

森林の公益的機能を活かした 持続可能な中山間地域形成に関する研究

清水 喬文¹・加藤 博和²・山本 通寛³

¹ 非会員 元名古屋大学大学院 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail: tshimizu@urban.env.nagoya-u.ac.jp

² 正会員 名古屋大学大学院教授 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

³ 学生会員 名古屋大学大学院 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail: yamamoto.michihiro@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

森林の公益的機能を発揮できる持続可能な中山間地域を形成し維持するために、森林マネジメントを中山間地域の社会的責任と林業の損益の双方から評価するフレームワークを構築した。三重県の榑田川流域圏を対象にフレームワークを適用し、流域圏内の森林が発揮する公益的機能を植生の能力を考慮して評価し、機能を維持するために必要なコストを算出するとともに、森林の社会的責任と林業の損益を評価する *NoF* 値(*Necessity of Forest*, 森林の社会的必要性), *PLR* 値 (*Profit and Loss Ratio*, 林業の損益割合) の判定を行った。次にシナリオ分析を行った結果, *NoF* 値, *PLR* 値の悪い地域からの管理の撤退は森林マネジメントの改善につながらず, 森林ストックの価値を高め有効活用することが持続可能な中山間地域の形成に必要な施策であることを示した。

Key Words: *Necessity of Forest(NoF), Profit and Loss Ratio(PLR), Forest stock.*

1. はじめに

「森は宝の山である。」第二次世界大戦後間もない頃、日本で森林はこのように考えられていた。しかし戦後 70 年を過ぎ、森は荒れ、森林機能の低下が危惧されている。管理する林業従事者は最盛期の 10 分の 1 近くまで減少した。そのため、林業を含め森林の持続可能性を高めることが急務となっている。

本研究では、森林の公益的機能のうち「森林が周辺住民に提供している便益」を捉え、詳細に評価することで、森林を活用しつつ持続可能とするための森林マネジメント評価フレームを構築する。このフレームを用いて、施策導入による中山間地域の持続可能性向上を検討することを目的とする。このフレームを用いることで、森林が多く分布する中山間地域が社会的責任を満たし、かつ経済的自立に寄与することができる。

2. 中山間地域の持続性評価の概要

森林は主に中山間地域にあるが、流域圏の水源涵養

機能や保健機能、土砂流出機能などの公益的機能を提供しているため、森林が持つ生態系サービスの享受を受けている都市域を含む流域圏全体の問題と言える。

本研究では、森林の公益的機能とそれを維持管理するための費用を算出することを可能とし、それを用いて公益的機能を活かして地域の持続可能に資する施策提案を行うフレームワークを構築することを目指す。主な構造としては、まず、森林の公益的機能の効果が河川に沿った地域間の様々なつながりにより享受できるものとし、河川の流域圏を効果の発揮範囲としてとらえる。着目した流域圏において、森林から享受している公益的機能とそれを維持するために必要な費用の現状値を算出する。そして、地域の現状や社会情勢を考慮した上で、公益的機能や森林ストックを活かして森林の効率を高め得る施策を作成しシナリオ分析を行う。分析の結果を踏まえ、対象地域の持続可能性向上に資する施策を提案する。特に、林業を含めた森林管理が産業として成立し(利益が出る)、かつ中山間地域の社会的責任である森林の生態系サービス提供を効率的に行っている地域を持続可能と評価する。

3. 森林の公益的機能を評価するフレーム構築

(1) 森林の公益的機能の評価の基本的な考え方

森林は木材などを供給するだけでなく、外部効果として周辺地域に様々な便益をもたらしている。国土交通省（2016）は、森林が持つ機能として a) 水源涵養機能、b) 山地災害防止機能、c) 生活環境保全機能、d) 保健文化機能、e) 木材等生産機能などを挙げている。本研究では、これら森林によってもたらされる機能のうち a), b), c) を、森林の周辺に住む住民に外部経済として提供される公益的機能（Public Interests of Forest ; *PIF*）と定義して評価する。a), b), c) の *PIF* のうち 1) 二酸化炭素吸収機能、2) 化石燃料代替機能、3) 表面浸食防止機能、4) 表層崩壊防止機能、5) 洪水緩和機能、6) 水資源貯留機能、7) 水質浄化機能、を個別に評価する。そのうち 3)～7) の機能を周辺地域に便益（外部経済）をもたらすものとして捉える。

