

# 間伐材利用による四万十川流域環境経営システムの開発\*

1070472 東 浩太郎\*

By kohtarō AZUMA

## 1. 背景と目的

### 1. 1 流域経営システム構築の必要性

中山間地域においては、地域振興や発展のために行われる事業などが長続きせず、赤字経営となっている事業が多く見受けられる。これは各事業者が互いに連携せず独自の地域づくりを行っていることが主な原因と考えられ、地方自治体の調整不足が問題となっている。一方で、住民においては意識の高まりから始まる自己実現の欲求、NPOなどのコミュニティ活動が活発化してきている。

特に将来は団塊の世代が退職し、会社から地域を含む流域単位での活動へ移行していく中で、流域として生き残りをかけた自立的な活動が求められており、バラバラでない全体を考えた流域づくりが必要である。このためには個々の参加主体が流域全体の利益をいかに最大化するかを考え、その中で、個々の活動の役割、参加主体間の持続性の関係を構築する流域経営システムという、新しい枠組みが必要となる。

### 1. 2 四万十川流域における現状と課題

四万十川は「日本最後の清流」として全国的に知られている全長 196kmの一級河川である。四万十川流域は、多様な動植物生態系だけではなく、豊饒な水と森の恵みを得て多くの伝統文化が引き継がれている。また、四万十川流域の産業構成としては、流域の 87%が森林であり、そのうち 69%は人工林となっており、林業が流域の主要な産業として位置づけられている。しかし、近年では木材需要の減少や木材価格の低迷に伴い、林業従事者が激減し、森林の荒廃が危惧されており、四万十川流域の貴重な環境資源を保全する環境経営の提示が不可欠である。

### 1. 3 研究目的

本研究では、「環境」「林業」「地域活性化」の観点から、森林が持つ効用を次世代に渡り維持管理していく流域環境経営分析モデルを提案する。さらに、その適用モデルとして森林間伐の間伐材利用による木質バイオマス発電事業に着目し、森林の公益的機能を維持させるとともに、森林間伐や木質バイオマス発電コストと地域住民のニーズを両立させる流域環境経営システムについて検討する。

## 2. 流域環境経営システムの概要

### 2. 1 流域環境経営システムの概要

流域環境経営システムは、環境資源を整備、維持管理するために必要なコスト（費用）と流域住民と企業が支払っても良いと考える意思額（収入）から構成される。四万十川流域の環境資源そのものを経営の対象とし、費用と収入の均衡点を探り、評価することで利用者と施行者の双方が満足することとなり、過剰投資、過小投資を防ぐことができる。さらに、本システムは、①ゼロエミッションへの貢献、②CO<sub>2</sub>の削減、③エネルギー消費の削減、④間伐問題の解決といった環境経営目標の達成を支援するためのツールにも成りうる。

### 2. 2 木質バイオマス発電の流域環境経営分析モデル

本研究では、流域における間伐の促進を図るとともに、自立的な林業経営を実践していくための手段として木質バイオマス発電事業を展開する。木質バイオマスとは間伐材や、製材所から排出される製材屑、木造建築物等に関わる建築廃材などで、化石燃料に代わる再生可能なエネルギーとしてとても重要視されている。

流域環境経営システムで検討する分析モデルは、森林組合等から提供される木材を中間処理業者や燃料供給業者に提供し、それをバイオマス発電業者にて発電する。発電をした電力を電力会社に売電するまでを対象とする。今回の検討では間伐から売電までをグループ事業とみなし、間伐から発電までにかかるコストを総費用曲線として、売電による収入を総収入曲線として表す（図 2-1 参照）。

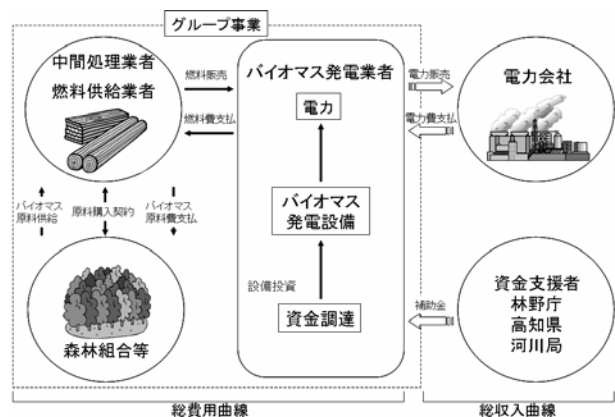


図 2-1 木質バイオマス発電の流域環境経営分析モデル

\*キーワード：流域環境経営システム、間伐材、バイオマス発電

\*\*高知工科大学 工学部 社会システム工学科 社会システム経営研究室

総費用曲線は間伐から発電にかかる費用（間伐業者とバイオマス業者）を、総収入は売電により得られる収入を表す。このように設定した場合、利潤は総収入と総費用曲線との差であり、総収入が総費用を上回る場合に利潤が得られ、経営が成立する。この利潤が得られる場合の間伐率を求める。なお、総収入が総費用と均衡しない場合は、補助金などを投入して均衡させる方法も考えられる（図 2-2 参照）。

