「環境／紙・パルプ」特集

製紙原料としての非木材の潮流と展望

小林 良生

1. なぜいま非木材か

2000年余の製紙の歴史の中で木材原料は150年程の歴史しかないが、非木材を殆ど駆逐し、先進国では殆どが木材依存の紙パルプ産業となっている。先進諸国の非木材依存率（非木材パルプ／全パルプ）は平均で0.76%（1991年）¹⁾で、米国では0.4%（0.3%ともいう²⁾）、わが国は0.06（0.1%ともいわれている³⁾）で、先進国中最も非木材依存率は小さい。

しかし、途上国は非木材の依存率はいまだに高く、中国では87.3%（原報は計算違い）、インドで64.7%、平均でも55.8%となっており、南北格差が顕著である。

製紙産業は先進国では成熟産業であり、途上国の成長率が上回り、全世界の非木材率は1970年で6.7%、1985年8.1%、1990年9.1%となっている。非木材パルプの製造能力の伸び4.7%は木材の伸び2.0%の2倍以上になっている⁴⁾。

食糧は増産されても1人当りの食糧生産額は変わらない。それはより多くの飢えた人々を養うために消費されているからである⁵⁾が、文化のコメに相当する紙の生産も先進諸国で伸び悩み、途上国では今後益々量的な拡大が求められ、世界的に徐々に南北需要差が平均化に向か

図1 米国における一人当りの原料消費量
(文献⁵⁾より引用)

うというのが21世紀の紙の需要構造であろう。

個人消費量では世界で最も多い米国の動向を見ると図1のようであり⁶⁾、1970年代から化学工業原料を含めて原料消費の伸びが著しく鈍化していることである。この傾向は御田⁷⁾が GNP と紙の1人当りの年間消費量の相関を対数目盛りでプロットしたもの(図2)を詳細に眺めてみても先進諸国になるとカーブが寝て来ることからいえる。つまり先進諸国では量的拡大から質的拡大へと製紙産業構造が変転しつつあるのである。

図2 世界120カ国の GNP と紙消費量
(文献⁷⁾より引用)

Recent Trends and Prospects of Non-wood for Papermaking

筆者紹介 YOSHINARI KOBAYASHI

Shikoku National Industrial Research Institute

四国工業技術研究所 技術交流推進センター所長 工学博士、農学博士

筆者は、天然高分子、紙パルプを御専門とされ平成2年度に科学技術庁長官賞を受賞されておられる。趣味は、詩吟、紙郷探訪。

本稿では、紙資源としての木材と非木材との比較を地球環境問題との関連で、論じていただいた。又筆者は約20年前に、本誌に「非木材資源への再考」と題して予見されておられる。

この傾向は環境問題で拍車をかけられている。環境問題の前門の虎は森林資源であり、後門の狼はゴミ処理である。狼は古紙利用で対処するとして、本稿では虎の対処問題に限定して論じよう。

世界の森林の総蓄積量は一説では疎林を含めて3,270億 m^3 、年間成長量は100億 m^3 と推定されている。1989年の世界の木材伐採量は34億6,000万 m^3 、これは蓄積量の1%、年間成長量の35%(原文では30%と記載されている)に相当するが、地区別にみると先進諸国で45%、途上国で55%となっている⁸⁾。

パルプ材は1990年で2億9,000万 m^3 、全伐採木材量の約8%というのが平均値である。楽観的な見方では年間の成長量に対する比率は小さいから紙パルプの原料は十分であるとする識者もおられる。

しかし、これはあくまで平均的な値であり、森林資源の減少が最も著しい地域ほど将来の紙の需要の多い地域であることに留意しなければならない。しかも林木の生育には平均して数十年を要することを考えれば、いま適切な対策を講じて置かねば、全世界の森林の持続可能な発展を図ることはおぼつかない。しかも、森林を減少させているものは単に木材の伐採だけではない。酸性雨もある。また、近年芽生えてきた環境倫理思想は種の保存など生物種の多様性の保護、炭酸ガスの増加抑制などで森林伐採を阻止する運動もある。今後の途上国における紙パルプの需要の伸びとを併せて予測すれば、木材供給が世界的にタイトし、わが国への輸入にも制限を受けることは必須の情勢である。