(2) 植生による公益的機能の違い

植生の種類や状態によって発揮する公益的機能は大きく異なる。例えば、森林の表層崩壊防止機能などは森林の下層植生や落葉落枝などによって発揮されるため、落葉広葉樹と常緑針葉樹では発揮する能力は大きく異なると考えられる。また鈴木²⁾によると、落葉広葉樹のクヌギは針葉樹のスギに比べて根が深く張り、表土もやわらかいため、雨水を保水する機能と斜面崩壊を防ぐ機能に優れ、河川環境の保全に大きく関わっている。しかし、従来、森林の公益的機能を評価する際にこのような能力の違いは考慮されてこなかった。

a) 植生の能力を考慮する傾斜係数の設定

本研究では、植生による違いを考慮した公益的機能評価額を用い、さらに傾斜係数 θ を乗じるという方法を用いる。便宜上、日本全国に存在する 638 種の植生区分種を代表的な 20 種に分類し、各植生の能力を考慮する。なお、化石燃料代替機能については、植生に

よる違いは考慮しない。傾斜係数 θ は以下の条件を満たすように設定した。

1. 平均的な公益的機能の評価額と植生の違いを考慮した評価額はマクロな視点で一致。
 2. 平均的な公益的機能の能力は植生の能力の加重平均とする。
 3. 公益的機能と生態系サービス（植生の能力）には相関がある。
- 定式化を以下に示す。

$$\sum_j f_j \left(\sum_\alpha a_\alpha \right) = \sum_{j\alpha} f_j(a_\alpha, \theta_{j\alpha}) \quad (3a)$$

$$A\bar{y} = \sum_\alpha a_\alpha \times \gamma_\alpha \quad (3b)$$

$$\gamma_{j\alpha} = \theta_{j\alpha} \times w_{j\alpha} \quad (3c)$$

ここで、 f_j ：公益的機能 j の評価関数、 a_α ：植生 α の面積、 $\theta_{j\alpha}$ ：公益的機能 j における植生 α の傾斜係数、 $\gamma_{j\alpha}$ ：公益的機能 j に対する植生 α の環境保全能力、 $w_{j\alpha}$ ：公益的機能 j に関する植生 α の生態能力。

以上の条件を満たす傾斜係数 θ を日本全国のマクロに平均的な視点で設定した。植生の違いを考慮する際に使用した植生の生態能力と参照元を表-1 に整理する。

b) 植生の能力を考慮した森林の公益的機能の評価

本研究で取り扱う植生の違いを考慮した森林の公益的機能評価額は、以下のように傾斜係数を用いて評価される。

$$PIF(j)_i = \sum_\alpha \left\{ pif(j)_i \times \frac{a_{i,\alpha}}{a_i} \right\} \times \theta_{j\alpha} \quad (3d)$$

ここで、 $PIF(j)_i$ ：地区 i における植生の能力を考慮した森林の公益的機能 j の評価額（円/年）、 $a_{i,\alpha}$ ：地区 i における植生 α の面積（ha）、 $\theta_{j\alpha}$ ：公益的機能 j における植生 α の傾斜係数。

c) 1年あたりの公益的機能総評価

以上より、地区 i で 1 年間あたりに提供される森林の公益的機能の評価額を以下の通り定義する。

$$PIF_i = \sum_j PIF(j)_i \quad (3e)$$

表-1 植生の生態能力と参考データ

公益的機能 j	考慮する生態能力の指標 w	参考元
二酸化炭素吸収機能	年間炭素吸収量	松本 ³⁾
表面浸食防止機能	植皮係数	北原 ⁴⁾
表層崩壊防止機能	直径 10mm の引き抜き抵抗力	北原 ⁵⁾
洪水緩和機能	降雨 150mm/h 時の浸透強度	村井 ⁶⁾
水資源貯蔵機能	最大保水率	村井 ⁶⁾
水質浄化機能	環境機能別評価点	只木ら ⁷⁾

