



一橋大学イノベーション研究センター

東京都国立市中2-1
<http://www.iir.hit-u.ac.jp>

本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】一橋大学イノベーション研究センター研究支援室
TEL: 042-580-8423 e-mail: chosa@iir.hit-u.ac.jp

地域イノベーションの事例研究：

高知におけるフィンバブルの農業・水産業への応用

吉岡（小林） 徹^{1*}・木村めぐみ²・江藤学³

¹ 東京大学大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 特任助教／

一橋大学イノベーション研究センター 非常勤講師

² 一橋大学イノベーション研究センター 特任講師

³ 一橋大学イノベーション研究センター 教授

+（責任著者）東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail:t-koba@tmi.t.u-tokyo.ac.jp

概要

地域における農林水産業の生産性向上は大きな政策課題である。高知県では、高知工業高等専門学校が地域内の農業・水産業、および、加工事業者と連携することによって、フィンバブルと呼ばれる微細な気泡を生み出す技術確立し、それを生産の現場に応用することで生産性を向上させることに成功した。この事例から、地域における技術的なイノベーションの創出と、イノベーションの普及についての成功要因を幾つか導出できる。技術的なイノベーションの創出要因については、試作を引き受ける企業の存在と、フィールドでの実証に必要な資金の存在が大きく寄与していた。イノベーションの普及については、農林水産業の現場では困難な投資の負担を支える公的な支援の存在と、技術自体が現場のニーズに整合していることと現場での効果確認が容易なことが大きく寄与していることがわかった。

キーワード

政策のための科学, 地域イノベーション, フィンバブル, 農林水産分野におけるイノベーション

1. はじめに

(1) ファインバブルの特性

ファインバブルは、直径 100 マイクロメートルのごく微細な気体の泡と定義されている¹。なかでも 100 マイクロメートルから 1 マイクロメートルのものは「マイクロバブル」、1 マイクロメートル以下のものは「ウルトラファインバブル」と呼んで区別されている。

マイクロバブルは概ね目視可能であるが、水中では圧縮されつつ徐々に水に溶け込むため、最終的に水中で消滅する。ただし、水に塩基分が含まれると、縮小しても消滅せず、100nm 程度のサイズのバブルとなり、水中に残る。このサイズになると目視できないため、過去にはその存在の真偽に関する議論があったが、ブラウン運動の観察などで現在ではバブルの存在については確定しており、その密度の測定方法なども開発されつつある。このような見えないサイズのファインバブルは、ウルトラファインバブルと呼ぶ。

ファインバブルはいくつかの特性を示し、条件次第で複数の有効な作用を示す（許・椎名, 2007）。第一に、バブル内の気体を自由に選べるため、バブル内の気体に酸素を用いると溶存酸素量を増やすことができる。これにより、動植物の育成促進や生理活性化を実現できる場合がある。オゾンを選んで消毒に用いる研究や、CO₂ を利用する研究なども行われている。第二に、表面張力により自己加圧が生じるため、気体が圧縮された形で水中に存在することになる。そのため、気泡が水中で上昇しにくくなる作用も示す。これにより、長期に気泡が水中に残存する。前述のように水中に塩基があると、ウルトラファインバブルとなり、そのまま水中に数日から半年程度留まると言われている。このウルトラファインバブルの機能については様々な研究が進んでおり、独特の機能が解明されつつある。特に、漁業や植物の生育に与える影響は、溶存酸素量ではなく、このウルトラファインバブルの存在である可能性が指摘されつつある。第三に、負の電位を帯びているため、水中の汚れ成分を浮上分離させることができる場合や、その気泡消滅時に生じるフリーラジカルや気泡が壊れる際の微細な衝撃によって、限られた範囲の細胞を破壊することができる場合がある。これが生理活性化や殺菌につながることもある。近時の研究によると、ウルトラファインバブルが多くの作用効果を産んでいる可能性が高く、しかもその作用効果の要因は電位を帯びていることにあるという。

これらの作用効果の発生要因については、ウルトラファインバブルの計測が困難であったことも相まって必ずしも十分に明らかにされていないところである²。作用効果が実験的に確認され、発生要因についてそののちに解釈されている場合が見られる。そのような限界はあるものの、様々な試みが行われ、これらの作用を活かした、洗浄や殺菌、動植物の育成促進、そして、閉鎖水系における酸素の供給などに応用されてきた。

¹ ISO の技術委員会(TC)281 の定義による。なお 1 マイクロメートル以下のものをウルトラファインバブルと定義している。

² そのため、前述の説明が正しいか否かについては保証ができない。前述の説明はあくまでそのように解釈されている、あるいは、便宜的にそのように説明されているというものに留まる。

(2)ファインバブルの産業応用

ファインバブルの最初の産業応用は、徳山工業高等専門学校の大成博文教授（当時。現、名誉教授）によって 1999 年に行われた。大成教授は、赤潮による酸欠で牡蠣が死滅する被害を緩和する技術を広島県江田島湾の牡蠣養殖業者から求められ、水質改善の策としてマイクロメートルサイズの泡を水中に溶存させることを試みた。その結果、溶存酸素量を増やただけでなく、牡蠣の生育促進につながった。この後、北海道噴火湾でのホタテの養殖や三重県英虞湾での真珠養殖でも効果が確認された（新井, 2016）。

ファインバブルは、様々な応用が行われている。キューピー株式会社は 2003 年から一部のマヨネーズ製品に窒素のファインバブルを封入し、「ふっくらとして口どけのよい食感」を実現している。カロリーハーフの名称で売られているマヨネーズは、この技術を応用し、バブルで体積を 2 倍にすることで、同体積あたりのカロリーを半分にしたものである。マヨネーズとしての原料は半分しか用いてないにもかかわらず、元々のマヨネーズと同様の口当たりが得られることで商品化に成功している。

宮城県で贈答用蒲鉾の製造を行う白謙かまぼこ株式会社では、蒲鉾の材料の殺菌にファインバブルを応用している。西日本高速道路株式会社は 2012 年からサービスエリアやパーキングエリアのトイレの洗浄にファインバブルを用い、従来の 100 分の 1 の水量で、しかも洗剤を使用せず清掃できる効果が得られた。この洗浄機能については産業応用が進んでおり、特にオイル分に対しては洗剤などの界面活性剤を必要とせず洗浄効果を出せるため、環境対策としても価値が高い。このような工業用のファインバブルを用いた洗浄設備は様々な企業から発売されている。

IDEC 株式会社は太陽電池のシリコンウエハの分離工程にウルトラファインバブルを用い、極めて薄いシリコンウエハの製造を実現している（九州経済産業局, 2015）。

農林水産分野でも、イチゴやミニトマト、レタスなどで生育促進のために応用された例が存在している。養液土耕のイチゴでは 25%の収量増加、水耕栽培のミニトマトでは 20%の収量増加、植物工場のレタスでは 50%の重量増加が確認されたという（九州経済産業局, 2015）。

(3)ファインバブルの発生機構

ファインバブルの発生機構には複数の技術方式があり、方式によって強みと弱みがある。ファインバブルを発生させる主な技術方式を整理すると次のとおりである（許・椎名, 2007）。

