって土地の制約を克服することができることを意味する。むろん製品マーケットは必ずしも土地の制約を受ける必要はない。競争力があれば、島外市場へマーケットを広げることが可能だからだ。島嶼型技術は必ずしも高度な研究施設を備えたような知能集積型の技術である必要はない。後述するように、島「特有」の資源を有効利用することによって「島ビケーン（島だけ）」の特産品を開発し、他地域の産出財より優位に展開・流通できればよい。

小島嶼における持続可能な発展のための島嶼型技術は、以下の条件を満たす必要がある。

- ①島の資源を活用でき、島の規模に適合した「島産島消型」技術であること。
- ②前稿で詳述した「移輸入品置換型」技術であること。
- ③島の食料・インフラなどの「最低安全基準」を満たす技術であること。
- ④島の環境保全と両立する「グリーン技術」であること。
- ⑤島民が主役になって、技術の管理・拡散・改善を担えること。

本稿では、小島嶼型技術の「先進地域」として沖縄を中心に論述するが、筆者が20年余にわたってハワイ大学、ハワイ東西文化センターの研究者と共同研究を行ってきたハワイのケースも取り上げる。沖縄とハワイとは長い交流の歴史がある。1997年に両者の知事主導による「ハワイ・沖縄会議」が産官学の参加を得て開催さ

れた。両者が特に関心を寄せ、太平洋島嶼国も参加して議論してきたテーマは、「島嶼型グリーンテクノロジー・イノベーション」の共同開発と、南太平洋島嶼国・地域への移転であった。とくに「ミバエ類防除技術」「海洋深層水利用技術」「サンゴ礁の保全技術」「赤土防除技術」「バイオエネルギー技術」「遠隔教育・医療」「持続可能観光」「ネットワーク型ビジネス」「人材育成」が検討された（嘉数 2013）。

表1 沖縄で開発・応用されている「島嶼型」グリーンテクノロジー・ノウハウの例（2014年）

熱帯・亜熱帯ベイス	ウリミバエ・イモゾウムシ駆除技術 熱帯果樹・花卉・野菜・畜産物 バイナップル・マンゴー・ドラゴンフルーツ・ミカン・菊・ラン・ゴーヤ・紅茶・コーヒー・和牛・アグー豚など 海面養殖技術 稚魚・クルマエビ・モズク・海ブドウ・パヤオ・人工魚礁 地場資源活用型技術 砂糖キビの複合利用技術・ガラス瓶リサイクル技術 環境創造・保全技術 サンゴ養殖・再生・マングローブ植林・台風対策 観光 エコ・メディカル・着地型ツーリズム・サンゴ再生 健康長寿 健康食品・リフレクソロジー 土壌・沿岸保全 赤土防除・モニタリング・GIS
島嶼ベイス	海洋深層水利用技術 養殖・工業用品・健康・淡水化・海洋温度差発電 水供給システム 地下ダム・多目的ダム・淡水化プラント・渴水用水タンク グリーン（再生可能）エネルギー 風力・太陽光・バイオマス（エタノール）・食用廃油再生燃料 ITC 技術 コールセンター・バックオフィス 沖縄型ネットワーク形成 モアイ・ユイマール・WUB 沖縄型遠隔教育・医療・異文化交流 沖縄型島嶼政策 一島一品特産品開発・「美ら島」観光税

筆者が調査やコンサルで関わってきた主な島嶼型グリーンテクノロジー・イノベーションを掲げると表1の通りである。本稿ではその代表的なもので、他の島嶼地域でもインパクトが大きいと思われる技術・イノベーションを概説する。むろん「熱帯・亜熱帯ベース」「島嶼ベース」の島嶼型技術は、筆者の恣意的な分類であり、異論があると思っている（Kakazu 2013）。

## II 「沖縄型」グリーンテクノロジーの概要

### 1. 環境にやさしいウリミバエ防除技術

ウリミバエは、東南アジア原産で、ミバエ科に属するハエである（図2）。ウリミバエはニガウリ（ゴーヤ）、カボチャ、スイカ、メロンなどのウリ類の果実を食い荒らす害虫として、「日本の侵略的外来種ワースト100」に指定されている。日本では戦前に八重山群島でその存在が確認され、またたく間に奄美を含む琉球列島に分布が拡大した。日本本土への分布拡大を阻止するために、琉球の島々からウリ類の本土への移出が禁止されてきた。ウリミバエ根絶作戦は1975年に久米島で開始され、20年の歳月と17

0億円の費用を投じて、1993年の八重山群島を最後について琉球列島全域にわたって根絶に成功した。島嶼地域で根絶に成功した初の快挙で、世界的にも注目された（伊藤 1980）。

ウリミバエ根絶には、アメリカのニップリングが発案した「不妊虫放飼技術」（SIT: Sterile Insect Technique）が使われた。この方法は、ガンマ線を照射して卵を生まなくした雄を大量に野外に放飼して虫の繁殖を阻止するもので、1963年にマリアナ諸島で確立された技術である。この根絶方法は環境にも優しく、「核の平和利用」技術としても高く評価されている。

筆者は、NHKの「プロジェクトX」でも紹介されたこの世界的な「偉業」の紹介と費用便益分析を国際学術雑誌に発表し、多くの反響を得た（Kakazu 2003）。ウリミバエの完全駆除によって、健康長寿のシンボルとなった「沖縄ゴーヤ＝ニガウリ」を含む主要12農産物が検疫なしで沖縄から本土・海外に出荷できるようになり、沖縄農業の復活に大きく貢献している。

ウリミバエ駆除事業は全額公的資金（約170億円、32万人日）の投入によってなされたが、30年間平均の割引率（3.26%）で計算すると、8年間で完全に投資総額を回収することになる（図3）。

ここで推計した純利益は、ウリミバエ駆除によってもたらされた農産物の商業出荷のみの「商業利益」だが、仮にここに無農薬農法、天敵駆除などの環境的および防除的恩恵、そしてさらに害虫の日本本土への侵入を防いだという「社会的利益」を含めると、私的・社会的純利益は商業利益をはるかに上回る。データの不足から、ここではあえて間接的な社会的便益を推計していないが、この事業が商業的にも有用であるということは十分に実証しうる。

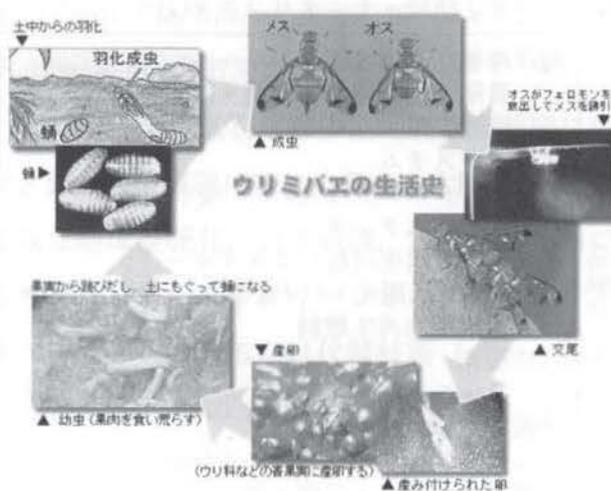


図2 ウリミバエのライフサイクル  
(沖縄県病害虫防除技術センター資料より作成)。

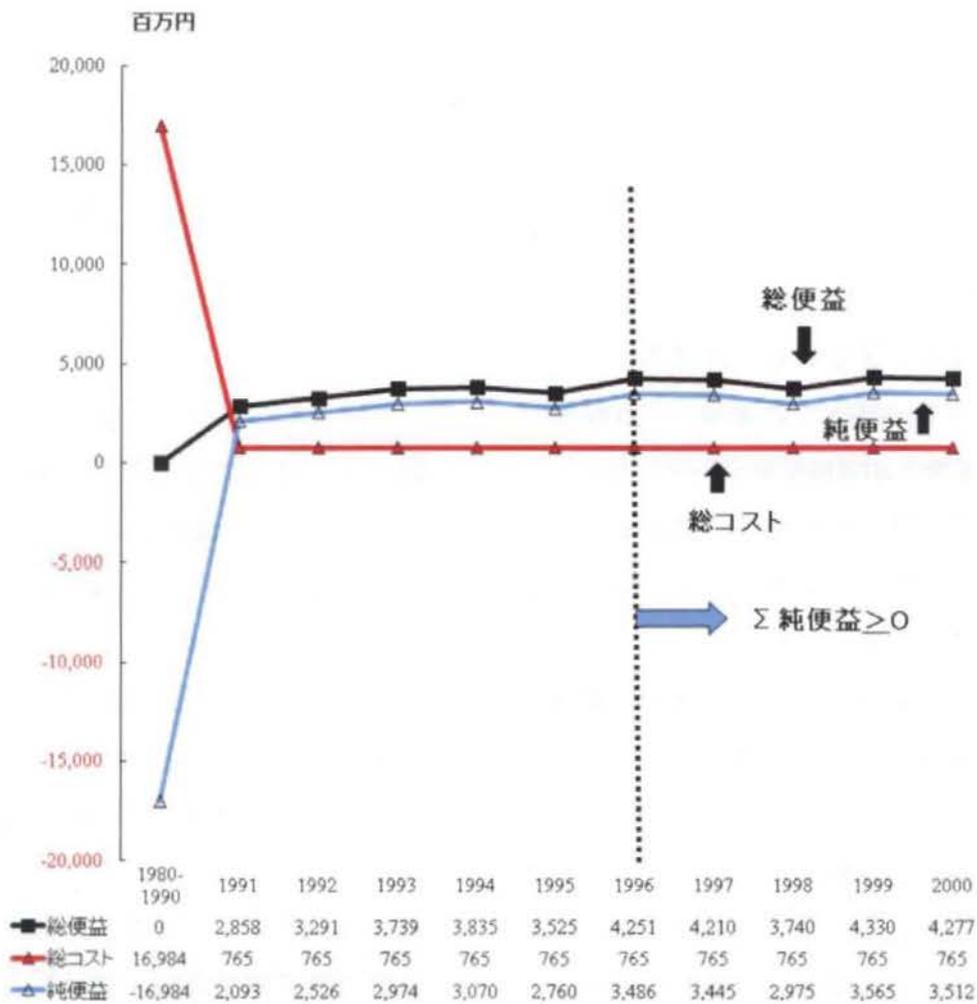


図3 沖縄におけるウリミバエ駆除プロジェクトの費用・損益分析 (1980～2000年)  
(Kakazu (2003) より引用).