ここで、 PIF_i ：地区 i における 1 年あたりの森林の
 公益的機能評価額（円/年）。

(3) 森林の維持管理コストの考え方

森林の公益的機能を十分に発揮させるためには、林
 内の手入れなど維持管理を通じて森林を良好な状態に
 保つことが必要である。特に人の手によって拓かれた
 人工林は、継続的に人の手による維持・管理が必要と
 される。本研究では、森林のライフサイクルを 60 年
 とし、森林の維持管理に必要なコストを 1) 人件費、2)
 作業用道路の建設コスト、3) 木材搬出コストとして算
 出する。これらの維持管理コストが投入されれば森林
 の状態は良好に保たれ、森林の公益的機能は十分に発
 揮されるものとする。なお、森林の維持管理コストは
 人工林にのみ必要になり、天然林には維持管理コスト
 は発生しないものとする。

(4) 森林の公益的機能に関する効率性指標の設定

森林の公益的機能を生み出す効率が高い地域を判定
 するために、維持管理費用に対する森林の公益的機能
 発生の効率性を評価する指標として、森林の社会的必
 要性指標 NoF (Necessity of Forest) を以下に定義す
 る。

$$NoF_i = \frac{PIF_i}{pifCOST_i} \quad (3f)$$

ここで、 NoF_i ：区画 i における森林の公益的機能の
 効率性。

NoF 指標は地区内の森林の公益的機能の費用対効果
 を表す指標であり、値が高いほど少ないコストで大き
 な公益的機能を発揮していると言えるため、社会的に
 必要とされる森林を持つ地域であると言える。

(5) 森林管理の持続可能性指標の設定

NoF 値が高くても森林管理が維持できなければ、そ
 の地域の森林の持続可能性が担保できない。ところが、
 森林管理従事者にとって、森林の公益的機能は外部経
 済であり、収益として得ることができるものではない。
 そこで、森林管理を含めた持続可能性を示す指標とし
 て、林業の損益割合指標 PLR (Profit and Loss Ratio)
 を提案する。以下に PLR を定義する。

$$PLR_i = \frac{P_i}{pifCOST_i + COST_{Commercial,i}} \quad (3g)$$

ここで、 PLR_i ：区画 i における森林の損益割合、
 P_i ：区画 i の森林から得られる収益（円）、
 $COST_{Commercial,i}$ ：区画 i で収益を得るために必要とな
 るコスト（円）。

PLR 値が 1 を超えれば、その地域では収支が取れて
 いる（赤字でない）と言えるため、 PLR 値が高いほど
 その地域の森林は持続可能性が高いと言える。本研究
 では 1 を上回れば持続可能とする。 NoF 値と PLR 値に
 よって地域の持続可能性を判定する図を図-1 に示す。

