

新バイオ産業創出のための地域産学官の一体的取組例／  
三重大学・三重県工業研究所訪問記

徳安 健

1. はじめに（著者まえがき）

農林水産業と化学工業が連携して新たな素材産業を創出するため、各地で産学官が一体となった取組が推進されている。本稿では、その例として、三重県での取組を紹介する。まず、非可食バイオマスを原料としたバイオケミカル関連産業の創生に関する2件の調査事業「バイオリファイナリー調査業務委託（平成25年度）」及び「バイオリファイナリー・ロードマップ策定業務委託（平成26年度）」について、その報告書の概要を紹介する。それに加えて、このような技術開発・連携体制構築に重要な役割を果たしている三重大学及び三重県工業研究所を訪問し、バイオマス・バイオ研究に携わる数名の先生方から話を伺ったので紹介する。

2. 三重県の地形と産業

三重県は、紀伊半島の東側に位置する。県庁所在地の津市に加えて、主要都市として四日市市、鈴鹿市、松阪市、桑名市、伊勢市などが知られる。県は南北に長く、平野、山岳、盆地、リアス式海岸など多彩な地形をもつ。農業（稲作、伊勢茶、かんきつ）、畜産業（松阪牛、伊賀牛、加茂牛など）、水産業（真珠、伊勢エビ、鰹、海藻など）、林業（檜、杉）など農林水産業が盛ん。四日市市の石油化学コンビナートは、三重県経済を支える拠点。大阪、名古屋への交通の便が良い伊賀地方北部には、企業の生産拠点・物流拠点としての工場・工業団地が点在する。（Wikipedia—三重県—より抜粋改変。http://www.pref.mie.lg.jp/D1NOURIN/000182203.htm より引用。）

3. バイオリファイナリー調査業務委託（平成25年度）

本調査は、三重県雇用経済部エネルギー政策課が委託し、一般財団法人エネルギー総合工学研究所（IAE）が報告書を作成した。本報告書は、バイオリファイナリーの概要、バイオマスを巡る国内外の状況、県内資源賦存量・利用可能量の推算、変換技術の開発状況、県内における製品の潜在的市場調査を丁寧に実施している。また、国や自治体の公開資料を中心として引用文献が明示されており、ターゲット発掘のための抽出作業の段取りと考察についても違和感が少ない。報告書作成から多少時が経っているが、本分野に詳しくない方々にとっては、本報告書は分かりやすく頼れる情報源となるものと考え、簡単に紹介することとした。

報告書 URL: <http://www.pref.mie.lg.jp/ENERGY/HP/84879045132.htm>

以下に本報告書の3つのポイントを示す。

(A) 「バイオケミカル関連産業」という新たな産業の創生に繋げるためには、(1)原料バイオマス量、(2)バイオマス転換技術や製品製造技術、そして(3)製品の市場が重要

となると考え、三重県では、(1)として豊富な農産・林産資源、(2)として四日市コンビナートを中心とした石油化学産業等の技術基盤、そして(3)の市場候補としての同コンビナート、自動車、家電などの加工組立産業を持つと分析した。

(B) 本報告書では、(1)原料、(2)技術及び(3)製品について、有望な組み合わせを分析することで、研究開発ターゲットを抽出した。具体的には、下記5点に整理した。

- ・バイオマスのカスケード利用による医薬品等の高付加価値品の製造
- ・前処理、糖化工程のコストダウンを図ったうえでのバイオエタノールの製造
- ・バイオマテリアル製造技術によるセルロースナノファイバー(CNF)等の製造
- ・熱分解やガス化技術による重油代替としてのバイオオイルの製造
- ・前処理、糖化工程を経て、発酵法によるバイオプラスチック原料及びバイオプラスチックの製造

(C) 今後、これらのターゲットに対して、県が事業環境を整備し、企業が事業化を進めるための検討を行い、研究開発プロジェクトを立ち上げ、技術革新を行う必要がある。

#### 4. バイオリファイナリー・ロードマップ策定業務委託（平成26年度）

前項の調査業務委託報告書の内容を受けた本業務では、前記(B)で挙げた5つの研究開発ターゲットを対象として、県が掲げる「次世代型産業コンビナートの創出」達成のための指針となるバイオリファイナリー・ロードマップ(案)を策定する。本報告書では、国内外のオイル/バイオリファイナリー概況解説に加えて、三重県内での技術ターゲットに関するアンケート調査、個別ターゲットに対する検討課題と対応策の抽出を行い、ロードマップ(案)及びアクションプラン(案)の策定に繋げている。この中では、石油由来の製品の代替商品群(バイオプラスチック、バイオエタノール、バイオオイルなど)を製造する際には、生産技術の開発のみならず、品質性能、製造コスト、安定生産、供給体制などに強みを持つ必要があり、生産技術の開発が直ちに実用化に結びつかないと指摘する。それに対して、高付加価値品(CNF、医薬品など)については、生産技術の開発がすぐ新市場開拓・実用化に繋がる。この報告書も抽出・策定プロセスが分かりやすく説明されている。

