

II-180

数学モデルによる紙資源サイクルの評価の試み

京都大学工学部 学生員 関口隆司
 京都大学工学部 正 員 森澤眞輔
 京都大学工学部 正 員 井上頼輝

1. はじめに

我が国は古紙のリサイクルにおいては世界に誇る実績を有してはいるが、近年の紙生産量の増大はチップ、パルプの輸入増加をもたらし、ひいては廃棄物処理システムや廃棄物最終埋立処分地への負荷の増大の原因にもなっている。本研究ではまず、製紙原料である古紙とパルプやパルプ材の輸出入、紙の生産・流通・消費、及び古紙の回収再利用と紙廃棄物の処理等、紙のライフサイクル全体を把握し、紙の流動に影響を及ぼすであろう因子を抽出し、これらの因子と紙の流動との関連を分析する。ついで、紙資源の物質収支関係に注目して構築した数学モデルにこれらの関係を組み込み、紙資源のライフサイクルを評価するためのモデルを構築する。さらに、このモデルを用いて数値シミュレーションを実行し、紙資源のリサイクルの効果と問題点、採りうる施策等を整理する。

2. 数学モデル

2.1 モデルの構築

紙のライフサイクルを解析するために本研究で設定したフローを図-1に示す。紙は図-1のシステム内を、原料としてのパルプ材から埋立処分の対象である焼却残渣までその形態を変化させながら流動するが、ここではこれらを「紙資源」と総称する。全体システムは、紙・板紙生産、流通・消費、回収・再利用及び処理・処分の各サブシステムで構成されている。システムへの紙資源の導入は、国産パルプ材、輸入パルプ材、輸入パルプ、輸入紙・板紙及び輸入古紙として行なわれ、システムからの導出は、輸出パルプ、輸出紙・板紙、輸出古紙、古紙製品(建材、燃料等)、肥料等としての資源化及び廃棄物としての最終的な埋立処分の形態をとって進められる。システム内を流動する紙資源は、製紙用パルプを化学パルプと機械パルプの2種類に、紙・板紙を上級印刷・情報用紙、中下級印刷・情報用紙、新聞用紙、衛生用紙・雑種紙、包装用紙・板紙及び段ボールの6種類に、古紙を上級古紙、中級古紙、新聞古紙、雑誌古紙、段ボール古紙及びその他の古紙の6種類に、また古紙パルプを回収古紙の種類に対応する6

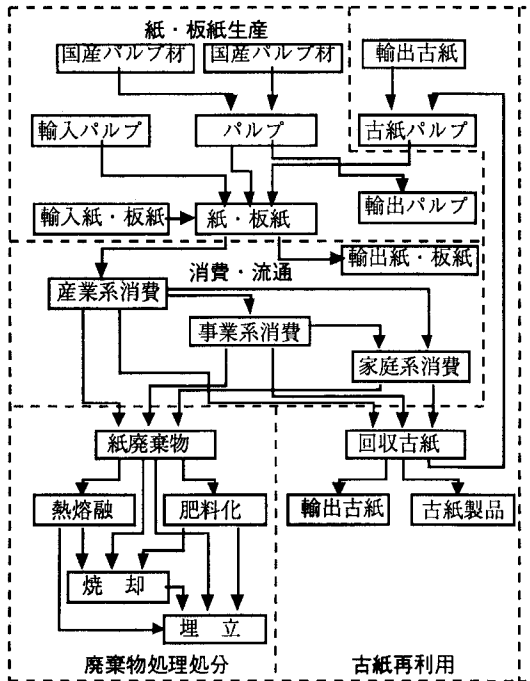


図-1 紙のライフサイクルを評価するために設定した紙資源の流れシステム

種類に、各々分類した。図-1に示す要素システムが各々、例えば原材料を貯蔵するコンパートメント、紙の生産プロセス、及び製品を貯蔵するコンパートメントで構成されているとみなし、各々のコンパートメントにおいて紙資源の種類毎に物質収支関係を常微分方程式で記述することにより数学モデルを構築した。パルプ、紙・板紙、古紙の輸出入量を、それらの種類毎に実質国民総支出、実質民間設備投資、紙・板紙

