

『四国は紙國』の研究開発連携組織として歩んだ道

小林良生*

Kobayashi Yoshinari

元四国工業技術研究所

要旨

私達が勤務した旧四国工業技術研究所は規模が小さく、研究の柱も脆弱であると考えられ、中央の旧工業技術院から見れば、合理化の対象の組織であり、近隣の旧中国工業技術研究所と合併の対象となる可能性が高いと聞かされ、常にその危機意識を抱きつつ、独創的な研究開発業務を遂行することが求められた。

そのような不安の対抗策として、私達は所内の「研究の柱」を強化し、研究成果はホームランでなくても、短打を連打することを旨とし、常時点が取れるような研究開発連携組織を構築・維持し、柱となる分野の産業に属する機関からは、絶えず支援され、頼られる機関となる体制を保持することに努めた。

この枠内で、私達の製紙技術の研究活動は、大別すると①製紙研究関係の産学官グループの連携を深め、技術開発を通して共存拡大するような運営を図ること及び②製紙産業界の発展に寄与するための研究開発の両面からなっている。

製紙関連連携組織としては、私は所内外の関係者と図り、着任時既存の「化繊紙研究会」を産学官組織「NPO 法人機能紙研究会」にまで発展させ、国内外で競争できるポテンシャルの研究を担えるシート素材の研究開発集団となるよう努力した。もう一つは「四国紙パルプ研究協議会」を発足させ、製紙産業が四国の中核産業となるように努めた。この両者を両輪の如く回転させ、「四国は紙國」を目標にして組織化した。

私の退職後、産総研の組織が変わり、それらの組織に対する産総研四国センターの運営関与の手は弱まったが、「愛媛県紙パルプ工業会」及び「愛媛県紙産業研究所」が主導する体制となり、その二つの組織の呼び掛けで愛媛大学が動き、四国中央市に平成 22(2010)年愛媛大学農学部「紙産業修士コース」が誕生し、更にそれは平成 24(2012)年には紙産業イノベーションセンターに拡張され、古く私達が関わってきた旧研究室に替わり、近年一段と強固な機能材料開発の研究集団に転身した。

この運営と並行して、所内での研究開発の対象とした技術は、製紙対象繊維を、従来の製紙技術では対象とされなかったフィールドから掘り起こすことを基本的な発想とし、農学(バイオパルピングでは植物病理学、非木材繊維では工芸作物学)及び水産学(キチン・キトサン繊維紙はエビ・カニ、カビ、アルギン酸繊維紙ではコンブ、ジャイアントケルプなどの海藻学)などからの発想をベースにして、製紙産業が取り組みや易い技術を構築するという基本構想の元に新しい「機能紙の領域」を開拓することができたと思う。

更に、国際協力としてタイ、マレーシアなどの国で非木材、南方材ベースのパルプ化研

究を行い、それが縁で退職後はタイ国カセサート大学で JICA プロジェクト「タイ未利用農林作物研究」を行い、国内の組織の連携の輪を、更に国外にも広げられたと考えている。

* 現在 NPO 法人機能紙研究会顧問

1. はじめに

香川県坂出の瀬戸大橋の架橋近くに東山魁夷美術館がある。美術館へのアプローチは芝生に付けられた真っすぐな道を通り、その先端の入口まで歩む。それは魁夷の作品「道」をモチーフに基づくものである。私は、この絵が好きで、研究人生もこの道のように真っすぐに進みたいと考えていた。そして、今、改めて余生を送る身となって、自分の歩んできた道を振り返ると、この真っすぐな道こそ、旧四工研で行った「紙の研究の道」ではなかったかと思う。それは私が退職した後、旧工業技術院の組織が変わっても、今なお、四国の紙パルプ産業界にその道が残り、愛媛県の四国中央市に中心を移し、途切れることなく活動していることを、ここに書き遺して、皆様のご参考に供したいと思う。

2. 旧四国工業技術研究所の紙パルプ研究体制

私は工業技術院の生え抜きではなかった。東レ名古屋の化成品研究所で主としてナイロンの原料合成の研究をやっていたが、「工業技術院で合成繊維から紙を造る計画があるので、君に白羽の矢が立った。一つ引き受けてくれないか」という話が舞い込んできたことで、人生が変わったのである。当時の四国工業技術試験所長の林禎一氏からの割愛人事のご要請であった。工業技術院の研究所ならば終生研究に没頭できると思い、有難く受け入れさせて頂いた。四国に着任して、受けた辞令は「化繊紙研究室長」という身分。昭和 50(1975)年 2 月 1 日のことである。ここから旧工業技術院での研究が始まる。

当時、産業界は石油化学の発展が著しく、製紙業界では「合成紙」というポリオレフィン・フィルムベースの紙の製造技術が国家プロジェクトで大手製紙会社と石油化学の会社で進められており、「天然セルロースベースの紙」は置き換えられるのではないかという考えが支配的であった。合成紙は”紙=P パー “に次ぐシートとされ、” Q パー ”との愛称が提案されたほど期待の大きなプロジェクトであった。最終的には、王子製紙と三菱油化の合弁会社で商品化された「ユポ」という商品名で上市される程度で収まり、予想したほど大きな伸びはなかった。当時、この技術開発を国がどれ程重視したかは、同社の社長に工業技術院長をされた太田暢人氏が就任されたことでも推察できる。

旧四国工業技術試験所(旧四工研)は、このフィルムベース「合成紙」に対抗させるべく、化繊(再生セルロース繊維=レーヨン)紙の研究を愛媛県製紙試験場、岐阜県製紙試験場等の製紙試験場、そして原料メーカーの東レ、帝人、クラレなどが参加した組織で研究を始めた。昭和 37(1962)年のことである。その成果発表会は業界では高く評価され、翌 38(1963)年には「化繊紙研究会」が誕生した。この研究会は化合繊メーカーと製紙メーカーの連合組織で、レーヨン紙の製造技術の研究後には、アセテート繊維紙、ポリオレフィン繊維紙、

アクリル繊維紙などの化合繊維紙に拡大していったが、その開発過程で、リーダーの研究室長の大山茂雄氏が突然民間に転出、リーダー不在となり、急遽欠員の補充が必要となり、その補充人事として、私が選ばれたのであった。