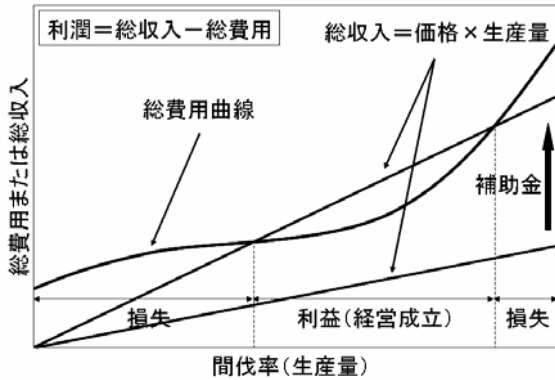


図 2-2 環境質の需要と供給の分析モデル

### 3. 流域環境経営分析モデルの検討手順

本研究では四万十川流域における年間発生間伐量の推定を行った上で、評価関数を設定した。その結果から流域経営の可能性分析を行い、経営を成立させるための森林間伐整備のあり方を提案した（図 3-1 参照）。

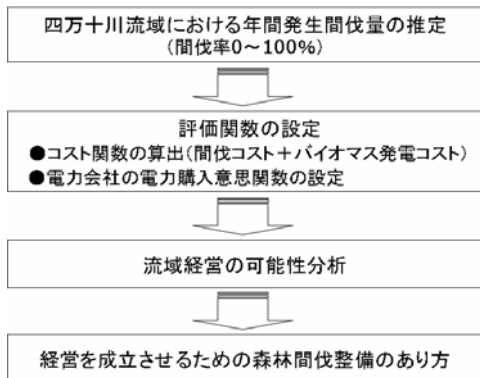


図 3-1 流域環境経営分析モデルの検討手順フロー

### 4. 四万十川流域における年間発生間伐量の推定

バイオマス発電には安定した木材の供給が必要となる。そこで年間発生間伐量を推定し、間伐率を変化させた場合の年間発生間伐量を求める。（図 4-1、表 4-1 参照）。

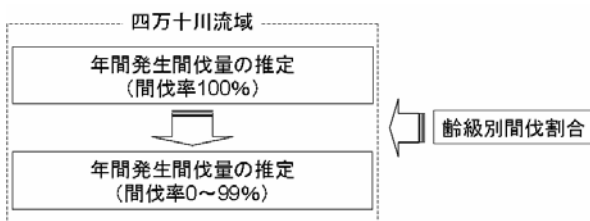


図 4-1 年間発生間伐量の検討手順フロー

表 4-1 齢級別間伐割合

間伐時期	間伐割合 (%)
15年生頃	10
21~22年生頃	30
31~32年生頃	30
40年生頃	30
50年生頃	30
60年生頃	30
70年生頃	30
80年生頃	30

間伐率を変化させた場合の年間発生間伐量は以下の計算式(1)を用いる。

<年間発生間伐量の算出の計算式>

$$\begin{aligned} & \text{年間発生間伐量 (m}^3\text{)} \\ & = \text{間伐率 100\% の場合の年間発生間伐量 (m}^3\text{)} \times \text{間伐率} \dots (1) \end{aligned}$$

間伐材発生量(m<sup>3</sup>)を算出するためには、間伐時期に該当する面積(ha)と材積(m<sup>3</sup>)、齢級別間伐割合(%)のデータが必要となる。しかしながら、四万十川流域においてはデータが存在しないため、安芸市の森林構成と四万十流域の森林構成は同様であり、間伐適齢期の設定においても安芸林業と同様であると仮定し推定を行った。

その結果、四万十川流域の現在の林分蓄積量は 4,239 万m<sup>3</sup>であり、このうち間伐率 100%の年間発生間伐量は約 133 万m<sup>3</sup>である（図 4-2 参照）。

