地域に応じた森林管理に向けた 多面的機能の総合評価手法の開発

一森林管理の将来像を描くために



国立研究開発法人 森林研究·整備機構 森 林 総 合 研 究 所 Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所 第4期中長期計画成果番号33 (持続的林業-6)

はじめに

日本の人工林は戦後盛んに造成されましたが、現在その半数が一般的な主伐期とされる50年を超え、本格的な利用期を迎えています。実際に、国内の森林資源はかつてないほど充実していると言われ、人工林が各地で盛んに伐採されるようになりました。そして、木材供給量・自給率の向上や林業の成長産業化が期待されています。その一方で、森林は木材生産以外にも生物多様性の保全や炭素貯留、水土保全といった様々な機能を有しています。森林の伐採により国産材を安定供給しながら、森林の多面的機能をいかに持続的に発揮、増進するかが重要な課題となっています。しかし、森林管理が多面的機能に及ぼす影響については、個別の機能を対象に報告されているだけで、それらを俯瞰的に評価した事例はほとんどありません。

そこで森林総合研究所では、交付金プロジェクト「森林の多面的機能の高度発揮に向けた森林管理技術の開発」を4年間(平成28年度~令和元年度)実施し、森林の多面的機能の総合的な評価手法を確立することを目指しました。プロジェクトではまず、森林が有する10種類の多面的機能を広域的(数km~10km四方)に評価するモデルを作成しました(表1)。

表1. 本プロジェクトでモデルを開発した10種類の多面的機能

機能ごとに、1~2個の指標を選定しました。例えば生物多様性保全機能では、老齢林指数と幼齢林指数という二つの異なる指標で生物多様性を評価し、それぞれ異なるモデルを開発しました。機能によって使用したモデルのタイプは異なりますが、いずれもその指標を環境因子から予測するモデルを開発しました。モデルや指標の詳細は各機能の章で説明しています。*ワラビは草地や伐採地、コウタケは落葉広葉樹林で見られる山菜ときのこです。

機能	指標	モデル
生物多様性保全機能	老齢林指数 幼齢林指数	構造発達モデル 回帰分析
花粉媒介機能	ハナバチ個体数	回帰分析
炭素貯留機能	地下・地上炭素蓄積量	回帰分析
水源涵養機能	下流で利用できる水資源量	水収支モデル
表土保持機能	表土流出量	RUSLEモデル
水質浄化機能	渓流水の硝酸態窒素濃度	炭素収支モデル
土砂崩壊抑制機能	山腹崩壊危険度ランク	山腹崩壊危険度点数表
木材生産機能	林業経営有利度指数	独自スコア
保健休養・アメニティ機能	レクリエーション指数	階層評価法
天然特用林産物生産機能	ワラビ*の採取地適性 コウタケ*の採取地適性	階層評価法

モデルは林相(天然林あるいは人工林の区別)や林齢、地形や気候、道路からの距離といった、広域での入手・整備が可能な環境因子をもとに組み立てました。こうすることで、以降の章で示されているように、市町村全域といった広域的な範囲で森林の多面的機能を地図化できるようにしました。また、林相や林齢の効果をモデルに組み込んでいるため、人工林化や伐採といった森林の管理が多面的機能に及ぼす影響を予測することもできます。各機能の章では、機能の意義、用いた指標、モデルの構造、林相や林齢などの環境因子との関係を説明しています。なお、生物多様性保全機能、炭素貯留機能、表土保持機能のモデルを構築するにあたっては、林野庁調査事業の森林生態系多様性基礎調査のデータを用いました。

次に本プロジェクトでは、茨城県北部におおよそ7km四方の共通対象地を設定し、そこで林相や林齢、気候や地形といった地理情報を20m解像度で整備しました(なお、本地域ではシカはほとんど分布していません)。そしてこれらの地理情報を、開発した一連のモデルに適用することで、各機能の評価値を地図化しました(図1)。

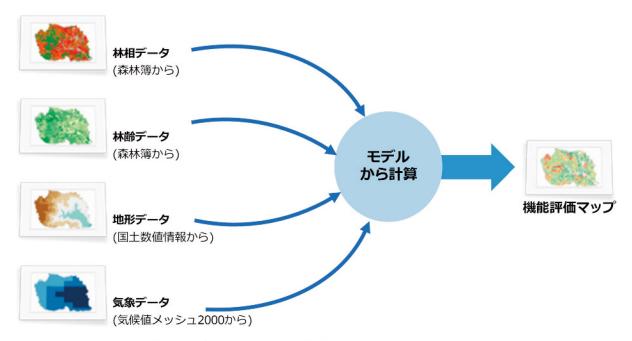


図1. モデルによる広域的な評価のイメージ 様々な地理情報をモデルに入力し、機能評価マップを出力します。

森林の多面的機能を共通の地理情報に基づいて地図化することにより、森林の管理が多面的機能に及ぼす影響を比較することができます。これから、例えば森林の伐採により減る機能と増える機能といった、互いに相反する機能間の関係(トレードオフ)や、互いに似通った反応を示す機能間の関係(シナジー)を明らかにしました。また、各機能の現在の評価値だけではなく、空中写真等から過去の林相、林齢のデータを整備し、戦後から現在にかけての森林の変遷を地図化しました。さらに、森林をどこでどれだけ伐採するのかといった管理の仕方が異なる複数の森林管理シナリオを設定し、将来の森林とその多面的機能を予測しました。このように本プロジェクトでは、モデルの開発と相互比較や、過去・現在・未来の時空間的な解析から、広域的な森林管理と森林の多面的機能の関係を定量的に示し、地域の森林計画の策定への貢献を目指しました。