表 1 ファインバブル発生技術方式

技術方式	概要・特徴
超高速旋回方式	気体と液体を混合し超高速で回転させ、遠心力により生じる剪断力によってファインバブルを発生させる。前述の大成名誉教授はこの方式によりファインバブル ³ を発生させた。数 mm 程度の不純物までは目詰まりしない。
気液二相流体混合・剪断方式	渦流の中に気体を巻き込み、渦流を破壊させることによって気体を微細に剪断する ⁴ 。機構によっては比較的大きな不純物でも目詰まりしない。
圧力加減制御方式 (加圧溶解方式)	圧縮した気体を液体中に一気に開放させることで微細な気泡を発生させる。大量のファインバブル水を一度に得ることが出来るが、装置が大型化しやすい。また、原則として不純物が混ざらないことが条件となる。
微細孔方式	液体中に配置された微細な孔を有するフィルターに圧力をかけた気体を通し、微細な気泡を発生させる。フィルターの目詰まりに弱い。

(4)ファインバブルに対する現状

ファインバブルは日本発の革新的技術であり、しかも、農業、水産業、そして、半導体産業を始めとするハイテク産業に応用可能な裾野の広い技術として注目されるようになった。しかし、特にウルトラファインバブルは目視できないこともあり、ファインバブル製造装置の性能や、製造されたファインバブル水のバブル密度などについて十分な確認ができず、不良品や偽物が市場に出回る危険性が危惧される状況になってきた。このため、2012年には日本の業界団体として一般社団法人ファインバブル産業会が発足し、ファインバブル産業の健全な発展のための取り組みを開始した。その活動のひとつとして、日本工業標準調査会（JISC）の支援を受けつつ、国際標準化の取り組みを開始した。2013年にファインバブルの定義、計測方法、そして応用についての標準化を議論するために国際標準化機構（ISO）内に TC281 が設けられ、日本が主導する形で議論が進められている。

2014年には経済産業省がファインバブル基盤技術研究開発事業を実施し、2億円の予算が用意された。また、同省が同年に発表した「標準化官民戦略」ではファインバブルの認証基盤が戦略的に重要な分野と位置づけられた。

また、地域でのファインバブルの普及を促すため、ファインバブル産業界が事務局とな

³ 大成名誉教授はマイクロバブルの語を使用されている。

⁴ 高橋正好氏（国立研究開発法人産業技術総合研究所）の Web サイトを参照した。

https://staff.aist.go.jp/m.taka/RS_Generation_methods_of_MB.html

り、関連自治体が意見交換を行う、ファインバブル地方創生協議会も設けられた。

(5)ファインバブルの課題

このように政策上の手当が行われているのは、応用可能性の広さに比べて、産業での実装は必ずしも幅広く行われていないことが課題であるためである。産業での実装が進まない理由の第一は、ファインバブルの計測が困難であったことにある。計測ができなければ、そもそもバブルが発生しているのか、そして、それがどのようなメカニズムで作用しているのかが特定できない。しかも、気泡の大きさと気泡の個数それぞれの計測方法が、バブルの大きさによって異なっている⁵。計測技術の発展と標準化が欠かせなかった。第二の要因は、ファインバブル発生装置の価格である。多くの装置は数百万円から一千万円台であることが多く、高付加価値の製品分野での応用か、高額な設備投資が可能な企業による応用に限られてきた。この第二の要因は、農業・水産業をはじめとする中小規模の経営体が多い領域での応用の課題となってきた。

加えて、農業・水産業では特有の課題も存在する。これらの産業領域では不純物を含む水（例えば、地下水、海水）を使わざるを得ない環境にある。しかし、ファインバブルの発生機構によっては、不純物による目詰まりを生じさせてしまう。これが、農業・水産業の現場での普及の支障となっていた。すでに何社かが水産業向けにファインバブル発生装置を販売しているものの、価格や使用可能な環境に制約があった。

さらに農業・水産業では、ファインバブルを使用したことによる成果が数値として見えにくいことも重要な課題となっている。前述のイチゴやトマトのような収量で違いが判別できるような作物については徐々に情報の蓄積が進んでいるが、漁業における殺菌機能や水槽の洗浄機能などは代替技術も多く、効果が定量的に差別化できないことが普及の大きな障害となっていた。

(6)高知県におけるファインバブル発生装置の開発と産業応用

高知県では、前述の課題を解決するファインバブル発生装置の開発を高知工業高等専門学校が行い、漁業、農業の現場で応用されつつある。このケースは、高知県におけるファインバブルの産業応用をめぐる動きを取り上げ、革新的な技術が地域の農業・水産業の現場に応用される過程を記述することによって、地域内のイノベーションの創出と普及に関する課題と示唆を導き出す。

2. 高知工業高等専門学校を中心としたファインバブル発生装置の開発

(1)開発の経緯

高知県宿毛市でカンパチ等の養殖業を営む株式会社宝照水産の代表者である弘瀬裕一氏

⁵ 技術的な詳細は武井・大内(2016)参照。なお、ウルトラファインバブルについては2016年末段階でも十分に確立されていない。

は、出身の高知工業高等専門学校の恩師であった多賀谷宏三テクノフェロー⁶から、ファインバブル（当時はマイクロバブルと呼ばれていた）が水産業で応用できるのではないかと、という話を聞いた。ファインバブルを使うと洗浄効率が低いということを聞き、弘瀬氏は養殖用の網の洗浄に使えるのではないかと考えた。網の洗浄は、海水で高圧洗浄し、防汚剤を染めるといった工程で成り立っている。これには経費がかかっていた。その経費を抑えることをファインバブルに期待した。

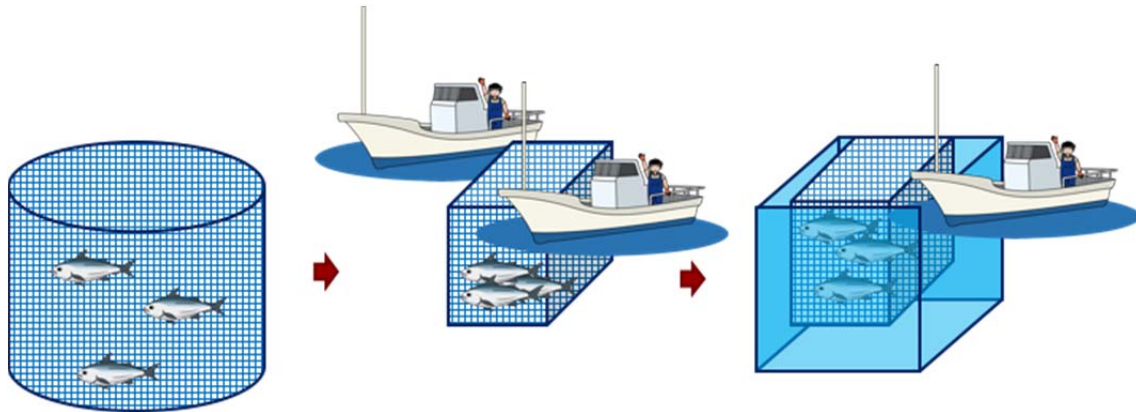
そこで、高知工業高等専門学校と高知県の産業界をつなぐ組織であり、技術相談などを受け付けている一般社団法人高知高専テクノフェローを通じて、高知工業高等専門学校と連携してファインバブルを水産業に応用する取り組みを開始した。この技術課題に応えたのが、乳化技術を専門とする秦隆志准教授であった。乳化技術は液体の中にごく微細な他の液体の滴（液滴）を混ぜることが主眼である。他の液体を気体に置き換えればファインバブルを扱うことができるのではないかと、秦准教授は考えた。当時、ファインバブルの研究は大手の企業が中心で、しかも、学術的な研究が専らであった。秦准教授はここに目をつけていた。

