

紙パルプ産業と製造技術の将来

東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 製紙科学研究室
准教授 江前敏晴

1. 原料問題

1.1. 古紙

2008 年 1 月に古紙配合率の偽装問題が明るみに出た。古紙の調達は市況に左右され、配合率を数値で規定するには限界があることが露呈した。虚偽の品質表示を行った責は免れないが、技術的には困難な面もあった。古紙パルプ繊維は、リサイクルを繰り返しながら劣化する。つまり、脱墨剤を溶解したアルカリ水による膨潤と激しい機械処理及び乾燥によって堅固な水素結合を局所的に生成する角質化を繰り返す。繊維全体が脆弱化するのである。これが当然の摂理であるにもかかわらず、品質を維持しながら古紙配合率のさらに高い紙を供給せよ、という無理難題が市場から要求された結末と見ることもできる。

古紙配合率を規定すること自体疑問の余地を残しているが、1997 年頃の余剰古紙問題、2007～2008 年にかけての古紙不足と高騰問題など変動が大きい状況を考えれば、供給の状況に応じた古紙配合率を規定すべきであり、無駄なく古紙を使うことが肝要、という基本的な精神に立ち返る必要があろう。古紙利用率は、1960 年の約 28 %から 2008 年には 61.8 %に達している¹⁾。個別の品種の古紙配合率にとらわれず、産業全体で古紙利用を推進するという数値目標を掲げる方がはるかに理に適っている。

技術的には、ここ十年ほどは、市場の要求と公的機関による規定に対応するために古紙品質の試験法が整備されてきたものの、古紙処理技術は停滞していた感がある。抜本的に古紙利用を推進するためには、バージンパルプと比較してもさほど遜色のないレベルにまで古紙パルプを製造する技術を高めることが必要であろう。気泡と原料の間の接触と分離の工夫による脱墨工程の改良²⁾や pH と温度の制御による脱墨効率の改善³⁾などのフローター利用のための基礎技術や異物選別のためのスクリーン技術など基礎技術発展の余地を残しており、古紙配合率偽装問題をバネにしてその充実に努力してもらいたい。

1.2. 管理木材

木材の需要実績を用途別に見ると、紙生産のためのパルプ・チップ用途は、1960 年に 16.4 %、1965 年には 24.0 %と推移し、2000 年から製材用途を凌ぐ最大需要用途となり、2008 年には 48.2 % (見込)⁴⁾の用途別比率となっている。実際には、製材後の工場残材及び解体材・廃材もパルプ用途になるためこの分を算入すれば実際には 2008 年で 57.4 % (見込)に達する。この一面からすれば、製品寿命の短い紙及び板紙を生産する紙パルプ産業は、木材大量消費産業のような印象を与えるが、回収した古紙が製紙原料の大半を占めていることは既に述べたとおりである。紙製造が大きく減産方向に向かわない限り、リサイクル率を 100%にすることは不可能であるから一定量のバージンパルプの供給は必須である。図 1 からわか

るように 1990 年頃のパブル期までは紙の生産は増加の一途をたどっていたが、木材からのパルプ生産の急激な伸びは、1970 年代前半までであり、それ以降は古紙回収率の安定した増加のために、微増に留まっている。したがって、毎年 1,000 万トン強のパルプ生産体制が維持されれば、日本の紙需要を満たすことができるわけである。一定量とはいえ、バイオマス資源の代表である木材を原料にこれほど大規模に材料生産を行う産業は他にはなく、原料の確保は紙パルプ産業の最も重要な問題である。

化石資源に比較したバイオマス資源の重要性はここ最近のことではなく、石油化学工業が全盛期であった、昭和 42 年頃に「いずれは採取し尽されて消滅する天然資源の中で、木材はそれ等に代る有用な循環資源である」と、本誌第 1001 巻の特集号記事⁵⁾に書かれている。昨今再生可能資源として木材の利用が脚光を浴びているなかで、当時からこれほど強い認識があったことは驚きである。

実際のパルプ原料は図 2 からわかるとおり、輸入広葉樹チップが過半を占めており、主な樹種はユーカリ、アカシアなどの植林木である。オーストラリアやブラジルからこのようなチップの輸入は今後さらに増加すると考えられ、森林認証材の利用は今後とも木材利用産業の責任として義務付けられるべきであろう。しかし、認証を受けるとことが高価な原料を作り出すという矛盾を避けるために、第三者的な認証機関から認証を受けなくても、企業が適性に管理した森林から生産した植林木の材を利用するならば実質的には問題がないわけで、その場合は企業や事業所の信用を保証するような仕組みが必要となる。品質マネジメントシステムについて規定した ISO 9000 の他、原材料の種類や配合比を証明できるような管理技術の創出が将来的に必要である。