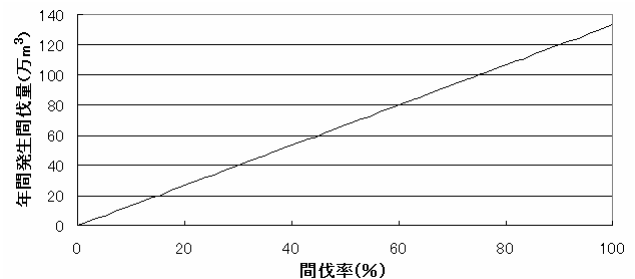


図 4-2 間伐率と年間発生間伐量

### 5. 木質バイオマス発電事業の評価関数の作成

#### 5. 1 総費用曲線（間伐業者、バイオマス発電業者）

間伐業者の間伐率の変化における間伐コストの算出とそれに応じて発生する間伐材積を用いることで、バイオマス発電業者の発電コストを算出する。なお、この2つのコストを合わせたものが、森林間伐を行うための総コストであり、総費用曲線である。

#### 5. 1. 1 間伐コスト曲線の算出（間伐業者）

間伐コスト曲線は、四万十流域図や土地利用図、道路網図などから下記(①~⑦)のプロセスより導いた。なお、この方法は ArcGIS と C 言語によるプログラミングを用いた（図 5-1 参照）。検討の結果、得られた間伐率と間伐コストを図 5-2 に示す。

＜間伐コスト曲線の導出プロセス＞

- ①四万十川流域図と土地利用図をオーバーレイすることで流域内の森林のセル[100m×100m]数を求める。
- ②間伐コスト算出には直線距離と直角距離が影響すると仮定した上でこの2点を求める。  
直線距離：四万十川下流域に間伐材の集配所を指定し、各間伐地点からその集配所までの距離[m]を求める。  
直角距離：道路網図から一番近い道路までの直角距離[m]を求める。
- ③直線距離コストと直角距離コストを求める。  
直線距離：距離と間伐材運搬に必要なトラックの燃費[20km/l]との商を求めることで運搬に必要なガソリン量を計算し、ガソリン価格[130 円/l]との積を求めることで、コスト[円/m<sup>3</sup>]を求める。  
直角距離：林野庁の資料である林道からの集材距離別素材生産コスト[円/m<sup>3</sup>]から関数 ( $Y=1 \times 10^{-5}X^3 - 0.0275X^2 + 18.55X + 4000$ , X:直角距離, Y:コスト)を導き、コスト[円/m<sup>3</sup>]を求める。
- ④直線距離コストと直角距離コストの和(合計コスト)を求める。
- ⑤間伐率とセル数の関係により、合計コストの和の小さいセルから順に間伐率に応じて抽出する。
- ⑥抽出したセルと合計コストの積を求めた上で、1haあたりの間伐材積[m<sup>3</sup>]との積を求める。
- ⑦間伐率が0～100%まで繰り返す。

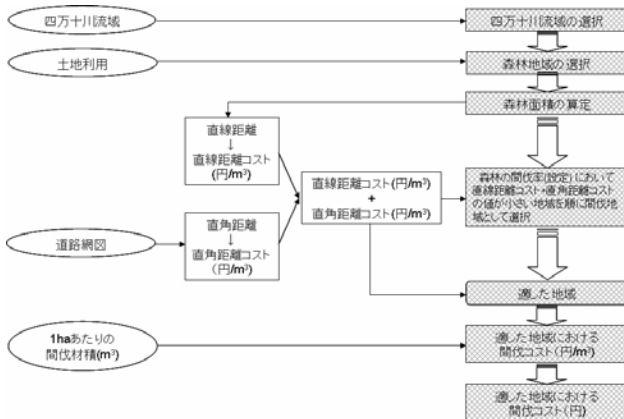


図 5-1 間伐コスト曲線の導出フロー

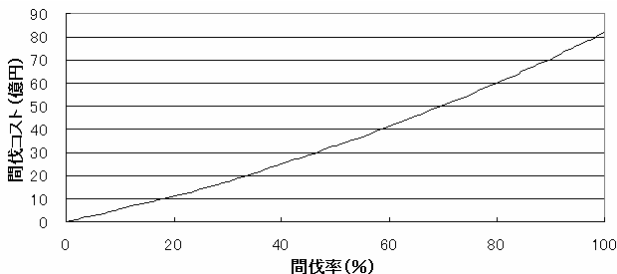


図 5-2 間伐率と間伐コスト

5. 1. 2 発電コスト曲線の算出 (バイオマス発電業者)