ところが、秦准教授が説明に現場を訪れてみるとわかったことがある。網の洗浄は閉鎖空間で行うわけではない。開放された海域内で行われることが一般的である。いくらファインバブルを発生させても、海流により泡が流されてしまう。これでは効果が得られない。

このとき弘瀬氏は、養殖魚の酸素欠乏による死滅対策にファインバブルが応用できるのではないかと思いついた。養殖の現場では、養殖中の消毒、陸揚げの出荷作業中、そして、陸上輸送の際に酸素欠乏が生じることがある。原則として酸素欠乏を生じさせないよう対策をし、また、酸素欠乏を防ぐノウハウが各事業者が存在するのであるが、稀に生じてしまう酸素欠乏によって大きな損害が出てしまう。例えば、出荷直前のカンパチが 1t 死滅すると 100 万円近い売上を失うことになる。当然、廃棄の必要性が生じるわけであるから、そのコストも含めると単に売上が失われた以上の損害となる。

とくに宿毛の養殖事業者で課題となっていたものが、夏場の養殖網の消毒作業中の酸素欠乏であった。夏場にはカンパチにハダムシと呼ばれる米粒サイズの寄生虫が付きやすい。寄生虫がつくと、魚が痒がってしまい、暴れて網にぶつかり身が傷んで商品価値が損なわれてしまうことや、魚が死んでしまい商品価値がなくなってしまうことがある。この寄生虫は網に付着して増えるものであり、網を洗浄すればよいのだが、養殖を行う海域に網は無数にある。同時に網を洗い、寄生虫を排除する、ということがほぼ不可能である。そこで、外洋に設置された網をシートで覆って閉鎖空間を作り、10 分程度過酸化水素水で消毒するという作業を、夏場は 1 週間に 1 度行うことで対処している（図 1）。しかし、その閉鎖空間では魚を密集させることになり、酸素欠乏が生じやすい。海水温が高い夏場の、とくに暖流である黒潮の影響をうける宿毛の海ではその傾向が顕著である。

⁶ 同高専の関連団体である一般社団法人高知高専テクノフェローにおいて地域への技術移転を担う役職である。



(出所) illustpop のイラストを使用し筆者作成

図 1 養殖網の消毒作業

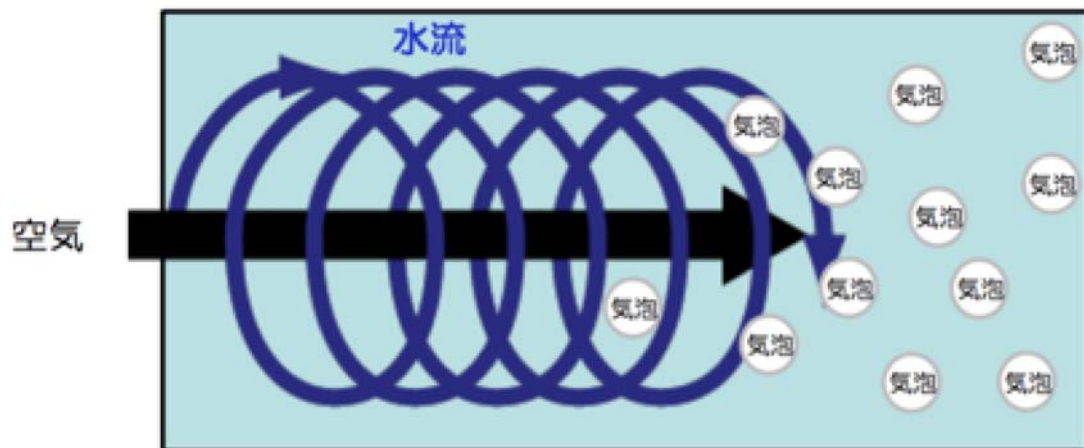
そこで、ファインバブルを用いて水中の溶存酸素濃度を高めることを目的として、宝照水産と高知工業高等専門学校の秦准教授との共同研究が開始された。開発の予算は高知工業高等専門学校の研究費、そして、宝照水産から支出された研究経費によって賄った。

(2)技術開発の流れ

当初試したファインバブル発生技術方式であるエジェクター方式⁷では、異物の詰まりが問題となった。異物が入ると、詰まってノズルが飛んでしまう。異物を集める方法も試したが、これも詰まる。そこで異物を通すファインバブル発生装置を開発することをゴールとした。

ここで手掛かりとなったものが、乳化の技術である剪断方式である。ノズルから押し出された液を回転するブレード等によって細かく切っていくことで微細な液滴を得ることができる。これを気体に応用することを考えた。学生にペットボトルを使って基本的な機構を試作させ、さまざまな試行錯誤を行った。その結果、生まれたのが、水流を旋回流にし、それによって剪断力を発生させ、そこに気体を通す、というアイディア（単旋回流型気液剪断方式）であった。

⁷ 狭いノズルから圧力をかけて一気に開放空間に放出することで微細な泡を得る技術方式。



(出所) 秦隆志「ファインバブル研究成果説明」

図 2 気液剪断方式模式図

実際に現場で用いる試作機の製作で課題となった点が、旋回流を作り出すノズルであった。これには高度な切削加工技術が必要になる。この課題を解決したのが、高知工業高等専門学校と同じ南国市に位置する株式会社坂本技研であった。同社の代表取締役の坂本正興氏（以下、坂本社長）は高知工業高等専門学校の卒業生であり、秦准教授から相談を受けた坂本社長の恩師である柏原俊規テクノフェローが、坂本技研を紹介した。坂本技研は従業員 30 名規模の小規模な加工事業者であるが、2000 年代当初に当時は珍しかった同時 5 軸加工機と 3D-CAD、そして CAM を導入しており、発電用蒸気タービン等のブレード加工を行っていた。このような高度な切削加工を行う加工事業者が地方にいることは珍しかった。

2010 年（平成 22 年）に南国市から南国市新製品等研究開発事業制度の下、数十万円単位の助成を受け、高知工業高等専門学校と坂本技研の共同の実証試験事業として、ファインバブル発生装置のノズルを開発し、高知県淡水養殖漁業協同組合との連携の下、うなぎの養殖場で試験を行った。この時の狙いは溶存酸素濃度を高めて好気的環境を作り出し、アンモニアと亜硝酸の低減を図ることにあつた。

この助成を活かし、秦准教授が考え、学生が試作した機構を坂本技研は実装した。坂本技研は、実際に試作を行った学生の感覚と、技術者の感覚の間の調整を行いながら、3D-CAD で設計し、羽根の部分は当時すでに導入していた 3D プリンターで、ファインバブル発生装置用のノズルを制作した（(出所) 株式会社坂本技研より提供