赴任後、一年余りかかったと思うが、国内の化学繊維紙の動向¹⁾を調査し、関係者と協議し、私は所長のご承諾を頂いて、次のような組織として、再出発させることにした。

「あらゆる繊維状物を湿式でシート化された紙(“紙”と定義)をつくる技術を研究開発する研究会、名称は当初の「化繊紙研究会」から「機能紙研究会」に改名。会員は国・県の製紙関係研究者、化合繊、石油化学製品などのメーカーおよび中堅クラスの製紙メーカー、その三者は自由に共同研究までやれる連携組織にした。会長には旧四工研所長に替わってビニロン繊維状バインターを開発された神戸女子大学稲垣寛教授にご就任頂き、原料からシートまでの製紙技術をカバーする官産学の研究組織に組み替え、四国の枠を超え全国組織へと発展させるように努めた^{2~4)}。

そのような新しい体制の整備は、近年になって産総研体制になった後、愛媛県を中心に、旧四工研枠を超えて、四国の製紙業関係機関に飛躍的な発展をもたらす組織に進展してゆくことは予期された方はおられないのではないかと思う。その近年の発展の動向は、末尾に改めて述べる。一方、所内では、このような機能紙研究会の組織再編に伴い、赴任当初まで行われた「レーヨンのグフト重合」(西山昌史氏)、「炭素繊維紙」(松尾隆吉氏)の研究は研究の内容から上記研究会の企業にゆだね、中断して頂いた。

赴任して、教えて頂いたことがもう一つある。地方の研究所の役割として「地域産業の振興に寄与する業務」を遂行することも重要であるということ。それ故に、着任早々、四国内の紙パルプ研究者の連携組織をつくるように命令された。所長、部長らは香川大学幡克巳教授ら(後に学長)と協議されていたのである。

当時四工研の中には、もう一つ「有機化学研究室」という紙パルプ研究室があり、オゾン漂白などの研究をされていた。同研究室長赤松勲氏とも図って、幡教授を会長に四国の製紙関係研究者の相互連携をつくる会である「四国紙パルプ研究協議会」をスタートさせた。この会のお蔭で愛媛、高知両大学の紙関係分野の先生方、徳島、愛媛、高知の公設試の担当者との交流網が出来上がった。会長の意向で、年に6回の「技術ニュース」の発刊及び2~3回の講演会の開催を通して相互に親密な業務連絡ができるようになった。

この二つの組織で四国の製紙産業を牽引する組織体制が、ここに出来上がった。このような連携組織の活動が四国経済産業局の情報誌に掲載された時、私は、この組織の活動を総括して、『四国は紙國(クニの字が違うことに注意)』、そして世界の「紙國」であると添削し、これらの組織の将来目標とさせて頂いた。有難いことに、これが、現在、この二つの研究会の事務局を務める「愛媛県紙パルプ工業会のホームページ」の名称になり、ビジネスマッチングサイトとなっている。

旧四工研での研究を始める前に、研究連携支援母体をつくったことは、私の研究人生を振り返るとき、卓見であったと思う。現代の研究は人、人のつながりの組織で推進しなけ

ればならないからである。

それと同時に、旧四工研の研究室では、企業のように新しい化合織が絶えず入手できるわけでもなく、また、特定の企業との紐付きとなるような研究を避けるため、ターゲットは広く「天然高分子」をベースにした製紙関連技術に特化した研究とすることを目指した。

3. 天然高分子の繊維及び紙化の研究

3.1 靱皮繊維の生化学パルプ化の研究

旧四工研での紙パルプの研究体制を整備している時に、当時の織工研から、「フィリピンと共同研究をしていて、パイナップル繊維をセルラーゼ処理したところ、精練処理はできるが、紡績機には弱すぎて、紡績処理が出来ない。紙ならば、紡績処理を必要としないから、御検討いただけないか」というメッセージとサンプルを西山昌史氏が受け取っていた。送り主は藤重昇永氏である。

そこで、そのサンプルを対象に、まず抄紙特性の評価、更に非木材繊維に対し、化学処理に替わる酵素処理による紙物性の評価というテーマに拡大して、私達の非木材繊維紙の研究をスタートさせた⁵⁾。

四国は「和紙の国」である。国産の和紙原料に同じようなセルラーゼ処理するとどうなるかが疑問となり、和紙原料のコウゾ、ミツマタ⁶⁾を対象にして処理し、更にセルラーゼではなく、市販のペクチン分解酵素による処理⁷⁾へと発展させた。

和紙原料の靱皮組織はセルロース繊維がペクチン質に埋没された形になっている。和紙の製造の場合、アルカリでペクチン質を壊してセルロースを取り出す工程が「パルプ化」である。靱皮繊維植物が生きた状態でペクチン質を微生物によって壊されれば、栄養源の輸送路を遮断され、原料植物は枯死する。植物病である。死んだ原料植物のペクチン質を壊して繊維を取り出せば、「生化学パルプ化」であると考えた。つまり、生きた靱皮繊維原料のペクチン質を分解するのか、死んだ植物繊維の組織のペクチン質の分解をするかの違いが、「植物病」と「生化学的パルプ化法」の違いであると考えた。

しかも、病原菌の産生するペクチン分解酵素を作用させれば、紙を構成するセルロースを分解することはないかも知れないという仮説が研究の目的であった。当時、木材の分解にリグニンの生分解の研究が進められていたが、四国は和紙の産地であることを鑑み、「ペクチンの生分解」に焦点を当てようと思ったのである。

和紙原料の靱皮原料植物の病原菌を探索するため、植物病の勉強を始めた。「発酵精練」と呼ばれる技術があることを京都府立大学長の中浜敏雄、香川大学農学部教授の梶明先生などに教えて頂いた。生化学的ペクチンの分解機構は、カキの熟成、紅葉などとも関係がある現象である。

選定した菌は、白菜などの野菜類を腐らせて柔らかくすることで知られる *Erwinia carotovora* という「軟腐病菌」であった。微生物を保存する筑波の農業試験場に保管されていたのものから選び出した。何故かという、この菌のペクチン分解酵素 endo-Pectate

Lase は好アルカリ酵素であったからである^{8, 9)}。一般に微生物は高アルカリ性を好まないために、操作過程で雑菌がはびこることが少ない。この酵素の好適 pH は 9.0 付近にあった。