ウリミバエと並んで、甘しょ（サツマイモ）の害虫であるイモゾウムシも沖縄農業に甚大な被害を与え、その根絶が焦眉の急になっているが、ウリミバエ駆除で成功した「不妊虫放飼技術」がここでも応用され、実証事業を行っている久米島では根絶寸前にある。

どんなサクセスストーリーにも、研究と開発における勤勉さと多大な努力に加えて、人間と資本資源の大規模な動員がつきものである。ウリミバエ駆除事業も例外ではない。最も重要なポイントとして、地元の人々や国や県などの公共団体による熱心な支援もまた、この成功事例における不可欠な要因であった。

ウリミバエは、琉球列島では根絶されたもの

の、他のアジア太平洋地域では拡大傾向にある。特にハワイ、ミクロネシア地域でこの技術への関心が高く、沖縄との共同研究も継続して行われている。ただ、ウリミバエ防除技術の応用が琉球列島で成功したとはいえ、他の島嶼地域での応用には莫大なコストを伴う以外に、不妊虫の大量生産・輸送、地形、作物の種類、組織管理の問題など、解決すべき課題が山積している。

リオデジャネイロオリンピックの開催を控えているブラジルで、ワクチンや特效薬がない「ジカ熱」感染症が急増した。ブラジル政府は沖縄でのミバエ駆除の成功例を引き合いに出して、同様な駆除技術の採用を検討している。

## 2. 島嶼資源活用型技術

広大な海洋に囲まれ、独自の生活体系を築いてきた島嶼地域には、最近話題になっているメタンガス、レアメタルなどの豊富な海底資源から、日常的に生活の糧にしている独特の地場資源があり、それらの資源を活用する「島嶼型技術」も進化を遂げてきている。沖縄では最近、「第六次産業（一次産業×二次産業×三次産業）」と称されている農漁業関連産業が将来のリーディング産業として注目されている。そのコンセプトは、前回詳述した小島嶼での「複合生産様式」にマッチし、その可能性は高い。

第六次産業の代表例として、健康食品産業がある。図4で見ると、沖縄における健康食品の出荷額は、1995年の20億円程度から、2004年には200億円産業に躍進したが、現在は100億円程度で低迷している。急成長の背景には、業界の努力もさることながら、全国的な健康志向ブームの波に乗って、沖縄の「長寿ブランド」が商品化されたことによる。最近の売上の停滞は、ブームが去って落ち着いてきたともいえる

が、健康食品業界における熾烈な競争と乱立、科学的なエビデンス（健康に効果があるかどうかの検証）の欠如、ネット販売力の弱さ、「肥満率全国一」、平均寿命の相対的低下など、沖縄の長寿ブランドの陰りも背景にあることは間違いない。

健康食品のさらなる発展には上記の課題をクリアする戦略の再構築が求められている。日本に限らず東アジアでも人口の高齢化が急ピッチで進展しており、健康志向は高まってきている。中国、東南アジアからの観光客が沖縄産健康食品を買い求める動きが高まってきており、特に海外を視野に入れた健康食品を含む「沖縄発」の健康長寿関連商品・サービスの開発、マーケティング戦略の強化が求められている（Kakazu 2015）。

表2は、沖縄で開発された健康食品を主とする地場資源活用型資源・製品のほんの一例である。その多くが離島地域で生産されていることに注目したい。

人類の生活になくてはならない良質の「塩」

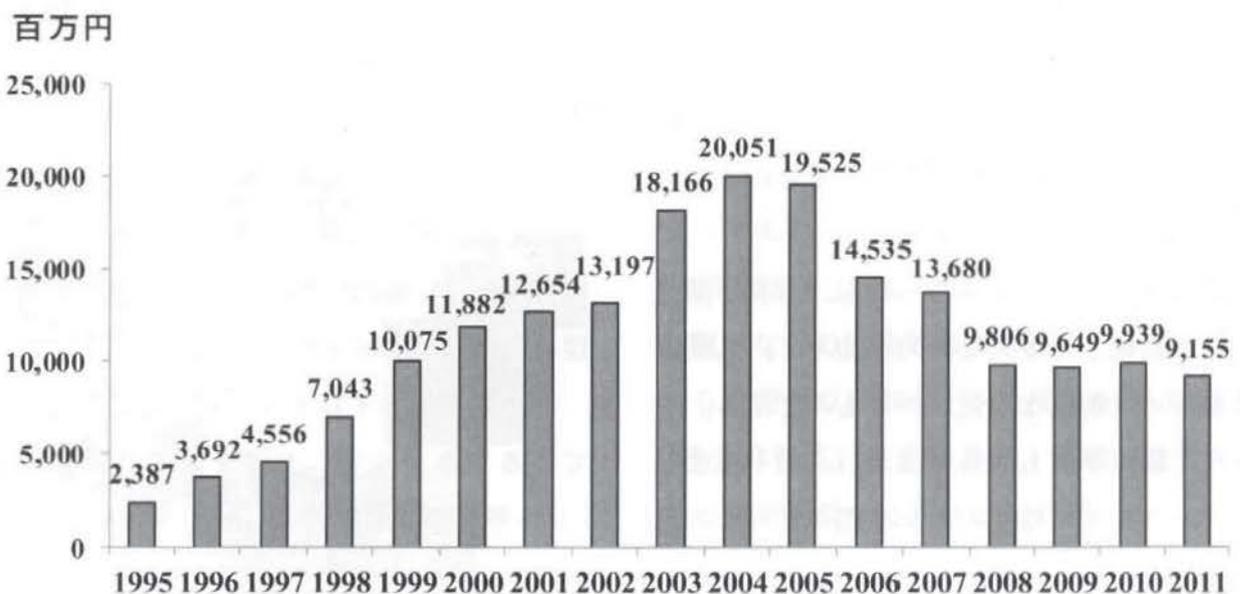


図4 健康食品販売額の推移（1995～2011年）

（沖縄健康食品産業協議会資料より作成）。

表2 沖縄の主な再生可能島嶼資源とその活用製品

	沖縄の島々は無類に近い海洋資源に恵まれている。この資源を活用しない手はない。その一つが製塩である。従来の釜焚きや天日乾燥による製塩法に加えて「常温瞬間結晶製塩法」が注目を集めている。島ごとに多様な塩が生産され、関連食品も多岐にわたる。
<b>もずく</b> 	熱帯から温帯にかけて浅い海に広く分布する「ぬめり」成分の海藻で、沖縄では古くから食酢で和えたり、天ぷらにして日常的に食されてきた。ぬめり成分には、抗酸化・抗がん作用のある「フコイダン」が含まれているとされており、健康サプリメントとしても市販されている。
<b>ニガウリ</b> 	熱帯から温帯まで広く分布するつる性の一年生草本で、琉球語の「ゴーヤ」が一般的な呼び名となった。琉球食材の本家・本元で、特にNHKドラマ「ちゅらさん」で、料理の「ゴーヤチャンプルー」は一躍全国に広がった。ゴーヤは料理だけでなく、健康食品、茶、日焼け等にも活用されている。
<b>ウコン</b> 	沖縄方言で「ウツデン」とよばれているショウガ科の多年草。カレーの食材としておなじみだが、古から香辛料、着色料、生薬の原料として多用され、「沖縄県」健康食品の売上トップを占めていたこともある。特に「肝機能強化」に効くとされているが、そのエビデンスが問われている。
<b>シークワーサー</b> 	沖縄特産のシソ科(ヒラメレンソウ)の常緑低木で、主に沖縄本島北部(ヤンバル)で生産されている。果実に含まれるノルゲニンにはがんの抑制作用があるとして、一時健康食品ブームの中心になった。沖縄では、刺身や酢物、ポン酢の代わりに使うが、清涼飲料水や種々の食材として活用されている。
<b>アセロラ</b> 	アセロラは、キントラノオ科の熱帯低木の植物で、実はさくらんぼに似ている。ビタミンCを豊富に含み、果実ではなく、加工してジャム、ゼリー、顆粒清涼飲料水、化粧品として販売されている。特に本部町での栽培が盛んである。
<b>長命草</b> 	和名をボタンボウフウとよび、海岸沿いに自生するセリ科の多年草で、抗酸化作用があり、沖縄では健康野菜として重宝されてきた。特に与那国では「ゲンナ」とよび、血行をよくし、ダイエット効果があるとして、青汁をはじめ、種々の健康食品の原料になっている。
<b>紅芋</b> 	ヤム芋の仲間。沖縄で広く栽培されている。芋の中は鮮やかな「紅色」で、沖縄の地場資源活用による企業成功物語の一つとされる「お菓子のポルシェ」は、御菓子屋の店名で「紅いもタルト」などの販売で、短期間に県内観光土産売上のトップクラスに躍りた。
<b>マンゴー</b> 	ウルシ科の熱帯原産の常緑高木で、日本では沖縄をはじめ、九州地方でも広く栽培されている。果実をそのまま食べるのが一般的だが、マンゴプリン、ジュース、ドライフルーツなどの加工品も販売されている。沖縄では特に宮古島の「アップルマンゴー」が高値で人気がある。
<b>サンニン</b> 	月桃(サンニン)とは亜熱帯に群生するショウガ科目の植物で、独特の芳香があり、昔から防虫剤、食品保存に使われてきた。月桃製品は、沖縄本島、宮古、八重山、大東島などで消臭・防虫剤、化粧品、紙類、衣類、茶精油などの多岐にわたる商品が発売されている。
<b>アロエベラ</b> 	アロエベラは、ユリ科の植物で北アフリカ、カナリア諸島などが原産地で、薬効には健康・美容に有用な成分を多く含んでいる。乾燥地帯でも育ち、炎症治療剤などの生薬として用いられてきた。宮古島で食材、化粧品、お茶などの製品化がなされている。

(中小企業基盤整備機構『沖縄プロデュース 2014』などより作成)。

の生産には汚染されていないきれいな海水と技術が必要不可欠である。沖縄産の塩は、全国需要の約3割を占め、最近では「沖縄の島マース」として、高値であるにもかかわらず、香港をはじめとする海外からの注文も急増している。特に人口1,000人弱の粟国島と500人弱の勝連半島沖に浮かぶ津堅島の「塩」は、今や世界的なブランドとなり、通常の塩の数倍の値段がつく。後

者の塩の製造技術は、従来の「釜焚き製塩法」、「天日乾燥製塩法」と異なる世界的にもユニークな技術で、「常温瞬間結晶製塩法」とよばれている。この製法を開発した有限会社「ベンチャー高安」の高安正勝社長によると、「ビニールハウス内で原材料の海水を極微細な霧状にし、そこに送風機で強い風を送る。風に飛ばされた霧状の海水は、張ってあるネットに吹き付けられる。そのとき水分は気化し、海水中の塩分が瞬間的に結晶化して、ネットにはたちまち白い塩の花が咲く。この塩には、塩化ナトリウムはもちろん、海水が本来持っている豊富なミネラル分も損なわれることなく結晶化されて含まれている。海水は勝連半島沖に浮かぶ津堅島の太平洋側を北上する黒潮を使っている。」まさしく無限とも言える海の資源をフルに活用して成功した一例である。

「もずく」は、沖縄を代表する健康食材で、養殖技術の確立により、全国需要の9割強を占めている。本土の「イトモズク」に対して、沖縄のモズクは「フトモズク」とよばれ、昔から酢のり＝「スヌイ」とも呼ばれ、日常的に食されている。モズクは食材としてだけでなく、抗がんや抗菌免疫作用があるとされる「フコイダン」の原料としても注目されている。

農産物の筆頭は「ゴーヤ＝にがうり」である。ゴーヤは栄養価が高い上に、他の野菜や果物などに比べて健康成分が数多く含まれている。なかんずくビタミンCは、他の野菜の数倍も含まれている。健康食ブームと、NHKドラマの「ちゅらさん」効果で一躍沖縄発の全国ブランドになった。沖縄料理の「ゴーヤチャンプルー」だけでなく、ゴーヤ茶、青汁、種カプセルなどの数多くの製品が出回っている。ゴーヤは代表的なウリ類で、ウリミバエの根絶によって生野菜