本パンフレットではまず、1~10章で各機能の意義と、作成したモデルについて説明します。そして、 共通対象地における2012年時点の各機能の評価結果を見ていきます。その後、11章でモデルを相互に 比較し、機能間の関係を調べます。そして12章で、戦後から現在までの3時期における機能の変遷を地 図化し、これまでの森林管理が多面的機能にどのように影響してきたかを示します。最後に13章で、こ れからの森林管理について複数のシナリオを設定し、シミュレーションを用いて将来(2062年)の機 能を予測します。

今回開発したモデルは、今のところ共通対象地には適用可能ですが、他地域で利用するためにはモデルを改良する必要があります。また、広域的な予測を行うことを目的としてモデルを組み立てたため、森林の機能を特定の場所で正確に予測するには適しておらず、モデルの精度を向上させることは今後の大きな課題です。このように、本プロジェクトの成果を実際の森林管理に利用するには、まだいくつかの課題があります。しかし、森林におおわれたわが国では、森林の多面的機能を持続的に発揮させることは、国民生活の安定や経済の発展にとって重要な役割を担っています。研究途上ではありますが、この冊子にとりまとめた成果が地域の森林管理のお役に立てれば幸いです。

目次

はじ	めに		 i
1章	生物多様性保全機能		 1
2章	花粉媒介機能		 3
3章	炭素貯留機能		 5
4章	水源涵養機能		 7
5章	表土保持機能		 9
6章	水質浄化機能		 11
7章	土砂崩壊抑制機能		 13
8章	木材生産機能		 15
9章	保健休養・アメニティ	イ機能	 17
10章	天然特用林産物生産	機能	 19
11章	多面的機能間の比較		 21
12章	は 過去から現在への機能	能の変遷	 23
13章	! 将来の森林管理と多	面的機能	 25

執筆者:

山浦悠一(主査) 佐野真(副査) 高山範理 佐藤保 滝久智 橋本昌司 玉井幸治 村上亘 南光一樹 伊藤江利子 八巻一成 松浦俊也 高橋正義 山田祐亮 都築伸行(以上、森林総合研究所) 戸田堅一郎(長野県林業総合センター) 齋藤仁(関東学院大学)

1章 生物多様性保全機能

ポイント

- ・天然林の構造の複雑さを示す指標と、針葉樹人工林に混交する広葉樹の量を示す指標を用いて、森林 の伐採・成長に伴う生物多様性保全機能の変化を気候や地形、植栽樹種を考慮して評価するモデルを 開発しました。
- ・天然林の生物多様性保全機能は平坦な場所で伐採後の回復が速い一方、人工林内の生物多様性保全機 能には植栽樹種や植栽木の密度が大きく影響することが分かりました。

機能の意義

生物多様性は生態系の基盤となり、私たちの生活に欠かせない様々な恵みを提供しています。私たちは、森林からの生態系サービスを将来にわたって享受できるよう、生物多様性を保全する必要があります。しかし、森林の伐採や農地への転換により、森林に生息する多くの生物が世界的に減少しています。 森林の生物多様性を保全するためには、森林のもつ生物多様性保全機能の評価が重要になります。

評価モデル

年齢を重ね階層構造が発達した天然林(老齢林)は様々な生物の生息地となっていますが、伐採により階層構造が単純になり、多くの生物が減少しています。人工林は天然林よりも生息する生物が少ないものの、在来の樹木が混交すると生息する生物が増えることが知られています。そこで、天然林では森林の構造の複雑さを示す指標(老齢林指数)を、針葉樹人工林では混交する広葉樹の量を示す指標(自然度指数)を生物多様性の指標として用いました。そして全国規模の毎末調査のデータから、両指数の林齢に伴う増加率と環境因子の関係を統計的に解析し、生物多様性を評価するモデルを作りました。

さらに、伐採直後の森林は草地などの開放環境を好む生物の生息地であることから、森林を開放地性生物の生息地として評価するために、0~1の値を取るように調整した開放地性鳥類の個体数(幼齢林指数)と林齢の関係をモデル化しました。

解析の結果、天然林の老齢林指数に関しては、積雪深や気温が中程度の地域や、地形が平坦な場所、 集水域面積が大きな場所で伐採後の回復が速いことが明らかになりました(次ページ参照)。人工林の 自然度指数に関しては、林齢に伴う増加率には植栽樹種が大きく影響し、スギとヒノキでは増加率が低 く、その他の樹種では高くなりました(図1a)。また、植栽木の密度が低いほど、林齢に伴う自然度指 数の増加率が高くなりました(図1a)。幼齢林指数は林齢に伴って減少しますが、10年生未満では高 い値が維持されるという結果が得られました(図1b)。

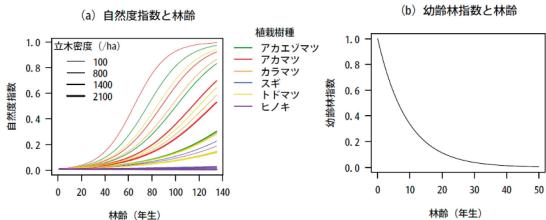


図1. 自然度指数と幼齢林指数の林齢に伴う変化 自然度指数は植栽樹種と植栽木の密度(50年生時)ごとに予測曲線が異なるため、色と線の太さを変えて 引いています。

- 1 -

評価モデルによる広域的な地図化

評価モデルを用いて共通対象地の生物多様性保全機能を地図化しました(図2)。天然林を対象にした老齢林指数では、高齢林分の多い北西部が高い値を示しました。人工林を対象とした自然度指数は、老齢林指数ほど大きな地理的な変化は見られなかったものの、散在するアカマツ人工林の分布に応じて高い値が見られました。幼齢林指数は、伐採地が集中する東部で高い値を示しました。