その対策として、木材依存性の際立って高いわが国の紙業界では早育材の植樹・造林、例えばユーカリ、アカシアなどの海外植樹などが実施されている。しかし、これとても数年の栽培期間を要し、途上国では短期間の換金作物を求めるところも多く、問題を残している。

同時に、バイオテクノロジーによる「超早育材」の開発が待たれているが、この種の研究は緒に着いたばかりである。ケナフなどは数カ月で生育し、茎は完全に木化することを見れば、筆者は究極の「超早育材」とは非木材の延長ではないかと考える。

21世紀に向けた人口爆発は食糧の増産を必要とするが、それに伴う農産廃棄物も益々多くなって来る。

このようなことを合わせ考えると、紙パルプ資源としての非木材ニーズは全世界的には極めて高いし、積極的な解決策にもなると考えられる。

特に紙需要の深刻なのは人口が多く、森林資源を持たない中国、インドなどの地域の資源である。これらの国がこれからの紙の増産の原料に非木材を求めることは明らかである。このようなときに他国のこととしてわが国

だけ孤高であり続けることはできない。環境・資源は全世界規模で考えるべきものであり、国際的には今後地球規模視点で必要とする地域に資源が供給されることになると考えられるからであり、後述のように米国の世界に対する紙パルプ技術の指導性の後塵を拝することも先進国としてのわが国には求められている。

加えて、先進国の紙パルプ産業は丁度繊維産業が「新合繊」へと転換したように機能紙などのような小ロット、高付加価値製品へと質的な転換を求められている。そこには特徴のある繊維作物、農作物残滓の量で対処できる小スケールの、差別化商品としての市場性のある紙製品(特殊紙・機能紙分野)も多くあるであろう。現に証券類用紙などは繊維作物に原料を求めている。

以上を総合的に判断すると、これからの紙パルプ原料の環境・資源問題に対処できる対策は林木植樹と畑作の非木材との調和の取れたアグロフォレストリーであり、パルプ資源の多様化を図らねばならないと考えられる。

1990年に環境庁の音頭で発足した「ケナフ委員会」から出発した「ケナフ協議会」が紙パルプ資源として非木材を再登場させる必要性を主張しているコンセプトは上記のような考えに基づくものと筆者は理解している。

なお、同協議会の動きに触発されたかのように NGO の環境団体や「非木材普及協会」などがわが国に非木材パルプの普及を図る運動を展開しはじめたが、これを筆者は環境ビジネスの一種と解している。ただ、環境問題へのアプローチは think globally, act locally で足元から行動するということであり、国内の紙パルプ産業の資源問題への関心を高めることには寄与していると考える。

2. 米国に見る非木材研究開発の指導性

米国は森林保育国で、木材チップの輸出国でありながら紙パルプ資源としての非木材を組織的、かつ長期にわたって研究開発を行い、その重要さを広く途上国に普及させた国であり、世界第1位を誇る紙・板紙、パルプの生産国としてオビニオンリーダ的な役割を果たしてきている。

1957年から農務省の研究所で始めた「新たなる繊維作物探索」研究はオイルショックで産業界に成果を移管するまで続けられ、業界も移管後積極的にその評価・実用化研究に従事した⁹⁾。その速大なスクリーニングの成果として登場したのがケナフである。米国がこの種の研究を開始したのは同国が森林国であると同時に農業国であるという背景があるとしても、資源・環境問題が顕在化していない、わが国では戦後の復興へと向けて業界が動いている時代に始め、1/4世紀にわたり開発を進めた米国の洞察の深さ、信念の強さ、根気のよさに敬服を払わ

ざるを得ない。

途上国ではこの研究成果が深く根を下ろし、各国でケナフの追試が始まり、その先頭を切ってタイで実用化が始まり、インド、中国などの関心を引いた。

米国では非木材の研究成果を発表していく場として、TAPPIの委員会のなかに「非木材植物繊維パルプ化部門」を1970年に設置、以来主として途上国相手の紙パルプの開発研究の討論の場を毎年提供してきている。この種のシンポジウムはUNIDOやFAOでも途上国を対象に開催しているが、定常的でないことを鑑みれば、米国の先見性と指導性は際立つものがある。