のまま本土への移出も可能になった。

ゴーヤ以外に健康食品として、ウコン・シークワサー・アセロラ・長命草・クワンソウ（アキノワスレグサ）などの種々の関連製品が人気を集めている。セリ科の植物である「長命草（和名：ボタンボウフウ）」は、与那国島の過酷な環境に育つ「奇跡の植物」とよばれ、美容健康食品などに製品化されて資生堂から発売されているが、ここ5年で生産量は8倍、島内全就業者の2割に達し、ウコン・アロエに次ぐ人気商品に成長している。長命草は離島などの海岸沿いでよく育つ多年草で、年2～3回収穫できることから、与那国島では砂糖キビに代わる新たな高付加価値農産物として注目されている。読谷村に本社のある「御菓子御殿（旧、御菓子のボルシェ）」の「紅いもタルト」関連商品は、今や年間約50億円を売り上げる観光土産の主力製品に成長した。政府の沖縄施策の目玉として、鳴り物入りで喧伝された「沖縄自由貿易地域」からの出荷額にはほぼ匹敵する。

沖縄の島々には、表2に掲げた特産品以外にも、「島チャビ（痛み）」を吹き飛ばす多くの特産品がある。西表島はパイナップル、黒糖、イリオモテヤマネコなどの魅力で多くの観光客を惹きつけている。宮古多良間島では山羊乳ヨーグルト、伊江島では、菊、ピーナツ菓子、ラム酒などの種々の農産加工品で島興しを行っている。世界的に有名な「海底遺跡」が眠る日本最西端の与那国島には、長命草特産品に加えて、60度の「どなん花酒」、激辛島トウガラシ、カジキマグロなどがある。伊平屋島の「アサヒガニ」、伊是名島の「いなむどっち（伝統的な宮廷料理）」も広く知られるようになった。沖縄本島から約360kmに位置する南北大東島は1900年に八丈島出身の玉置半右衛門によって開拓が

開始された。砂糖キビ関連生産で県内トップの1人あたり所得を誇り、糖蜜を利用して製造した「ラム酒」は遠くヨーロッパまで販路を広げている。大東島に自生する「大東月桃」を使った化粧水や菓子類などのユニークな特産品も生みだしている。

超ミニの島々でも驚くような特産品が数多く生産されている。琉球の始祖アマミキヨが降臨したとされる「神の島」、久高島（周囲8km、人口200人）では、琉球王国の最高級食材であったウミヘビの一種である「イラブー燻製品」がいまだに受け継がれ、人口36人の本部町水納島にはおそらく日本初の「黒豆パインジャム」がある。他では真似できないこれらの「小さな一番」が雇用や所得を生み、島の循環型経済を支える基盤になる。

久米島には、本島市場への「距離の暴虐」を克服したベストセラーの泡盛「久米仙」があるが、後述する豊富な海洋深層水を活用した高級食材の養殖や種々の商品開発もなされている。もっと大きい石垣島や宮古島では、「石垣牛」、川平湾の「黒蝶真珠」、「ミドリムシ=ユウグレナ製品」、「宮古マンゴー」、「宮古雪塩」などが大ヒットしているが、それ以外の島でも特性を生かした農畜産物とその加工製品が豊富に生産されている。

毎年開催されている「離島フェア」は、島々で生産された特産品の見本市である（写真1）。特産物以外に、伊是名村では体験型学習の一環として、「島インターンシップ」を実施しており、久米島では島外から生徒を受け入れる「島（離島）留学」制度を実施している。沖縄本島うるま市に属する人口約300人の伊計島では、廃校になった小中学校を拠点にして、全国初の通信制高校がスタートした。出版大手の



写真1 沖縄離島フェア2012  
(嘉数 啓撮影).

KADOKAWA と地元自治体が連携した島活性化ノウハウで、全国から5,000人の生徒を募集する計画だ。

島は一種の完結した社会を形成しており、生徒が島独特の歴史文化と多様性に富んだ自然の中で、自主的に学習できるモデル環境を提供していると言える。新潟県の佐渡島で始まった「島留学」が島根県の隠岐諸島、九州の島々などにも広がっている。島はまた、「エコツーリズム」資源の宝庫でもある。

### 3. 砂糖キビの「複合・循環型」活用技術

沖縄の生物資源で、歴史的にも、その広がりにおいても最も重要な作物は砂糖キビである。17世紀の初頭に、砂糖キビから黒砂糖をつくる技術が中国から導入されて以来、黒砂糖は琉球の重要な移輸出商品となった。沖縄の基幹作物である砂糖キビは、耕作面積、生産量、産出額で大きく減少してきたものの、いまだに耕地面積の約5割、農業産出額の2割を占めており、近い将来においても沖縄の基幹作物であること

は間違いない。

砂糖キビの産地は沖縄本島から、離島に移りつつある。特に宮古島圏域では、砂糖キビ産出額が生産農業所得の79%を占め、20年前の70%より存在感は増している。しかしこの宮古島圏域といえども、砂糖キビ生産は減少傾向にあるという事実がある。その背景には、砂糖キビ取引価格の低迷と生産費の増大、労働力の高齢化、作目転換などで農家の生産意欲が減退していることがある。2014年度の砂糖キビ買い取り価格はトン当たり21,923円（糖度14.1）だが、そのうちの75%は、政策支援価格（交付金）である。砂糖の取引価格はトン当たり5,503円で、砂糖の国際市場で決定されることから、単純な計算だと取引価格が現在の4倍程度に大幅に改善されない限り、国際市場で太刀打ちできないことを物語っている。ちなみに日本の輸入糖に対する関税率は328%（2014年）である。政府の価格支持策が現在より一段と強化されない限り、農家の生産意欲は回復しないことになるが、これから先の国内における地域間政治力学を考えると、かなり疑問が残る。むろん現状を改善するオプションは残されている。よく指摘されていることだが、砂糖キビ生産の収穫面積単位当たりの土地生産性は長年にわたって低迷しており、若年層の農業参入、法人化、品種改良、島嶼環境に適合した生産基盤技術の導入など、生産性向上へ向けた取り組みを怠ってはならない。

沖縄に限らず、日本農業の未来については、最近の環太平洋戦略的経済連携協定（TPP）への加盟が国政の最大の争点の一つになっているように、「自由化」か「保護」かの二者択一で揺れ動き、思考停止に陥っている感がある。砂糖については当面 TPP 交渉対象品目から除外されたが、今後も自由化への圧力は強まるこ

とは間違いない。前稿で分析したように、高率関税あるなしにかかわらず、砂糖キビは現状のままでの活用技術、後継者不足では「自然死」する可能性が大である。特に沖縄離島での砂糖キビの持続的増産を目指したモデルを以下で提案する。

図5で示した砂糖キビの高付加価値、複合的活用については、これまでも多くの研究者が提案し、有用技術も開発・応用されてきた。砂糖キビの第六次産業化として、菓子類（かりんとう、さとうきび棒など）、家畜飼料、バガスの利用、エタノール製造、ラム酒（大東島、伊江島）、ウレタン樹脂などが注目されてきた。沖縄のトロピカル・テクノ・センター（TTC、解散）が開発した糖蜜を原料とするウレタン樹脂は、環境に有害なプラスチック製品の代替品として注目されたが、沖縄での製品化には至っていない。これらの製品は微生物分解性をもち、土に戻すことができるから、利用者や消費者に受け入れやすい品質および価格さえ実現できれば、環境に有害なプラスチック製品の代替品として注目されるであろう。この種の「環境に優

しい」ゼロエミッション型新商品の開発には、改善を諦めない持続性が要求される。

宮古島市ではここ数年、ガソリンに代わるエタノール燃料の実証実験が行われており、一定の成果を挙げている。実証実験が成功したにしても、実用化に向けた最大の課題の一つが砂糖キビ原料の確保である。エタノール生産規模の拡大によって、ガソリン並みの価格が設定できるとする試算も出ている。エタノール生産の副産物として、「醗酵残渣および蒸留残渣」の商業化にも注目が集まっている。

最近の動きとしては、図5にも例示してある砂糖キビ原料を利用した高付加価値のL-グルタミンの生産である。L-グルタミンは、アフリカ系の人々に多い難病（鎌形赤血球貧血症）の治療薬としてUCLA 医学部教授の新原豊博士が特許を取得しており、奥様が沖縄出身ということもあって、宮古島の砂糖キビの原料を使った生産を検討している。筆者も訪ねたことがあるが、新原教授はロサンゼルスにエマウス社（Emmaus Medical Inc）を設立し、すでにL-グルタミンを使ったサプリメントを製造販売している。医療用高純度のL-グルタミンは、砂糖キビ、甜菜またはトウモロコシ等の作物から分蜜糖を製造する際に得られるバイプロダクトの糖蜜原料を発酵させることで精製される。砂糖キビ原料のグルタミンは、甜菜などの他の作物を原料としたものよりも低コストで生産できることから、薬品メーカーから注目されている。世界における医療用高純度のL-グルタミンの生産量は、年間約2,000 tで、さまざまな医療現場で使用されているだけでなく、サプリメントとしても活用されている。

エマウス社は、グルタミン、エタノール事業を中核とした宮古島での砂糖キビの高付加価値・

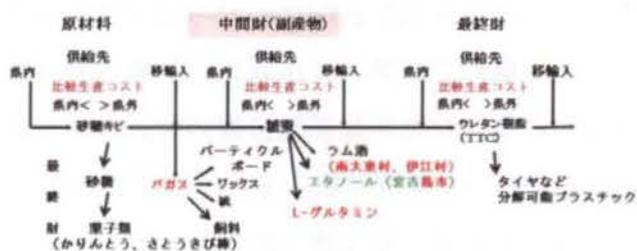


図5 砂糖キビの活用技術の例  
(嘉数(2013, 83)より引用)。

注：< >は県内生産と県外生産の比較コストを示す。

県内産が移輸入より安ければ（<）、県内産を活用する。

逆であれば（>）、県外産を活用する。

表3 宮古島の砂糖キビ高度・複合・循環型利用の例 (2012年)



(エマウス社資料より作成)

複合・循環型モデルを例示している(表3)。仮に年5万tの砂糖キビをこのモデルにあてはめた場合、トータルの売上は年間約15億円となる。砂糖キビを現在の買取価格(22,200円/t)で買上げた場合のコスト約11億円を差し引いても、約4億円の利益を生み出すことが可能である。宮古島のサトウキビ生産量は年間約30万t(2012年)である。高付加価値循環モデルの構築によって利益を出せれば、宮古島は既存の補助金政策から脱却し、自律的に利益を生み出すことができる。

安定供給に必要な年間1,000tのL-グルタミンを生産するには、宮古島の砂糖キビ生産量の約50%程度が必要であると試算している。さらに、表で示した副産物事業の展開により、砂糖キビ産業を中核とした、高付加価値循環型モデルを宮古島で構築する展望が開ける。砂糖キビは、奄美、ハワイのマウイ島、フィジー、カリブ海の島々などで基幹作物になっており、これが成功すると、宮古島が砂糖キビ複合利用に関する世界のモデルケースになりうる。

#### 4. 島嶼資源を活用した新規産業

##### — 沖縄のコーヒー関連産業の可能性 —

ヤンバル(沖縄本島北部)の「赤土」で育った沖縄産「紅茶」が世界的に注目されている。意外と思われるかも知れないが、紅茶同様、沖縄産コーヒーもブランド化が可能である。「コーヒーベルト」とは、世界のコーヒーの発祥地、アフリカのエチオピアから、ハワイのコナ、ブルーマウンテンの産地ジャマイカまで、赤道を中心とした熱帯地域を指すが、このコーヒーベルトの北限に近い亜熱帯沖縄でもコーヒーが盛んに栽培・焙煎され、愛飲されている事実を知っている人は少ない。沖縄で初めて、筆者主導による「ヤンバル・コーヒー・フォーラム」が開催された(長峰 2011)。湿潤で、斜面の多い沖縄は、コーヒーの栽培に向いていると言われている(図6)。とくに広大な「ヤンバルの森」は、防風林に囲まれ、土壌(国頭マージ)もコーヒーの栽培に適していると言われている。2012年時点で、新規参入も含めてすでに6件の「コーヒー農場」がある。農業生産法人を組織し、「名護珈琲」のブランドで沖縄産コーヒーを栽培、収穫、焙煎、商品化している生産者もあり、



