

森林生態系サービスの持続的利用のための サービス機能および集落持続性指標の分析

国分 進吾¹・松井 孝典²・町村 尚³

¹非会員 大阪大学大学院生 大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail : shingo.kuniwake@ge.see.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 大阪大学助教 大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻

E-mail : matsui@ see.eng.osaka-u.ac.jp

³非会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻

E-mail : mach@ see.eng.osaka-u.ac.jp

中山間地域において問題となっている集落の持続性には、社会的要因だけではなく周辺の森林の様々なサービスを生み出す機能（森林サービス機能）も重要な要因であり、また逆に集落が持続することで維持される森林サービス機能もあり、双方向の自然共生システムを築く必要がある。本研究は奈良県十津川村を対象地域とし、森林生態系サービスの需給構造を分析し、森林サービス機能と集落の持続性の関係を考察した。森林簿の森林機能の区分より集落別に森林サービス機能を得点化してこれをサービス供給の指標とし、集落人口及び国道から集落までの距離という生態系サービスの需要の代理指標とのギャップを分析した。またクラスター分析を用いて需給ギャップによって集落を類型化し、集落人口および役場から集落までの距離という集落持続性指標の特徴を抽出した。これより、森林による生態系サービスの供給と人間社会による需要のバランスと集落の持続性を同時に考慮して森林生態系サービスの持続的利用を計画するための枠組みを示した。

Key Words : forest ecosystem services, settlement longevity, gap analysis, Totsukawa village

1. はじめに

森林は日本の国土面積の 68%¹⁾を占める主要な土地利用であり、炭素吸収や水源涵養、木材生産など人間の生存基盤となる多様な公益機能²⁾、すなわち生態系機能を有している。我が国の森林・林業基本計画³⁾では、森林の重視すべき公益機能として、木材等生産、水源涵養、山地災害防止、生活環境保全、保健文化機能を挙げている。また個々の森林の立地環境によって発揮すべき公益機能は異なり、それに応じて適切に森林構造や管理手法を選択し、生態系機能の維持をする必要がある。

近年、森林生態系が多く位置する中山間地域において、都市、平野部と比較して人口減少率および高齢化率が高まり⁴⁾、このことによって集落の持続性、すなわちコミュニティとして資源管理や生産補完、生活扶助といった集落機能の維持が困難になっている⁵⁾。中山間地域では人口や利便性などの社会的要因だけではなく、周辺の森林機能から得られる生態系サービスも集落持続性の要件であり、また逆に集落が持続することで維持される森林

機能もあると考えられる。このように森林と集落は双方向の持続可能な自然共生システムを築く必要がある(図-1)。森林生態系がこのような生態系サービスを供給するための森林機能（以下、森林サービス機能）と集落持続性の関係を表-1 に整理した。

このような背景から、本研究では、中山間地域の一例として奈良県南部の十津川村(図-2)を対象地域に、森林サービス機能と集落の社会的要因の特性の双方を考慮して生態系サービスの需給構造を分析するとともに、その生態系サービスが集落の持続性とどのように関係しているかを考察することを目的とする。

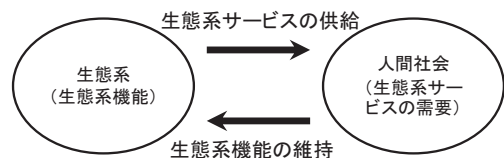


図-1 生態系サービスの需給構造の概念図

表-1 森林サービス機能の需要、管理形態と集落の持続性の関係の整理

	①木材等生産機能	②水源涵養機能	③山地災害防止機能	④生活環境保全機能	⑤保健文化機能
機能の需要者	全国	流域	集落、流域	集落	集落、来訪者
機能の管理主体	山主	流域の自治体 ^⑨	自治体	集落、自治体	集落、自治体
管理のための施業	造林、育林、伐採	除伐 間伐 ^⑦	除伐 間伐 ^⑦	造林 育林	景観整備 ^⑧ 観光業
集落が持続することで機能が得られるか	—	—	△	○	△
機能が得られることで集落が持続するか	—	△	○	○	△