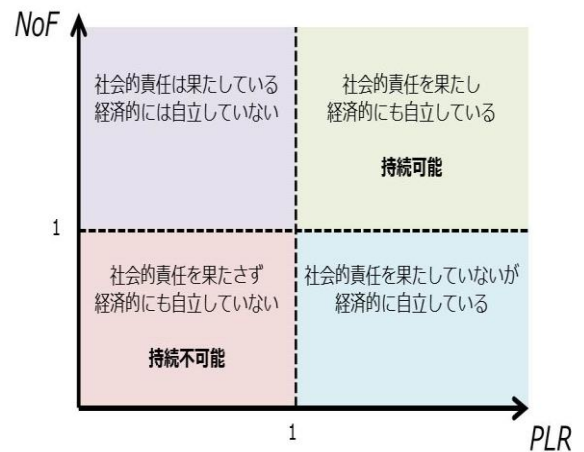


図-1 NoF 値と PLR 値による地域の持続可能性判定

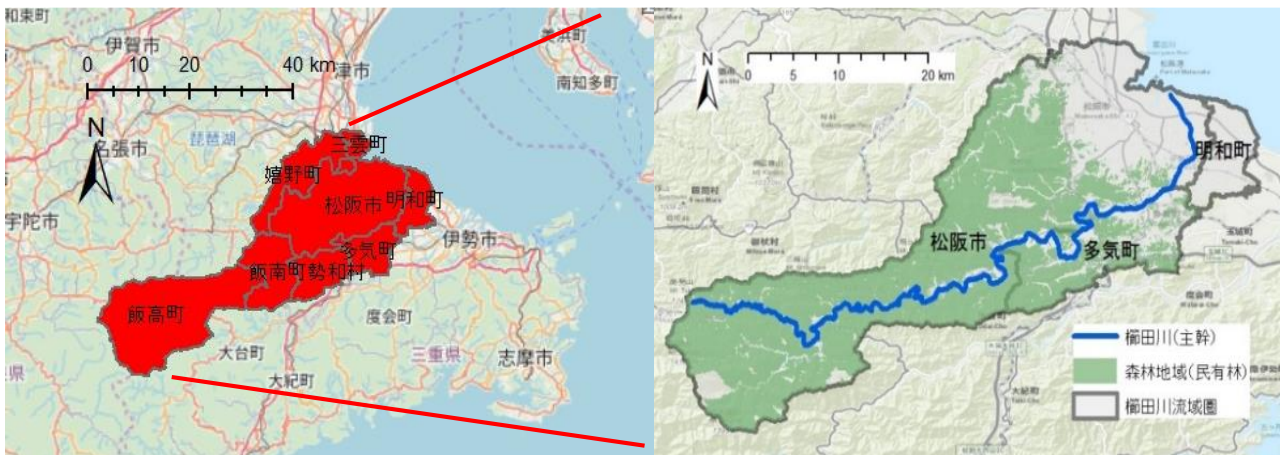


図-2 対象とした櫛田川流域圏（左：旧市町村界，右：現市町村界）

4. 櫛田川流域圏を対象とした森林の公益的機能の分析

(1) 対象地域の概要

本研究では、ケーススタディとして三重県中部を流れる櫛田川の流域圏にあたる松阪市・多気町・明和町を対象地域とする。(図-2)

対象地域の総人口は 201,327 人、農林業従事者は 4,370 人、総世帯数は 76,805 世帯(総務省:国勢調査 2015)である。対象地域の総面積は 767.76km²で、総面積の 63.8%である 489.85 km²(平成 27 年度三重県森林・林業統計書)が森林である。

森林全体の 70.2%である 344.31 km²が人工林であり、この値は全国平均の 41%(林野庁 2012)を大きく上回る。櫛田川流域圏では民有林が 475.24 km² 占めており、森林全体の 97%である。

櫛田川流域圏の詳細な植生分布を図-3 に示す。植生分布は環境省のデータを使用した。櫛田川の上中流域では全体的に豊富な森林が広がっており、特に植林地である人工針葉樹が多い。また上流域の奥地を中心に天然林も存在している。下流域は市街地が形成されており、低標高地を中心に田畑が広がっている。