図6 沖縄ブランドコーヒーの可能性

沖縄でのコーヒーブランド化の可能性が実証されつつある。

ハイブランドの「スペシャルティコーヒー」に見られるように、コーヒーは奥が深く、関連産業のすそ野も広がっている。ハワイのコナコーヒーのように、「ブランド化」によって、世界的なコーヒー販売チェーンを生み出す可能性を秘めている。特にヤンバルでは、基幹作物である砂糖キビが衰退し、耕作放棄地面積が拡大する中で、地域特性が生かせるコーヒー産業は沖縄農業復権の救世主になりうる可能性を秘めている。コーヒー関連業種（脱穀機、焙煎機、入れ物、スイーツ、お茶、ジャム、蜂蜜、イースト菌、パン、コーヒー店など）の開発と販売を通して、新たな第六次産業の振興を目指す壮大なロマンがあってもよい。

ギリシャ神話に登場するエーゲ海に浮かぶイカロス島は、「死ぬことを忘れてしまう島」と形容されている健康長寿の島だが、その要因の一つとして「ギリシャコーヒー」の愛飲があげられている。「沖縄コーヒー」は長寿県沖縄の復活につながるかも知れないのだ。

地場資源を活用したこれらの島嶼発の商品を成功裏にマーケットに乗せていくには、いくつ

もの課題をクリアしなければならない。その一つは、生産コストを決定する市場の規模である。糖蜜を原料とするウレタン樹脂のような新製品がプラスチック製品と競うためには、市場においてある程度のシェアを占有する必要がある。その間、公的機関を主とする「戦略的」サポートが不可欠である。

二つ目の重要な点は「コスト・エスカレーション」である。図5で示したように、より付加価値の高い製品に向けて商品多様化を図るためには、地場で生産される原材料・半製品はボーダー価格で調達できるものでなくてはならないとする「ボーダー価格原則」を踏襲することが求められる。つまり、県内原材料の比較生産コストが県外（移輸入）より安ければ（<）県内産を活用し、逆に高ければ（>）県外産を活用することになる。生産初期段階におけるコストの不利性を補償しうる助成金および関税を含む税制面の優遇策等がない限り、沖縄における第六次産業の原料は、割安な海外産を使用せざるを得ないこともありうる。

三つは、国際水準の品質と価格に加えて、地場原材料・農産物の安定供給である。これが実は言うは易く、実行は難しい難問である。身近な生鮮農産物一つとっても、耕作放棄地が拡大しているにもかかわらず、台風の影響もあって安定供給が定着せず、移輸入品が増大している現状をどう打破するかだ。多くの離島では、生鮮野菜の2～3割しか自給できていない。

四つは、前稿で詳述した「島産島消＝島で生産し、島で消費する」循環型生産・消費システムの構築である。これが実現すると、所得は島外に漏れず、値段は若干高く、品質は劣っても、島内の所得、雇用も拡大するはずである。その仕組の一つとして、ヨーロッパの島嶼地域で一

般化しつつある「フードマイレージ」(『朝日新聞』2010年6月26日夕刊)の導入である。さらに長崎県離島の「島とく通貨」のような、島内でしか通用しない「地域(島)通貨」の導入も有効であろう。

## 5. 海洋深層水関連技術

以下は、久米島在の沖縄県海洋深層水研究所資料および藤本裕所長(2010年当時)からの聞き取り調査結果をまとめたものである。太平洋島嶼地域の最大の「資源」は海洋であると言っても過言ではない。特に沖縄では、14~15世紀の「琉球の黄金時代」は言うに及ばず、現在の「観光立県」も「美ら海」に拠って成立している。沖縄が占有する海洋の面積はおおよそ本州の3分の2にも匹敵する。この無限ともいえる海洋資源を沖縄振興に利用すべく、2000年に久米島に53億円をかけて、「沖縄県海洋深層水研究施設」が完成し、19企業・団体に、試験研究用の「分水」を開始した。約2,300m沖の水深612mから、2本の硬質ポリエチレン管で、日量1万3,000t、水温約9℃の海水を汲み上げる。むろん取水能力は高知(4,000t)、富山(1,000t)を大きく上回る国内最大規模である。

海水の95%を占める「海洋深層水」とは、「光の透過率がゼロの深海」で、一般に「太陽の光が届かない200mより深い海を巡回する海水層」のことである。海洋深層水の一つの特性は、その「低温性」である。久米島の夏場における海面水温は平均30℃だが、水深612mから汲み上げる深層水の温度は約9℃で、しかも水温がきわめて安定している。この「温度差」を利用して、後述する「海洋温度差発電(OTEC)」が各地で実用化されつつある。インドでは火力発電並のコストパフォーマンスをすでに実現し

ているという。

二つ目の特性は、「富栄養性」である。水深が深まれば深まるほど、窒素・リン酸・カリ等に富んだ海水中の「肥料」が、プランクトン等の表層水で生活する動物の餌にならず沈殿する。この滋養分たっぷりの海水を循環的に汲み上げて、クルマエビ、アワビ、海草等の養殖、淡水化による野菜等の生産をはじめ、ミネラルウォーター、塩、化粧品、健康食品などの工業用品の生産にも幅広く活用している(図7)。

三つ目の特性は「清浄性」である。一言でいうと「細菌に汚染されていない『きれいな』水」ということである。深層水では、光が届かないから有機物が「分解」されず、細菌が繁殖する環境にない。深海600mにもなると、食品がほとんど腐敗しない。この特性はウイルスに弱いエビ等の養殖に適している。沖縄県は全国トップレベルのクルマエビ生産の実績を誇っているが、以前、ウイルスの広域発生で養殖エビが壊滅状態になったことがある。

上記の三大特性に加えて、深層水には、健康、美容に抜群の効果を発揮するミネラル、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム等が豊富に含まれており、すでに清涼飲料水、化粧水、アトピー用ケア製品、塩、食品添加物等への広範囲な応用が試みられている。

「久米島海洋深層水開発株式会社」では、深層水を使って、ミネラルウォーターを生産、販売し、副産物の「塩」と「ニガリ」を利用している。特に「天然深層水ニガリ」は食品添加物としての商品価値が高く、現在は塩よりも良質のニガリの生産に力点を置いている。また、沖縄泡盛酒造の最大手である「久米島久米仙」では、海洋深層水を用いた商品も販売している。

琉球大学の真栄平房子医学部教授などのこれ

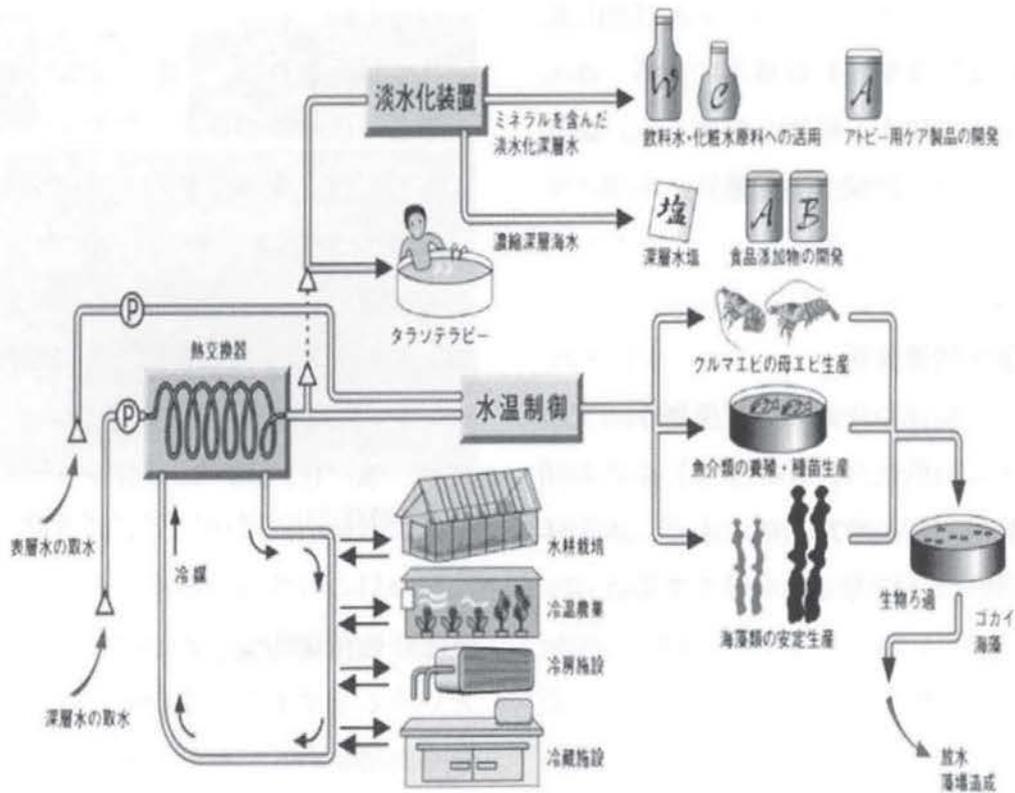


図7 海洋深層水の仕組みと応用  
(沖縄海洋深層水研究所資料より作成).

までの実験結果によると、海洋深層水は高齢者に多い「骨粗しょう症」の予防のほか、子供達の骨格形成にも効果があると同時に、古くから、海洋療法（タラソテラピー）にも活用されてきた（真栄平ほか 2002）。特に最近増加傾向にあるアトピー性皮膚炎の治療には効用があるとされ、久米島では、海洋深層水を活用した第三セクター方式による美容・健康施設「パーディハウス久米島」がオープンし、久米島観光の一つの目玉になっている。

海洋深層水を活用した製品化は図8の通りである。2010年における立地企業数は24社で、スタート時の2000年から10倍に増加した。売上額は20億円を記録し、特にクルマエビ、化粧品、ウミブドウなどの海藻類の生産が盛んである。後述する海洋温度差発電が本格スタートすると、経済波及効果は格段に拡大することが予想される。人口8,000人（2014年）の久米島には、3

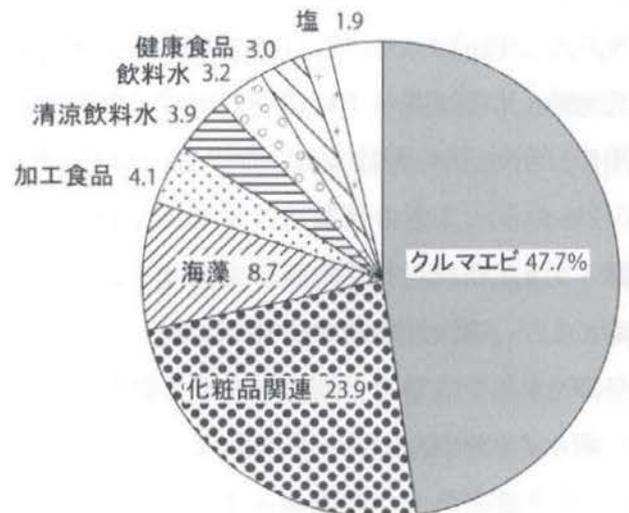


図8 久米島海洋深層水利用製品の売上割合  
(2010年) (久米島町の資料より作成).