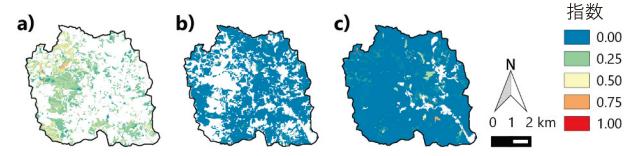
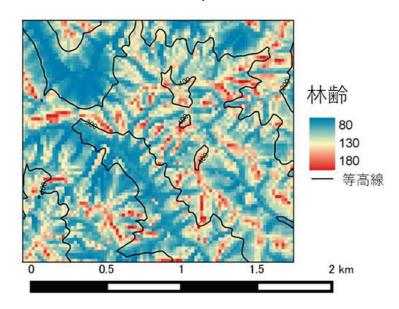


図2. 共通対象地(茨城県北部)における生物多様性保全機能 a) 天然林のみを対象とし(天然林以外は白抜き)、気候と地形、林齢から予測される老齢林 指数。b) 人工林を対象とし(人工林以外は白抜き)、気候と地形、植栽樹種と林齢から予測 される自然度指数。c) 天然林と人工林を対象とした幼齢林指数。



老齢林指数のモデルを用いて、伐採後、 老齢林指数が0.5 (中程度の複雑さ)になるまでの年数を地図化しました(図3)。 その結果、同じ谷の中でも、尾根よりも 斜面下部の方が100年以上も短いと推定されました。

図3. 伐採後老齢林指数が0.5になるまでに必要とされる林齢

老齢林指数のモデルを元に、図2の一部地域を対象に推定しました。青色の区域は谷底で、林齢が100年生未満で構造が複雑になりますが、赤色の部分は尾根で、構造が複雑になるには180年以上が必要だと推定されました。

森林を管理するにあたって

平坦な場所に残された天然林は、老齢林のような複雑な構造をもつまでの時間が短いため、生物多様性保全上の価値が高いと考えられます。人工林に関しては、混交する広葉樹の量に影響する植栽樹種と植栽木の密度を左右する施業は、生物多様性に大きく影響すると考えられます。天然林の人工林への転換は生物多様性の劣化につながる一方で、人工林を天然林へ転換できれば生物多様性の回復につながると考えられます。モデルの精度向上は今後の課題ですが、今回開発したモデルから、森林の伐採・成長に伴う生物多様性保全機能の変化を、気候や地形、植栽樹種を考慮して広域的に評価することができるようになりました。

参考文献

Yamaura Y, Lindenmayer D, Yamada Y, Gong H, Matsuura T, Mitsuda Y, Masaki T (2019) A spatially-explicit empirical model for assessing conservation values of conifer plantations. Forest Ecology and Management 444: 393-404.

Yamaura Y, Lindenmayer D, Yamada Y, Gong H, Matsuura T, Mitsuda Y, Masaki T (2020) A spatially explicit empirical model of structural development processes in natural forests based on climate and topography. Conservation Biology 34: 194-206

2章 花粉媒介機能

ポイント

- ・多くの被子植物では、花が実や種になるためには雄しべから雌しべへの花粉の受け渡し(花粉媒介) が必要ですが、昆虫などの動物がその働きを担っています。
- ・主要な花粉媒介昆虫であるハナバチの個体数を指標として、花粉媒介機能を評価するモデルを作成しました。
- ・天然林や人工林という林相の違いとともに、林齢の違いがハナバチ個体数に影響することが明らかに なりました。

機能の意義

野生植物だけでなく栽培植物を含めた多くの被子植物では、花が実や種になるためには雄しべから雌しべへの花粉の受け渡しが必要です。昆虫などの動物がその花粉媒介の機能を担い、こうした動物は花粉媒介者、送粉者、あるいはポリネーターとよばれています。花粉媒介者の役割は植物の花粉を運び、受粉させることですが、多くの場合、花粉媒介者自身が意図的に花粉を雌しべに運んでいるわけではありません。花粉媒介者は、花粉や花蜜を食べたり休息場所として利用するために花を訪れます。一方で花は、そうした食料や場を動物に提供する見返りとして、訪れる動物に花粉を運んでもらうことで生殖器官として機能します。自分で動くことのできない植物にとって花粉の媒介は、自らの遺伝子を拡散させるため、あるいは多様な遺伝子を取り入れるために重要な機能のひとつです。また、農作物が対象であれば果実の実りに寄与し、人間への恩恵を与えてくれます。

評価モデル

花粉媒介に適応した特徴を持ち、主要な花粉媒介者として知られているハナバチを、花粉媒介機能の指標生物としました。ハナバチとは、ハチ目ミツバチ上科のうち餌として花粉や花蜜にたよっている昆虫のことでミツバチやマルハナバチを含みます。茨城県北部の森林地帯を対象として、トラップとよばれる昆虫採集用の罠を様々な林齢の広葉樹天然林および針葉樹人工林に仕掛け、こうしたハナバチを採集しました(図1)。

トラップで採集された昆虫を研究室に持ち帰りハナバチを同定しました。ハナバチの個体数は林齢とともに減少しましたが、その傾向は広葉樹天然林と針葉樹人工林で異なっていました(図2)。そこで林齢と林相を組み込んだモデルを作成しました。







図1. トラップとハナバチ

- a) 採集に用いたマレーズトラップの設置の様子。b) 採集したハナバチを保管している様子。
- c) ハナバチ標本の例。

ハナバチ個体数

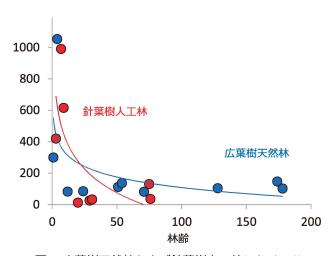


図2. 広葉樹天然林および針葉樹人工林における八 ナバチ個体数の林齢に伴う変化 青色は広葉樹天然林を示し、赤色は針葉樹人工林を 示しています。





図3. 再造林地(上)と土を掘るハナバチの一種(下:赤 い円で囲っています)