バガスを用いた新聞用紙の企業化でも米国の Atchison コンサルタント社はUNIDO、キューバ研究センターと協調してCuba-9プロジェクトを指導し、インド、インドネシアで実用化に成功している¹⁰⁾。

わが国は紙・板紙の生産では第2位、パルプでは3位であり、紙パルプの将来需要の多いアジアに位置している。しかも伝統的な和紙は世界一を誇る品質と技術を持っている。大蔵省印刷局の発行している紙幣をはじめとする証券類用紙の技術は世界でもトップクラスである。現に米国のデキスター社がアバカパルプからのティーバッグで市場を独占したのも和紙技術を徹底的に研究した成果である¹¹⁾といわれている。

このようにわが国には立派な非木材の技術を伝統的に持っている。米国の追従模倣を勧めるわけではないが、非木材の利用技術はわが国が指導性を発揮し、国際貢献ができる技術分野ではないかと考えている。

3. 非木材パルプ化への技術的克服

非木材は木材に比較すると、集荷、ハンドリング、梱包、運搬、貯蔵など木材では考慮しなくてもよいような一連の技術の開発が求められるし、薬品回収、抄紙の際の濾水性など不利な点が多い。

しかし、木材の場合も、そのパルプ化の技術の歴史は使いにくい材を使いこなす開発史であった。ユーカリは20年前に製紙原料になること、特にこの100%紙料でコピー用紙が造れることは全く予想されなかったし、また、アスペンも空気に曝すと着色することからつい最近までこれからBCTMPで白色度の高い紙が得られることは期待されなかった¹²⁾。必要は発明の母で、木材の取り扱い技術の進歩がこれらの困難な問題を一步一步解決してきたのである。非木材の場合も同様なことがいえる。

非木材で重要なものは大量集荷が可能という面からいえばワラ(イネ、ムギ)、サトウキビバガス、タケであり、特殊紙、機能紙の類には各種の繊維作物であろう

し、今後パルプ原料用栽培作物として重要となるものはケナフであろう。その中で最も進展の顕著なものがバガスである。

バガスの組織的な利用研究も米国が指導的な役割を果たしている。同国はサトウキビ生産国と共同してケナフの場合と同じように1950年代から手掛け、ティッシュから新聞用紙、ライナーまでの主要な製造技術をほぼ完成している¹³⁾。それは湿潤あるいは湿式脱ビス法、Ritter法と呼ばれる湿式バルク貯蔵法、スクリュウフィーダー付きの迅速連続水平管式蒸解釜の開発、バガス特有のメカニカルパルプ化技術などである。Atchisonによればこれらの技術は木材の最新パルプ化技術に匹敵する先端技術であるという。

そして、ここで開発された諸技術は他の非木材(ワラ、アシ、タケ、エスパルトなど)にも将来転用できるものであるとしている。高価なバガスを集荷、梱包、貯蔵する技術はワラの経済的な利用技術としてすぐにでも移転できる可能性を秘めているし、バガスのメカニカルパルプ化、セミメカニカルパルプ化は全桿ケナフに應用して新聞用紙を製造することは有望であると見なされている。

バガスからの新聞用紙の製造は実に1856年にBaltimore Advocate紙に報道されて以来の課題であり、本格的な取り組みは米国議会が1951-52年の朝鮮動乱の時に新聞用紙などのシートを木材代替原料で造る総括研究のヒヤリングを行ったことに端を発している。そして、1986年にインドのTamil Naduの新聞工場が公式に稼働し、また、1985年にはインドネシアの東ジャワ島のプロボリングのP. N. Letjes社が150トン/日のメカニカルパルプ系列と他に半晒セミケミカルパルプ100トン/日などの工場が完成している¹⁰⁾。

筆者らと日立造船(株)が開発したCTMPプロセスは後者の建設の時に応札したのであるが採用されず、代わってタイのThai Pulp & Paper社でアスブルンドプロセスに近い改良法として100トン/日の能力でライナーを造っている。