図 4)。このノズルは漁業の現場で問題になる貝殻や鱗などの大きな不純物を通して目詰まりしないようなものになっていた。

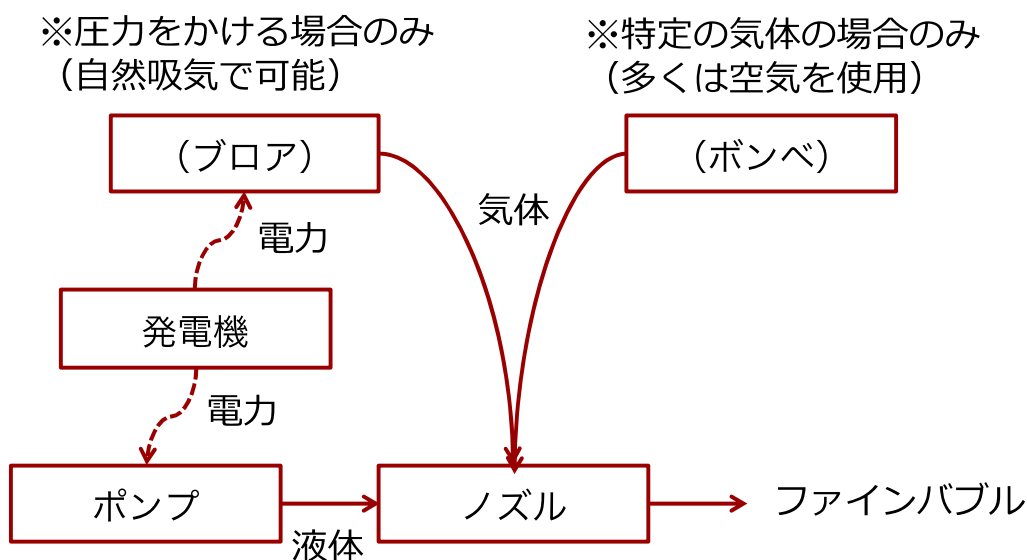
この開発成果は、特許出願により保護を行った。独立行政法人科学技術振興機構が無償で先行特許調査を行ったうえで、外国出願の助成を受け、国際特許出願を行った。独立行政法人国立高等専門学校機構名義で出願された特許「超微細気泡発生器」（優先日 2011 年 1 月 31 日）は日本で特許となり（特許第 5669031 号）、米国、欧州、オーストラリアで審査中である（WO2012/105536）。

このノズルを核として、ノズルに気体を流し込むブローア、ノズル内に水流を発生させるポンプ、そして、それらを支える発電機がセットとなり、ファインバブル発生装置が出来上がる。ファインバブル発生装置全体のシステムの開発には西内悠祐准教授（2012年当時は講師）が加わった。また、化学を専門とする多田佳織講師も加わった。特許調査や現場での人間づくりには、文化人類学を専門とする永原順子准教授も参画した。連携や外部資金の管理は総務課の横山啓子氏が担当した。このように、高知工業高等専門学校としてチームを組み、開発に取り組んだ。

発生装置全体のシステムの開発にあたっては、養殖業の現場である船上で利用できること、また、現場の作業員が乱暴に扱っても壊れないようになっていることを重視した。例えばノズルは錆びてしまう鋼や、万が一ノズルが跳ねてしまった際に作業員に怪我が発生するおそれのあるステンレスではなく、樹脂を採用した。樹脂であると水中の不純物が衝突しても壊れないことも利点だった。樹脂を高い技術力で削り出すことで、理想のノズルを作り出したのである。

その結果として生み出された発生装置は、目詰まりに強く、かつ、スケールアップが簡単であり、しかも現場の既存の配管内に接続ができることを強みとするものとなった。いずれも現場のニーズに答えている。ファインバブル水の発生効率では、純水を使う装置に比べると落ちるものの、スケールアップにより対応すれば課題は解決するものとなった。また、気体の注入には気体の圧縮が不要なくみとなっており、電力消費は水流を発生させるポンプと空気を吹き込むブローアを動かすためのもので十分なものとなった。これによって水産業、農業の現場で一般的な発電機があれば動く装置となった。

ノズルだけであれば数十万円、ファインバブルの発生装置システム自体は100万円～200万円で販売されることとなった。ポンプの寿命は2～3年であるため、保証耐用期間も同程度としているが、ノズルは5年経っても故障していないという。



(出所) 筆者作成

図 3 ファインバブル発生装置の構成

なお、この当時、秦准教授の研究室にはファインバブルの計測装置はなく、溶存酸素濃度計でファインバブルの存在を確認していたにとどまった。水産の現場で実証する以外にその効果を確認する方法はなかったが、目的が溶存酸素濃度の向上にあったため、大きな不都合はなかった。



(出所) 株式会社坂本技研より提供

図 4 単旋回流型ファインバブル発生器とその使用例

3. 地場産業におけるファインバブルの応用

(1) 水産現場での実証

南国市の助成を受けた取り組みが評判になり、2011年（平成23年）には高知県からの働きかけで県の助成を受けることになった。同年に新設された高知県産学官連携産業創出研究推進事業から3年間で総額6,000万円の助成を受けることとなり、坂本技研、宝照水産、高知工業高等専門学校は養殖現場での応用の実証実験を行うこととなった。

助成を受けたことで、高知工業高等専門学校はファインバブルの発生を検知するための計測装置を導入することができた。また、宝照水産は魚が死ぬリスクがある実験にも取り組むことができた。

もちろん、養殖現場の作業員がこの新しい取り組みをすぐに受け入れたわけではない。酸素欠乏回避は現場のノウハウであり、養殖事業者によって腕の差がでるものという認識が一般的であった。酸素欠乏は頻繁に起こる事故ではないため、現場から見ると、ファインバブルの実験は作業の邪魔になるものに映った。

この障害を乗り越えることができた要因の一つは、秦准教授の地道な努力であった。定期的に現場に通い、一緒に作業をするなどして信頼関係を築いた。秦准教授は、現場に入っていけるまで半年ほどかかったと回想をしている。もう一つの要因は、一度使うとその効果が現場の作業員の目に見えることであった。魚が酸素欠乏状態にあるかは、魚の様子

を見れば分かる。消毒作業の過程でファインバブルを投入すると、明らかに魚が酸素欠乏になっていない様子が見えた。決定的であったのは、水温が高すぎるために他の養殖業者が作業を中止した日に、消毒作業ができたことであった。これにより、一気に効果が確認できた。そして、宿毛の同業者からも問い合わせが入るようになった。

消毒液が入った槽に長く魚を入れることができれば、それだけ寄生虫を除去できる可能性が増す。そうすると消毒の頻度を減らすことができる。寄生虫が付着しているかは魚の表面を見ればわかる。実際、これまで週1度行っていた消毒を月1度に抑えることができた。消毒作業自体は1回40～50分かかる作業であり、臨時雇用の作業員も含めてこなしている作業であった。消毒頻度を減らせることで、消毒液のコストと人件費を削減することができた。