(2) 森林の公益的機能評価・維持管理コストの分析

前節での植生分布を踏まえ、対象地域での森林がもたらす公益的機能(PIF)と森林より得られる収益を評価・推計する。3 章で構築した評価フレームを櫛田川流域圏に適用し、公益的機能の項目別に評価、またそれに対する維持管理コストを算出する。宮田ら⁹⁾をもとに、本研究では森林のライフサイクルを 60 年と設定する。ライフサイクルでの人工林の適切な間伐期、間伐量は三重県の森林組合で参考値として採用されている安藤ら⁹⁾の林分密度管理図によるものとする。

ここで、評価・推計を行う際に設定した仮定および条件を以下に整理する。

- ✓ 木材ストックの発生量は平準であり、年ごとの大きな差異はないものとする。
- ✓ PIF 評価時に環境省が提供する植生図を使用した。植生を判定する際にメッシュ内に複数の植生が存在する際は細区分の第 1 植生によるものとした。ただし、細区分に針葉樹と広葉樹の双方が含まれる場合は針広混交林とした。
- ✓ 現状の櫛田川流域圏では全ての地域において十分に管理されている(必要コストが十分に負担されている)ものとする。
- ✓ 現状の林業は木材の素材販売によって収益をあげており、その収益を得るために必要なコストは森林の維持管理コストのみとする。

以上の仮定・条件のもと評価・推計した森林の公益的機能評価(PIF)の機能別評価額及び森林収益を表-2 に示す。

次に、森林の公益的機能を維持するために 1 年間に人工林に投入すべき必要な維持管理コスト(pifCOST)を表-3 に示す。なお、作業用道路 1m あたりの建設コスト $Cost_{road} = 2,000$ 円/m(宮田ら¹⁰⁾)、1 日あたり従業者賃金 $Cost_{people} = 13,380$ 円/日(厚生労働省 2004)、立木材積あたり木材搬出コスト $Cost_{move} = 2,000$ 円/m³(三重県森林組合)として算出した。

表-2 櫛田川流域圏での

1 年あたりの公益的機能評価額と林業収益

外部経済(公益的機能)		評価額
二酸化炭素吸収機能		29.3 億円
化石燃料代替機能		3.8 億円
表面浸食防止機能		598.1 億円
表層崩壊防止機能		242.8 億円
洪水緩和機能		171.7 億円
水資源貯留機能		233.9 億円
水質浄化機能		393.0 億円
評価額計		1,668.8 億円
内部経済(林業収益)		評価額
森林収益		28.6 億円

表-3 櫛田川流域圏での

1 年あたりの森林維持管理コスト

維持管理費		コスト額
人件費		42.5 億円
作業用道路建設コスト		9.0 億円
木材搬出コスト		6.7 億円
pifCOST 総計		58.2 億円
事業費		コスト額
営業費		-

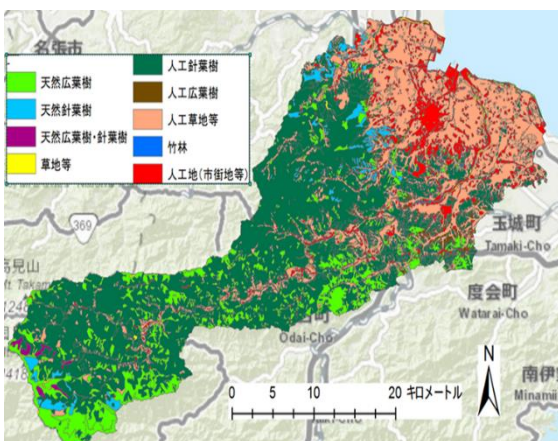


図-3 櫛田川流域圏の植生分布

また林分密度管理図にもとづき毎年発生しない木材搬出コスト、森林のライフサイクルで一括して発生する作業用道路建設コストは定額法にもとづいて1年あたりに換算した。

(3) NoF・PLR値の算出

(2)節での分析を踏まえて、NoF, PLR 値を算出する。流域圏単位で算出したNoF, PLR 値を表-4に示す。また地域ごとに100mメッシュ(1ha単位)で図示したものを図-4, 図-5に示す。