「地域技術特別研究」として、スケールアップのため、協和発酵エンジニアリングにお願いしてパルプ化槽システムを構築して頂き、コウゾ、ミツマタを対象にパルプ化して、スケールアップ効果によるパルプ特性などの評価をした^{10, 11)}。この作用酵素の特性は香川医大(当時、現香川大医学部)の協力も得て明らかにされた¹²⁾。そして、ペクチン質の分解機構まで解明された^{13~15)}。

吉原一年氏は、*E. carotovora* 以外の *Bacillus* sp. でも好アルカリ性ペクチン酸リアーゼを産生することを発見した¹⁶⁾。好アルカリ酵素というのは酵素のなかでも比較的珍しい酵素であり、好アルカリ微生物及び酵素は、理化学研究所の堀越弘毅先生が精力的に研究されており、同先生の著作の最後に、私達の仕事も採録された。

なお、これらの研究と離れて、福岡聰氏は *E. carotovora* がリボ多糖を産生することを発見し、そのセンサー特性を詳細に解明された。

これらの一連の研究で、共同研究者の田辺寛之氏は *E. carotovora* の酵素特性とパルプ化機構の解明で京都大学から、また福岡聰氏は東京大学からリボ多糖の解明で学位を授与された。また、*E. carotovora* の産生の酵素は天野製薬が興味を持ち、錠剤化の研究をやって頂き、市販の体制が出来上がっていた。パルプ化装置を開発した協和発酵エンジニアリング社は、社外の仕事は初仕事ということで、力を入れて下さった。

紙パルプの研究は伝統的に農学分野とされているが、天然高分子をターゲットにする場合には、農学分野からのアプローチは研究技法としては、大切だということを学んだ。

同時に、このような和紙関連の研究は四国紙パルプ協議会の協力を得るには恰好なテーマでもあった。和紙業界の抱える技術的問題点が把握できたからである。高知県の製紙試験場の研究者には、生化学パルプ紙の耐久性の評価に協力頂き、愛媛県では私達より大規模な試験生産を和紙メーカーに委託して、実用化上の問題点を厳しく評価をして頂いた。ペクチン分解酵素をもとに選択的に分解するパルプ化方式は、原料中の他の異物を分解しないので、塵取りを強化する必要がある、異物が多く最終的に実用化までには至らなかった。

このように、多くの研究者が関与した上記研究は、伝統的な和紙技術の研究としても貴重な記録であると思い、将来のために参考になるように残して置こうと思い、協力して頂いた研究者の御了解を得て、研究報告¹⁷⁾として纏めたものを京都大学に提出して、分野の異なる第二の学位(農学)を頂いた。

この研究を通して、和紙業界と緊密な連携組織を持つことができ、その後、海外産原料の輸入問題を意識するようになり、退職後、カセサート大学でタイ産コウゾを栽培するアグロフォレストリー方式を研究するなど将来の研究の道にもつながった。

3.2 キチン・キトサンからの紙の研究

筆者が着任する前から、西山昌史氏はレーヨンにアクリルアミドのグラフト重合を施す研究をされておられた。レーヨン繊維に抄紙乾燥過程で繊維間結合性を発現させるという狙いであった。この研究を見ていて、私はセルロースに構造的によく似て、アミド基を持つキチンの文献に目を付けた(図1)¹⁸⁾。わざわざセルロースにアミド基を入れなくとも、キチンを繊維化すればよいのではないかと考え、キチンの繊維・紙化の研究に転換してはどうかと議論した。

天然セルロースは準安定なセルロース I の構造を有し、この形は水で抄紙したとき、上下左右の繊維分子と水素結合して他のセルロース分子と繊維間結合をつくるが、セルロース分子を溶解して再生したレーヨンは最も安定なセルロース II の構造になり、抄紙しても繊維間結合ができ難い^{19,20)}。

アミド基を持つ化合物の導入でカバーしようという西山氏の着想に替わって、別の天然資源キチン・キトサンで代替してみようというのが私の提案で、当時、科学的解明は世界でもまだほとんど研究は進んでいなかった。

1970年代後半でキチン繊維に成功したのは、北海道大学理学部の野口研究室だけであった。同研究室に連絡をとると、研究室の教授の野口順三先生は亡くなられ、助教授の戸倉清一先生からご指導頂けるということになり、1980年に西山昌史氏を国内留学で送り、翌81年夏私も教えて頂きたいと重ねて出向いた。

同研究室のキチンの溶媒はギ酸で、ギ酸にカニの甲羅を加え1~2時間放置して膨潤させ、その後凍結して解凍する。この凍結・解凍を繰り返す、ギ酸に完全に溶かしたキチンドープをつくる。ここで、必要に応じてアルキル化して6-O-アルキルキチン誘導体をつくる。

紡糸は、それにジクロル酢酸を加えて粘度を下げて、均一な溶液にして酢酸/メタノール系の凝固液に吐出させて繊維化するという、極めて危険な操作であった。戸倉先生は、「ただ見ていなさい」と触らせて下さらなかった。

このようにして造られた6-O-アルキルキチン繊維は1cmほどの繊維にして、抄紙してみたが、繊維間結合性は強くなく、やむなくクラフトパルプと混抄して紙にした。そのようにして初めてキチン繊維の混抄紙ができた。恐らくこれが、世界初のキチン繊維系混抄紙であったと思われる。

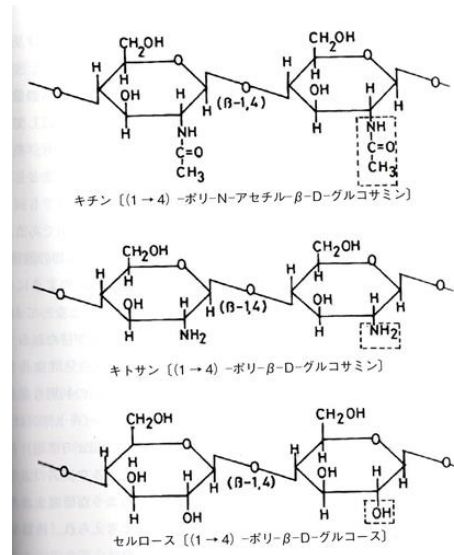


図1 キチン、キトサン及びセルロースの分子構造の類似性(引用: 矢吹稔, 『キチン, キトサンのはなし』, 技報堂出版, 1992)