もっとも、このような結果が得られていても、全ての養殖業者がファインバブルを使いたいと考えるわけではない。酸素欠乏防止のノウハウを持つ事業者の中には必要ないと考えているところもある。また、そもそも酸素欠乏によって魚を殺さないことが各養殖業者の前提であるため、酸素欠乏事故によって生じるコストを経営者がなかなか理解しにくい面もある。

とはいえ、水産関係者が一定の注目をしていることは事実である。宝照水産が代理店となり、坂本技研のノズルを含めたファインバブル発生装置を水産の現場に販売している。坂本技研には営業のための十分な人的資源もノウハウもないこと、また、槽内でいかにファインバブル水を循環させるかは宝照水産のノウハウであることが理由である。2017年2月段階では土佐清水市の漁協が採用するなど広がりを見せている。

(2)農業分野での応用

2011年度から実施した高知県産学官連携産業創出研究推進事業では、もう一つの応用領域として農業が実証実験の対象となった。高知県の特産品の一つである生姜の洗浄にファインバブルが応用された。実証の連携先はJA高知春野であった。

高知市春野町の特産品である生姜は、凸凹の形状の奥に入り込んだ土を洗い落として出荷する必要がある。JA高知春野では出荷の最盛期は10台の洗浄機を朝6時から夕6時まで稼働させて洗浄を行っている。しかし、野菜用の洗浄機では1機で1分300Lの水を使う（つまり、10台で720分稼働すると21万リットルとなり、学校に備わっている25mプールの2/3程度の水を1日で使う計算となる）。すべてを地下水でまかなっているが、渇水の際、井戸水が減り、地域住民からクレームが出ていた。そこでファインバブルの洗浄力に期待をした。

2011年から、高知工業高等専門学校とJA高知春野が共同してファインバブルを用いた節水の実証実験が始まった。その結果、これまでと全く同一の洗浄機と、水産用から若干改良したノズルを備えたファインバブル発生装置を使うだけで、3割の節水と、これまでどおりの洗浄力を実現できた。ただ、この実証実験の結果が出る前に、水の枯渇は喫緊の課

題であるとの組合員からの強い要望を受け、水の再利用装置を10台ある洗浄機に全て導入し、水の5割カットができたため、ファインバブル発生装置自体は、実証実験後は洗浄用途に使う必要がなくなってしまった。

実証実験以後は、様々な応用用途の探索をはじめた（なお、2016年段階でも継続をしている）。試みたものが、作物の育成促進であった。施設園芸に使う地下水の溶存酸素濃度を増やす目的で、空気を入れたファインバブル水を使った。農業技術改良所と共同して予備試験を行ったところ、生育が早くなっていることが確認された。

この結果を受けて、生姜の生産者のうち、篤農家と呼ばれる、高い技術力を持ち、かつ、このような実験に協力的な生産者の農場で試したところ、そもそもの地下水の溶存酸素濃度は場所によって差があることがわかった。川の近くだと高いなどの特徴があった。一番低い場所では20%にとどまっていたが、ファインバブル発生装置を2基取り付けたところ、溶存酸素量が90%まで向上した。この効果は数値化するには至っていないが、生産者からは「葉が厚くなった」「葉が大きくなった」という好反応を得ている。手応えがあるという実感を、JA高知春野で実験の責任者を努める山脇浩二氏（経済部部長）は感じているという。2016年段階では7軒の生姜農家で実証実験を行っている。

この生姜での成功を受けて、メロンで実証実験を行った。生産者にとっては太い根を早く出すことが主たる関心事項である。このケースでは、ファインバブルの効果が、高い技術力を持つ農家だけに限って表れるものでないことを検証するため、栽培技術が卓越して高いとの評価ではないメロン農家に協力を仰いだ。この協力を支えたものが、前述の実証に協力した生姜農家からの強い後押しであった。苗にファインバブル水をかけてもらった結果、厳寒期で一番栽培が難しい条件であったのにもかかわらず、地域で一番の出来になった。これは種メーカーも他の生産者も驚く結果であったという。根がよく張っており、定植後によく育ったようだった。

もっとも、応用はこれからである。ファインバブルは様々な効果をもたらさうるものであるとわかってきた段階にとどまると、JA高知春野の山脇氏は述べている。また、試したものの中には思ったような成果が出なかったものもあった。とくに出荷時の工程に関わるものは、収穫の時間、出荷の時間がそれぞれ決まっており、短時間に作業しなければならない中で、工程の大きな変更ができない。これが、ファインバブルの効果が出るような結果にならない原因であると山脇氏は推測している。

もちろん、農業の現場での応用に課題がなかったわけではない。溶存酸素濃度が増えるということは、病原菌が増える可能性もあった。これを乗り越えたのが前述の篤農家の協力であった。しかも、篤農家は発信力があり、他の生産者が試すきっかけを作った。そもそも実証の対象としてその篤農家を選んだ背景には、普及指導員としての経験を持つ山脇氏の知見が活かされたという。

4. ファインバブル応用の発展

(1) ファインバブル発生装置の改良

ファインバブル発生装置は 2011 年に実証にフィールドに投げられたが、細かな改良点が残されていた。坂本技研は商社を通さず、限られた代理店を使って販売し、使い手と直接コミュニケーションをとるようにしてフィードバックを得ている。JA 高知春野からは、第一に装置の洗浄が容易であること、第二に修理の際の取り外しが容易であること、第三に鉄製であると錆びるため強化プラスチック製にすること、第四にコンパクトにすることなどの要望があがり、改善に繋がったという。

代理店には宝照水産、JA 高知春野が含まれている。農業向けでは、1 台 40 万円～50 万円程度で販売されている。毎分 100-150 リットル処理できるため、通常の生産者であれば 1 箇所取り付ければ圃場全体にファインバブル水を行き渡らせることができる。

改良の成果についても特許化を怠っていない。複数の旋回流を利用したファインバブル発生機構を開発し、「微細気泡発生器」として高知工業高等専門学校と坂本技研の共同発明として特許出願（特願 2014-29578、出願日 2014 年 2 月 19 日）を行っている。これによりファインバブル水の生成効率を高めることに成功した。



(出所) 株式会社坂本技研より提供

図 5 多旋回流型ファインバブル発生器

加えて、ファインバブル発生装置をつけても、ファインバブル水がうまく対象に行き渡らなければ必ずしも十分に効果がでない可能性があるため、高知工業高等専門学校では流体解析ソフトを導入した。これによって、ファインバブル水の拡散状況をシミュレーションし、水流設計を行うようになった。設置までを事業の範囲に含めることで、結果に責任

が持てるようにしていると共同開発者の坂本技研の山本健児氏は述べている。

(2)改良と普及を支える公的支援

前述のとおり、高知県庁は2011年からの3年間、各年2,000万円の研究開発助成を行った。県庁では産学官連携による科学技術を活かした産業振興を図っていたが、県内は中小企業が主で研究開発力が弱いことが課題だった。そこで、大学や公的研究機関のシーズ、企業の技術、官のネットワークと資金を組み合わせ、大企業並みの研究開発を行い、基礎研究を実用化することを目指し、高知県産学官連携産業創出研究推進事業を2011年に創設した。ファインバブルの取り組みがその狙いに合致していた。この取組では、研究開発だけでなく、大学等の研究機関と県内の異なる産業がネットワークを作り、研究開発を続けていく仕組みを作り上げることも狙っていた。この取組はイノベーションネットアワード2014 文部科学大臣賞に選ばれた。