報告書 URL: <http://www.pref.mie.lg.jp/ENERGY/HP/89802000001.htm>

本報告書では、ロードマップを活用し、異業種交流会などの実施により必要検討課題を抽出し、産学官が参加する検討会等を設けることで、みえ発の研究開発プロジェクトに繋げていく必要があるとしている。

#### 5. 三重大学訪問記

国立大学法人三重大学は、「三重の力を世界へ：地域に根ざし、世界に誇れる独自性豊かな教育・研究成果を生み出す ～人と自然の調和・共生の中で～」を基本的な目標として掲げ、地域社会や住民との緊密な連携をとりつつ、「人類福祉の増進」「自然

の中での人類の共生」「地域・国際社会の発展」に貢献できる「人材の育成と研究の創成」に取り組む（大学 HP 内学長挨拶より抜粋改変。）。県が三重大学に求める役割として、「若者を地域に止め置く機能」、「良質な雇用を創出する機能」、「経済主体としての機能」、「研究成果を地域に還元する機能」、「教育機関として地域人材を育成する機能」及び「地域の様々な主体のハブとなる機能」を挙げている（平成 26 年 12 月 1 日三重県鈴木英敬知事資料「地方における国立大学の役割」より抜粋。）。

三重大学大学院生物資源学研究科・生物資源学部は、大正時代に設立された三重高等農林学校を源流とした農学部と、三重県立大学での歴史と実績を継承した水産学部とを統合して、それぞれ昭和 62・63 年に創られた大学院・学部である。本大学院・学部では、資源の高度利用を目標としたバイオプロセス研究を強力に推進しており、特に *Clostridium* 属細菌を中心とした嫌気性菌によるバイオマス変換研究に関しては、強力な研究者陣が長くこの分野を背負ってきた。その源流について、ご自身も *Clostridium* 属生産酵素を用いた生化学的特性解明を行う荻田修一教授に伺った。同大学では、嶋田協教授が特殊環境微生物に興味を持ち、1983 年に米国 MIT の Arnold L. Demain 先生から嫌気性菌の取り扱いを学んだ後、栗冠和郎先生とともに嫌気性セルロース分解菌研究を開始し、他に硫酸還元菌による排水処理技術の開発にも取り組んだ。その後、*Ruminococcus albus* のセルラーゼ遺伝子を研究していた大宮邦雄先生が加わり、遺伝子実験施設の荻田修一先生、木村哲哉先生、市川俊輔先生などの多くの研究者を加えて嫌気性菌のセルラーゼ研究が深化・拡大し、現在は、酵素糖化、水素生産、CBP (Consolidated Bioprocessing) などのバイオプロセス構築のための研究を展開している。1993 年に三重大学から国内外に声かけして開催した、リグノセルロース生分解に関する国際シンポジウム「MIE BIOFORUM」は、*Clostridium* 属菌のセルロソーム研究の世界的な研究者達のみならず、糸状菌・細菌セルラーゼ研究者の多くも集合する盛大なイベントとなった。本会を通じた人的繋がりは、著者のみならず、多くの国内研究者にとって、海外研究者やそのレベルを身近に感じる貴重な機会となり、研究推進に大いに役立ったと信じる。その後も本会は継続し、2014 年には第 5 回目 MIE BIOFORUM を開催している。また、同大学院・学部の田丸浩先生は、米国 UC Davis 校の Roy H. Doi 教授の下で研究を進めた中温菌 *Clostridium cellulovorans* を用いて、ブタノール発酵による資源変換研究等を精力的に進めている。三宅英雄先生は、大型海藻バイオマスの高度変換研究に取り組みながら、*C. cellulovorans* と *C. thermocellum* との酵素生産特性の比較等を通して、各菌の個性を活かしたバイオプロセスの高度化をめざしており、発酵生成物のリアルタイム気相回収システム導入試験などの発酵工学的アプローチでの研究も並行して進めている。