この特性(図2)を掲載する。これは第2回キチン・キトサン会議(1982)で報告したものである。セルロースの抄紙上の繊維間結合の形成はセルロースの立体構造に関係し、アミド基に由来するものではなかったということが証明された。北大グループも、この研究でキチン紙に興味を持ち、研究室に抄紙設備を造られ、交流が続いた。

私達はキチン、キトサンの紡糸の難しさから一時ギブアップしたが、カビまたはキノコの細胞壁が図3のようにキチン質からなり、植物の細胞壁がセルロースで保護されている繊維状である²¹⁾ことに注目し、糸状菌を培養し、滅菌した後プロテアーゼを処理して脱タンパクをして手軽にキチンあるいはキトサン繊維を得て、木材パルプと混抄する方法など新たな技法を模索した。これまで無関係に見えた、上記の生化学パル化と関連を持つ研究となった。

その後、キチン・キトサンはAustinらによりLiCl₂/DMAc系で溶解されることが判り、ユニチカは、この種の溶媒で繊維径8~10μmの繊維をつくり、PVAバインダーでシート化してキチン繊維紙とし、「ベスキチンW」の商品名で人工皮膚(創傷被覆材)として市販された。この人工皮膚は1990年8月、サハリンで3歳のコースチャ君が火傷し、札幌医大付属病院で使われ、生命を救ったというNHK報道で有名になった。今日ではi-PS細胞が替わるかも知れない。

この段階で、西山氏は「この研究は、チョコキからパーになる研究だね。近くに庵治石があるから、グー、チョコキ、パープロジェクトだ」と言っていた。そんな冗談がマスコミを動かしたのか、学研が聞きつけて、私達の研究室の様様を漫画に描き、「3年の科学」に載せて下さった。それを図4に引用する。若き日の私の似顔絵である。漫画家は人の顔の特徴をよく捉えると感心した。科学に興味を持ってくれば、有難い。

その後も、西山氏はキチン、キトサンの紙への応用を色々研究し²²⁾、細川純氏とともに

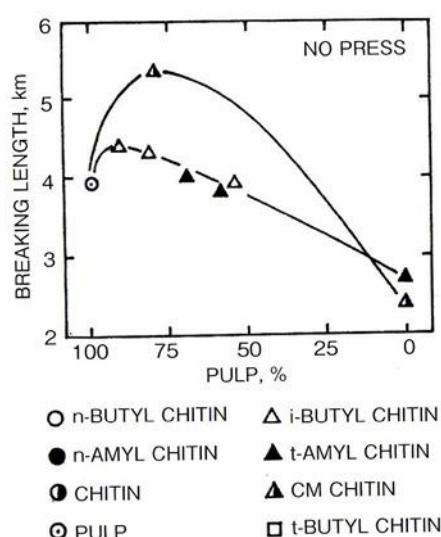


図2 キチン及び6-O-アルキルキチン繊維とクラフトパルプの混抄紙の物性(引用: Proceedings of the 2nd International Conference on Chitin and Chitosan, July 12~14, 1982)

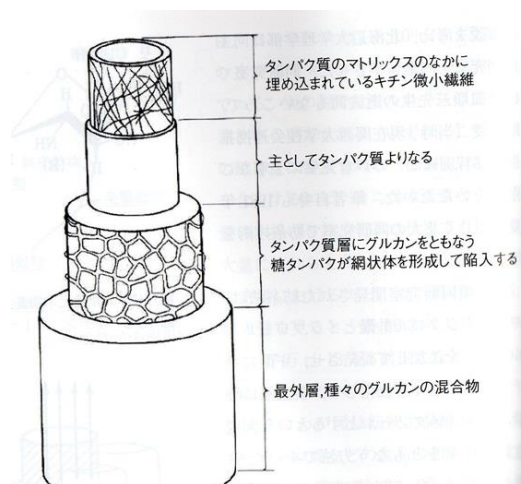


図3 アカパンカビの菌糸細胞の立体配置模式図(引用: 矢吹稔, 『キチン, キトサンのはなし』, 技報堂出版, 1992)

微小繊維セルロースとキトサンを複合化して、カチオン性とアニオン性の両天然ポリマーからなる強靱な複合フィルムへの開発²³⁾、その技術は大倉工業、アイセロ化学、金井重要工業、西川ゴムなどで検討された。この製品は、べっ甲代替品としての用途が期待され、新技術開発事業団からは成功の認定まで得ている。この詳細は細川純氏が報告される由である。



図4 研究内容が漫画になった。(引用:学研1981年6月号)

3.3 アルギン酸繊維紙の研究開発

旧四工研は長い間6研究室で、三本の研究の柱の下で研究を進めてきた。三本の柱とは①海洋資源開発、具体的には海水からのウラン採取技術、②紙パルプ技術、③水中切断・溶接技術である。ところが、旧工業技術院から見れば、50人弱の研究者に3本の柱は多いと思われ、他の研究所のようにカラーを明確にするために、柱を一本化するようにとの指示が出たと所長が言われた。1980年代末から1990年代の初めのことで、後述の国際研究協力が終盤にかかったときであった。

その時の所長のお考えは「エネルギー問題」が最大の国家課題であるから「海水からのウラン採取」を中心とした「海洋資源開発」に絞りこむと決められた。旧中工研も「瀬戸内海模型」、両所合併の予兆かと勘ぐり、そして紙パルプ技術を担当していた私達の研究はとなると、研究室の研究者達は騒然となった。そして、対応策として、紙パルプの研究者が提案した考えは、「海洋資源の天然高分子」に準拠した紙パルプ関連技術を研究するという事になった。

これまで行っていたキチン・キトサンはカニ、エビなどの海産動物からの天然高分子で、海洋資源開発に入る。これで赤松勲氏の有機化学研究室もキチン・キトサンの研究にも注目を始めた。細川純氏らが開発されたべっ甲代替フィルムシートの研究は、このような背景の研究の産物ではなかったかと思う。

私は海産植物資源の分野に「海藻工業」というものがあり、「板海苔(乾し海苔)」は繊維ではなく葉状体を、紙漉きと同じように水に分散し、濾過して脱水し、乾燥して造られていることに着眼した。「浅草紙」と称する古紙再生紙が「浅草海苔」の生みの親であると知った²⁴⁾。