高知県もさらなる改良の取り組みを切れ目なく支援し続けている。2014年までの取り組みで効率のよいファインバブル発生装置は完成したものの、動力を含めた一体のユニットとしての開発要素が残されていたことから、2015年からは発生装置のユニット化の開発支援を開始した。

さらに同年(2015年)からは、県の産業振興センターのリーダーシップの下で、ファインバブル・イノベティブクラスタープロジェクトが立ち上げられた。同プロジェクトでは、応用分野の探索、テストフィールドの拡大と関連機関による検証データの提供促進、そして、ファインバブル関連製造企業の集積が目指されている。

また、2016年からは産学官連携多分野利用推進事業費補助金を創設した。この制度では、選定された技術について、多分野利用の推進、ものづくりの拡大、応用研究の推進を行うことに対し、県が2/3の費用を負担する。高知工業高等専門学校を中心としたコンソーシアムがこの制度に応募し、年1,800万円の助成を3年間にわたって受けることとなった。

高知県はこれらの支援によって、県内の農業、水産業の生産効率が高まること、そして、ファインバブル発生装置のものづくり産業が振興することを期待している。とくに農業は県内の耕種の産出額は883億円(うち野菜が571億円)(いずれも2014年度)である。また、養殖漁業は217億円(2014年度)に至っている。ファインバブルによって生産効率が仮に1%高まると10億円近い経済インパクトが見込まれる。

(3)更なる広がり

この取組は高知県庁からも手厚い支援を受けてきた。農業分野の普及に関しては、高知県では県や市町村からの助成があり、生産者の投資の負担が1/3程度になるようになっていく。

この結果、高知県内を中心にファインバブルの応用が進みつつある。

例えば、水産分野では土佐清水市の鯖漁業に応用されるようになった。高知の足摺岬は

有数の鯖の漁場であり、盛んに鯖漁が行われている。しかし、大きな悩みがあった。鯖は痛みやすいため、活魚として輸送することも、陸で長期間養畜することも難しい。とくに養畜では酸素が少なかったり、ストレスを感じたりすると、激しく泳ぎ水槽にぶつかって傷んでしまう。養畜水槽では3日経過すると50%~70%の生存率になってしまっていた。このため、陸揚げすると2日程度で出荷しなければならず、出荷量が安定しない要因となっていた。

そこで、生け捕り後に入れる養畜槽にファインバブルを入れることで、溶存酸素濃度を高め、ストレスを緩和した。2016年8月から始まった実験では、水槽に移してから鯖が落ち着くまでの時間が短くなったという。その結果、3~4日養畜しても十分に出荷可能なものになった。土佐清水漁協では漁船にも輸送用のトラックにもファインバブル発生装置を入れる計画を進めており、鯖が生き生きとしていることを強調してブランドの向上を図ろうとしている（高知新聞, 2017）。

このような高知県内での普及の動きは、日本放送協会（NHK）の「クローズアップ現代」や「NHK ワールドニュース」で取り上げられた。これによって問い合わせが増えるようになった。農業分野では近隣の生産者から関心が寄せられた。また、水産業では近隣のみならず、フランス、ノルウェー、フィリピンの事業者からも問い合わせがあった。

2017年1月には、最初の実証先であった宝照水産の弘瀬裕一氏がファインバブル発生装置の販売業に転じ、株式会社ファインズを立ち上げた。これは同氏のもとにファインバブルの導入についての問い合わせが多かったこと、また、ファインバブルビジネスの普及に未来を感じたためであったという。加えて、坂本技研は技術中心の企業であり、水産業向けの販売のための人員が確保しにくいことも理由だった。株式会社ファインズは坂本技研の販売代理店として、主として水産加工会社、養殖事業者にファインバブル発生装置を販売し、併せて自らの使用経験を基とした活用方法の提案を積極的に進めている。また、メンテナンス対応も行っている。

株式会社ファインズが最初に力を入れた分野が、鮮魚の輸送用トラック（活魚輸送車）への導入である。すでに述べたとおり（3(1)参照）水産の現場では鮮魚の出荷時にも酸素欠乏事故が生じうる。これを避けるため、活魚輸送車には酸素ポンプが積まれており、運転手は定期的に駐車場で溶存酸素濃度を確かめるようにしているが、それでも酸素欠乏による事故は発生してしまっている。もちろん、事故自体はめったに生じるものではないが、発生した場合の損害は小さくない。

しかも多くの運送事業者は、損害発生の責任の分担について契約で処理していないことが一般的である。運送事業者の責任ではなく、そもそもの出荷時の作業に問題があったのではないかと水産業者が非難されることもあるという。このような事故のための保険はなく、運送業者にとっても、水産業者にとっても悩みの種であった。これまでバブル発生装置を入れた活魚輸送車は存在するものの、異物による詰まりの問題と、電力消費が大きい点は課題であった。坂本技研のファインバブル発生装置はこれらの課題を全て解決する

ものであった。

通常、活魚輸送車は海水による腐食を考慮して 5 年程度で買い替え需要が発生する。しかも、排気ガス規制強化の影響で、直近に買い替え需要が発生することが見込まれている。通常、活魚輸送車には空きスペースがないため、設計段階からファインバブル発生装置を搭載することを前提とした作りをする以外にない。弘瀬氏はいまが好機であると考え、活魚輸送車のボディを制作する専門事業者と連携して導入の取り組みを進めている。すでに運送業者 1 社の協力を得て、導入に向けて歩み始めている。

活魚輸送車は全国で 3,000 台近く存在する⁸。このうち 5 年で買い替えが発生するならば、年間最大で 600 台の需要が見込まれる。仮にその半数に普及するとしても数億円の売上の可能性があり、決して小さな市場ではない。

また、水産加工場や大型小売事業者の水槽にも導入されるようになった。これらにおいても、搬入時や養畜時に酸欠事故が起こりうる上、魚が生き生きとしていることが付加価値にもなる。ファインバブルが大きく寄与できる。しかも小売事業に限って言えば、消費者の目に見える場所にある水槽では水槽内が澄んでいることは購買意欲を高めるため価値に繋がる。ファインバブルを入れた水槽では、藻がガラス面に付着しにくく、また、汚れが浮き上がる現象が生じることが確認されている。この利点も大きく寄与する。

5. 地域における科学技術イノベーション創出と普及の課題と本事例での解決策

(1) 地域における科学技術イノベーション創出の課題

高知の事例から私たちはどのような教訓が得られるであろうか。

まず、本事例は地域で革新的な科学技術を生み出す際の課題を幾つか示唆している。第一の課題は、技術を実用化する際の試作を行うことができる、高度な技術を保有した企業の存在である。本事例では坂本技研という高度な技術を持つ加工事業者が存在したことが大きく寄与をしており、課題として顕在化していなかった。しかも、坂本技研の社長が高知工業高等専門学校の OB ということもあり、試作に積極的に取り組んだことも大きかった。南国市からの助成が数十万円あったとはいえ、すべての研究開発費をこれで賄えたとは考えにくい。企業としてリスクのある挑戦であったと考えられる。当時、坂本技研は取引先の事情で大型の事業が中止になり経営が苦しかったという。にも関わらず坂本正興社長は「うちにはできない仕事だから、知らん顔はできない」と引き受けたという（朝日新聞, 2016）。