つの「全国一」がある。琉球泡盛「久米仙」の出荷額、国の天然記念物に指定されている「五枝の松」、それに海洋深層水を活用したクルマエビの出荷額である。

むろん深層水事業がビジネスと成立するには、種々のハードルを乗り越えなくてはならない。

なによりもしっかりした分析データにもとづいて、「差別化」した商品価値を創造し、どうマーケットに乗せていくのかが問われる。また、深層水を陸地の施設内に汲み上げることによる環境問題もクリアする必要がある。野放図な分水、商品開発は「深層水商品」のイメージを損ねかねない。事実、高知県、富山県などでも海洋深層水事業が展開されて久しいが、事業の見直しが行われている。

## 6. 海洋温度差発電技術 (OTEC)

海洋深層水の活用で今後大きく期待されているのが、海洋温度差発電 (OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion) である。OTEC の歴史は古く、1881年にフランス人科学者のダルゾンバール (J. D. Arsonval) によって原理が考案された (新エネルギー・産業技術総合研究機構 2014)。OTEC の原理は高校の参考書でも紹介されている。600~1,000m 程度の深海の冷たい深層水と表層の温かい海水の温度差 (20°C 程度) を利用して発電する仕組みである。沸点の低い熱媒体を表層水で気化させ、タービンで発電、冷たい深層水で液体に戻す。フランス、アメリカ、日本などで最先端の応用技術が開発されつつある。日本では、佐賀大学が「ウェハラサイクル式発電システム」を世界に先駆けて開発、伊万里市に出力30kW の発電機を設置して、人工的に温度差を作り出して実証実験を行っている。2013年に、久米島で世界唯一の出力50kW の OTEC 実用プラントが完成し、実証実験を開始した (写真2)。

OTEC のメリットとして、①風力発電や太陽光発電を異なって、年間を通して安定した電力の供給が可能になる。②CO<sub>2</sub>の排出量がきわめて少なく、環境に優しい発電方式である。③

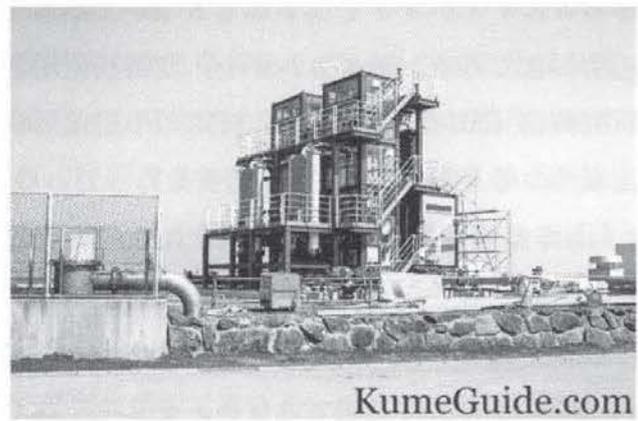


写真2 久米島の OTEC 発電プラント  
(久米島町役場提供)。

OTEC で用いた深層海水は、サンゴや海藻類を増殖するので、CO<sub>2</sub>を固定化することができる。④発電に伴って、海水淡水化や水素製造、リチウムイオン電池の原料であるリチウム回収などの複合利用が可能である (久米島町 2011)。

しかし OTEC による発電には、温度差が少なくとも20°C以上必要で、島嶼地域といえども立地場所は限られている。また発電規模が1,000kW で太陽光並のコストに下がり、10万kW 程度で最適コストパフォーマンスが実現できる。さらに陸上プラントでは取水管が長くなり、建設コストが高く、規模が大きくなり過ぎると、海水循環、熱の移動による海洋環境へ悪影響を与える可能性があり、実証実験で基礎データを収集し、検証する必要がある。

久米島町 (2011) によると、1.25MW プラントの発電コストは25.1円/kWh で、太陽光発電 (37~46円/kWh) と陸上設置の風力発電 (9~15円/kWh) の中間に位置している。実験プラント規模では、50円/kWh 前後のコストパフォーマンスになり、国や県の助成がない限り採算はおぼつかない。しかし OTEC の活用は、前述した種々の活用技術と「複合循環的」に行うものであり、海洋深層水プロジェクト全

体のコスト・ベネフィットにもとづいて結論を出すべきである。新エネルギー・産業技術総合研究機構(2014)は、OTEC技術の小規模島嶼地域への導入について以下の提言を行っている。

「海洋温度差発電は、大規模化によって発電コストを低減できるとされているが、電力需要の少ない離島などでは10MWを超えるような大規模プラントは設置できない。そこでそれらの地域では、海洋深層水の持つ低温性、富栄養性、清浄性または有用金属を含むなどの多様な付加価値を利用することにより、地域産業の活性化につながる地域受容性の高いシステムを提供することが有効である。将来的には、大規模エネルギー発電プラントとして、沖縄本島などの大きな電力需要のある地域へのエネルギー供給、洋上のエネルギー補給基地としての展開が考えられる。また、工場等排熱など、地域に賦存する未利用熱エネルギーとの併用も有望である。」

久米島町(2011)は、OTEC技術が久米島で成功すると、糸満、国頭、宮古島、石垣島、伊良部島、渡嘉敷島、粟国島などでも立地が可能であるとしている。さらに、小笠原諸島やOTEC発電で実績のあるハワイと連携し、太平洋の島嶼地域への技術移転も視野に入る。

## 7. ガラス瓶のリサイクル・製品化技術

3Rとは、廃棄物のReduce(削減)、Recycle(循環)、Reuse(再利用)の略だが、最近はこれにRefuse(廃棄物受入拒否)が加わっている。沖縄で開発され、広く利用されている技術にガラス瓶リサイクル事業がある。その代表的な事業会社として、トリム社(新城博会長)を2回にわたって調査対象にした。トリム社は健康食品を中心とした食品流通販売会社として、

1993年に設立されたが、1997年の「容器包装リサイクル法」の成立を契機に、リサイクル事業に進出した。その背景には、会社が経営する飲食店から大量のガラス瓶が廃棄され、沖縄全体では年間3万tに達していたという背景がある。1998年にガラス瓶破碎技術に関する特許を取得し、「廃ガラス瓶から軽量資材の新製品を試作する技術および装置」を開発し、軽量で耐火性、浸透性にすぐれ、有害物質を全く含まない盛土材「多孔質軽量発泡資材(スーパーソル)」の製造を開始した。製造プラントの配置は以下の通りである。

トリム社によると、スーパーソル製造装置は、原料ホッパー・投入コンベア・ガラス破碎機・カレット粉碎機・粉体移送装置・振動ふるい機・混合攪拌装置・焼成炉と各自動制御装置から構成されている。原料ホッパーには、約4.5m<sup>3</sup>の廃ガラスをストックすることができ、ガラス破碎機により約6mm以下のカレット状に破碎する。その後、カレット粉碎装置によってメディアン粒径約35 $\mu$ mのガラス粉体を製造する。その粉体を振動ふるい機にかけ、さらに異物除去と規格外粉体を篩い出す。次いで混合攪拌装置によりガラス粉体と添加材を混合攪拌する。その混合粉体が焼成炉へ連続的に供給され700~920 $^{\circ}$ Cの温度帯を予熱・軟化・焼成・発泡することで、投入時は厚み15mmのガラス粉体が、約60mm厚の多孔質軽量発泡資材として製造される。これら一連の装置群は70%以上が適合する装置がなく、トリム社オリジナルな開発品で構成されている。本装置群で2件の知的財産権(特許)を取得した。本装置は現在日本の数か所で可動しており、販売価格は一式で1億8,000万円程度である(図9)。

従来のガラスリサイクル装置といえば、ガラ



図9 ガラス瓶のリサイクル・製品化技術  
(トリム社資料より作成)。

スを破碎しカレット状にするものがほとんどで、出来上がったカレットは、透明・茶のガラスは再びガラスの原料になり、その他のガラスはコンクリート 2 次製品に混ぜたり、アスファルト舗装またはブロックに混ぜたりとするなどの用途に使用されているが、製品としての付加価値は低く、事業性には限界があった。

トリム社の主力製品であるスーパーソルは、土木分野での軽量盛土材、園芸・農業分野での人工培地・無機質土壌改良材、水処理分野での水質浄化材、建築分野での断熱材などの幅広い分野で利用されている。この廃ガラス資源化を利益の出るビジネスモデルに進化させるにはいくつかのハードルが必要である。一つは、地域から排出される原料（廃ガラス瓶）をいかに調達するかである。トリム社の場合は、99%の原料を地域から調達しているが、その調達手段として、「産業廃棄物運搬・処理業」の許可を取得している。すなわち、廃ガラス瓶は「産業廃棄物」になっており、その処理を「有料」で任されているのだ。従って、原料をただどころか、「処理費」を貰って調達することが可能である。つまり原料調達も「収益源」とする、環境ビジネスならではの珍しいビジネスモデルになっている。その処理コスト（原料調達収益）が年間

5,000万円程度である。さらに本リサイクル事業が成立する条件として、県や国の助成制度の活用が不可欠である。トリム社の場合、通産省の「技術改善等補助事業」、沖縄県の「創造法」などの支援を受けた。新城会長によると「リサイクル事業に進出して6～7年は利益が出ず、飲食業の利益を投じる形だったので、補助事業の活用は重要であった。補助事業はシーズがしっかりしており、かつ市場が見えるものであれば活用できる。」

製品の販売に種々のチャンネルを活用しているのも、本事業を成功させた大きな理由である。ISO9001認証取得をはじめとする製品認証制度を活用し、全国に宣伝した。新城社長によると「リサイクル製品は価格競争にはなかなか勝てないが、ネタは無数にある。ガラスのリサイクルで技術を確立すれば他のアイテムのリサイクルにも展開できるし、今のところガラスに特化した取り組みをしている企業は少ないのでビジネスになっている。」

トリム社は廃ガラスリサイクル技術の海外移転にも力を入れ、2014年には台湾の豊益元有限公司に1基2億8,000万円のプラントを3基輸出することで合意に達した（『沖縄タイムス』2014年7月26日）。台湾には魚やエビの養殖業者が約7,000社あり、養殖池も8,000～9,000か所ある。その水質保全のため定期的に水を入れ替える必要があるが、コストや環境負荷の課題があった。スーパーソルの特性はその有効な解決策となると評価された。

## 8. バイオマス：廃食油燃料化技術

2003年うるま市に設立された株式会社エコエナジー研究所（仲村訓一社長）の業務内容は、EDF 燃料（軽油・重油）の製造・販売、EDF

燃料精製プラントの設計・設置、使用済み天ぷら油の回収である。同社が特に注目されているのは、家庭などから排出される廃食油を軽油に変える「環境エコ燃料（EDF）精製技術」の開発である。同社が開発して特許をとり、販売を開始した装置はコンパクトモデルで1,300万円程度である。

原料となる使用済み天ぷら油は、会社が出向いて回収した場合は1ℓ当り5円、会社に持ってきた場合は15円で買い取っている。原料回収体制は確立されており、現在処理能力を超えて廃油が回収されている。本技術に対して、ココナッツ油の再利用に興味をしているのがマーシャル諸島共和国である。2009年4月に、マーシャルのケジオ・ピエン公共事業担当大臣がエコ・エナジー社を視察し、「マーシャルの少ない資源を有効活用でき、環境保全にも生かせる高い技術だ」と評価し、導入を明言した（『琉球新報』、2009年4月1日）。