そこで、海藻類を構成している多糖類の工業的利用を探索することにした。海藻は生育している深さによって、緑藻、褐藻、紅藻に分類される。セルロースⅡの形、つまりレー

ヨンと同じ形のものがあるが、最も採取し易い多糖類はアルギン酸、寒天などであり、資源の豊富さから言えば、褐藻からのアルギン酸であった。ところが、これまでは皆食品科学からの研究であった。

米国ではエネルギーの将来性を考えて、褐藻に注目し、バイオガスの生産を研究していた。褐藻の代表は北海道産のコンブで、工業用としてはジャイアントケルプの方が適しているが、日本では食品への用途が多く、コンブが主体で、調味料としての用途であった。

有難いことに、織工研でも士林貞雄氏らがアルギン酸の繊維化の研究をされておられた²⁵⁾。アルギン酸ソーダーから 2~3 価イオン(Mg²⁺を除く)の溶液に紡糸用のギアポンプで押し出すと簡単に繊維状に凝固する(図5)。アルギン酸はβ-D-マンヌロン酸とα-D-グルロン酸のブロック重合のポリマーでグルロン酸の部分に金属イオンを包括して、繊維化するのである(卵ケースに金属イオンという卵が入るモデルである)。

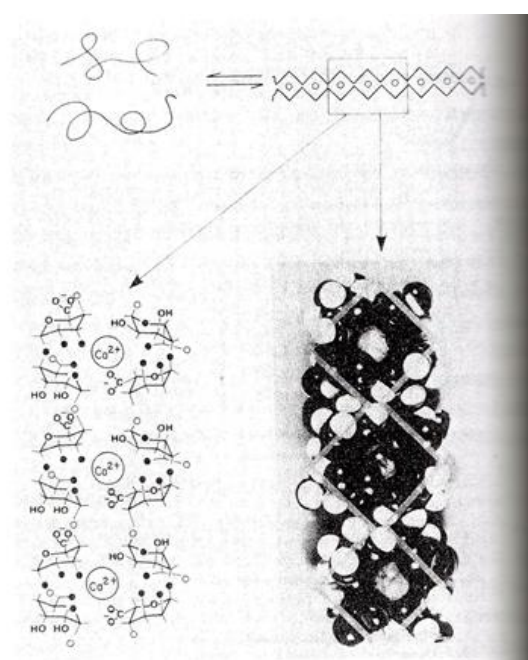


図5 アルギン酸の紡糸はポリグルロン酸部分の卵ケースモデルで説明できる。(引用: D. A. Rees, "Polyschiride Shapes", Chapman & Hall, 1977)

表1 アルギン酸カルシウム繊維の物性

1. 引張強度	乾 1.56 ~ 1.85g/d 湿 0.71 ~ 0.87g/d
2. 結節強度	乾 0.85 ~ 1.13g/d
3. 結節強度比	54 ~ 64%
4. 引張伸度	乾 8.3 ~ 13.2% 湿 21.3 ~ 28.7%
5. 伸長係数	101 ~ 176 × 10 ⁻² g/d/% (Viscose Rayon 40 ~ 60 × 10 ⁻²)
6. 伸長弾性度(乾)	全伸長率 2%, 68 ~ 78% 全伸長率 4%, 53 ~ 60% 全伸長率 6%, 42 ~ 48% 全伸長率 8%, 38 ~ 42%
7. 比重	1.75
8. 耐熱性	1.600t/m くらい
9. 平衡水分率	21.4% (RH65%, 20℃)
10. 溶解性	アルギン酸繊維 0.2g を 30℃ の各種濃度の炭酸ソーダ水溶液 100cc 中に浸した場合、溶解に要する時間は次の通りである。 炭酸ソーダ濃度 0.2% 溶解時間 100分 0.5% 60分 1.0% 30分

引用: 士林貞雄, 細田一夫, 「繊維」, 9(9), 55-60(1957)-10(8), 25-33(1958), 繊維技術研究社.

最初はレーヨンの紡糸機で繊維化し、カッテングしてカットファイバーとして定法に従って抄紙していたが、製法の合理化からフラッシュ紡糸法に変換して直接抄紙出来る短繊維にする方法を開発した。アルギン酸カルシウム繊維の物性を表1に示す。

丁度、レーヨンをつくるのと同じ方式の紡糸機が入荷し、試験紡糸をする時、偶々福岡県工業センターの研究生・川勝博伸氏を受け入れていて、紡糸に立ち合ってもらった。お陰で、同氏の実習実験に役立った。

アルギン酸繊維紙は、「コンブからの紙」としてマスコミに報じられた。産業界ではパイオニア社から共同研究の申し入れがあった。スピーカーコーンのウエーハーに、この紙を使いたいというのである。音響マニアは、硬い繊維からなる紙の振動紙を嫌う。音に擦れるノイズが入るので、「紙臭い音」に聞こえるというのである。セルロース I の構造を持つ繊維からなる通常の紙では、硬いものの揺ぐ音が気になるのである。その点、海藻のゲルからなるアルギン酸繊維紙のコーン紙は、その雑音がない。同社の山形工場においてフラッシュ紡糸法で生産されることになった。フラッシュ紡糸の開発はパイオニア社との討論過程で出てきたアイデアである。

次に注目されたのは、コンブの食品加工業者である。敦賀にコンブ加工の工場を持ち、敦賀と北海道に昆布館を有するヤマトタカハシという会社からの連絡である。北海道亀田郡七飯町にヤマトタカハシ北海道昆布館を 1993 年に開設するに当たって、「昆布の未来」というコーナーを設けて頂いたのである。ここに、当時の私達の研究室の写真、パイオニア製のスピーカーを設えた試聴室とアルギン酸カルシウム繊維紙からなる花嫁衣装で飾ったマネキンが設置されている。

この展示には北海道大学水産学部の大石圭一教授と名古屋の設計デザイナーの幅さんにお世話になった。教授からは水産学からの昆布を教えて頂いた。北前船でコンブが敦賀まで運ばれてきたのが、ヤマトタカハシの起こりである。展示はあれから 20 有余年を経るが、未だに展示に変更はない。今ではインターネットで覗ける旧四工研の研究室の成果である。

第三の交流は北海道のコンブの生産者、様似町職員及び漁業組合との交流である。わざわざ遠路四国まで来られたので、四国の生け造りを御馳走させて頂いた。以来、その業者とは香川のうどんとコンブをお歳暮として交換が続いている。毎年、最高級の「日高昆布」が届くので、妻は大満足である。