1.3. 間伐材

近年、木材需要の低迷から健全な林業経営が危ぶまれている中で、間伐の実施と間伐材の利用を推進する政策が取られている。これに協力する形で、日本製紙連合会は、「環境に関する自主行動計画」の中で、「間伐材の利用量の増大に積極的に取り組む」との姿勢を示している。しかし、あくまでも目標であって、実際には原料としての価格が高くなってしまいうことが最大の障害である。現在の日本で利用を促進する必要があるのは、戦後に大量に植林したスギの間伐材であるが、製紙適性については問題がある。スギ材の繊維は、6 mm ほどにも達し、パルプ用によく使用されるスプルース等の針葉樹繊維が 3 mm 程度にあるのに比べると非常に長い。長いパルプ繊維は、水に分散した際に絡み合いやすいため、紙の均一性が失われやすい。したがって均一性が要求される印刷用紙には不向きとなるが、少量だけ配合する繊維組成の紙製造に利用すればある程度は使えるであろう。繊維が長いことは、紙の強度が格段に上がるという利点も併せ持つため、包装用の段ボール原紙等に少量配合するだけで、ほぼ 100%リサイクルの段ボール箱の強度をかなり上げることができる。しかし、包装用の板紙材料は安価である必要があるため、今後紙パルプ生産に間伐材の利用推進を図るなら、少しでも価格を下げるための努力が必要である。山林での作業道整備、急勾配に対応できる小回りの利く林業機械の開発、環境省等の主導による間伐材利用の義

務付け、林野庁主導の林業家への補助金交付などがあれば将来的な利用拡大が望める。しかし、省庁主導の行政は本来の利用拡大とは異なり、スギパルプ繊維の特性を利用した新しい紙品種の開発が将来技術として待たれるところである。もともと毛足の長い靱皮繊維を利用して抄造する和紙のような風合いを持つ紙、不織布への利用など、付加価値の高い製品を開発することが必要である。一般の印刷用紙向けの用途を考えるなら繊維を切り揃えて使ったりするような技術や新聞用紙に適した機械パルプ化の新しい技術が重要となる。

1.4. 原料の選択

環境に調和した繊維原料が多様化している中で、一方では、コピー用紙などで 70 % の古紙配合を義務付けるグリーン購入法がある。生産量の少ない品種をフラッグシップとして意気高揚するにはよいが、一般印刷用紙にも広く一定以上の古紙配合率を適用しようとする動きが強まるとすれば、芳しい方向とは言えない。印刷用紙には必ずと言ってよいほど蛍光増白剤を使用するため、パルプ繊維は紫外線を照射すると青く光る。この特性を利用し、青く光る繊維の割合から古紙配合率を求めようとする方法が試みられているが、抄紙前の紙料にも蛍光増白剤が添加されるのが普通であるため、紙製品の古紙配合率をこの方法によって分析しようとすることは、極めて困難と考えられる。よしんば個々の紙製品の配合率を規定してそれを分析すること自体、実質的に無意味であることは先に述べたとおりである。間伐材や適性管理された木材から得たパルプ繊維に至っては、配合率の判別はまったく不可能である。このように状況を考えれば、社会科学的な手法により、事業所での原材料の入荷及び製品の出荷状況、個別製品の品質表示としての繊維組成と製造量から、表示配合率の真偽を確認するしか方法がないのではないと思われる。要は、クレジット方式で配合を決定し、それを審査するような方式に変えていくということである。実際にいくつかの製紙会社では、工場内の古紙パルプの配管経路の確認を顧客や消費者団体等に直接行ってもらうシステムを導入している。

紛らわしい品質表示の問題もある。「間伐材（スギなど）から作られています」との謳い文句にしても、組成をよく調べるとスギ材はわずかで、残りは製紙適性の高いマツ材などであったり、間伐材の使用量はわずかで、ほとんどが広葉樹材チップから作られていたりする。宣伝効果のために無闇に“間伐材から作った紙”とすると、消費者の誤解を生むことになりかねず、何パーセント含まれているのか、クレジット方式に基づく表示なのかどうかなどを明確にする必要がある。今後は、社会によって監視するような法規制も必要と思われる。