表-4 榎田川流域圏での平均 NoF 値・PLR 値のまとめ

NoF	
流域圏単位での NoF 値	28.70
人工林 100m メッシュの平均 NoF 値	18.12
NoF ≥ 100 のメッシュ数	1385 (2.8%)
PLR	
流域圏単位での PLR 値	0.49
人工林 100m メッシュの平均 PLR 値	0.48
PLR ≥ 1 のメッシュ数	0

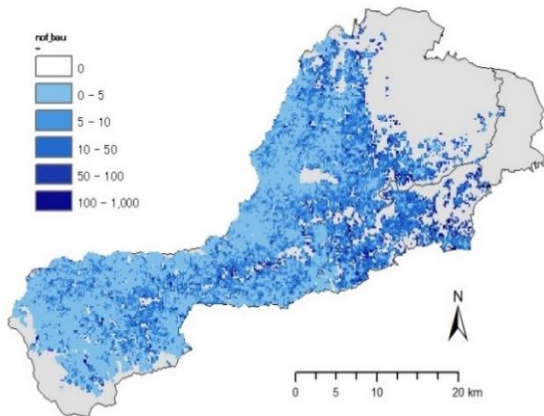


図-4 現状の対象地域での NoF 値分布

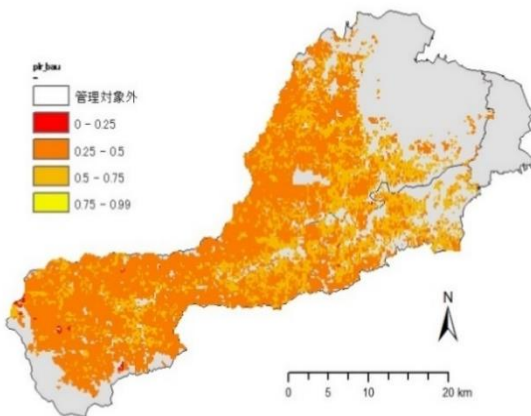


図-5 現状の対象地域での PLR 値分布

NoF 値は、全体的に均一した分布となった。中でも多気町地域周辺では比較的 NoF 値が高い地域が多く、効率的に公益的機能を提供していると言える。一方の PLR 値は流域圏全てにおいて、本研究で持続可能としている PLR 値が1を超える地域はなく、全体的に0.5 以下にとどまった。この結果を踏まえると、現状では森林の維持管理コストに対して収益を上回る部分について、補助金による助成がなされているか、もしくは十分に維持管理されていないものと考えられる。

5. 各施策のシナリオ分析

(1) 分析の概要

榎田川流域圏の森林の公益的機能・維持管理費と NoF・PLR 値の現状を踏まえ、これらの値を改善するような森林管理に関する施策を作成しシナリオ分析を行う。検討する6つの施策を表-5に整理する。

なお榎田川流域圏内の林業従事者は218人(2015年国勢調査)として、従業者1人あたりの収支を算出した。対象地域の人工林地帯の総メッシュ数は47,872(478.72km²)である。現状の榎田川流域圏の分析結果をまとめたものを表-6に示す。以後本章で分析を行った結果、森林ストックの活用によって新たに得られた収益は森林収益(B)、その収益のために支出された経費は林業関係支出(D)に計上されることとする。

(2) 施策分析による持続可能な地域の検討

施策分析の結果をもとに、榎田川流域圏の森林の持続可能性について検討する。各施策の森林収益・維持管理コスト・事業費と流域圏単位での PLR 値を森林マネジメントの視点から比較した図を図-6に示す。検討を行った施策のうち、流域圏単位で PLR ≥ 1 を満たした施策は施策4と施策6であった。これらの施策は森林による収益を拡大させる点で一致している。成すためには、人工林の樹種を高価で取引されるヒノキなどへ転換する。