マスコミ関係の話題もこの研究には色々ある。一つは NHK の番組「ためしてガッテン」に出たことである。コンブからの紙という PR がマスコミに受けたのである。松山のスタジオまで赴いた。もう一つは「ひょっこりひょうたん島」の作者飯沢匡の訪問を受けたことである。この作家の探訪記は 1985 年 11 月 24 日付の赤旗日曜版の一面を飾った。第三には当時 MITA テクノピアという科学番組があつて、面白い科学技術上の発見を 30 分番組で紹介していたが、この番組の録画で東京の科学館まで出向いたこともある。スポンサーは当時コピー機を造られていた三田工業(株)で、研究者別に質の高い科学解説本を三田出版社が発刊、親会社はテレビ番組を提供されていた。

市民団体からの反響では、東日本大震災前の気仙沼の招きで「海藻からの紙」につき議論に行ったことがある。そこで当時気仙沼高校の理科の先生をされておられた高橋誠子さんにホソジュヅモからの紙を見せられた。ホソジュヅモは糸状の藻で繊維状であり、それを短く切り短繊維状にして、抄紙して造られた紙は和紙の蠟紙のような感触の紙であった。東北地震で藻場は壊滅したが、出来れば実用化の域まで研究を続けて頂きたかった素材である。このとき、「森は海の恋人」とのスローガンで牡蠣のために山に木を植える運動され

ておられる畠山重徳氏にお会いした。同氏の話で「海と山とは接点がある」と教わり、この関係を深く掘り下げれば、環境問題関連などを含め、「紙と海」の交差した研究課題は新しく提案できると思った。

このように反響が大きかったので、それらを主題とする『海からの紙』（ユニ出版、1993）を上梓した。出版社が使った紙はイタリアから輸入のアオサを漉きこんだ紙だった。そして、横浜市からアオサから紙を研究してほしいとの要望を頂いた。

4. 国際研究協力による紙パルプの研究

4.1 タイ・マレーシアとの国際研究協力

工業技術院の政策の一つとして、国際研究協力（国際産業技術研究事業=ITIT 事業）に参加するように命令されたのは1977年末、タイとマレーシアを調査するように言われた。国内の研究連携を海外にも広げたいと思っていたが、当時海外事情は欧米の先進国のみしか分からず、途上国については全く情報を持ち合わせなかった。それを救ってくれたのは、やはり紙の連携組織であった。和紙原料輸入業者の毛利泰一郎氏の紹介で丸紅のバンコク及びクアラルンプール支店と接触できるように手配して下さり、両国の主要な紙パルプ研究機関を調査訪問できた。

その結果を踏まえて、有機化学研究室の赤松勲氏のグループとともにタイ科学技術研究所(Thailand Institute of Scientific and Technological Research =TISTR) 及び王立森林局研究所(Royal Forest Department Institute=RFD)の2機関と1978年4月から83年3月までの5カ年間共同研究を行った。対象原料はケナフ、サトウキビ・バガス、パラゴム廃材(以上 TISTR)と各種熱帯材(RFD)である。2機関にしたのは非木材と木材の両者を研究したかったからである。

研究内容はCTMP(=Chemi-Thermomechanical Pulping)を、これらの材に適用するということを決めた。当時、我が国や欧米では新聞紙の製造のために、木材チップをこの方法を適用してパルプ化することが始まったばかりで、旧四工研は、熊谷理機工業社の実験室用TMPマシンをいち早く購入した。有機研究室長の赤松勲氏は、「この装置は日本でしか造られていず、しかも大手メーカーもまだ1社しか納めていないという新規なマシンです」と語っていた。

木材組織のリグニン組織を熱で軟化し、そこに機械的な剪断応力をかけて、木材をパルプ化する技法であった。そのパルプ化の際に、少量の化学薬品を使うというのがChemi-と接頭辞を入れた方法である。これまで非木材や南方材で試みたことはなかった。必要に応じて化学薬品の助けを借りるとすれば、途上国の製紙技術としては、最も適したものであると思われた。

タイから女性の研究者が来日し、研究室は華やかなムードになった。最初はサトウキビ・バガスで行った²⁶⁾ところ、日立造船は非木材用のTMP装置の開発のために共同研究に参加して下さり、いくつかの歯形を試作提供して下さい、プロジェクトが終わった時にサイア

ムセメントグループで実用化された。タイの研究所で使われていた紙質とほぼ同等の紙が生産されたのである。お陰でタイの研究機関から大きな信頼を勝ち得ることが出来た。

私達は二つの研究室共同で、パラゴム廃材、ジャイアント・リュウカエナ、ローゼル、ケナフなどに及んだ。この中でケナフとローゼル(タイケナフとタイでは呼称)は、後に環境庁(現環境庁)で強い関心をもたれ、国内の市民の環境運動の課題に発展した。

タイが終わると、マレーシアのパーム油研究所(Palm Oil Research Institute of Malaysia=PORIM)であった。対象はパームヤシの廃棄物(葉柄、空バンチ、果実繊維及び樹幹)で、1983年4月からまず5カ年、更に5カ年、91年度まで延期された。このプロジェクトの研究はもっぱら有機化学研究室の赤松勲氏が推進し、私は補助役に回った。研究は同じくCTMPであったが、材に対応してケミカルパルプ化も検討された。私はマレーシア滞在中イスラム教の戒律の厳しさを勉強した。旧化学技術研究所も同所と共同研究をしており、加藤秋男氏と一緒に送り迎えして貰ったことを思い出す。同時に途上国の技術課題を色々学んだ。

この研究の成果として工業化を期待されたのは、パームの葉柄の繊維のパルプ化である。ただ、水分が高く腐りやすいことが問題で、苛性ソーダーをふり掛けて保存し、そのままCTMP法でパルプ化する方法を赤松氏は提案され、赤松氏は同国に指導に行く話など出たが、最終的には実用化には至らなかった。パーム産業は拡大しているので、室用化できなかったことは残念であると思った。両国のパルプ化研究で上嶋洋、細川純、久保隆昌、壁谷洋などの諸氏が活発に活動されていた姿が懐かしい。