第二の課題はフィールドでの実証のための研究資金である。この課題には、地方自治体からの資金的支援が寄与したことが見て取れる。前述の南国市の助成は経営が苦しかった坂本技研には大きな支援であったと考えられる。また、高知県が 2011 年から行った年 2,000 万円に及ぶ助成は、水産の現場でリスクのある実証を行う大きな支えとなった。基礎研究

⁸ 2004 年のデータとやや古い国内の活魚運搬車登録台数は約 2,900 台である（出所：日刊水産経済新聞）。

に位置づけられる研究活動に地方自治体として支援を行いはじめたことが奏功した例であると考えられる。

第三の課題はデータ収集の困難さである。この点について、助成金による計測機器の購入や公設試験研究機関からのデータ収集協力が大きかったことはいうまでもない。高知工業高等専門学校にはファインバブルの発生状況を詳細に計測する機器が備わっていなかった。助成金により購入することができ、これが科学的な検証に寄与し、秦准教授が研究者としての成果を出すことにつなげることができた。たしかに、溶存酸素濃度だけでも現場での効果の実証には十分ではある。しかし、装置自体を研究成果として学術発表する際には、不足であったと推測される。また、フィールドでのデータ収集について言えば、フィールド特有のデータ収集の知識や計測機器が必要である。本事例の農業現場での生育促進の応用例では、県の農業技術センターが加わり、生育状況のデータ取得を進めたことが貢献している。

表 2 地域における科学技術イノベーションの創出の課題とその要因、本事例における解決理由

課題	課題の要因	本事例における課題の顕在化	本事例での解決理由
試作を引き受ける企業の存在	<ul style="list-style-type: none"> ● 地域には高度な加工業者が存在しない場合がある ● 試作に必要な費用が不足する場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● (顕在化せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高度な切削加工技術力を持つ坂本技研が近隣に存在 ● 高等専門学校の卒業生としての坂本氏の協力
フィールドでの実証に必要な資金、データ収集のための知識・機器	<ul style="list-style-type: none"> ● フィールドでの実証時に必要な研究資金が不足 ● フィールドデータ収集に必要な知識・機器が不足 	<ul style="list-style-type: none"> ● 当初は計測機器を保有せず 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高知県の助成により計測機器を購入 ● 農業技術センターの協力により生育状況等のデータを取得

(2)地域における科学技術イノベーションの普及の課題

本事例から、科学技術イノベーションの普及、すなわち、イノベティブな科学技術によるイノベーション創出にあたっての障壁が 3 点、浮かび上がる。第一に、科学技術イノベーションを実装する際の投資の負担、第二に、現場のニーズとの整合性、第三に、現場のルーチンとの整合性である。

第一の障壁である科学技術イノベーションを実装する際の投資の負担は、宝照水産での実証実験におけるリスクとして表れている。とくに農林水産業は、数ヶ月～1年の期間をかけて収穫に至る。仮に失敗に終わった場合、100 万円を超える損害が発生する。北海道を除く日本の農業、そして、水産業は経営体力が十分でないことが知られている。例えば、養

殖業では個人経営の場合、年の収入は平均して 1.6 億円前後であり、支出は 1.5 億円と、収益は 1,000 万円前後である⁹。この中で 100 万円の損失は収益の 10%程度に上ってしまう。農業に至っては 30a 以上の経営耕地を有する農業経営体に限定したとしても 132 万経営体中、1,000 万円以上の収入をあげているのはわずか 10%にすぎない。

本事例のうち、宝照水産および JA 高知春野の実証実験では高知県の基礎研究に対する助成によって、高知県内の農業生産者に対するファインバブル発生装置の普及については高知県の補助金によって、それぞれこの点は緩和されている。とくに前者は、基礎研究に対する助成であったために実現できた点は見逃ごせない。もっとも、高知県の産学官連携産業創出研究推進事業施策の理念が示すような、中小規模の事業者が連携等をして、大企業並の将来への投資を行っていないこと自体に課題がある¹⁰ことは否めない。本事例はまさに、経営体力が十分でない地域の中小企業が連携をすることで大企業並みの将来への投資を行った事例と位置づけられるだろう。

第二の障壁である現場のニーズとの整合性は、そもそもファインバブルが農業、水産業分野で広く普及しづらかった理由にあらわれている。費用の高さや現場での使い勝手の悪さがこれまで普及を妨げる要因であった。これは大学等で生み出された科学技術について高い頻度で生じている一般的な課題であると考えられる。秦准教授の描いたファインバブル発生装置のコンセプトが、現場で使いやすいものとするににあったことがこの障壁を乗り越える原動力となった。また、現場の声のフィードバックを受けやすい地理的な近さの中で実証を行ったこと、秦准教授や坂本技研がフィールドに入っていき直接フィードバックを受けたことによって、現場のニーズに沿った改良が出来たことも寄与したと考えられる。

重要な点は、秦准教授のコンセプトはファインバブルの生成効率の点では他の技術方式に比べて劣っているという点である。現場の目線で見れば、気液剪断方式が実現する目詰まりのしにくさや消費電力の低さで優れていることが重要であり、生成効率は重要な指標ではない。しかし、技術側の視点から見ると、気液剪断方式は必ずしも優れた方式でないと映っていた可能性もある。仮にそうだとすると、従来の評価軸からは一見すると劣っている技術が、新たな価値、新たな評価軸を提供した事例といえ、気液剪断方式のファインバブル発生機構は、Christensen(1997)のいう破壊的技術にあたるといえよう。そのために、既存のファインバブル発生装置産業の中では生み出されにくかった可能性がある。Christensen(1997)は、このような技術はマーケット立ち上がり期の小規模な市場を甘受できる小規模な企業により普及する傾向があることを述べており、本事例はまさにそのような市場の住み分けが実現できた例といえるだろう。

第三の障壁である現場のルーチンとの整合性は、本事例では養殖業の現場で実験に消極的な態度の解消に時間がかかったという形で現れている。作業ルーチンを変えられたくない

⁹ ぶり類の場合。なお、ぶり類の養殖事業の経営体の平均従業員は 4.5 人であり、個人経営体が多いことがわかる（統計出所：水産庁「2013 年漁業センサス」）。

¹⁰ 大企業であれば収益ではなく売上の 2%～10%を研究開発費にあてている。

いという抵抗感は、どのような職場にもつきものである。この点を乗り越えることができた原動力は、とくに養殖業の現場や生姜の洗浄の現場でファインバブル利用の成果が目に見える形で表れたことにあると考えられる。酸素欠乏の有無は魚の呼吸の様子から観察することができる。生姜の洗浄では洗浄後の生姜がその洗浄効率を物語る。熟練の作業員ほどその効果を感じられたことと推測される。また、既存の配管内に接続ができることも大きかった。これにより現場に著しい変化をもたらさなかったことがファインバブルを受け入れやすい基盤となったと考えられる。