木質資源の総合利用を訴える木質分子素材制御学研究室の野中寛先生は、良質なリグニンと糖質の同時取得を目指す成分分離プロセスの探求、酵素糖化におけるリグニンの影響評価、CNF などのセルロース繊維およびリグニンをを用いた天然系複合材料の制御・開発、木質ナノファイバーの機能性解明などに取り組む。本研究室では、SEM

や表面積測定装置などの木質構造の解析装置、リグニン、セルロース等高分子の物性解析に係る HPLC、X 線回折装置、各種熱分析装置、炭素・窒素分析装置等に加えて、繊維、紙、ボードなどの製造と解析のための解繊装置、プレス機、引張圧縮試験装置等を保有し、資源の高度利用に向けた総合的解析・評価体制を構築している。三重県では、平成 27 年に「みえセルロースナノファイバー協議会 (<http://www.miesc.or.jp/amic/mie-cnf/>)」を組織するなど、地域一体となった CNF 活用への取組が進んでおり、本研究室からの新素材研究成果の発表が注目される。

三重大学大学院地域イノベーション研究科は、On the Project Training (OPT)教育、そして基礎研究能力とプロジェクトマネジメント能力を養成するためのサンドイッチ方式教育の導入を特徴としている。地域ニーズに応じた問題解決の概念と方向を創造し、国内外で展開できる思考方法・実現方法を教育する（同研究科 HP より抜粋改変。）。同研究科の三島隆先生の研究室では、各種有機・無機成分分析、構造解析、物性解析、抗酸化性評価、顕微観察等の基本的分析技術をツールとして、地域ニーズに対応した生物資源の潜在性発掘・高付加価値化のためのプロジェクトに参画することで、基礎技術教育及び OPT 教育を実施するのみならず、実践的研究開発を通じて地域活性化に貢献する。

## 6. 三重県工業研究所訪問記

三重県工業研究所は、県内企業が抱える技術課題の解決や新分野展開に挑戦するための技術力・開発力の向上、企業の技術力を支える人材育成支援を目的として、研究開発、共同研究、技術相談、依頼試験、保有する機器の開放、研究開発人材育成講座等を行う（同所 HP より抜粋改変。）。「企画調整課」、「プロジェクト研究課」、「エネルギー技術研究課」、「電子機械研究課」、「ものづくり研究課」、「食と医薬品研究課」、「金属研究室」及び「窯業研究室」を置く。

食と医薬品研究課の苔庵泰志先生は、ブリウロコからのコラーゲンペプチド製造技術の開発、ブナシメジ、ハタケシメジの機能性に関する研究、サンマからの魚醤製造技術の開発、雑豆類を用いたテンペ製造、納豆菌等からのγ-ポリグルタミン酸誘導体製造など、地域食品資源から得られる成分の研究、発酵研究などを実施している。また、同課の藤原孝之先生は、地域のナシ、ブドウ等の加工過程での品質劣化を抑制できるドライフルーツ製造技術を開発した。本研究所では、三重大学と協力し、「みえ」食発・地域イノベーション“創出拠点を形成し、企業ネットワーク構築、食品素材探索・食品加工段階での機器試験利用等による技術高度化支援等を行っている。

本研究所では、環境省予算により CNF 用途開発のための調査を行い、TEMPO 触媒酸化 CNF を地域資源とした用途開発を行う方針に絞り込んだ。同時期に組織した前記 CNF 協議会の活動を通じて、不織布・繊維集合体分野に関する用途、透明フレキシブル機能性フィルム用途等の可能性、そしてタケ、ススキ等の地域資源の利用可能性を模索している。ちなみに、同じ環境省予算で調査を行った静岡県では、ふじの

くに CNF フォーラムとして、京都府産業技術研究所、四国 CNF プラットフォーム及びナノセルロースフォーラムとの広域地域間連携協定を締結して取組の加速を図っており、森林活用先進県である岡山県は、「おかやまグリーンバイオプロジェクト」の一環として、CNF 研究開発や木質バイオマス利用に係る取組を支援しているほか、平成 28 年 3 月には、「中国地域におけるセルロースナノファイバー関連産業創出可能性調査」委員会（委員長 遠藤貴士先生、編集・発行 公益財団法人ちゅうごく産業創造センター）が詳細な報告書を纏めている。URL: <http://ciicz.jp/jigyo/nen.html>