※ ○…該当する、△…該当する場合もある、—…該当しない

2. 方法

十津川村は土地利用の約96%^⑨が森林であり、人口は1960年の15,588人をピークに減少の一途をたどり^⑩、現在では3,773人(2013年4月1日時点)^⑪となっている。その点で、本研究が行う森林生態系サービスと集落の持続性について分析する対象としては適していると考えられる。分析では、まず集落単位で森林サービス機能に得点を与え、それらの機能をサービスとして需要する社会的要因に関わる指標を算出し、これらの間にあるギャップを評価した。以下に手続きの詳細を示す。

(1) 対象地域

対象地域は奈良県十津川村の全域の集落単位とした。十津川村は面積が672.35 km^⑨と日本で最も広大な村であり54の集落から構成されている。古くから木材の産地として知られてきた。また熊野川などの水系の上流に位置しており、急峻な土地となっている。道路交通網は、国道が東西、南北をそれぞれ縦断、横断するように1本ずつ通っている。近年では2011年に台風12号による大規模な水害が発生し、約30箇所で深層崩壊が発生する被害が発生した^⑫。また過去には1889年に明治の大水害と呼ばれる水害により約2,600人が北海道に移住した^⑬山地災害リスクが高い地域でもある特徴を持つ。

(2) 森林サービス機能の得点化

各集落が有する森林サービス機能を得点化するための1次データとして、小班もしくは枝番単位で森林に関する基礎情報を整備した資料である森林簿^⑭を用いた。十津川村には1,320の林班があり、それらは更に細かく53,523の小班・枝番に分類される。森林簿には森林サービス機能として、①木材、特用林産物、葉草、動物、林間作物や昆虫などを提供するための「木材等生産機能」、②渇水、洪水緩和や河川流量維持のための「水源涵養機能」、③土砂の崩壊や流出抑制のための「山地災害防止機能」、④強風、飛砂、塵埃、騒音などの

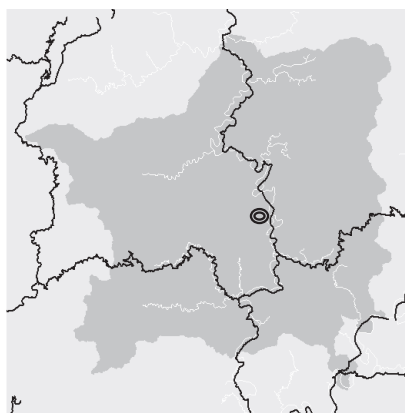


図-2 十津川村の領域および主な河道（白線）、国道（黒線）、役場（◎）。国土数値情報より作成^⑨。

防止のための「生活環境保全機能」、⑤人間の健康維持増進、文化保全のための「保健文化機能」の5種類が森林サービス機能として評価されている。このうち本研究では集落や来訪者が現地で直接的に利用する生態系サービスを供給する森林サービス機能として「山地災害防止機能」、「生活環境保全機能」、「保健文化機能」の3機能を採択した。森林簿ではそれぞれの森林サービス機能は小班もしくは枝番レベルで「1(高)」、「2(中)」、「3(低)」の3段階で評価されており、本研究では市町村レベルで機能を得点化した野田^⑮と同様に、小班もしくは枝番レベルの3段階の評価値を(1)式に基づいて面積加重平均して集落単位で得点化した。

$$S_i = \frac{\sum_j \frac{\sum_k (s_{ijk} \times a_{ijk})}{A_{ij}}}{\sum_j A_{ij}} \quad (1)$$

このとき S_i は集落 i の得点、 A_{ij} は集落 i の林班 j 、 s_{ijk} は集落 i 、林班 j に含まれる小班または枝番 k の森林サービス機能の得点、 a_{ijk} は集落 i 、林班 j に含まれる小班または枝番 k の面積を示す。なお、集落の境界は農林業セ

ンサス¹⁶⁾，地理情報システムはESRI社のArcGIS ver. 10.1を用いた。

(3) 生態系サービスの需要の代理指標の設計

生態系サービスの需要の代理指標としては「集落人口[人]」と「国道から集落までの距離[km]」を選定した。「集落人口」は周辺住民を中心にサービスが利用されると考えられる山地災害防止機能および生活環境保全機能に関係し、「国道から集落までの距離」は来訪者がサービスを利用するにはその森林までアクセスする必要がある保健文化機能と関係すると判断したためである。なお、集落人口は2010年の国勢調査¹⁰⁾，国道から集落までの距離はGoogle社のGoogle Mapsのルート検索機能を用いて算出した。