宮古島のバイオ・エコシステム研究センターでは、琉球大学農学部などが中心となって、バガスの炭化プラントと牛糞発酵によるメタンガス発電機の実証研究を行っている。メタンガス発電により、石油や石炭などの化石燃料の代替エネルギーの新たな構築を目指す。

## 9. 地下ダム技術

島嶼の共通の課題は、水の確保である。島が小さければ小さいほど、島の保水力は乏しく、干ばつの被害を受ける。水の確保と同時に、遠隔離島の高い水道料金も問題になっている。最近時の例では、10<sup>m<sup>3</sup></sup>当たりの水道料金は沖縄本島平均が1,265円であるのに対して、北大東島は3,535円、粟国島3,250円、渡名喜島2,620円、伊是名島2,300円と、本島の2～3倍近くになっ

ている。離島苦解消には、これらのライフライン維持コストの平準化が不可欠である。

地下ダム技術が先行した宮古島は、平坦で河川がなく、島全体が透水性の高い琉球石灰岩でできており、降水のほとんどは地下に浸透して海に流出するため、しばしば干ばつの被害に見舞われてきた。水の乏しい宮古島に、地上と同じ機能をもつ実験用の「皆福地下ダム」が1979年に完成し、「オーガードリル法」による地下ダム建設技術が確立された。

この工法は、「世界で初めて、地下水の流れている帯水層を締め切り、水を溜め、その水を汲み上げて利用しようとするダム施設」である（Miwa et al. 1988）（図10）。この技術の成功を受けて、二つの地下ダムが完成し、現在貯水量920万tの世界最大規模の「仲原地下ダム」が建設中である。

地下ダムとかんがい施設の整備によって、農業用水の安定的な確保が可能になり、宮古島は基幹作目の砂糖キビをはじめ、マンゴー、ドラゴンフルーツ、葉タバコ、ゴーヤ、カボチャなどの主産地になっている（内閣府沖縄総合事務局 2013）。宮古島における地下ダム事業では、架橋によって結ばれる伊良部島や周辺離島へも、送水管敷設を計画している。

地下ダム方式はどの島でも有効であるとは限らない。伊良部島では海水が琉球石灰岩部へ侵

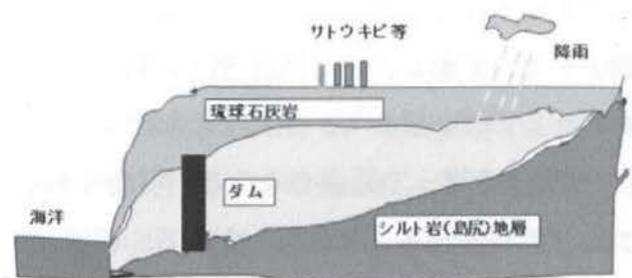


図10 宮古島の地下ダム概念図

入してくる地盤構造ゆえに、地下ダム建設には適してない。地下ダム建設には、流動性浅層地下水の存在と、上流側に広い滞水層を有する施行箇所の確保が必要である。淡水レンズの構造をなす伊良部島では地下ダム建設効果はみとめられない(黒沼 2013a)。しかし、伊良部島と同じ淡水レンズ構造をなす多良間島で、止水壁を島端部に設置して地下水の厚みを増す「フローティング型地下ダム」の応用技術の研究も行われている(黒沼 2013b)。宮古島地下ダム事業は500億円を越す大型プロジェクトで、本技術の南太平洋島嶼地域などへの移転に際しては、ODAなどの資金支援が不可欠である。地下ダム技術には、完成後の高度の管理技術が要求される。農地に散布した農薬が地下に浸透し、それによりダムや地下水の水質汚染が問題となっているからだ。

地下ダム以外に、「沖縄型水循環システム」も糸満市で動き出した。これは沖縄県と京都大学が共同で実施している新たな水資源確保技術で、海に放流されている下水道処理水をろ過膜や紫外線殺菌で再処理し「再生水」と農業に活用するプロジェクトである(『琉球新報』2014年10月4日朝刊)。

## 10. 再生可能(グリーン)エネルギー技術

石炭、石油、天然ガス、原子力などのいずれ枯渇する化石原燃料から脱却し、太陽光、風力、地熱、波力、バイオマスなどの「持続可能な再生可能エネルギー」への転換が叫ばれて久しい。1970年代の石油ショック、1980年代の温室ガス急増による地球規模での環境破壊危機を契機に、環境に優しい再生エネルギーへの取り組みは加速してきた。先進工業国で石油ショックの影響を最も受け、「公害先進国」の汚名を晴らすた

めに、日本は代替エネルギーへの転換をリードし、1997年には「地球温暖化防止京都会議(COP3)」を主催して温室効果ガス削減の主導権を握った。再生可能エネルギーへの転換を加速させたのが、東日本大震災による福島原発事故の教訓である。2012年の衆議員選挙では「脱原発」が最大の争点の一つとなり、今後も原発をめぐるエネルギー問題は国民の最大関心事の一つになることは間違いない。

日本政府は、再生可能エネルギーの転換を加速するため、2011年8月に成立した「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づき、2012年7月より、電力大手会社による固定価格による全量買い取り制度(FIT=feed-in tariff)をスタートさせた。太陽光発電に関しては、10kW未満の(住宅用等)の場合、現状と同じ余剰電力の買い取り制度が適用される。電気事業者が買い取りに要した費用は、電気料金の一部として、国民が再生可能エネルギー発電推進付加金によってまかなう仕組みになっている。

買い取り価格は毎年見直され、今後引き下げられる予定だが、沖縄と関連する当初の太陽光および風力発電の買い取り価格が1kW当たりそれぞれ42円、57円(10kW未満)となっており、事業者の想定を上回る価格設定になっている。その結果、特に大型太陽光発電への投資が加速している。沖縄県内の太陽光発電施設は、2013年度時点で一般家庭約72万世帯分に相当する能力がある(『琉球新報』2016年4月5日)。ただ、電力の安定供給、事業者の急増による家庭への負担、電力会社の送電網の不足などの課題を解決する必要がある。

原発のない沖縄の電源は、ほとんど石炭、石油、液化天然ガスで賄っている。沖縄電力が、

宮古島で実証実験している「マイクロ・グリッド」と称するハイブリッド型の電力供給システムも注目されている。再生可能エネルギーの主役であるメガソーラー（4 MW）と風力（500 kW）の電力を蓄電し、再生可能エネルギー源のアキレス腱とされている発電量の不安定を解決する試みである。この実証実験を離島で行う意義は大きい。すでに嘉数（2015）で見たとおり、本土と比較しての沖縄における電気料金の割高は、離島での小規模発電によるコスト高要因が大きいからである。沖縄の電気料金は、島ごとに料金が異なるハワイと違って、全沖縄「プール制」で一律に設定され、本島の電力需要者が離島料金をクロス補助する仕組みになっている。ちなみに2008年時点で、人口18万人の

マウイ島の一般家庭の電気料金は人口93万人のオアフ島の5割も高い。

表4は、沖縄主要離島の人口と電力需要量を示している。ここ10年、大半の離島で人口減少を見ているが、それにそって概ね電力需要量も減少している。むろん人口減少と電力需要量が必ずしも連動しているわけではない。例えば鳩間島、波照間、南大東島、伊江島などは、人口が減少したものの、電力需要は逆に増加している。家庭用電力需要以外に業務用電力があり、観光施設や工場、公共施設の多い島はそれだけ電力を多用することになる。たとえば400世帯以下の小浜島は世帯数が約2倍の伊是名島とほぼ同じ電力を消費している。それは主に小浜島のリゾートホテルでの電力需要による。

表4 沖縄主要島嶼の世帯数・人口・電力需要（2014年）

島名	世帯数	人口	電力需要量 (MWh/年)	2005～14年増減(%)		再生可能エネルギー 賦存量(MWh/年)
				人口	電力需要	
鳩間島	39	43	209	6.1	-32.8	6,551
水納島	27	44	159	-13.6	-10.2	119,684
黒島	120	194	895	-15.6	-6.7	64,756
阿嘉島	164	253	1,788	-14.2	-23.8	125,885
竹富島	178	351	3,886	55.5	6.4	35,677
渡名喜島	223	402	2,077	-8.6	-24.3	662,784
波照間島	277	538	3,303	12.2	-7.4	787,796
北大東島	269	553	4,832	20.0	-6.0	209,675
座間味島	321	567	3,451	-14.5	-14.5	1,481,276
小浜島	359	604	8,148	-2.6	-6.8	51,395
渡嘉敷島	414	691	5,080	-6.4	-12.0	796,158
粟国島	445	739	4,071	-7.6	-21.0	347,508
伊平屋島	532	1,206	7,042	-10.0	-15.7	3,247,894
多良間島	532	1,253	5,337	-2.0	-8.1	2,360,521
南大東島	645	1,277	8,945	1.1	-11.8	276,409
伊是名島	788	1,541	8,147	-3.9	-12.5	144,561
与那国島	791	1,543	8,695	-4.7	-14.1	708,089
西表島	1,197	2,270	12,630	-7.6	-2.1	1,819,198
伊江島	2,180	4,730	22,792	4.9	-7.4	1,153,039
伊良部島	2,705	5,148	17,020	-17.4	-18.1	397,515
久米島	3,916	8,340	48,632	-4.9	-8.7	2,415,163
宮古島	21,787	48,316	232,026	4.8	4.5	12,204,501
石垣島	22,259	48,559	263,581	1.7	7.5	10,898,359

注：「再生可能エネルギー賦存量」とは、太陽光・風力・バイオマスなど、島で開発可能なエネルギー量のことである（ランドブレイン 2014）。

（沖縄県 2015、『離島関係資料』などより作成）。

沖縄離島における電力供給はすべて沖縄電力によってなされている。小離島は沖縄本島系統、宮古島系統、石垣島系統からの海底ケーブルや橋梁添架ケーブル等で接続されている。エネルギー供給源の99.5%を石炭、石油、天然ガスに依存し、太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーの活用は緒についたばかりであり、自然エネルギーによる発電では2%程度(全国は水力を含めて12%)である。表4に示す通り、離島の再生可能エネルギー賦存量は現在の電力需要量の数十倍に達しており、活用の仕方によっては島内エネルギー需要の自給も夢ではない(ランドブレイン 2014)。特に人口と電力需要が増大する宮古島は、再生可能エネルギー賦存量が県内離島で最も大きいこともあって、自然および循環型エネルギー開発によるエネルギーの島内自給を目指して、「マイクロ・グリッドシステム」の構築や次節で詳述する「バイオエタノール」プロジェクトなどのモデル的な取り組みが展開されている。

宮古マイクロ・グリッドシステムがフル稼働すると、宮古島での再生可能発電の比率は現在の8%から16%になると推定されており、沖縄全体の2%からすると飛躍的な進展となる。このシステムは宮古島が目指す「循環型社会」の構築に貢献すると同時に、他の離島、ひいては太平洋島嶼地域への技術移転にもつながるはずである。宮古島では2003年の猛烈な台風により、風力発電機の支柱が根本から折られ、台風常襲離島での風力発電設置のリスクが高まった。しかしその後、「沖縄発」の技術として沖縄電力の子会社が台風時に折りたためる「可倒式風力発電施設」を開発して、波照間島、南大東島、粟国島で導入した。2014年にはJICAの支援を得て、170の島々からなる人口15万人のトンガ

王国への技術移転に結びつけた。地球温暖化の影響を受けている人口19万人のサモアも沖縄の島嶼エネルギー技術に注目しており、2015年の「気候変動枠組条約締約国会議(COP21)」を踏まて、2017年までに電力の100%を再生エネルギーで賄うと明言した。