多くのハナバチは伐採地や再造林地の裸地部に依存して います。土を掘ってできた穴に住んでいる種もいます。

評価モデルによる広域的な地図化

ハナバチ個体数を指標とした評価モデルを用いて、花粉媒介機能を地図化しました。壮齢や高齢 の林分においては、針葉樹人工林に比べ広葉樹天然林の方が花粉媒介機能が高くなりました。一方、 伐採地や近年、再造林された林分では(図3)、広葉樹天然林、針葉樹人工林の両方で花粉媒介機能 が高い値を示しました(図2)。 茨城県北部を例として作成した地図では、伐採地が多い東部で花 粉媒介機能が高い値を示している様子がわかります(図4)。

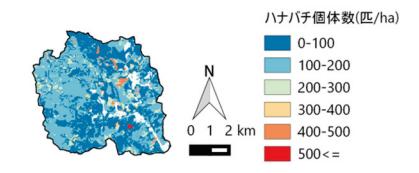


図4. 共通対象地(茨城県北部)における花粉媒介機能 ハナバチ個体数が少ないと推定される林分については青色、ハナバチ個体数が多いと推定さ れる林分については赤色で示しています。

森林を管理するにあたって

花粉媒介機能は、広葉樹天然林、針葉樹人工林などの林相によって影響を受けることが明らかとなり ました。ここでは詳細について示していませんが、ハナバチの種の多様性についても同様でした。一方 で、広葉樹天然林でも針葉樹人工林でも伐採直後の若い森林で花粉媒介機能が高まることが明らかとな りました。今後の課題としてモデルの精度向上は求められますが、今回開発したモデルから、人工林や 天然林などの林相を考慮した上で、森林の伐採や成長に伴う花粉媒介機能の変化を広域的に評価するこ とができるようになりました。

参考文献

Taki H, Okochi I, Okabe K, Inoue T, Goto H, Matsumura T, Makino S (2013) Succession influences wild bees in a temperate forest landscape: The value of early successional stages in naturally regenerated and planted forests. PLOS ONE 8: e56678.

3章 炭素貯留機能

ポイント

- ・森林の炭素貯留量は、バイオマス(樹木の現存量)によるものとリター、枯死木、土壌によるものと に区分されることから、これらを分離してモデルを作成しました。
- ・バイオマスによる炭素貯留量については、森林タイプ(針葉樹人工林と広葉樹天然林)の違いを考慮 し、林齢を環境因子とするモデルを作成しました。
- ・バイオマス以外の炭素貯留量については、リター、枯死木、土壌を対象とし、森林タイプと土壌型の 組み合わせによって求めました。
- ・単位面積当たりの炭素貯留量は森林タイプにより異なり、その差は林齢が増すごとに大きくなります。

機能の意義

気候変動による生態系への悪影響が顕在化する中で、森林の炭素を貯留する機能は、代表的な生態系の調整サービスの一つであり、気候変動緩和策の観点からも重要視されています。森林の管理と保全の方法次第で、森林の伐採や土地利用変化による温室効果ガスの排出を回避し、結果的に気候変動の緩和に寄与することになります。森林の炭素貯留機能を考える場合、個々の森林の炭素貯留量(以下、炭素量とします)を推定するだけでなく、それを積み上げた総和を把握する必要があることから、広域での評価が必要です。

評価モデル

森林の炭素量の推定は、大きく二つの要素に別れています。一つ目は、樹木による炭素固定量です。 樹木は年齢を重ねるごとに成長するため、その現存量(いわゆるバイオマス)も大きくなっていきます。 当然、バイオマスに含まれる炭素の量も大きくなっていくわけですが、その増加の割合は一定ではあり ません。また、樹木の種類によっても成長するスピードが異なります。そこで森林をスギ人工林、ヒノ キ人工林、アカマツ人工林、カラマツ人工林と広葉樹天然林に区分し、我が国が森林による炭素吸収量 を算定する時に公式に使用している指数(拡大係数)を用いて、それぞれの森林タイプで単位面積あた りの樹木(根を含む)の炭素量を算出しました。森林の年齢(林齢)は広域で取得可能な情報の一つで あり、樹木の成長とも関係が深いことから、樹木による炭素量を林齢を用いて推定するモデルを作成し ました(ただし、本モデルでは地位による炭素量の違いは考慮していません)。

二つ目の推定の対象は、バイオマス以外の炭素量です。この中には、リターと呼ばれる落葉や落枝と枯死木に加え、土壌中(0から30cmの深さ)の炭素が含まれます。これらの炭素量は、地点によるバラツキが大きく、林齢との関係が明瞭では無かったため、ここでは、温室効果ガスの排出量を評価する際に国際的に認められている手法を採用し、リター量と枯死木量は森林タイプごとに、土壌は森林タイプと土壌型の組み合わせで炭素量を推定しました。

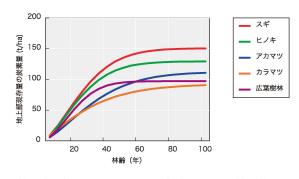
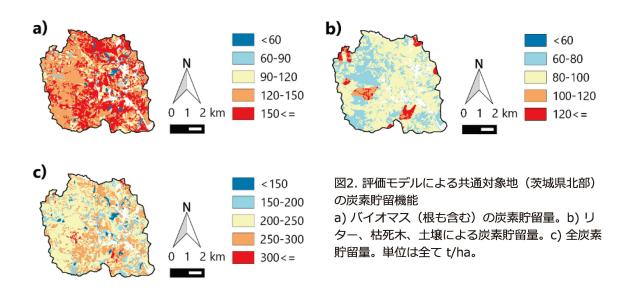


図1. 地上部バイオマスによる炭素貯留量の林齢に伴う 変化

バイオマス中に含まれる炭素量は、林齢が増すと大きくなる傾向がありますが、その程度は森林タイプによって差があります。スギ林の炭素量は他の森林タイプに比べて大きく、林齢が増すごとに差は大きくなります。広葉樹林は30年生くらいまではスギ・ヒノキと同等の炭素量を示しますが、その後は頭打ちになる傾向が見られました(図1)。