(4) 森林生態系サービスの需給構造のギャップ分析およびクラスタリング

野生生物保全の分野では，人間が設定した保護地域と実際の生物の分布に隔たりがないか見定めるためにギャップ分析が応用されている¹⁷⁾。本研究では，集落単位で森林サービス機能と集落の生態系サービスの需要に関連する指標との間にあるギャップ，すなわち生態系サービスの需給構造を分析した。まず集落ごとに森林サービス機能の得点および生態系サービスの需要の代理指標について1から54まで昇順にランク付けした。次に，生態系サービスの需要の代理指標のランクから森林サービス機能のランクを引いた値をギャップとして定義し，森林サービス機能別に算出した。ギャップの値が+であれば森林生態系サービスの供給が超過，-であれば需要が超過している可能性があることを示唆している。なお，森林サービス機能の得点や生態系サービスの需要の代理指標をランクにした理由は指標間で比較可能とするためのスケールリングである。

その後，ここで算出された「山地災害防止機能－集落人口のギャップ」，「生活環境保全機能－集落人口のギャップ」，「保健文化機能－国道から集落までの距離」の3つのギャップを特徴ベクトルとして，最遠隣法による階層クラスタ分析を行い，森林生態系サービスの需

給構造の特性によって集落を類型化した。なお，統計解析ソフトウェアにはR ver. 3.01を用いた。

(5) 森林生態系サービスの需給構造の特性と集落持続性指標の比較

生態系機能は需要，利用されて初めて生態系サービスとなる。表-1にもあるように，森林サービス機能の中には生活保全機能など，機能の持続が集落の持続と相互に関係するものもある。従って森林生態系サービスを持続的に利用するためには同時に集落も持続する必要があるため，生態系サービスの需給構造に加えて集落の持続性を考慮するべきである。

よってここでは生態系サービスの需給構造の特徴と集落の持続性を比較するために，上記のクラスタリングで示された需給構造の特性ごとに，集落の持続性の特性を比較した。このとき，集落の持続を表現する集落持続性指標はいくつか考えられるが，本研究では「集落人口」と「村役場からの集落までの距離」を用いた。藤山⁴⁾によると中山間地域の人口減少要因には「高齢化率」，「幹線道路からの到達距離」や「市町村役場からの到達時間」といった人口動態やアクセス性に関する因子が挙げられており，ここで選択した2指標も適当であると考えた。

3. 結果と考察

(1) 森林サービス機能の集落別得点と空間分布

3つの機能の集落別得点を図-3に示す。この数値は1に近いほどその森林サービス機能が高く，3に近いほどその森林サービス機能が低いことを意味する。十津川村全体では，山地災害防止機能は1.6(S.D. 0.25)，生活環境保全機能は2.8(S.D. 0.24)，保健文化機能は2.7(S.D. 0.35)となり，山地災害防止機能が最も充実していることが示された。特にこれら山地災害防止機能は，得点の高い集落が山地災害リスクの高い河道沿いに分布する傾向が見られた。生活環境保全機能については，人口が多い役場

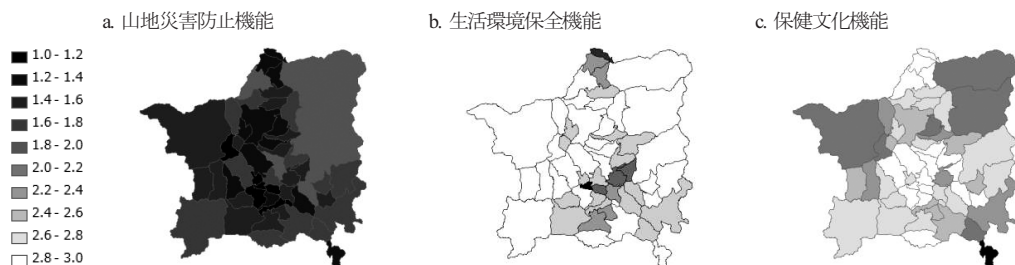


図-3 森林サービス機能別の集落内平均点 (高 1 ← 2 → 3 低)