## 7. おわりに（著者感想）

生物資源の活用に係る工工連携では、新素材の CNF 等の製造物を製品化または部材化するため、高度な生物材料評価を行う必要がある。訪問した三重県では、分析・評価の重要性が強く意識されており、大学及び研究所でのソフト・ハード両面からの多様な取組が印象的であった。また、豊富な農林水産資源を高度利用すべく、三重大学の生物資源研究体制は充実している。特に、嫌気性菌 *Clostridium* 属菌の繊維質糖化・発酵研究については、国際農林水産業研究センターの小杉昭彦先生のグループ、九州大学の園元謙二先生のグループなどととも、国内・国際研究拠点としての役割を果たしている。

調査事業報告書には、県内化学企業や製造業の詳細な情報が示されており、地域バイオリファイナリーの出口イメージを描く際の参考になる。その一方で、農林水産資源に関しては、統計数値等から収集可能量を試算し、主要な資源について地域別利用可能量を提示しているものの、市町村での資源調達可能性にまで踏み込んだボトムアップの調査は行われていない。このため、工工連携のアクションプランは具体化したのが、農工連携のシナリオは不鮮明である。もしも、県または市町村単位で調達可能な原料について、その種類、品質、調達量、調達時期、コスト等にまで掘り下げた情報を収集すれば、地域実証試験の現実的規模をイメージできるようになる。さらに、コストや調達量などの問題点が明瞭になり、バイオプロセスに関して高い研究開発力をもつ大学及び公設研究所のポテンシャルを發揮できるものと期待される。

三重県が地域活性化のために興すべき新産業は、必ずしも、「国産原料使用ありき」という訳ではない。一次産業の維持と同様に、二次産業の維持も喫緊の課題である。地域二次産業は、取引先での最終製品の製造、下請製造、輸送、販売等に関わる多くの人々の雇用・生活を維持する。そして、間接的には、生活の場での三次産業、交通基盤、ライフライン等の維持や税収を通じて市町村・県の活力を保つ。新プロセスが海外原料の輸入を想定し、国産原料を使えない場合でも、兼業によって一次産業従事者の所得が増加すれば、人口流出を阻止し、間接的に一次産業の体力維持に貢献できる。それに加えて、(政策的措置も適宜講じつつ) 多少なりとも国産原料を併用して、地域資源循環システムの役割を活かせるならば、一次産業高度化の視点からも成功例となろう。

著者らが取り組む食品産業（二次産業）技術研究と、農業（一次産業）技術研究との関係は、農工連携の一つの姿として車の両輪に例えることがある。同様の例え方をすると、今回のような、地域産業創出を目的とした農工連携のシナリオでは、まず、工業側の「片輪」を回してプロセスを動かし新技術基盤を整えることで、農林水産業側のもう一方の車輪も上手く回り始めることを期待しているように見える（当然ながら、「新品種が新製造業を興す」というように、逆の順番も考えられる。）。この手順は、片輪が回ってみないともう一方の回し方が分からないという点で、普通のバックキャスト法のそれとは異なる。フォアキャストとも違う気がする。この手順の本質は、「状況が変われば解決できる」という期待であり、閉塞状態に近い状況下から、片輪を一旦「寝かせておく」ことで、「もう一方側を動かし研究成果を得て、状況を変える」という取組であろう。

「状況を変える」とは、「研究成果（＝新たな手段）を得ることで、新たな戦略を検討できるようにする」ことに他ならない。研究成果は、小さいパラダイムシフトを誘導し、「ゲームチェンジ」のための一手となることがある。それに加えて、「研究成果の価値は、開発者が想像できる範囲をはるかに超える。」といわれる。偶然にも、数日前の退職者講演で、退職者が大学院時代に取り組んだ酵素の話として、『はるか昔、「これは全く役に立ちそうもないな」と思いながら解析したマイナー酵素が、数十年経ったこの春の学会で論文引用されて、議論されていたので驚いた。』というエピソードを伺った。地味に見える研究論文でも、まるで良質な書物が読む度に異なる示唆を与えるように、開発者ですら想像できない潜在力を持ち続けるのであろう。おそらく、論文を産み出すべき研究者の歴史的役割も、自身が想像できないほど大きく、この権利と責任を放棄・安売りすべきでないと自省する。

話が大きく逸れた。雑感を総括すると、地域バイオリファイナーにおける農工連携のような難題に対しては、持ち場で問題解決のために取組みながらも、折々に状況変化を察知し、粘り強く戦略を練り直すことで道が拓けるものと期待したい。この手順は、研修などで学ぶ、バックキャスト型のPDCAサイクルと同じようではあるが、研修などの中では、「Check-Action」の役割が「外れた軌道を元に戻す」程度に説明されており、「状況変化をテコに戦略自体を修正する」とは考えていなかったことに気づく。