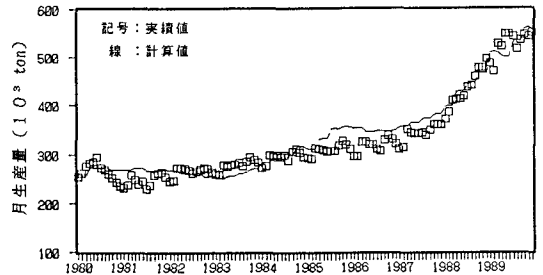
生産量及び在庫量との回帰関数を設定することにより、また紙・板紙の生産量及び出荷量は回帰関数を用いて推定し、製紙原料である木材、チップは必要量が過不足なく供給されるとした。

2.2 モデルの検証

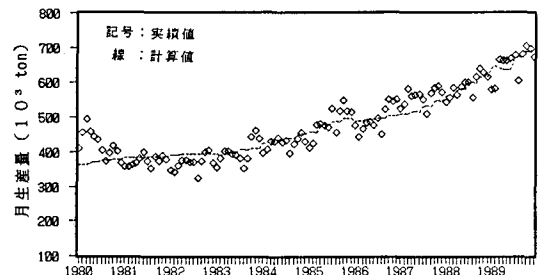
1980年1月における紙資源の流動実績を初期値とし、実質国民総支出、実質民間設備投資の毎月データを外生変数として付与し、システム内の流動を支配する常微分方程式群をルンゲ・クッタ・ギル法を用いて数値的に解くことにより1980年から1989年の期間の紙資源の流動を月毎に計算した。計算結果の一部を実績値と共に図-2及び図-3に示す。紙・板紙生産量の計算値と実績値は良く一致している(図-2参照)。紙・板紙生産量は回帰式を用いて推定するが、回帰式中に含まれる在庫量は数学モデルによる計算値が使用される。同様に古紙消費量の実績値と古紙入荷量(消費量)の計算値も良く一致している、即ち古紙の需給バランスが取れていることになる(図-3参照)。ただし、図-3の計算では、1987年以降、上級印刷・情報用紙の生産量が上昇するにつれてそれらの事業系からの回収率が低下するとの条件を設定している。この条件を設定しなければ、1987年以降の古紙入荷量の計算値は古紙消費量の実績値を大幅に上回る、即ち古紙が供給過剰になる。これは、OA化の推進や広告活動の拡大等により上級印刷・情報用紙の生産・消費量が増加したが、それに見合う古紙回収システムが整備されなかったため、紙廃棄物となって都市の廃棄物問題を深刻化させた一連の現象を定量的に説明していることになる。

3. まとめ

紙資源の種類毎にそれらの流動を定量的に表現する数学モデルを構築することができた。古紙回収率向上の鍵は1987年頃から急激にその生産量が増加した上級印刷・情報用紙の事業系での回収率を向上させることであると言えるが、このことは同時に紙廃棄物発生量を抑制する効果を有する。また、回収した古紙を消費するためには紙生産における古紙混入率の向上が必要になるが、これにより、パルプ材消費量を抑制することができる。

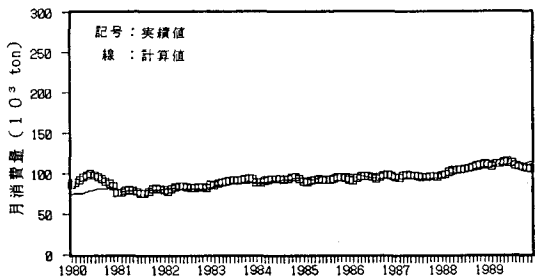


(A) 上級印刷・情報用紙

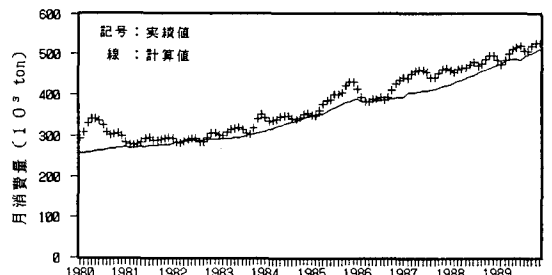


(B) 段ボール用板紙

図-2 紙・板紙生産量の実績値と計算値の比較



(A) 上級古紙



(B) 段ボール古紙

図-3 古紙消費量の実績値と古紙入荷量(消費量)の計算値との比較