付近の村の中心部に高得点の集落が分布していた。保健文化機能の得点が高い集落は、南東部の瀬峡や北西部の森林公園などレクリエーション機能を有する施設がある地域に分布する傾向がみられた。

(2) 森林の生態系機能の需給構造のギャップ分析およびクラスター分析の結果

図-4に 森林サービス機能別にギャップの値のヒストグラムを示す。3つの機能のヒストグラムの平均値(尖度)はそれぞれ-0.17(-0.55), -0.17(-0.10), -2.61(-0.49)となり、生活環境保全機能が最も小さいことが分かった。逆に保健文化機能は最もギャップが大きく、ギャップが-, すなわち生態系サービスが需要超過していることが分かった。

次に生態系サービスの需給のインバランスの空間分布について、ギャップの値が+20以上および-20以下の集落のみ抽出した結果を図-5に示す。山地災害防止機能および生活環境保全機能はほぼ同様の傾向を示し、村の東部の境界となっている尾根に近く比較的標高の高い東部の地域で需要超過がみられ、村中央の西部の刈又山、丸尾山、天上山の周辺部の山岳地帯周辺で集落人口が少ないため供給超過の傾向を示した。保健文化機能は、野猿や上湯温泉が存在する国道沿いであるためアクセス性は高く来訪者も多いにもかかわらず、森林自体の保健文化機能の得点が高い傾向があるため需要超過、村の中心から離れた辺縁部に位置した玉置神社や釈迦ヶ岳、護摩壇山森林公園などが分布している地域であり、観光資源は豊富にあるが、アクセス性が低いいため供給超過となった。

(3) 森林生態系サービスの需給構造の特性と集落持続性指標の関係の考察

生態系サービスの需給構造の類型を表す各クラスターについて、3つのギャップを特徴ベクトルと集落持続性指標のクラスター内の平均値を表-2、空間分布を図-6に示す。クラスター分析では4つのクラスターが抽出された。以下にクラスターごとの特性の詳細を示す。

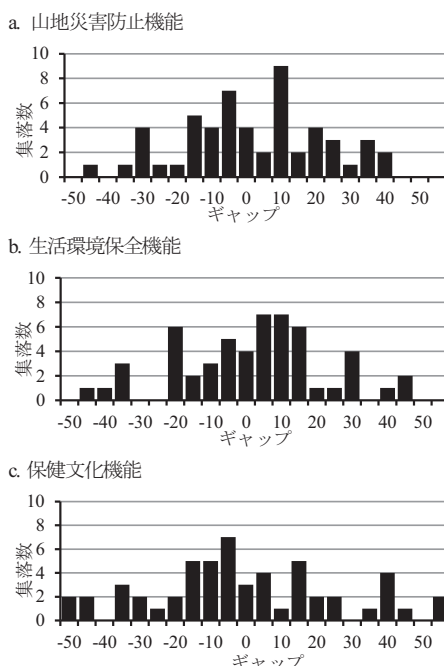


図-4 森林サービス機能別のギャップのヒストグラム

河川沿いに分布するクラスターⅠは山地災害防止機能、生活環境保全機能で大きな供給超過があるが、保健文化機能については需要超過している。それと対照に、クラスターⅣは山地災害防止機能が需要超過、保健文化機能は供給超過であり、集落持続性指標は特に集落人口が少ないため低い傾向があった。共に集落人口も少なく、村の中心部からも遠いという集落持続性指標が低い特性を持っていた。クラスターⅠの場合は自然災害リスクが低く安全であり、来訪者や行政サービスへのアクセスが低いいため、集落機能の低下が起こりやすく集落の持続性に影響があると考えられる。一方で、十津川村の辺縁部に位置するクラスターⅣの場合は、観光資源が充実しており来訪者との交流によって活気がある反面、災害に脆弱であるため、被災時にはそれらの保健文化機能が損