むろん図11でみるように、再生エネルギーの導入による電源の多様化が、電気料金の低下につながるかどうかはわからない。2009年時点で、太陽光発電は、石炭・石油電源の5~7倍もコスト高になっており、電力の安定供給とコスト問題を同時に解決する方程式を解くことが求められている。

太陽光発電分野での参入障壁の大幅緩和、大容量化、ソーラーパネルの変換効率の向上、蓄電技術の向上、好条件の全量買い取り価格、家庭用電力販売の自由化などの導入により、普及が急激に増加している。この結果、経済・経営学でいう「経験曲線効果」、つまり、普及が拡大すれば規模効果で価格が継続的に低下する現象がすでに起こっている。自然エネルギー財団の試算によると、2014年時点で、1kW当たり25円台の発電単価を実現しているところもあり、大手電力の電気料金引き上げもあって、すでに「グリッドパリティ(Grid parity)」、つまり

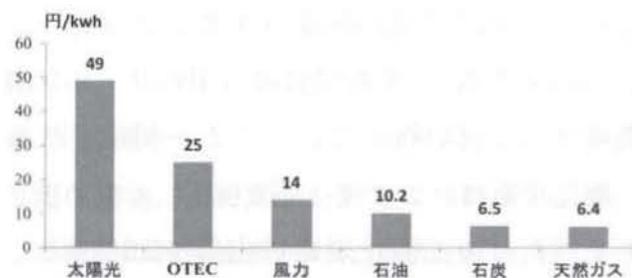


図11 沖縄の電源別エネルギーコスト(2009年)  
(沖縄電力・久米島町役場資料より作成)。

注: 沖縄には水力・原子力発電は稼働していない。  
OTEC(海洋温度差発電)は久米島で実証実験中。

太陽光発電と化石燃料発電との単位発電コストは同等（パリティ）になるとの専門家の予測がすでに実現している（『朝日新聞』2016年3月30日）。

現在の電力買い取り価格は、10年以内で設置コストを回収できるように設計されている。太陽光発電は、設備と設置費用の「初期費用」が大きいものの、燃料費は不要である。また、昼間に発電した電力を蓄電し、夜間に使う蓄電技術も日進月歩である。特に、送電線網が未整備で、燃料輸送費が高く、規模の不経済が働く離島などでは、太陽光、風力を主とする自然エネルギーの発電効果は一層大きいと思われる。

燃料費が不要といえ、海に囲まれた島の立地を活かす発電技術として「波力」発電が最近注目されており、沖縄科学技術大学院大学（OIST）では、小離島に応用可能な小型プロペラによる波力発電に成功しており、発電効率やコスト、電力の安定供給に見通しが立てば、「沖縄発」の離島発電システムとして国内外で普及する可能性がある。

## 11. 宮古島のバイオエタノールプロジェクト

人口5万人弱の宮古島は「エコ・アイランド」を目指しており、宮古島の全自動車約2万台が、宮古島で生産するバイオエタノールを3%混ぜたガソリン、「E3」を使う目標を立てている（Uehara 2010）。宮古島での年間のガソリン消費量は約2万4,000klで、そこから排出される二酸化炭素は、およそ5万6,000t（ガソリン1ℓ当たりの二酸化炭素排出量を2.36kgとして計算）になる。もし、島内の全車両がE3を利用すると二酸化炭素の削減量は約1,700t、E10なら5,600tになる。宮古島エタノール事業は、製造工程で出る蒸溜残渣を農地の肥料とし

て還元する事業や発酵酵母の高タンパク廃棄物を牛の飼料にする事業も目標に入っている。

宮古エタノール事業は進化している。本事業を推進する宮古島新産業推進機構は、日立製作所と連携して、40%の低濃度バイオエタノールで発電する「高効率発電システム」の試作実験を公表した（『宮古新報』2016年2月22日）。このシステムは従来の島嶼発電システムに比べ、約40%のエネルギー削減が可能で、これまで主に自動車燃料に限られていたバイオエタノールの用途を、発電分野へと広げるものとして注目されている。

県内砂糖キビの主産地である宮古島のバイオエタノールプロジェクトは、資源エネルギー庁の支援を受けて2006年にスタートした。製糖過程で産出され、廃棄物処分されていた廃糖蜜（サトウキビの2～4%の割合）を原料とするもので、石油業界が推進している「バイオETBE（エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル）」を配合したガソリン製造・販売とは異なる。ただ本事業は期限付きの「実証実験」であり、その後宮古島が独自に事業化できるかである。プロジェクトの継続性に加えて①バイオエタノールを混ぜた燃料に対する二重課税、②石油連盟が推進するETBEへの対応、などの問題を抱える。宮古プロジェクトはこれらの事業と競合的か、補完的かが問われている。

## 12. ソフトイノベーション

本章の冒頭で、「イノベーション（革新）」とは、新商品開発に向けた革新的な工業技術を超えて、既存技術・ノウハウの導入・改良・普及・マネジメントを含む幅広い概念であると定義した。小島嶼地域では、先進的なハードな技術よりも、むしろ既存あるいは過去の失われた技術

の「復活」を循環型社会の構築に向けていかに活用する仕組み、すなわち「ソフトイノベーション」の創出が重要な課題となっている。表4に掲げた「ユイマール（相互扶助）」、「模合（相互金融）」、「マルチタスク労働システム」などに裏打ちされた「沖縄型ネットワーク社会」の構築もソフトイノベーションの好例である。

前稿で触れた「フードマイレージ」の考え方も島の循環型経済の構築に役立つ。フードマイレージは、「食料の(=food) 輸送距離(=mileage)」という意味で、イギリスでは1994年から導入されている。食品の生産地と消費地が近ければ近い程、フード・マイレージは短くなり、環境負荷が小さくなることから、若干値段が高くても、消費者は地場産の物資を購入する傾向が強くなる。日本でもCO<sub>2</sub>の削減量を表す単位の「ポコ (poco)」を使って、フードマイレージの概念を実用化している「NPO法人ポコ・ア・ポコ (<http://www.pocoapoco-wako.com>)」がすでに活動している。これが成功するには、「適地適作」を踏まえた島産島消が必要となる。近くでもエネルギーを使う「ビニールハウス栽培」だと、逆に環境にマイナスに働くことがある。フードマイレージは、「カーボンオフセット」の考え方にもつながる。琉球ジャスコは、フードマイレージを念頭に置き、地元調達を35%から40%に引き上げると宣言し、伊平屋島の玉ネギ、竹富島のジャガイモ、座間味島のゴボウなどを仕入れている。

島嶼の経済的不利性を克服する一つのアイデアとして、海域を含む「地域別CO<sub>2</sub>吸収アプローチ」を政策課題として議論する時機にきているのではないか。海洋は、温室効果ガスの約3割を吸収していると言われている。その結果、海水の酸性化がすすみ、サンゴをはじめとする

海洋生物の生存を脅かしている。主に経済大国によってもたらされている地球温暖化に抗する手段として、広大な海域を有する小島嶼の実効支配領域（陸地面積+EEZ面積）を確定し、「二酸化炭素吸貢献度」を科学的に査定して、島嶼地域が世界規模での「排出権取引」に名乗りをあげる日も来るかも知れない。

### 13. その他の沖縄型島嶼型技術

沖縄で応用・開発された主な技術を取り上げたが、廃棄物処理、サンゴ礁の保全やモニタリング、海洋汚染の大きな原因となっている赤土防除などについても種々の技術が開発・実施されてきた。海の汚染、サンゴ礁の白化現象の原因の一つにもなっている赤土流出は、沖縄に限らず、太平洋島嶼地域などでも深刻な問題になっているが、ハードな技術の応用だけでは解決されず、政府の農政、環境政策、農家に対する営農対策などのソフト面でのイノベーションとの組み合わせが課題になっている（坂井ほか2010）。

### Ⅲ ハワイと連携した「沖縄型島嶼型技術・ノウハウ」の海外移転

南太平洋の島嶼国から見る限り、沖縄、ハワイは島嶼型技術の宝庫である。3年に1回日本の主催で開催される「太平洋・島サミット (PALM)」がこれまで沖縄県で3回（2003年、2006年、2012年）開催された。「PALM-3」では、「沖縄イニシアティブ」が採択され、持続可能な開発、人材育成分野での沖縄が日本唯一の島嶼県の特徴を生かした国際貢献の役割がうたわれた（外務省ホームページ：[http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/ps\\_summit/](http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/ps_summit/)）。PALMの提言を受けて、「沖縄21世紀ビジョン基本計画」においても、「アジア太平洋地域の島嶼地

域が直面している開発課題の解決に貢献する」と明記されている。

沖縄で開発・応用された「島嶼型技術・イノベーション」の太平洋島嶼地域への移転が沖縄から太平洋小島嶼地域への貢献策としてにわかに注目されている。表4には、このような技術・イノベーションを例示した。しかし、沖縄からの技術移転と言っても、単純ではない。これまでも、ODAによる島嶼地域への技術移転は、種々の「誤れる具体化の誤謬」を犯してきた。つまり、文化、価値観、社会経済発展段階の異なるところに、先進地域で成功している技術がそのまま応用可能だとする単線的思考の誤りである。持続可能技術の相互移転とは、植物に例えると、異なる土壌への外来品種の「移植」にはかならない。環境条件が異なると、固有の在来品種を駆逐し、環境・生態系のバランスを崩し、生物多様性維持への脅威になると同時に、島嶼資源の非効率的な活用につながる。従って技術移転は、外来技術の特性を正確に見極め、地場に適合的に修正を加える「文化的・制度的・技術的・経営的」営みであることをしっかり認識する必要がある。

Koreker (2010) は、「とくに重要なことは、技術移転が島嶼の持続可能性を強化するためのものであれば、持続可能性の概念を可能な限り広く定義すべきである。広義の意味での持続可能性は、たんなる自然環境の保全を超えて、経済的実行可能性と同時に、地域に住む人々の文化と暮らしを含む幅広い概念であるべきである。新しい知識体系の導入は、軽々になされるべきではなく、ましてはそれが破壊的であってはならない。太平洋島嶼地域の社会、環境、文化、政治経済は、通りすがりの研究者の理解をはるかに超えて複雑であり、多様化している」と指

摘している。

島嶼型技術・ノウハウをいかに相互に移転・活用するかについての国際会議がハワイ、南太平洋地域の専門家を交えて、2010年に沖縄で開催された(嘉数 2010)。会議で特に強調されたのが、沖縄とハワイの連携協力による太平洋島嶼地域への技術移転だった。

沖縄とハワイは、移民遺産などを通して歴史的にも緊密な繋がりがある。ハワイの主要島嶼の人口(2008年)は大きい順にオアフ島(91万人)、ハワイ島(19万人)、マウイ島(14万人)、カウアイ島(6万人)であり、沖縄とは共通の自然条件をもち、太平洋島嶼地域における最大の米軍基地(太平洋艦隊司令部が置かれ、軍人軍属人口約10万人)を擁すると同時に、観光産業など経済的にも沖縄と多くの共通した特性をもっている。

ハワイでも観光産業の将来像を「量から質への転換」に求めており、ハワイの歴史、風土を重視した計画が策定されている。その具体的な施策として、土着ハワイアン文化の見直しと復権がある。栽培技術さえも喪失しつつあった南太平洋の主食、タロイモへの需要が最近急増しているのもその表れと見てよい。その背景には、環境への配慮と同時に、所得格差の拡大がある。世界最大級の観光地であるワイキキビーチでは、ホームレスが増加し、州政府は対策にやっきとなっている。この点では、沖縄観光から学ぶところがある。