2. 環境問題

2.1. 炭素の循環

京都議定書では、CO₂（二酸化炭素）などの排出量について 1990 年を基準として各国別に定めた削減率を 2008 年から 2012 年までに達成することを求めている。日本は、6%の削

減が義務付けられているが、現状では達成が危うく、超過して排出した分が 3 割増となって次期の目標削減率に上乗せされた上に、排出権取引での排出枠が売却できなくなるという厳しい罰則が待っている。2008 年 11 月に日本木材学会が中心となって、木材製品は炭素貯蔵効果があり、木材関連製品を使用することで炭素蓄積量を増やすことが必要、とする提言を行った。紙は、製品寿命が短いものの、全世界の紙製品使用量が増えれば、その分だけ炭素蓄積は増えることとなる。京都議定書第一約束期間(2008 年～2012 年)では、森林によって吸収された二酸化炭素は木材伐出と同時に排出されるとみなすデフォルト法が採用されているが、蓄積変化法を評価すべきという提言に、日本製紙連合会も賛同の署名を行っている。ややもすると、紙の使用が森林の乱伐を招くと誤解されてしまいがちだが、この署名は、このような誤解を払拭するためにも評価できるのではないだろうか。今後の対策としては、カーボンオフセットハガキのような植林のための寄付金付きの紙製品を企画することも一つの手立てとなろう。しかし、紙を使ったからその分を炭素循環のために還元したいという消費者の自発的な気持ちを期待しても、紙はやはり森林の乱伐に繋がるのか、との誤解をよりいっそう招く可能性もあるので慎重さが必要である。家電製品で 2009 年の 5 月 15 日から始まったエコポイント制度が一般的な消費財に普及するタイミングやカーボンフットプリントの表示などは、紙がいかに環境にやさしい材料かをアピールするチャンスと捉えてほしいものである。

2.2. エネルギー

製紙産業では、セルロースを主成分とする繊維を取り出すパルプ化の際にリグニンが溶出し、黒液と呼ばれる蒸解廃液となる。エバポレータで黒液の水を蒸発させて濃縮し、ボイラーで燃焼させることにより、薬品の回収を行うと同時にエネルギーを得ることができる。このような黒液燃焼のエネルギーは、代表的なバイオマスエネルギーであり、紙の製造に要する全エネルギーの約 3 分の 1 を賄っている。バイオエネルギーはクリーンなエネルギーであるが、これはあくまでも木材が再生可能な循環型資源になっているという前提の下に言えることである。繊維原料にしろ、エネルギー利用にしろ、使った分は植林するという責任を果たす必要がある。現時点では、効率的な原料確保という目的のために植林事業は外国でばかり行っているが、将来的には日本国内の造林にも手を貸すという貢献が日本の紙パルプ産業に期待されている。

3. 製造技術の今後の動向予測と課題

紙パルプ産業は成熟しているとも言われるが、製造技術のさまざまな局面で日進月歩の産業と言える。私見ながら、今後の技術動向を展望してみたい。

まず、製品用途としての観点からは、包装材料として生産量の増加が見込まれる。包装には再生可能な材料を用いなければならないという概念や法的規制が、北欧を中心に世界的に浸透してきており、従来プラスチック材料等でしか実現しなかった特性を紙製包装容器で実現できれば使用量の増加が見込まれる。透湿性、はっ水性、酸素透過性、耐久性、軽

量化、透明性など、他の材料との組み合わせであってもこのような特性がどこまで実現できるかが鍵となる。最近では、フィンランドの大手製紙会社が製袋用クラフト紙の製造をとりやめたが、この品種の需要が増加に転じているため、価格が上昇しているとの実態もある。製袋用クラフト紙も従来以上の機能を備えた新しい紙製品にすれば需要は拡大しそうである。

食品に関しては、“安全” が一つのキーワードになっているが、包装材料として紙の安全性の確保が重要な技術となることも疑いない。蛍光増白剤が食品と直接触れるような紙製包装容器の材料となる板紙から蛍光増白剤が検出される⁶⁾と、製品の回収に至ることもあるが、蛍光増白剤という見た目に判別が容易な添加剤は問題視されやすい。しかし、人体に有害な物質こそ検出技術の進展が求められる。その中で、重金属は分析しやすいため比較的管理が容易であるが、怖いのは、むしろ検出が難しい毒性のある有機物であり、その的確な分析技術が今後重要となろう。