発電コスト曲線は、下記 (①～⑥) の条件を設定し導いた (図 5-3 参照)。検討の結果、得られた間伐率と発電コストを図 5-4 に示す。

＜発電施設の設定＞

- ①条件 1：間伐率の変化による年間発生間伐量に応じて処理できる発電所を建設する。  
条件 2：発電コストは供給される間伐材積に比例する。
- ③原料の日あたりの受け入れ量：300[t/日] (150t×2 炉)
- ④イニシャルコスト：5,000[万円/基]
- ⑤年間運転日数：275[日/2 炉], 66[日/1 炉]
- ⑥単年度経費
  - ・原料購入費：間伐コスト
  - ・人件費：700[万円/年]×3[人], 450[万円/年]×21[人]
  - ・修繕費：イニシャルコストの3[%]
  - ・用益費：1,850[円/t]×年間処理量[円/t]
  - ・福利厚生費：人件費の18[%]
  - ・固定資産税：イニシャルコスト×1.4[%]
  - ・原価償却費：イニシャルコスト×0.9÷15[年]
- ⑦年間発電量[MWh]：  
年間原料供給可能量[t]×15,300[kJ/kg]×31[%]÷3,600

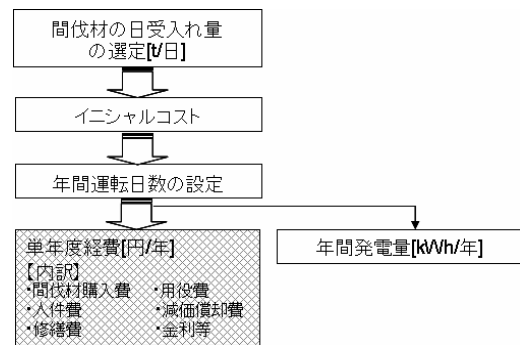


図 5-3 発電コスト曲線の導出フロー

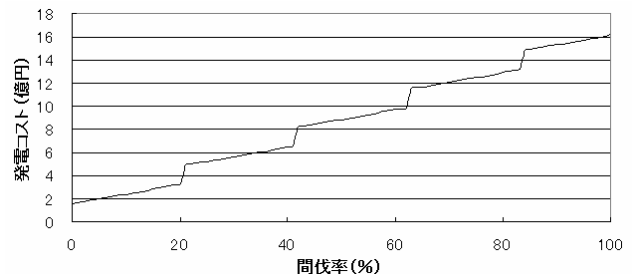


図 5-4 間伐率と発電コスト

5. 2 総収入曲線の作成

総費用曲線によって求めた発電量を売電単価(8.11 円/kWh)で売電する。売電は住民と企業の支払い意思額と仮定し総収入曲線の関数化を行った (図 5-5 参照)。

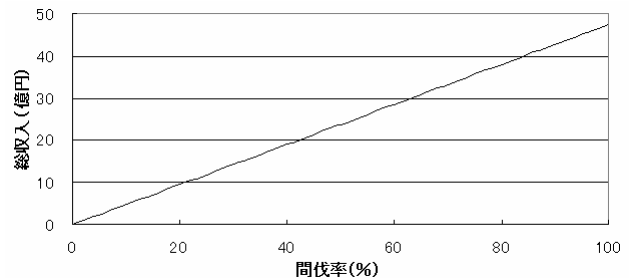


図 5-5 間伐率と総収入

## 6. 流域環境経営の可能性分析

図 6-1 に 5.1 と 5.2 をモデル化した総費用曲線と総収入曲線の関係を示す。

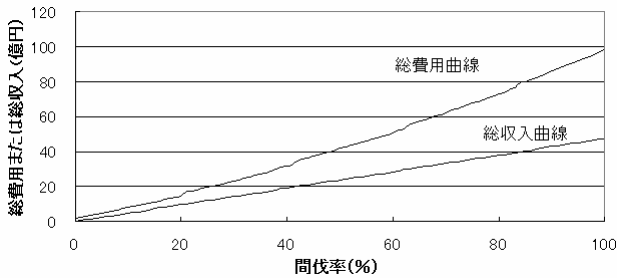


図 6-1 間伐率に対応した総費用曲線と総収入曲線

四万十川流域で発生する間伐材を用いてバイオマス発電し、売電単価 (8.11 円/kWh) で売電するシナリオでは、総費用曲線が総収入曲線を上回っており、どの間伐率でもバイオマス発電事業は成立しない。そこで、現時点で政策としてとりうる収入項目として間伐材に対する補助金 (8 万円/ha) やバイオマス発電によるCO<sub>2</sub>削減効果をCO<sub>2</sub>排出権取引 (664 円/t) に追加して経営成立の可能性を検討する (図 6-2)。