このようにバガスのメカニカルパルプ化¹⁴⁾による新聞用紙等のメカニカルパルプ紙は実に130年の長期にわたる研究開発の後に成果が実っているのである。

4. 非木材パルプ化の特有技術

非木材のパルプ化には木材のパルプ化技術にはない特有技術がある。非木材の中で最も系統的かつ集中的に開発を進められてきたのはバガスである。この開発に大きく寄与しているのはHawaiian Sugar Planter's AssociationとCrown Zellerbach社、Cuba-9グループ、台湾製

糖社などである¹³⁾。そして、これまでに開発された技術で原料固有の問題をほぼ完全に克服し、木材パルプ化の技術レベルに達しているといわれる。しかも、バガスで開発された技術は大部分多くの他の非木材にも応用できる汎用技術であるとされている。

バガスのパルプ化に伴う基本的、汎用的な技術とは以下のようなものである¹³⁾。

- ①バガスの湿潤及び湿式脱ビスの方法と装置の完成
- ②バガスの湿式バルク貯蔵及び腐敗の起こらない大型梱包貯蔵のための最適化法
- ③スクリーフィーダーとオレフィス排出器を具備した迅速連続パルプ化の開発により、全体の蒸解サイクルを4-6時間から10-15分にまで低減させることに成功したこと
- ④洗浄、除塵、精選方法の改良
- ⑤酸素、2酸化塩素、過酸化水素などの漂白剤でも極めて消費量が少なくて高白色度を得られる漂白工程の最適化ができたこと
- ⑥バガスパルプのリファイニングの最適化
- ⑦バガスパルプ90%以上でも高速抄紙できる抄紙機が設計できたこと
- ⑧ティッシュからライナーまでの全ての紙・板紙に対応できる比較的高濃度のバガスパルプからなる最適な紙料を開発したこと

⑨新聞用紙及び印刷用紙に配合できるような品質のメカニカルパルプをバガスからメカニカルあるいはセミメカニカル法で効率的かつ経済的に製造することができる方法の開発

⑩バガスメカニカルパルプと同ケミカルパルプを高配合させた新聞用紙の最適製造プロセスの開発

⑪バガスを使う中密度繊維板を含めた全ての再生パネルボードの製造法の最適化

上記の特有技術の中で特に注目されるのは貯蔵法と連続水平管式蒸解釜である。

貯蔵法では Celotex 法, Ritter 法, Bagatex-20 法などである。基本的には Celotex 社で発見された次の原則に準じている：バガスの水分を20%以下にすれば発酵は起こらない, 80%以上では発酵を制御することができる。Ritter 法は生物学的な前処理法で pH が低ければ発酵は阻止できるという原理に基づいている。Bagatex-20 法は生物化学的触媒を加えた600kgペール状のバガスを20日以内に水分を50%から20%以下に低下させるもので、ペールを堆積しても2年間は劣化なく保存できるという。

ワラに関する集荷、ハンドリング、梱包、貯蔵、チョップ化などの開発は人件費の高い国で開発され、効率的なものが完成している。例えば、デンマークの Frerica Cellulose Mill や米国の W. H. O. Corporation などであ

図3 非木材用の連続水平管式蒸解釜
(文献¹⁵⁾より引用)

る。

連続水平管式蒸解釜はフロリダ大 Nolan 教授, PEADCO グループ, Black Clawson の Pandia 部門, Hawaiian Sugar Planter's Association などの技術を踏まえて完成したもので, 構成は図 3 のようになっている¹⁵⁾。非木材は木材と異なりバルキーであり, 供給時コンパクトにしても蒸解釜の中で膨張する可能性がある。この欠点をカバーするために水平管にスクリーフィーダーを設け, 蒸気と薬品を T 型バルブから添加している。この方式はタケ, ムギワラ, イナワラ, エスパルト草, アバカ, コットンリンター, アシなどに適用できる。

ワラ蒸解の黒液からの脱シリカは排ガスを利用して行う効率的な方法が開発され, Kraftenlagen Heidelberg 法 Lurgi System(いずれもエジプト RAKTA イナワラパルプ工場)や UNIDO と UNDP の資金で造られたインドの Central Pulp Mill のパイロットプラントプロセスなどの変法が提示されている。非木材の利用の高い中国でも色々と対策が講じられている¹⁶⁾。