表-5 検討する施策

	施策名	施策内容
施策1	バイオマス発電活用策	間伐材を発電で活用
施策2	索道導入策	索道を導入し架線集材に転換
施策3	人工林のコンパクト化策	効率の悪い人工林から撤退
施策4	林業の6次産業化策	木材の売価を増加
施策5	グリーンインフラ促進策	公益的機能に対する対価を検討
施策6	複合施策	施策1~5全て

表-6 現状の櫛田川流域圏での分析結果

公益的機能(外部経済)		森林マネジメント	
評価額計 (A)	1,668.8 億円	流域圏単位森林収支 (B-(C+D))	▲29.6 億円
林業収益(内部経済)		従事者 1 人当たり森林収支	▲1358 万円
森林収益 (B)	28.6 億円	NoF	
維持管理費		流域圏単位での NoF 値 (A/C)	28.70
人件費	42.5 億円	人工林 100m メッシュの平均 NoF 値	18.12
作業用道路建設コスト	9.0 億円	NoF ≥ 100 のメッシュ数	1385 (2.8%)
木材搬出コスト	6.7 億円	PLR	
pijCOST 総計 (C)	58.2 億円	流域圏単位での PLR 値 (B/C+D)	0.49
事業費		人工林 100m メッシュの平均 PLR 値	0.48
林業関係支出 (D)	-	PLR ≥ 1 のメッシュ数	0

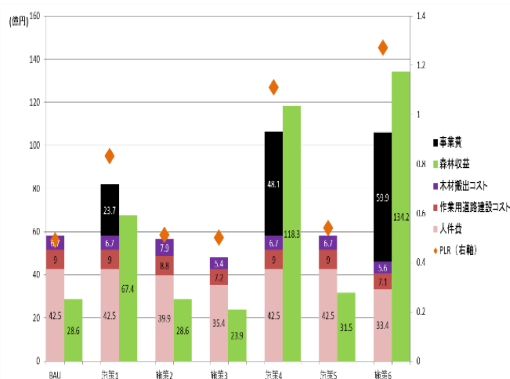


図-7 森林マネジメントの視点から分析した施策の比較

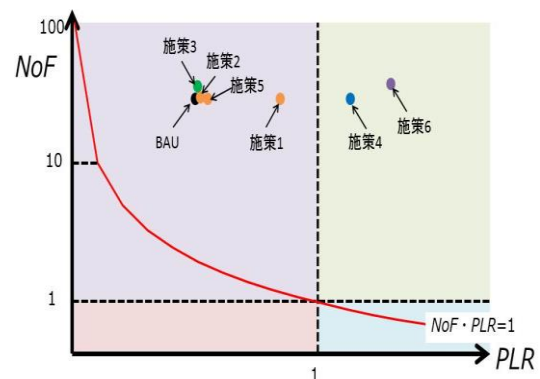


図-8 施策実施による持続可能性の検討

このことから、森林を活かした持続可能な地域を形もしくは地域内で付加価値をつけ価格を高めるなど、森林から得られる収益を拡大していくことが有効であると考えられる。

施策 2 については、現状から若干の改善にとどまったが、これは急傾斜の人工林のみに索道による架線集材を導入するという限定された施策であったため、効果も限定的になったと考えられる。

施策 3 については、旧飯高町の効率の悪い地域から管理を撤退することで、維持管理コストの低下が見られ NoF 値は上昇したが PLR 値はあまり変化しなかった。このことから、林業経営の視点で効率の悪い地域からの撤退は必ずしも損益の改善にはつながらないことが示された。

施策 5 については、現状とほとんど変わらない結果となったが、税収の拡大や交付方法を検討することで大きな効果をもたらすと考えられる。

以上より、櫛田川流域圏においては地域内に存在する森林ストックの価値を高める、また有効活用することで、持続可能性を高められると考えられる。(図-7)