4.2 国際共同研究の反響

タイとマレーシアの国際共同研究は通算15年に及び、旧四工研は東南アジアの研究機関の紙パルプ機関からは信頼が得られ、東南アジア、東アジアの諸国と交流の輪が広がった。それは機能紙研究会、四国紙パルプ研究協議会に次ぐ第三の研究連携を構築した形になった。主だった連携を列挙しよう。

第一はインド(国連よりの派遣)、ネパール及びウルグァイ(JICAよりの派遣)の研究生の旧四工研での教育である。短期ではあるが、両研究室で受け入れた。このなかで、インドのパント博士はベジタリアンで、食べ物に制限があり、ネパール人ではカースト制度で実験をダーティワークとされた。

第二は1990～1995年頃、ケナフの環境市民運動が起こったことである。タイの共同研究で取り上げた「ケナフ」が機能紙研究会の会長稲垣寛先生を通して環境庁長官北川石松氏の耳に入り、「成長性の速い環境にやさしい植物」として環境庁が興味を持たれたことが発端である。「地球・人間環境フォーラム」の理事長岡崎 洋氏(後に神奈川県知事)の手でケナフ委員会がつくられ、中国の湖南省での工業化の可能性調査を行うことになった。私は宮城県南郷高校教諭の勝井徹氏と原料分野の供給の調査を担当した。再度経団連による調査が行われ、最終的には投資に利益なしということになった。その結果国内運動に切り替

えられ、「地球環境問題からケナフを検討する市民団体」が国内に一時乱立し、私はケナフの紹介で忙しくなり、『環境保全に役立つ紙資源”ケナフ”』(ユニ出版, 1991)を出版した。この時岡崎洋氏がつくられた「ケナフ協議会」も上記 2 つの連携機関とともに愛媛県紙パルプ工業会の管理下にある。

第三は JICA の要請によりバングラディシュのジュートのパルプ化のプロジェクトの立ち上げの可能性調査を行ったことである。1993 年 5 月から 3 回訪問したが、親日的ではあるが、治安の悪い国ではあると思った。研究者や工場の技術者は真面目な人材であった。ただ、工場の作業員の品質管理の意識を上げないと国際市場に流通する紙製品は出来ないということで、取り止めることになった。

そして、第四に退職後に、JICA からタイのカセサート大学で「タイ未利用農林植物研究」というプロジェクトのリーダー職をするように要請を受け、1997~2001 年の 4 年 2 カ月、紙パルプ原料植物であるタイ産コウゾ(=カジノキ, *Broussonetia papyrifera* Vent.)をアグロフォレストリーという方式で植栽する研究をさせて頂いた。林野庁所管の JICA プロジェクトであった。

5. おわりに

旧四工研での紙パルプ研究は、もっぱら「NPO 法人機能紙研究会」と「四国紙パルプ研究協議会」との交流、支援のもとに行われてきたことを述べた。

私の退職に伴って、それら組織の管理運営は、当時の愛媛県紙産業技術センター長の藤原勝壽氏にゆだねられることになり、同時に両機関の活動中心は旧四工研のあった香川県高松市から事務局「愛媛県紙パルプ工業会」のある四国中央市に移った。

このお陰で、旧四工研は産総研四国センターに装いが変わり、業務内容が変わったにも拘わらず、これらの組織への影響は最小限にとどまり、上記二つの組織は旧来の業務・組織をほぼそのまま温存した状態で、その事業が継承された。

新たな運営を担い出した藤原勝壽氏の運営手腕は見事であった。バトンタッチした段階で、紙パルプ産業の技術向上には人材の質の向上が必要だと考えて、「四国テクノブリッジ計画」という四国経済産業局の産業振興策に手を挙げたのである。その結果、2005 年度の経済産業省の産学連携中核人材育成事業の一つとして「紙産業の人材育成講座」という事業を、NPO 法人機能紙研究会の事務局である「愛媛県紙パルプ工業会」が管理法人になり、四国の紙産業の人材育成事業に乗り出すことが出来た。これが新しい研究教育機関誕生へと進展する契機となったのである²⁷⁾。

人材育成事業を実施している過程で、愛媛県紙パルプ工業界は産業の担い手をつくるのが如何に重要であるかということ改めて認識させられたのである。そして、旧四工研の研究室のような研究機関がほしいと、愛媛県紙パルプ業界は地元の愛媛大学に地場産業の持続のための教育体制の設置を要望された。大学側は、その陳情を受け入れ、農学部のある松山のキャンパスでなく、四国中央市の愛媛県紙産業研究所の中に付設して大学院農学

研究科修士課程「紙産業特別コース」を創設された²⁸⁾。2010年4月のことであった。このコースの開設は、地元の紙パルプ工業会では大変好評であった。

そして、同大学は更なる産業界の要望に応じて、2014年4月には研究陣を増員して「愛媛大学紙産業イノベーションセンター」に拡張されたのである²⁹⁾。

これらの機関は、NPO法人機能紙研究会及び四国紙パルプ研究協議会を支えてきた国立の旧四工研の紙パルプ研究室がなくなったことで、それに替わってつくられた研究組織と言っても差支えないのではなかろうか。何故ならば、この組織のホームページは私達が先に提案した「四国は紙国」を使っているからである。

以上の変遷を纏めれば、旧四工研の製紙関連研究室は産総研四国センターという組織編成に伴って消滅したが、旧四工研の紙パルプ研究室の機能と役割は、NPO法人機能紙研究会と四国紙パルプ研究協議会を媒介として、将来の技術のベースを探索する「愛媛大学紙産業イノベーションセンター」に引継がれたと言えるのではないかと。

言うまでもないが、これらの新しい組織が加わったNPO法人機能紙研究会には、新装の産総研四国センターの方々も関与を頂いている。

この段階で、私は、温故知新として四国四県の紙産業の歴史をまとめ、『四国は紙国～四国和紙の里紀行～』（美巧社、2015）を上梓させて頂いた。

結論として、私達は、「製紙紙産業の革新ジャンル」に「機能紙産業」との名称を与え、機能性シート材料（“紙”と定義）の基本的技術につながる分野の産業であると信じて、その「研究の道」を組織をつくって模索してきた。今振り返ると、その道を、多くの人たちと共に手を携えて、苦しい時も、楽しい時も、共に歩んできたことが懐かしい。