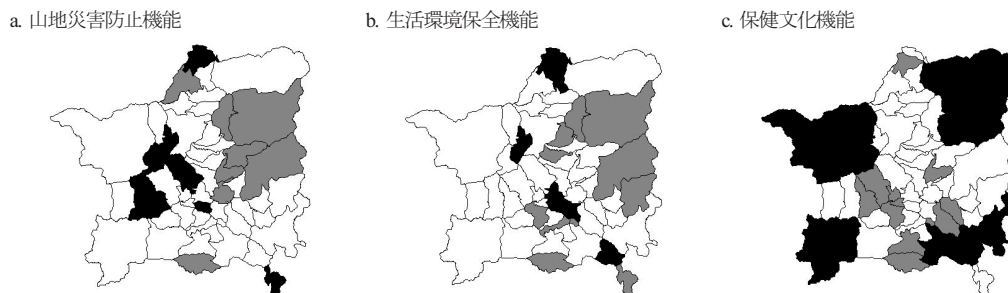


図-5 森林生態系サービスの需給のインバランスが大きい集落の空間分布 (黒=供給超過:ギャップが+20以上、灰色=需要超過:ギャップが-20以下)

表-2 森林生態系サービスの需給構造の特性によるクラスターごとの森林サービス機能および集落持続性指標の平均値

	集落数	山地災害防止機能	生活環境保全機能	保健文化機能	集落人口[人]	役場からの距離[km]
I	5	22.4	25.8	-27.2	46.6	20.7
II	14	0.3	7.6	-2.1	131.0	13.1
III	9	13.9	-18.8	-7.0	83.9	18.7
IV	26	-9.6	-2.9	3.4	49.4	18.6

備考：黒色のセルはクラスター間で最大、灰色のセルはクラスター間で最小となった値を示す。

なわれる、あるいは復興支援時などの行政サービスのアクセスに難があるため、クラスター I 同様に集落の持続性に影響があると考えられる。

そして、国道沿いに位置するクラスター II は生態系サービスの面では需給がバランスしている。この地域は十津川村の中心となる地区であり、森林サービス機能も集落人口も多く、集落も生態系サービス利用も持続性が高いと考えられる。また河川沿いの山岳地帯にあるクラスター III は集落人口が多いにも関わらず、アメニティ機能が低い森林に囲まれており、森林生態系サービスの過剰利用によって、森林サービス機能が劣化することが懸念されることが考えられる。

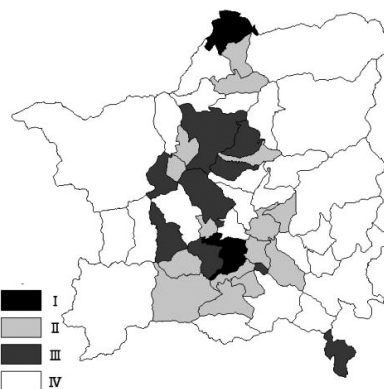


図-6 生態系サービスの需給構造の特性によるクラスターの空間分布

4. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本研究では、中山間地域が森林生態系と持続可能な自然共生システムを築くべく、奈良県十津川村において、森林サービス機能と集落の生態系サービスへの需要を比較することで森林生態系サービスの需給構造を分析し、それらがどのように集落の持続性と関係しているかを考察した。これより、森林による生態系サービスの供給と人間社会による需要のバランスと集落の持続性を同時に考慮して森林生態系サービスの持続的利用を計画するための枠組みを示した。そして本研究で示した枠組みは、十津川村に限らず森林簿や国勢調査などのデータが全国で整備されているため、他地域での応用は十分可能であると考えられる。

(2) 今後の課題

分析的課題としては、例えば林齢や樹種などの属性情報を元に得点化方法を提案した先例¹⁹⁾などもあるように、生態系機能の得点化を主観的な評価によらず物量をベースとした方法に改良する必要がある。これによって生態系サービスの需給バランスの評価がより客観的になり、実際の森林管理計画に適用可能な知識にすることができる。

また本研究では、村役場から集落までの距離という静

的な指標で集落の持続性を表現したが、高齢化率や人口減少率などの中山間地域の集落の持続可能性にとって重要な動的な指標を採用することで、森林サービス機能と生態系サービスへの需要ギャップや集落の持続性の変化が時系列的に評価できるようになる。