評価モデルによる広域的な地図化

評価モデルを用いて共通対象地の炭素量を地図化しました(図2)。バイオマス(根も含む)による炭素量は、スギ林が多く分布する中央から東部にかけた地域で高い値を示しました(図2aの赤いパッチ)。リターと枯死木を含む土壌の炭素量は、黒色土が分布する場所で炭素量が高いパッチ(図2bの赤色)がある一方で、西部では広葉樹林が多く分布しており炭素量も相対的に少ない傾向を示しました。



共通対象地での全炭素量(図2c)は、バイオマスとリター、枯死木、土壌の炭素量の総和で求められますが、バイオマス(根も含む)の炭素量の分布傾向がほぼ全炭素量の傾向と一致していました。炭素量の低いパッチ(図2cの青色の部分)は、林齢が25年未満の伐採地および幼齢林で占められていました。

森林を管理するにあたって

針葉樹人工林と広葉樹林の炭素量を比較すると、ごく初期の林齢では両者に大きな差はありませんが、 林齢が増すごとにその差は大きくなっていきます(図1)。例えばある対象地の炭素量を多く獲得する のであれば、針葉樹人工林の方が有利であり、特にスギ林はヒノキ林や他のマツ林に比べて炭素量が多 いことから有力な選択肢となります。すなわち、森林の炭素量を高めるためには、針葉樹人工林の面積 を増やすことが考えられますが、本プロジェクトでの生物多様性の保全機能でも示されているように、 広葉樹天然林の有する多様性保全機能も無視することはできません。一方で木材生産は森林からのみ得 られる機能であり、林業上、針葉樹人工林は重要な役割を果たしていることを忘れてはいけません。本 プロジェクトで開発された、生物多様性の保全や他の機能の推定モデルと合わせて、炭素貯留量を比較 検討することが可能となりました。今後、モデルの精度向上によって、各種機能に着目した最適な森林 タイプの配置が検討できることが期待されます。

参考文献

国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス(2019)日本国温室効果ガスインベントリ報告書2019年、国立環境研究所、つくば、

Ugawa S, Takahashi M, Morisada K, Takeuchi M, Matsuura Y, Yoshinaga S, Araki M, Tanaka N, Ikeda S, Miura S, Ishizuka S, Kobayashi M, Inagaki M, Imaya A, Nanko K, Hashimoto S, Aizawa S, Hirai K, Okamoto T, Mizoguchi T, Torii A, Sakai H, Ohnuki Y, Kaneko S. (2012) Carbon stocks of dead wood, litter, and soil in the forest sector of Japan: general description of the National Forest Soil Carbon Inventory. Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute 11: 207-221.

4章 水源涵養機能

ポイント

- 水資源として利用可能な水量である水資源賦存量(下流域で人間が利用できる水資源量)を、立 木密度、樹高、葉量などから算出するモデルを開発しました。
- 林齢ごとの平均的な立木密度、樹高、葉量などをモデルに入力して、林齢による水資源賦存量の変動を算出しました。林齢20年程度までは林床面蒸発量は減少しますが、遮断蒸発量と蒸散量は増加するため、水資源賦存量は次第に減少しました。林齢20~60年の間はほぼ一定となりました。また、林相による違いは大きくありませんでした。
- 水源涵養機能が適切に発揮されるためには、森林土壌が保全されていることが大事です。水資源を下流域で持続的に利用するために、森林土壌の保全に留意した森林管理が必要です。

機能の意義

森林・林業白書に例年掲載されている「森林に期待する役割」によると、森林の有する多様な機能の中で「水資源を蓄える働き」への期待は常に上位にあります。この働きは「水源涵養機能」と呼ばれていますが、機能を数値的に評価する指標の一つに「水資源賦存量」があります。水資源賦存量は、水資源として利用可能な1年間の水量を表しています。

評価モデル

森林流域に降る雨雪水は、大気へと戻っていく成分と河川水や地下水として下流域へと流出していく成分に配分されます。下流域へと流出していく成分は、水資源として利用される可能性があります。その総量は水資源賦存量と呼ばれ、水資源として利用可能な水量の指標です。大気へと戻っていく成分は、降った雨雪水が樹木の葉や樹皮にいったん付着し、その後大気へと蒸発していく「遮断蒸発」、樹木が土壌から吸収した水を葉の気孔から大気に戻す「蒸散」、林床面から大気へと戻る「林床面蒸発」によって構成されています。水資源賦存量は、降水量から遮断蒸発量、蒸散量、林床面蒸発量を差し引いて求めます(図1)。

水資源賦存量=降水量-蒸散量-遮断蒸発量-林床面蒸発量

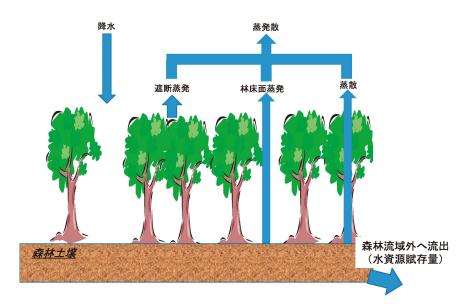
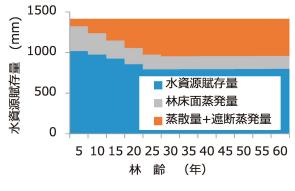


図1. 森林における水の動きと、水資源賦存量の求め方 水資源賦存量は、降水量から遮断蒸発量・蒸散量・林床面蒸発量を差し引いて求めます

水資源賦存量の広域評価を行うため、遮断蒸発量・蒸散量・林床面蒸発量を、森林の立木密度、樹高、葉量(LAI)といった、各森林で比較的容易に得ることができる情報から算出するモデルを開発しました。このモデルでは森林土壌が保全されることを条件としています。開発したモデルに入力する森林に関するデータは立木密度、樹高、LAI、樹冠を通過する日射量の割合、気象に関するデータは降水量、日照時間、気温、湿度、風速です。