印刷用紙分野では、インクジェットや電子写真（レーザー）方式のデジタル印刷方式を、請求書のような個別情報を連続的な印刷に応用する動きが既にかなり進展している。さらには、配送物の袋詰めや、封筒詰めまでも連続的に行うことも可能となっている。つまり、サービス提供企業や個人消費者の発注から、配達までの一連の流れを、一つの工程で処理してしまおうとする動きにある。短納期と確実な配送を目指したこのようなシステムに対応した紙が市場では求められている。インクジェット印刷とオフセット印刷に対する適性があり、十分な搬送特性を備え、封入の自動化に対応し、内容物を保護できる強度にも優れた紙を供給する必要がある。

パルプ化に関しては、キノン系添加剤の利用のようなより高い収率を目指した技術がいつそう進展しそうである。バイオマス資源の有効利用という観点から、デンプンの多い農産廃棄物からのパルプ化技術も飛躍的に発展させなければならない。漂白については、酸素やオゾン漂白による色戻りや、古紙パルプの色戻りを効率よく抑制する技術が求められる。また、パルプ化はバイオリファイナリーの一つであり、木材という利用しやすいバイオマスから種々の有効成分を分離する技術は、いつそう進展していくと思われる。

抄紙技術では、品質の安定性、紙力向上のために繊維に機械的なせん弾力を与える叩解工程の省力化と叩解度制御、原料問題と排水問題を軽減するための歩留まり向上、紙製造の最終段階廃棄物であるペーパースラッジの新しい処理法と有効利用などが研究されており、今後その成果が期待されるところである。

一方、環境問題に関連したトピックとしては、古紙／間伐材／森林認証材等の環境負荷評価の標準化、紙の輸出入に関係した国際社会科学的調査などが挙げられる。

紙パルプ産業は、紀元前の古代中国に端を発し、脈々と現代まで受け継がれてきた類まれなバイオマス産業であり、林業及び消費者という重要なステークホルダーとの連携を図りながら、責任と自負をもってさらに成長していくことを願ってやみません。

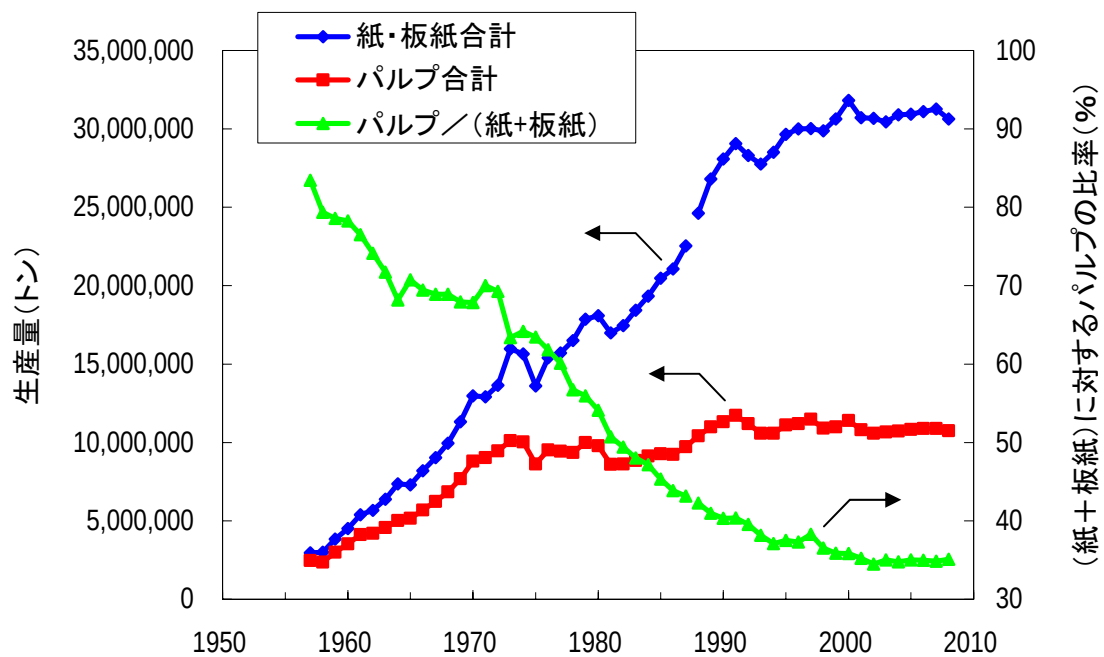


図1 紙・板紙及びパルプの生産量と紙・板紙に対するパルプ生産量の比率
(経済産業省「紙・印刷・プラスチック・ゴム製品統計」よりグラフ化)