薬品回収が小規模で高価であるとすればナトリウムに代わってカリウムベースの SP, KP 法では薬品代が 14 米ドル/adT 安くなるという報告もある¹⁷⁾。

このように非木材の特性に基づく固有技術や小規模工場の欠点をカバーするプロセスなどは木材パルプ化同様目ざましい進歩がみられている。

5. 非木材利用の「採択」の段階に

環境保全の問題はいまや環境倫理へと発展し, 自然保護の時代から生態学的思想の時代へと移っている¹⁸⁾。その意識は人間以外の世界の固有の価値を擁護する「自然界の神学」, 更に人と自然との倫理関係への転換を促す「環境哲学」の登場へと進展している。

森林の持続可能な開発を維持して紙パルプ産業の発展はあるのであるが, 上記の意識の高揚で今後の森林伐採は 21 世紀に向けて抑制体制が高まり, 世界の紙パルプ生産に必要とする木材資源を確保するには益々難しくなる要因を秘めている。

逆に途上国の紙需要は人口増加と共に, また生活レベルの向上とともに急増することは間違いない。必要量確保のための造林が生産のテンポと同調できるかどうかは疑問である。

森林資源の確保は数十年の長期展望に基づいてなされなければならない。現時点では製紙原料の多様化は余儀なくされるといえる。

同時に, わが国としてはこれまで果たしていた米国と同様な紙パルプ産業の技術的リーダーの地位を要求され

るであろう。

筆者が非木材の再考を本誌に提言したのは 1977 年¹⁹⁾。20 年を経て, ジョン・スチアート・ミルの言葉「偉大なる運動は 3 つの段階, 即ち①あざ笑い, ②議論, ③採択を経験しなければならない」のなかで, 非木材の利用運動はわが国を含めて先進国でも今やあざ笑いから議論の時代を過ぎて「採択」の段階に入りつつあるという感じを持っている。

引用文献

- 1) 武者陸雄, ALPHA, **7** (12), 13 (1993)
- 2) R. J. Slinn, Tappi J., **75** (12), 14 (1992)
- 3) 小林良生, ALPHA, **6** (2), 20 (1992)
- 4) J. E. Atchison, 1989 Wood and Pulping Chemistry, 451-72 (1989)
- 5) ドネラ・H・メドウズ, デニス・L・メドウズ, ヨルゲン・ランダース, 茅陽一監訳, 松橋隆治, 村井昌子訳, 『限界を超えて』, pp. 47-51, ダイヤモンド社(1992)
- 6) 文献 5), pp. 99-101
- 7) 御田昭雄, 紙パルプ技術タイムス, 臨時増刊号, **34** (2), 24 (1991)
- 8) 志田一充, 『木材の科学と利用技術 III』, 1. 木材利用と地球環境保全, p. 145 (1993)
- 9) 小林良生, 『環境保全に役立つ紙資源ケナフ』, pp. 51-128 (1991)
- 10) J. E. Atchison, Tappi J., **75** (12), 63 (1992); ibid., **76** (1), 187 (1993)
- 11) F. H. Osborne, "The History of Dexter's Long Fiber Paper Development", Published by Dexter Co., Ltd.
- 12) G. Fossum, Paper Technology, **33** (3), 26 (1992)
- 13) J. E. Atchison, 1989 Wood and Pulping Chemistry, 451-72 (1989)
- 14) 小林良生, 紙パルプ技術タイムス, **24** (8), 55 (1981)
- 15) J. E. Atchison, 1990 Tappi Pulping Conference, 327-335 (1990)
- 16) C. Pu and S. Hu, Pulp Paper Canada, **91** (3), T413 (1991)
- 17) A. Wong and G. Derdall, Pulp Paper Canada, **92** (7), T184 (1992)
- 18) ロデリック・F・ナッシュ, 岡崎洋監修/松野弘訳, 『自然の権利』, TBSブリタニカ(1993)
- 19) 小林良生, 繊維学会誌, **33** (11), P-317 (1977)

(平成 6 年 1 月 13 日受理)