林齢ごとの平均的な立木密度、樹高、LAI、樹冠を通過する日射量の割合を求めて、林齢ごとの水資源賦存量を計算しました。降水量は年によって大きく増減します。それにより水資源賦存量も年によって大きく変動します。平均的な水資源賦存量を求めるには、なるべく多くの年間気象データによる計算が望まれます。そこで気象庁の観測拠点のうち、本課題の対象としている茨城県北部に最寄で湿度を観測している水戸市といわき市における57年分の気象データを用いて水資源賦存量を算出しました。その結果、林齢20年程度までは林床面蒸発量は減少しますが、蒸散量と遮断蒸発量はともに増加するため、水資源賦存量は次第に減少しました。それ以降はほぼ一定となりました(図2)。



水資源賦存量 (mm)
<850</p>
850-900
900-950
950-1000
1000
1000

図2. 水資源賦存量の林齢に伴う変化

図3. 評価モデルによる共通対象地(茨城県北部)における水資源賦存量

評価モデルによる広域的な地図化

図2に示した林齢と水資源賦存量の関係を用いて、水資源賦存量の空間変動を示すマップを作りました(図3)。ほとんどの森林域で青色となっています。これは地図の全域で均一な気象データを用いたためです。実際には、場所によって気象条件は異なります。例えば数10mスケールでは、斜面の上部のほうが下部よりも一般に日照時間は長くて風速も大きいため、蒸散量が多くて水資源賦存量は小さくなる傾向にあるでしょう。数10kmスケールでは、標高の高いところは低いところよりも一般に降水量が多く、気温が低いために蒸散量は少なく、水資源賦存量は多くなると考えられます。対象地域でも、以上のような気象環境の空間変動に基づいた水資源賦存量の空間変動が存在するはずです。しかし数10mスケールで気象データを整理したデータベースはまだ存在しません。また数10kmスケールのデータベースでも、標高の高い場所の気象データが少ないため、標高による降水量の増加を正確に反映できていないと考えられています。気象データベースの精度向上などによる改善が今後、期待されます。

森林を管理するにあたって

水資源賦存量を指標とした水源涵養機能は、林齢が若いほど高い結果となりました。しかしこれは森林土壌が保全されていることが前提条件となります。森林土壌が失われると森林土壌による流出遅延効果が無くなるため、降った雨水がすぐに流出し、水資源としては利用しにくくなることが予想されます。林齢が20年以下であると土砂崩壊抑制機能(7章)が低いことが指摘されています。水源涵養機能は森林土壌が担っていることを意識しながら森林管理を行うことが重要です。

猫女多参

玉井幸治 (2019) 林分構造を示すデータに基づいた蒸発散量推定モデルの開発. 関東森林研究 70: 93-96.

玉井幸治・吉藤奈津子・飯田真一・勝島隆史・荒木誠・金子智紀・野口正二(2020)秋田県大館市のスギ林における間 伐による林床面蒸発量のモデルによる変動評価. 関東森林研究 71: 141-144.

5章 表土保持機能

ポイント

- ・土壌流出量を計算するモデルを活用して、現在の森林が有する表土保持機能を評価しました。
- ・林床表面の被覆(リターや下層植生)による土壌流出抑制能力を、樹種、傾斜、林齢から推定する参照表を新たに作成しました。
- ・急傾斜であるほど土壌が流出しやすいこと、ヒノキは他の樹種に比べて土壌が流出しやすく、特に林齢20~45年でそれが顕著であることが明らかになりました。

機能の意義

土壌は生物の生活・生産の基盤であり、水・炭素・養分を貯留する重要な場です。表土が侵食されるとその場から土壌が失われるだけではなく、河川や下流域に濁りが発生し生活環境に影響を与えます。森林の様々な機能のうち、我が国では表面侵食防止機能(表土保持機能に相当)が最大の評価額を得ており、年間28兆円以上の価値が見込まれています。森林により表土を流域内に保持することが重要です。

評価モデル

表土の保持機能をそのまま評価するのは難しいため、土壌流出量を評価しました。アメリカ合衆国 農務省で開発され、世界で最も使われているRUSLEモデル(Renard et al. 1997)を用いました。 このモデルは、年間の土壌流出量を6個の係数(表1)を掛け算することで推定します。降雨由来の 侵食能力(R)、土壌と地形に由来する侵食されやすさ(K、L、S)、土壌表面の状態による侵食抑制能力(C、P)の3個に大別できます。

侵食能力の由来	係数	意味	元データ
降雨	R: 降雨係数	雨や表面流による侵食能力	レーダーアメダス解析雨量
土壌	K: 土壌係数	土壌自体の侵食されやすさ	土壌図
地形	L: 斜面係数	斜面の長さに由来する侵食されやすさ	DEM (数値標高モデル)
	S: 傾斜係数	傾斜に由来する侵食されやすさ	DEM (数値標高モデル)
土壌表面の状態	C: 被覆係数	被覆による侵食抑制効果	土地利用図
	P: 保全係数	土壌表面の保全の仕方による侵食抑制効果	土地利用図

表1. RUSLE式における係数

森林の管理により被覆係数に変化が生じます。そこで、日本全域で調査された大規模データベースを活用して樹種、傾斜、齢級による林床被覆率の違いを整理し、Miura et al. (2015) で提案された式により、新たな被覆係数の参照表を作成しました。その例を図1に示します。値が大きいほど侵食抑制能力が小さいことを示します。急傾斜であるほど土壌が流出しやすいこと、ヒノキは他の樹種に比べて土壌が流出しやすく、特に4~9齢級(林齢20~45年)でそれが顕著であることが明らかになりました。ヒノキはリターが細かく分離しやすくリターによる林床被覆効果が薄いため、樹冠が鬱閉して林床に植生が生えにくい林齢の頃に、土壌流出の危険性が高まります。