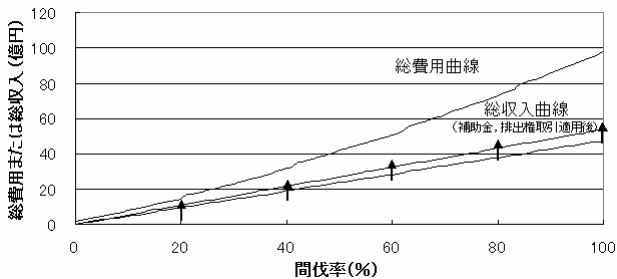


図 6-2 間伐率に対応した総費用曲線と総収入曲線 (補助金、CO<sub>2</sub>排出権取引適用後)

このシナリオでも収入は増加したが経営は成立しない結果が得られた。そこで、バイオマス発電事業が成立する限界のシナリオを検討する (図 6-3 参照)。

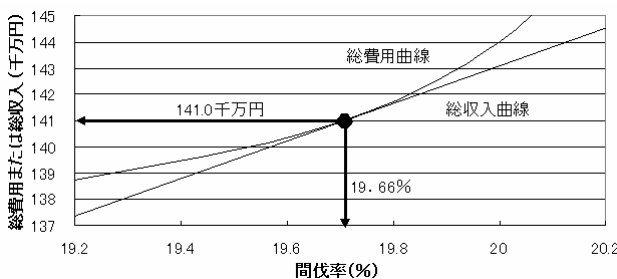


図 6-3 間伐率に対応した総費用曲線と総収入曲線 (経営成立の限界)

バイオマス発電事業の成立には、上記の収入項目にさらに間伐材に対する補助金を 1ha あたり 379,500 円追加することが必要である。この時、業者は流域年間 19.66% の間伐を行うことで経営が均衡する。この追加分を四万十川流域住民 (102,700 人) に負担してもらう仮定を設けると、月あたり 1,418 円負担する必要がある。また、補助金を追加するのではなく、今後、重油の値上がりによる売電単価の上昇を仮定すると、11.10 円/kWh になることで経営が成

立する。他に、経営を成立させる手段としては、発電技術の向上による発電単価の減少があげられ、住民の負担は減少していくと考えられる。

本研究では、現在用いられている売電単価や発電効率を利用し関数を導出し分析を行ったが、社会の変化に対応して総費用曲線及び総収入曲線の精度の向上を検討し、質の高い均衡分析を行っていく必要がある。

## 7. 自立的な四万十川流域環境経営システム実現への課題

本研究で提案した四万十川流域環境経営システムは、間伐材の発生量予測から、間伐可能性の分析、評価関数の設定、経済性評価までを総合して導出した。よって、流域環境経営システム実現するにあたっては、これらの精度向上とともに、誰が利益を受けて誰が費用を負担するのかといった効用とコストの配分が必要となる。また、新しい間伐材事業への展開を通してお互いのマイナスパターンを見直す関係 (経営システムメンテナンス) を構築することが流域の安定につながり、自立的な流域管理につながっていくと考えられる (図 7-1 参照)。

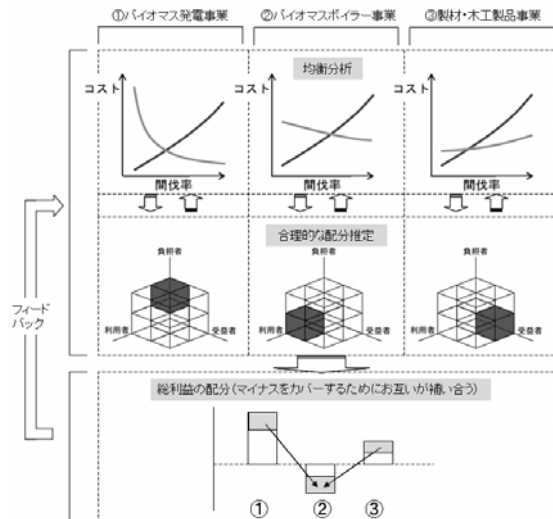


図 7-1 流域環境経営システムのメンテナンス

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、力強いご指導ならびに温かい励ましのお言葉を賜った那須清吾教授、馬淵泰助手に深く敬意と感謝の意を表すとともに、厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 馬淵泰, 那須清吾: 都市緑地整備における環境経営モデルの提案, 高知工科大学21世紀COEプログラム社会マネジメントシステム報告書, pp229-236, 2006.
- 2) 山口県農林部林政課: 山口バイオマスエネルギープラン, 2002.
- 3) 高知県安芸市: 安芸市地域新エネルギービジョン・報告書, 2006.
- 4) 林野庁計画課編: 立木間材積表・西日本編, 日本林業調査会, 1970.