エネルギー分野では、グリーン(再生)エネルギー源を現在の10%から、2030年には40%に拡大する意欲的な計画を策定しており、住民コンセンサスの形成を含めて、沖縄よりかなり先行している。ハワイは本土から隔絶された島嶼で構成されており、大手電力会社間の電力の相

互融通ができないこと、離島発電、送電が高くつくこと、原油依存が高いこと、家庭需要が多いこと、米軍需要があることなど、沖縄と類似したエネルギー需給構造になっており、太平洋島嶼地域の「先進地域」として、相互に連携協力して、地域の持続可能な発展に貢献することが求められている。

ハワイは、特にミクロネシア島嶼地域の人材育成および知的センターの役割を果たしており、ハワイ大学、ハワイ東西文化センター、ハワイ大学自然保護研究および教育センター (CCRT: Center for Conservation Research and Training)、太平洋国際ハイテクセンター (PICHTR: Pacific International Center for High Technology Research)、ハワイ自然エネルギー研究所 (HNEI: Hawaii Natural Energy Institute) などを中心に南太平洋島嶼地域との豊富な交流実績がある。

CCRT では、連邦政府、州政府、学内関連研究施設と連携して、「山から海へのエコシステムモデルの構築」のテーマでの研究活動が成果を挙げている。他の島嶼地域への応用研究も視野に入れている。特に小島嶼地域が注目しているのは、カウアイ島で実証研究が行われているバイオチャー (Biochar) プロジェクトである。本プロジェクトは、(1)再生可能エネルギーの開発による化石燃料依存の削減、(2)土壌改良による農業生産の向上、(3)温暖化ガスの削減を目指している。カウアイ島での実証プラントでは、外来種で成長の早いネムノキ (Albizia) を炭化して燃料にすると同時に、土壌改良および二酸化炭素を吸収する材料にする技術開発が行われている。これまでのところ、エーカー当たりの Albizia 植栽から 5~10 t のバイオ燃料が生産され、200~300%の土壌改良

効果が確認され、さらに20~50%のCO<sub>2</sub>削減効果が実証されている。現在プラントの改良を行っているが、ハワイと同様な環境にある太平洋島嶼国への有望な移転技術の一つである。

PICHTR は、非営利の国際的な研究・教育機関として、ハワイ州の法律に基づいて1982年に設立された。PICHTR の主な研究テーマは再生可能エネルギー、特に前述の OTEC、バイオマス、太陽光、地熱発電の分野での研究開発と普及である。OTEC については、連邦エネルギー庁、日本政府と連携して推進しており、この分野での島嶼地域におけるパイオニアである。

マウイ島では砂糖キビのガス化 (biogasification)、ハワイ島では、太陽光と風力発電の実験、太平洋島嶼国を対象にした電力事業経営の研修などを行っている。再生可能エネルギーについては、沖縄電力の子会社である沖縄エネテック会社と共同研究に向けた協議を開始した。再生可能エネルギーに関するハワイと沖縄の連携協力分野として、①エネルギー効率、②OTEC、バイオマス、波動、太陽光分野での共同研究、③島嶼地域での統合配電網 (grid integration) の在り方、④環境にやさしい電池電気自動車 (battery electric vehicles) の開発、⑤農業分野でのエネルギー効率の向上、⑥再生可能エネルギー分野での教育・訓練が提案されている。

ハワイと沖縄は、2000年に「ハワイ・沖縄パートナーシッププロジェクト」を立ち上げ、サンゴ礁の保全・モニタリング、持続可能な観光、海洋深層水技術、ミバエ・イモゾウムシ防除技術、生物資源・エコシステムに関するデータベースの作成、遠隔医療技術、教育交流の7分野での共同研究を目指しているが資金、研究者の相

互交流面で課題が多く、停滞している。「ミバエ類防除技術」はハワイが先行したにもかかわらず、ハワイでのノウハウを活かして沖縄では成功したが、ハワイではいまだに実験中である。この落差は、新技術の導入には、技術以外の要素がきわめて重要であることを示唆しており、島嶼地域への技術移転を考える場合、今後、解明すべき課題である。

ハワイがイニシアティブをとり、沖縄、太平洋島嶼国をネットワーク化して、数年前から実施している「遠隔教育(e-learning or on-line)」は、「距離の暴虐」に悩まされてきた遠隔小島嶼地域にとって、最も有効でコストの安い人材育成手法の一つとなっている。これからの課題は、より多くの島嶼地域をカバーすることと、コンテンツの充実である。特にハワイ大学はこの分野での豊富なノウハウを蓄積している。コンテンツの充実には、沖縄で蓄積された種々のノウハウが貢献する。持続可能な観光振興の要になるサンゴ礁の保全技術についても、ハワイは沖縄より先行しており、データベースの構築を含めて、太平洋諸島地域への技術移転を共同で実施できる態勢が整いつつある。むろん、島嶼地域のリーディング産業に成長している観光産業振興については、観光データの整備も含めて、50年の歴史をもつハワイの島嶼観光ノウハウが有効である(嘉数 2014)。

移転可能なその他の「ハワイ型技術」としては、パパイヤ、パイナップル、最近需要が急拡大しているタロイモ等の栽培技術などがある。そして、ハワイ型の栽培技術で生産する農作物の加工・製品化については、沖縄で開発された先述の食品加工技術を結びつけることができ、太平洋島嶼地域への新たな技術移転のメニューに加えることができる。

ミクロネシア連邦政府(FSM)のモリ大統領の演説要旨がThe National Union誌(2010年10月28日)に掲載されている。その中で特に強調されているのは食料自給率向上の重要性である。「高価な輸入食料への消費依存がFMS国民の健康を害している」と警告を発している。その背景には、ミクロネシア地域での糖尿病患者の増大が指摘されている。島で豊富にとれるタロイモはパンなどの伝統的な主食への復帰をどう促進するかが課題である。特に島に豊富に存在する資源を活用した「島産島消型技術」の共同開発・普及・移転は多くの太平洋小島嶼地域で焦眉の急になっている。

謝辞 本稿は、台湾澎湖諸島で開催された第13回国際島嶼学会(2014年9月)にて発表した論文に加筆修正したものである。セッション参加者、特にハワイ大学のClyde Sakamoto教授とモーリシャス政府のPrem Saddul博士に感謝申し上げたい。

## 文献

- 伊藤嘉昭 1980.『虫を放して虫を滅ぼす—沖縄・ウリミバエ根絶作戦私記—』中央公論社。
- 嘉数 啓 2010. 島嶼地域の持続可能性：太平洋島嶼地域の挑戦と可能性—沖縄・ハワイからの太平洋島嶼地域への島嶼発展ノウハウの移転・活用を中心に—に関する調査報告書。名桜大学紀要 16: 347-376.
- 嘉数 啓 2013. 沖縄：新たな挑戦—経済のグローバル化と地域の繁栄—。公庫レポート 128: 120ページ。
- 嘉数 啓編著 2014.『数量観光学産業分析—観光学の新たな地平—』琉球書房。
- 嘉数 啓 2015. 島嶼学ことはじめ(二)—島嶼経済社会の特性と可能性—。島嶼研究 16: 79-100.
- 嘉数 啓 2016. 島嶼学ことはじめ(三)—島嶼型持

- 続可能発展モデルを求めて一, 島嶼研究 17: 89-105.
- 北村朋子(ニールセン) 2012. 『ロラン島のエコ・チャレンジーデンマーク発, 100%自然エネルギーの島ー』野草社.
- 久米島町 2011. 『海洋深層水複合利用調査基本調査報告書』.
- 黒沼善博 2013a. 建設技術の複合による島嶼の総効用についてー沖縄県宮古島圏域の地下ダム建設効果を例に一, 島嶼研究 13: 7-22.
- 黒沼善博 2013b. 島嶼の有限資源と建設技術の応用ー沖縄県多良間島の地下ダム建設の検討にあたってー, 島嶼研究 14: 1-19.
- 坂井教郎・仲地宗俊・内藤重之・白玉久美子・久田沙織 2010. 南西諸島における赤土流出防止政策の方向性, 島嶼研究 10: 1-12.
- 新エネルギー・産業技術総合研究機構 2014. 『NEDO再生可能エネルギー技術白書』.
- 内閣府沖縄総合事務局農林水産部 2013. 『地下水を活かした豊かな美ら島ー地下水で潤う宮古島農業ー』.
- 長峰さゆり 2011. ヤンバル・コーヒー・フォーラムの話, 食の風 9月10日: 50-52.
- 真栄城房子・宮城郁子ほか 2002. 海洋深層水中の血圧上昇抑制物質, 第6回海洋深層水利用研究会全国大会発表論文: 久米島.
- ランドブレイン 2016. 『沖縄県小規模離島における全エネルギー再生可能化可能事業報告書』.
- Kakazu, H. 1990. Industrial technology capabilities and policies in selected Asian developing countries. *Asian Development Review* 8(2): 46-76.
- Kakazu, H. 2003. Economic evaluation of the melon fly eradication project in Okinawa. *INSULA: International Journal of Island Affairs* 12(1): 41-50.
- Kakazu, H. ed. 2010. *Island sustainability: Challenges and opportunities for the Pacific islands in a globalized world: A summary report of field research and an international symposium on the potential for transfer of Okinawa's and Hawaii's sustainable island technologies and innovations to the Pacific islands*. Okinawa: Japan Society of Island Studies.
- Kakazu, H. 2012. *Island sustainability: Challenges and opportunities for the Pacific islands in a globalized world*. Trafford Publishing.
- Kakazu, H. 2013. *Okinawa: The challenges aheadーThriving locally in a globalized economyーOECD REPORT, No. 129*. Naha: The Okinawa Development Finance Corporation.
- Kakazu, H. 2014. Okinawa's green technologies and sustainable development. *A paper presented at the ISISA Islands of the World XIII, Penghu Archipelago*: 1-38.
- Kakazu, H. 2015. A growth triangle (GT) approach to Asian regional economic integration: A case study of Taiwan-Okinawa-Kyushu growth triangle. *IAM アジア・レポート* 5: 2-29.
- Koreker, S. 2010. Getting technology transfer right: Considering Pacific islands' contexts. In *Island sustainability: Challenges and opportunities for the Pacific islands in a globalized world: Summary report of field research and of an international symposium on the potential for transfer of Okinawa's and Hawaii's sustainable island technologies and innovations to the Pacific islands*, ed H. Kakazu, 77, Okinawa: Japan Society of Island Studies.
- Miwa, N., Yamauchi H., & Morita, D. 1988. *Water and survival in an island environment: Challenge of Okinawa*. Honolulu: University of Hawaii.
- Sen, A. 1968. *Choice of techniques: An aspect of the theory of planned economic development*. Oxford: Blackwell.
- Schumacher, E. F. 1973. *Small is beautiful: A study of economics as if people mattered*.

London: Blond & Briggs. (シューマッハー, E. F. 著, 齊藤志郎訳 1976. 『人間復興の経済学』 佑学社.)

Uehara, H. 2010. Biomass technology in Okinawa and Hawaii. In *Island Sustainability: Challenges and Opportunities for the Pacific Islands in a Globalized World: A Summary Report of Field Research and an International Symposium on the Potential for Transfer of Okinawa's and Hawaii's Sustainable Island Technologies and Innovations to the Pacific Islands*, ed Kakazu, H., 107-114. Okinawa: Japan Society of Island Studies.