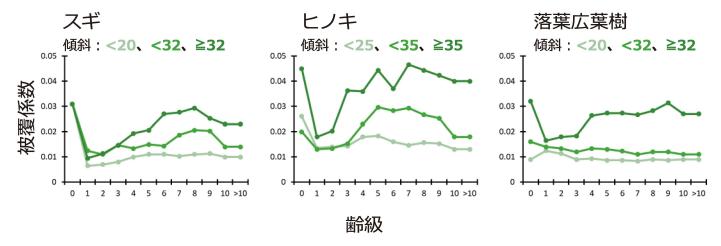


図1. 樹種、傾斜、齢級の違いによる被覆係数の変化 値が大きいほど、土壌流出の抑制効果が小さい(=土壌が侵食されやすい)ことを示しています。

一方で、被覆係数は0.05を上回ることがなく、森林は畑地(被覆係数は0.4)等より土壌流出が起きにくい土地利用と言えます。

評価モデルによる広域的な地図化

評価モデルを用いて共通対象地の土壌流出量を地図化しました(図2左)。共通対象地はほぼ森林に 覆われているため、土壌流出量に対して被覆係数の影響は小さく、土壌流出量に対して斜面係数と傾斜 係数がよく対応しました(図2右)。地形由来の侵食されやすさが土壌流出量を決めていることがわか りました。

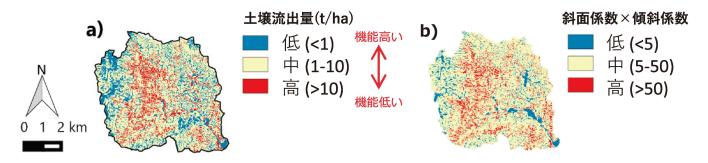


図2. 共通対象地 (茨城県北部) の表土保持機能 a) 土壌流出量、b) 斜面係数×傾斜係数 (土壌流出量が低いほど、森林の表土保持機能は高くなります)

森林を管理するにあたって

傾斜が急で、斜面に囲まれるような地形は水が集まりやすく、土壌侵食も起きやすい場所と言えます。 そのような場所での森林伐採、作業道や林道の設置は土壌侵食を促進する危険性が高くなります。例え ば皆伐によって土壌を撹乱して土壌侵食の発生が懸念される場合には、評価モデルを活用してあらかじ め土壌侵食が起きやすい場所かどうかを確認することができます。

植栽後は、特にヒノキ人工林において適切な間伐が必要となります。林床被覆となる下層植生を育成するためにも、林齢20~45年頃までは林内に光が入るような管理が求められます。

参考文献

Miura S, Ugawa S, Yoshinaga S, Yamada T, Hirai K (2015) Floor cover percentage determines splash erosion in *Chamaecyparis obtusa* forests. Soil Science Society of America Journal 79: 1782–1791.

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook. United States Department of Agriculture, Washington DC.

6章 水質浄化機能

ポイント

- ・森林土壌に供給される無機態窒素量、森林植生による窒素吸収量、森林土壌を通過する浸透水量、以 上3つの推定値から、渓流水の硝酸態窒素濃度を示す指数を作成・地図化しました。
- ・森林の立地環境条件(土壌、地質、地形、樹種、降水量)がこの指数にどのように影響するかを考慮し、森林の伐採・成長に伴う水質浄化機能の変化を評価するモデルを作成しました。
- ・森林の水質浄化機能は林分葉量の充実に伴って林分の無機態窒素吸収量が増加する時期に高まり、林 冠が鬱閉する20~40年生以降は概ね一定になりました。

機能の意義

森林の水質浄化機能は「森林から流れ出す渓流水の水質が森林に降る雨水よりも人間にとって利用しやすいものであること」と定義できます。日本では国内外の人間活動による窒素排出により、森林が必要とするよりも多くの窒素が供給される窒素飽和現象が問題となっています。ここでは水道水質の重要な指標のひとつである硝酸態窒素 (注) に注目して、森林が持つ窒素除去能を評価しました。

評価モデル

本来、森林生態系では主要な養分である窒素が不足しており、供給された窒素はほぼすべて生物により吸収されます。しかしながら雨水からの窒素供給が過剰になると、森林植生によって吸収しきれなくなり、余剰の窒素が渓流水に流れ出して水質の劣化(渓流水の硝酸態窒素濃度が高い状態)が起こります。この一連の現象を窒素飽和現象といい、関東圏でその兆候が報告されています。

機能評価は渓流水の硝酸態窒素濃度の指標となる評価値を考案して行いました (図1)。土壌への無機態窒素 (注) 供給量から森林植生による窒素吸収量を引いた値を森林植生が使い残した余剰窒素量とし、これらがすべて水に溶けやすい硝酸態窒素として流出すると仮定して、余剰窒素量を浸透水量で割った値が渓流水の硝酸態窒素濃度を示すと考えました。無機態窒素供給量は大気からの窒素降下量と土壌中の窒素無機化量を合算したもの、また窒素吸収量は森林バイオマス成長に伴う樹体内の蓄積窒素の増分に連年の窒素吸収量を合算したものです。浸透水量は4章の水源涵養機能のモデルで算出された値(水資源賦存量)を用いました。

水質浄化 = (無機態窒素 _ 窒素吸収量) ÷ 浸透水量機能指数 供給量

図1. 水質浄化機能指数の算出式

土壌に蓄積されている全窒素量は土壌型や土壌母材によって異なります。また有機態窒素 (注) が植物が利用しやすい無機態窒素に変換される割合である窒素無機化率は植生や地形によって異なります。これらをモデルに反映させて土壌中の窒素無機化量を立地環境条件ごとに計算しました。