ただ、成果が目に見えるという点では、農業での応用のうち、生育促進の事例にはあてはまらない。成果が出るまでに数ヶ月から1年の時間を要する。実際、秦准教授は育成促進の応用事例では現場の生産者の理解を得て科学的な実験を行っていくことの難しさがあると話している。もっとも、本事例では高知県の農業技術センターが入り、成果の数値化に努めている。これによって現場からの理解を生み出す努力が行われていると理解できる。

他方で、本事例では顕在化していないものの、本来は大きな障壁足り得た点がある。そもそも経営者が不確実な技術を受け入れるのには大きな決断を伴う。まして宝照水産の事例のように実験段階にあるのであればなおさらである。これを乗り越えることが出来た要因として3つ考えられる。第一に、代表者の弘瀬氏が高知工業高等専門学校の土木科の出身であり、分野が違うとは言え科学・技術に対して深い素養を持っていたことが功を奏していた可能性がある。第二に、農業の現場ではRogers(1962; 2003)の分類にいうイノベーターともいえるべき人材である篤農家を対象に実証を試みたことが奏功したと考えられる。第三に、開発の経緯にあるとおり宝照水産の弘瀬氏、坂本技研の坂本氏のいずれもが高知工業高等専門学校の卒業生であり、秦准教授と緩やかな社会ネットワークに結ばれた関係にあった。これが不確実性によって生みだされる不安感の緩和やリスクの積極的受容につながったものと推測される。これは、製薬業界を分析し、革新的な医薬の研究開発にあたり、研究者の社会ネットワークが研究の実施に寄与したとのBaba and Walsh(2010)や馬場・ウォルシュ(2007)の発見事実との接点を示すものである。彼らは研究者コミュニティ内の社会ネットワークに焦点をあてていたが、本事例では研究を実施するのに必要な人的資源との社会ネットワークが寄与したことを指し示している。

表 3 地域における科学技術イノベーションの普及の課題とその要因、本事例における解決理由

課題	課題の要因	本事例における課題の顕在化	本事例での解決理由
投資の負担	<ul style="list-style-type: none"> ● 数ヶ月の期間をかけて一度に収益をすることが多く、実験のリスクが大きい ● 農林水産業の経営体の体力が弱い 	<ul style="list-style-type: none"> ● 宝照水産の実証実験では仮に失敗すると 100 万円超の損失 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高知県が基礎研究に対する支援制度を創設
現場のニーズとの整合性	<ul style="list-style-type: none"> ● 価格が高い ● 現場で使いやすい設計となっていない 	<ul style="list-style-type: none"> ● JA 高知春野からの改善要望 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場で使いやすいことを優先したコンセプト(ファインバブルの生成効率は必ずしも高くない) ● 現場の声に基づく継続的な改善
現場のルーチンとの整合性	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場のルーチンを変えることに作業員が抵抗感を覚える、または、外的制約でルーチンが変えられない 	<ul style="list-style-type: none"> ● 宝照水産での現場の作業員が受け入れるまでに半年もの時間がかかった ● JA 高知春野の応用では一部の用途では効果が出なかった 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成果が目に見える(養殖業での利用、生姜の洗浄での利用) ● 一部は解消せず
革新的な科学技術の経営者による受容	<ul style="list-style-type: none"> ● 新規な科学技術の持つ不確実性 	<ul style="list-style-type: none"> ● (本事例では顕在化せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 応用先の経営者が科学技術の素養があった ● 率先して最新技術を採用する者を最初の応用先として選んだ ● 高等専門学校卒業生ネットワーク内で実装・応用を実現した

表 4 (参考) 助成の歴史

助成制度	2011	2012	2013	2014	2015	2016
高知県南国市新製品等研究開発事業	■	■				
高知県産学官連携産業創出研究推進事業		■	■	■		
高知県地域研究成果事業化支援事業					■	■

6. おわりに

ファインバブルは、きっかけは養殖業での育成促進用途であったが、その後は洗浄用途で大きな注目を集めた。本事例においてもきっかけは養殖用の網の洗浄が想定されていた。しかし、その後、溶存酸素濃度という水産現場の課題を中心に技術開発が行われ、結果として農業・水産業、そして、その隣接産業である運送業で応用可能な成果が生み出された。ファインバブルには、殺菌など幅広い効果が確認されている。この高知の取り組みは更なる広がりを見せていくものと推測される。

参考文献

- 1) 朝日新聞(2016)「明日を拓く：微細気泡、農漁業の力に」『朝日新聞』2016年6月15日朝刊(香川版) p.28.
- 2) 新井喜博(2016)「加速するファインバブル技術の産業化」株式会社旭リサーチセンター『ARCレポート』RS-1007.
- 3) Baba, Y., Walsh, J.P. (2010). "Embeddedness, social epistemology and breakthrough innovation: The case of the development of statins," *Research Policy*, 39(4): 511-522.
- 4) 馬場靖憲, ジョン・P・ウォルシュ(2007)「ハイリスク・イノベーションにおける研究者ネットワークの役割-創薬における日米比較-」『研究 技術 計画』22巻1号, 45頁-55頁.
- 5) Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston: Harvard Business Review Press. (C.M.クリステンセン(玉田俊平太監修・伊豆原弓訳(2001)『イノベーションのジレンマ：技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』翔泳社)
- 6) 高知新聞(2017)「高知県土佐清水市でファインバブル(微細気泡)を清水さばに活用」2017年2月15日記事.
- 7) 許晴怡, 椎名武夫(2007)「技術用語解説：マイクロバブル」『日本食品科学工学会誌』Vol.54, No.11, p.516.
- 8) Rogers, E.M. 1962. *Diffusion of Innovations*. New York: The Free Press of Glencoe.
- 9) Rogers, E.M. 2003. *Diffusion of Innovations*, 5th edition. New York: Free Press.
- 10) 武井康之, 大内静香(2016)「ファインバブルの測定について」『産業と環境』Vol.45, No.11・12, pp.31-36.

謝辞

本ケースは、2016年7月20日に山脇浩二氏（JA 高知春野）に対して、2016年7月21日に秦隆志氏、横山啓子氏（高知工業高等専門学校）、坂本正興氏、山本健児氏（株式会社坂本技研）、森学氏（高知県商工労働部）に対して、2017年2月14日に秦隆志氏、西内悠祐氏（高知工業高等専門学校）、弘瀬裕一氏（株式会社ファインズ）に対してそれぞれ行った聞き取り調査の結果、および、新聞記事、発表資料を含む二次資料に基づき作成した。また、科学的な背景については高橋正好氏（産業技術総合研究所）にご指導を頂いた。ただし、前述のとおり、社会がどのようにこの技術を理解していたかに焦点をあてた記述を本稿は採用しており、科学的な正しさに基づいた記述になっていない点に注意いただきたい。聞き取り調査にご協力を頂いた各氏にこの場を借りて厚く御礼を申し上げます。残された誤りは全て筆者の責めに帰するものである。