謝辞

NPO法人機能紙研究会に於ける愛媛県移管後の運営に関する動向は、私の後任者となられた、当時愛媛県紙産業技術センター（現愛媛県紙産業研究所）の所長をされた藤原勝壽博士の教示によるものである。同氏は私のNPO法人機能紙研究会専務理事の職責を引き継ぎ、現在ももっぱら同研究会の運営に当たられておられます。同時に、NPO法人機能紙研究会の運営には会長職の故稲垣寛先生にもお世話になりました。また、上記の紙の研究に当たっては研究室の皆様にも多大の協力を頂いております。ここに深甚の謝意を表したいと思います。最後に、この原稿のフォーマット化では産総研四国センターの廣津孝弘氏にお願い致しました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 小林良生，化繊紙研究会誌，No. 15，32～53(1976)
- 2) 機能紙研究会，別冊 機能紙研究会誌，25周年特集号，「機能紙研究会の25年の歩み」，(1986)
- 3) 機能紙研究会，別冊第2号，機能紙研究会誌，30周年特集号，「機能紙研究会の30年

の歩み」, (1991)

4)小林良生, 機能紙研究会誌, No. 40, 118~112, 「運営から見た機能紙研究会 40 年の軌跡と展望」, (2001)

5)Yoshinari Kobayashi and Ryukichi Matsuo, Cellulose Chem. Technol. **11**(4), 487~499(1977)

6)Yoshinari Kobayashi and Ryukichi Matsuo, Cellulose Chem Technol., **12**(2), 177~197(1978)

7)Yoshinari Kobayashi and Ryukichi Matsuo ,Agric. Biol. Chem., **43**(4), 1369 ~ 1370(1979)

8)Yoshinari Kobayashi and Ryukichi Matsuo, Cellulose Chem. Technol. **15**(6), 639~647(1981)

9)Yoshinari Kobayashi and Ryukichi Matsuo, Cellulose Chem. Technol. **15**(6), 649~659(1981)

10)小林良生, 松尾隆吉, 吉原一年, 大川昭典, 紙パ技協誌, **37**(8), 737~744(1983)

11)Yoshinari Kobayashi and Ryukichi Matsuo, Mokuzai Gakkaishi, **30**(9), 763~768(1984)

12)Hiroyuki Tanabe, Yoshinari Kobayashi, Yuhshi Matsuo, Nozomu Nishi and Fumio Wada, Agric. Biol. Chem. **48**(8), 2113~2120(1984)

13)Hiroyuki Tanabe and Yoshinari Kobayashi, Holzforshung, **41**(6)), 395~399(1987)

14)Hiroyuki Tanabe and Yoshinari Kobayashi, Holzforshung, **42**(1), 47~52(1988)

15)Yoshinari Kobayashi, Kozo Komae, Hiroyuki Tanabe and Ryukichi Matsuo, Biotechnol. Advances, **6**, 29~37(1988)

16)吉原一年, 松尾隆吉, 小林良生, 四工試報告, **17**(3), 77~83(1986)

17)小林良生, 松尾隆吉, 福岡聰, 田辺寛之, 上嶋洋, 「四国工業技術研究報告」, 第 21 号 (pp. 143), (1991)

18)小林良生, 『機能紙の領域~これまでの製紙科学を超えて~』, 178~192, 機能紙研究会 (2012)

19)セルロース学会編, 『セルロースの事典』, 「セルロースの高次構造」, 75~111, 朝倉書店(2000)

20)桜井直樹, 山本良一, 加藤陽治, 『植物細胞壁と多糖類』, 145~154, 培風館(1991)

21)矢吹稔, 『キチン・キトサンのはなし』, 技報堂出版(1992)

22)西山昌史, 『キチン・キトサンハンドブック』(キチン・キトサン研究会編), 「応用編・第 16 章シート材料」, 460~473, 481~483(引用文献リスト), 技報堂出版(1995)

23)J.Hosokawa, M.Nishiyama, K.Yoshihara, and T.Kubo, Ind. Eng. Chem., Res., **29**, 800 ~805(1990)

24)小林良生, 文献 18, 第 16 章, 193~207, (2012)

25)土林貞雄, 細田一夫, 繊維, **9**(9), 55~60(1957)~**10**(8), 25~33(1958), 繊維技術研

究社

- 26)Yoshinari Kobayashi, Masashi Nishiyama and Ryukichi Matsuo, TAPPI Non-wood Plant Fiber Pulping, Progress Report No.11, 33~44(1980)
- 27)小林良生, 藤原勝壽, 紙業タイムス, 2000.7-2(1418)号, 13~15 頁
- 28)藤原勝壽, 紙パルプ技術タイムス, **46**(11), 7~11(2003)
- 29)藤原勝壽, 紙パルプ技術タイムス, **57**(9), 79~82(2014)

注, 私の機能紙研究会活動は機能紙研究会 50 周年として, 不織布情報社から次の書が出版されています。

小林良生著, 『21 世紀の機能紙研究レビュー ~神から授かった”紙の機能”の研究記録~』, 不織布情報(2011)

著者略歴

氏名 小林良生 Kobayashi, Yoshinari
昭和 33(1958)年 4 月 東レ株式会社入社
昭和 50(1975)年 1 月 同社退社, その間, 同社名古屋工場, 化成品研究所研究員など
昭和 50(1975)年 2 月 工業技術院四国工業技術試験所採用(化学部化繊紙研究室長)
昭和 61(1986)年 6 月 同所企画課長
昭和 62(1987)年 6 月 同所システム部長
平成 2(1990)年 10 月 同所材料開発部長
平成 5(1993)年 10 月 同所企画課技術交流センター所長
平成 7(1995)年 3 月 同所定年退官
平成 7(1995)年 4 月 (財)四国産業・技術振興センター 研究開発部長
平成 9(1997)年 3 月 同財団退職
平成 9(1997)年 5 月 JICA プロジェクトリーダー, タイ国カセサート大学 KAPI:研究所 (=Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Institute), 「タイ未利用農林植物研究計画」(The Research Project for Higher Utilization of Forestry and Agricultural Plant Materials for Thailand=HUFA)
平成 13(2001)年 7 月 同プロジェクト 終了帰国
平成 14(2002)年 4 月 香川県産業技術センター嘱託
平成 26(2014)年 3 月 同センター退職

受賞歴

- 1990 年 科学技術庁長官賞
1993 年 第 3 回日本・紙アカデミー賞

2004年 瑞宝双光章

2011年 機能紙研究会功劳賞

受理日：2016年9月5日