そして、特に山地災害防止機能の需要に関わる指標として集落人口を代理指標として用いたが、表-1 で記したように山地災害防止機能は森林の近傍の集落だけでなく下流域の住民も必要すると考えられるため、流域全体を考慮した指標を用いる。これは水源涵養機能や木材等生産機能も同様であり、都市農村連携を視野に入れた分析の枠組みの開発を進める必要がある。

謝辞：本研究は大阪大学環境イノベーションデザインセンターの方々のご支援を受けて実施している。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 農林水産省：森林・林業白書 参考資料 2011, <<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/22hakusho/zenbun.html>>, 2013 年 8 月参照。
- 2) 林野庁：森林の有する多面的機能について, <<http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tamenteki/>>, 2013 年 8 月参照。
- 3) 林野庁：森林・林業基本計画, <<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/>>, 2013 年 8 月参照。

- 4) 藤山浩：島根県中山間地域における人口減少の GIS 分析, 農村計画学会誌, 25, pp.431-436, 2006.
- 5) 総務省自治行政局過疎対策室：集落関係資料, <http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/c-gyousei/2001/kaso/pdf/kasokon19_05_02_s3.pdf>, 2013 年 8 月参照.
- 6) 遠藤愛子ら：森川海の一体的管理に関する調査研究, 日本海水学会誌, 65, pp. 210-222, 2011.
- 7) 只木良也：都市施設としての里山ーその森林管理, PR EC study report, 12, 28-33, 2006.
- 8) 国土交通省：国土数値情報, <<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>>, 2013 年 8 月参照.
- 9) 総務省統計局：統計でみる市区町村のすがた 2012, <<http://www.stat.go.jp/data/ssds/5b.htm>>, 2013 年 8 月参照.
- 10) 総務省：国政調査 時系列データ 2010, <<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>>, 2013 年 8 月参照.
- 11) 奈良県統計課：市町村別推計人口表 2013, <<http://www.pref.nara.jp/6265.htm>>, 2013 年 8 月参照.
- 12) 奈良県土木部：紀伊半島大水害 大規模土砂災害アーカイブとして調査・整理中のデータ (案), <<http://shinsouhoukai.sakura.ne.jp/data/shinsouhoukai.pdf>>, 2013 年 8 月参照.
- 13) 奈良県土木部：明治十津川大水害と平成 23 年台風 12 号による土砂災害について, <<http://www.jsce.or.jp/event/conf/abstract/2012pdf/R1-06.pdf>>, 2013 年 8 月参照.
- 14) 奈良県：森林簿.
- 15) 野田巖：森林の機能からみた地域特性の類型化, 日本林学会九州支部研究論文集, 51, pp. 17-18, 1998.
- 16) 農林水産省：農林業センサス 2010, <<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/>>, 2013 年 8 月参照.
- 17) 吉田剛司, 田中和博：生態系管理のための GIS, 日本林学会会報, 24, pp.52-55, 1998.
- 18) 吉田剛司, 田中和博：生態系管理のための GIS, 日本林学会会報, 24, pp.52-55, 1998.
- 19) 鄭躍軍, 南雲秀次郎：GISを利用した森林機能による類型区分, 日本林学会誌, 76, pp. 522-530, 2008.

(2013. 07. 19 受付)

AN ANALYSIS OF FOREST FUNCTION AND SETTLEMENT SUSTAINABILITY INDEX FOR SUSTAINABLE USE OF FOREST ECOSYSTEM SERVICE

Shingo KUNIWAKE, Takanori MATSUI and Takashi MACHIMURA

Ecosystem services support sustainability of semimountainous area and social factors semimountainous area affect sustainable use of ecosystems services on the other hand. So we have to design considering both factors at the same time for establishing natural symbiotic system. In this study, we selected *Totsukawa village* as a case study area and conducted a demand supply balance analysis of forest ecosystem services and discussed relationships between forest ecosystem service provisioning functions and social sustainability in semimountainous area. In analyzing process, first we evaluated the gaps between supply and demand of forest ecosystems services by scoring forest ecosystem service provisioning functions and ecosystem services demand in settlement scale based on forest registration, geographic information and population census dataset. Secondly we clustered all settlements into four groups depending on the characteristics of forest ecosystem service provisioning functions. Thirdly we compared the characteristics of forest ecosystem service provisioning functions with social indexes of semimountainous area and evaluated the feature of sustainability of each group.