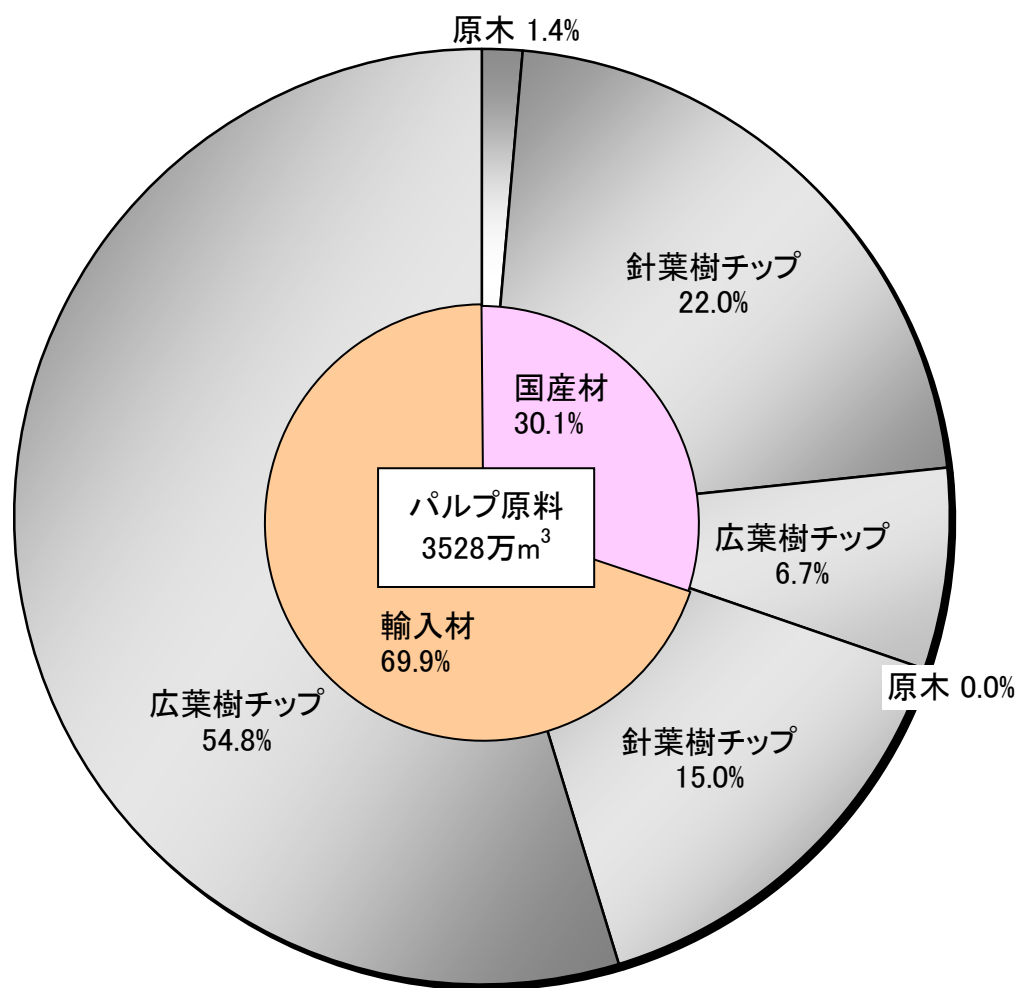


図2 平成19年のパルプ原料比率
(経済産業省「紙・印刷・プラスチック・ゴム製品統計」よりグラフ化)

-
- 1) 古紙再生促進センター「古紙利用率推移」(2009)
 - 2) 渡辺篤, 「フローテーターにおけるインキ性状と除去性」, 紙パ技協誌 第 62 巻 8 号, 845-849(2008)
 - 3) 伊東慶郎, 「DIP 工程の最適化における品質改善」, 紙パ技協誌 第 62 巻 8 号, 850-853(2008)
 - 4) 林野庁「平成 20 年木材(用材)需給見通しの見直しの概要」, 第 1 回木材需給対策中央会議(2008)
 - 5) 中野真人, 「林業における工業原料材生産体制への期待」, 山林 No.1001, 大日本山林会, 21-23(1967)
 - 6) 加地麻衣子, 江前敏晴, 磯貝明, 「紙に含まれる蛍光増白剤の定量方法に関する検討」, 紙パ技協誌 第 62 巻 5 号, 84-94(2008)