6. 結論

本研究では、中山間地域を中心に存在する森林の公益的機能を植生による違いを考慮した上で同時に中山間地域が都市域に与える効果の 1 つとして、評価し、これを維持するために必要な維持管理コストを算出する方法を整備した。さらに、地域の森林の効率性を表す NoF 指標と PLR 指標を設定し、森林を活用しつつ、持続的に維持・管理していくための森林マネジメントを評価するフレームを構築した。そして櫛田川流域圏にこのフレームを適用し、現状の評価を行い、その評価結果を踏まえて対象流域にへの施策導入による中山間地域の持続可能性の検討を行った。

本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- ✓ 森林の公益的機能 (PIF) を評価する際に植生の違いを考慮したところ、櫛田川流域圏では考慮しなかった場合に比べ評価額が 10%程度高くなった。
- ✓ 櫛田川流域圏の PLR 値は、櫛田川沿いが比較

- 的高い一方、川から離れた奥地になるほど低い値を示した。
- ✓ 森林から生み出される木材や間伐材などのストックを活用し、収益を上げることで持続可能な地域形成に寄与することができる。一方で森林の効率の悪い地域からの撤退は維持管理コストの削減にはつながるが、大きな損益改善にはつながらない。
 - ✓ 櫛田川流域圏では、地域内に存在する森林ストックの価値を高める、また有効活用することで持続可能な地域への転換が可能となる。

謝辞：本研究は、文部科学省 地球環境情報統融合プログラム (DIAS-P) の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) 宮田将門, 戸上昭司, 加藤博和, 川瀬康博, 林良嗣. : ストック・フロー構造の把握による中山間地域の持続可能性検討フレーム. 土木計画学研究・論文集, 27(2), pp265-272, 2010
- 2) 鈴木康夫: 中山間地域における環境保全型農業の展開と持続可能性: 阿蘇南外輪地域および九州山地を例として. 経済地理学年報, 43(4), pp276-292, 1997
- 3) 松本光朗: 日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量. 森林科学, 33, pp30-36, 2001
- 4) 北原曜: 植生の表面侵食防止機能. 砂防学会誌, 54(5), pp 92-101, 2002
- 5) 北原曜: 森林根系の崩壊防止機能. 水利科学, 53(6), pp11-37, 2010
- 6) 村井宏: 広葉樹林地, 針葉樹林地および草生地の水文特性の比較. 水利科学, 37(2), p1-40, 1993
- 7) 只木良也, 中川有里, 池上博身: 小里山地域における植生の環境保全機能の相対的評価とその水平的分布標示の試み. 環境科学会誌, 15(5), pp 341-348, 2002
- 8) 宮田将門, 亀谷国大, 加藤博和, 川瀬康博, 林良嗣. : 中山間地域の人工林維持・管理の社会的必要性を評価する指標の提案. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 67(5), 67_I, pp389-398, 2011
- 9) 安藤貴: 同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林業試験場研究報告, 210, pp 1-153, 1968
- 10) 宮田将門, 加藤博和, 林良嗣, 川合記寿: 中山間地域における集落再編検討のための QOL 指標・インフラ維持費用の評価手法. 土木計画学研究・講演集, 44, pp42, 2011

(2018.7.31 受付)

FORMATION OF SUSTAINABLE HILLY AND MOUNTAINOUS AREA APPLYING THE PUBLIC INTEREST OF FORESTS

Takafumi SHIMIZU, Hirokazu KATO, Michihiro YAMAMOTO

This study aims to construct a framework for evaluating forest management from both social responsibility and profit-and-loss for sustainable hilly and mountainous area with applying the public interest of forests. This framework is applied to Kushidagawa-river bioregion to evaluate the public interest of forests with taking consideration the ability of covering vegetation, the cost to maintain the public interest, and NoF and PLR defined in the framework. The results of scenario analysis shows that retreating from inefficient area could not improve forest management, but increasing and utilizing the value of forest stock is necessary to formulate sustainable hilly and mountainous area.