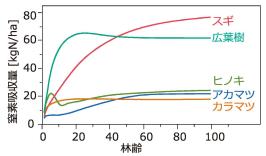
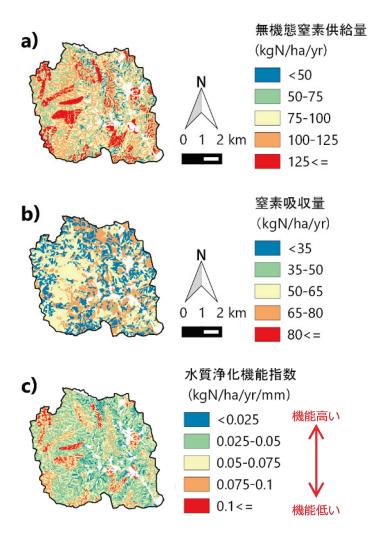


図2. 樹種ごとの窒素吸収量と林齢の関係

森林植生による窒素吸収量は若齢林で急激に増加した後、 林冠が鬱閉し林分葉量の増加が頭打ちになる20~40年生 以降は概ね一定になりました(図2)。また壮齢期以降の窒 素吸収量はスギや広葉樹で60~80kgN/haと大きく、ヒノ キ・アカマツ・カラマツではその1/3~1/4程度と小さく なりました。樹種による窒素吸収量の違いは、林分葉量、 葉の回転率、窒素含有率に影響を受けています。

評価モデルによる広域的な地図化

評価モデルを用いて共通対象地の水質浄化機能を地図化しました(図3)。



無機態窒素供給量は対象地北西部に特に高い値を示すパッチ状の地域が認められました。これは黒色土や湿性・乾性褐色森林土の分布域に対応しています(図3a)。さらに地形との関連では、窒素無機化率が高くなる斜面下部や谷底部で、無機態窒素供給量もやや高い値を示しました(図3a)。

植生による窒素吸収量は対象地東部に点在するスギ林で高い値を示し、広葉樹林が多い西部ではやや高い値の地域が面的に広がっていました(図3b)。

水質浄化機能指数は、無機態窒素供給量が大きく(図3a)、植生による窒素吸収量が小さく(図3b)、浸透水量が小さい地点で大きくなります(図3c)。水道水質では硝酸態・亜硝酸態窒素濃度10mg L-1以下という基準値が設けられています。これを水質浄化機能の値に換算すると0.1以下となります。水質浄化指数が0.1以下となった面積は共通対象地の96.9%でした。

図3. 共通対象地(茨城県北部)の水質浄化機能

- a) 土壌圏への無機態窒素供給量
- b) 植生による窒素吸収量
- c) aとbの差を浸透水量(4章水源涵養機能の 水資源賦存量)で割った水質浄化機能指数

(水質浄化機能指数が低いほど、森林の水質浄 化機能は高くなります)

森林を管理するにあたって

水質浄化機能に求められるのは機能発揮の平準化です。人間にとって利用しやすい水質の渓流水を安定的に供給するということです。たとえ一時的とはいえ、水質浄化機能が大幅に劣化する流域内の大面積皆伐などは控えるべきと考えられます。水質浄化機能を維持・向上させるには、偏った齢級構成を避けることや、伐採地を無植生で放置せず速やかに再植林することが挙げられるでしょう。また、湿潤な谷底部への有機物供給のような、脱窒(貧酸素下で脱窒細菌により硝酸態窒素が亜酸化窒素や窒素に還元されること)が活発に起こる立地条件を流域内に確保することも森林管理の一環として有効と考えられます。なお、流域単位の窒素動態に関しては谷底部~低地の土壌地下部での脱窒の重要性が認められていますが、定量評価が難しいことから本モデルの水質浄化機能指数では組み込みませんでした。

参考文献

木平英一・楊宗興・戸田任重・八木一行・窪田順平・塚本良則 (1997) 森林流域谷底部土壌の脱窒作用: NO₃-N 窒素安定同位体比による解析. 日本林學會誌 79:83-88.

徳地直子・大手信人・臼井伸章・福島慶太郎 (2011) 窒素負荷に伴う森林生態系の窒素循環過程の検討. 日本生態学会誌 61: 275-290.

楊宗興 (2014) 流域における窒素除去過程としての脱窒の役割. 日本水文科学会誌 44: 185-195.

注:土壌中での窒素は有機態窒素と無機態窒素の二つの形態で存在し、アンモニア態窒素と硝酸態窒素が無機態窒素になります。硝酸態窒素は硝酸イオン(NO_3 -)の形で存在する窒素であり、土壌中を移動する水によって溶脱されやすい特性があります。

7章 土砂崩壊抑制機能

ポイント

- ・山腹崩壊危険度点数表(林野庁 2006)を基に長野県において山地斜面の危険度リスクをマップ化し、 写真等の目視判読により特定した崩壊危険地形との整合性を検証した結果、リスクが高い山地斜面で 崩壊危険地形の存在割合が高い一方で、リスクが低いと評価された山地斜面でも一定数の崩壊危険地 形が認められました。
- ・これまでの研究から崩壊が発生する要因としては、植生(林相・林齢)よりも雨量、地形(傾斜)、 地質条件が強く働き、植生の状況としては林相よりも林齢の影響が大きいことがわかってきました。 山腹崩壊危険度点数表の最新版はこれらの知見を反映したものとなっており、最新版の得点表を基に 共通対象地の土砂崩壊抑制機能を地図化しました。

機能の意義

山地の森林植生は崩壊の発生を抑制します。樹木の根はせん断抵抗を増加させ、それによって斜面崩壊を防ぐからです。 森林伐採は斜面崩壊の発生頻度を増加させますが (Saito et. al. 2017)、斜面崩壊の発生しやすさは雨量や地形、地質条件といった他の要因の影響も考慮しなければなりません。森林のもつ土砂崩壊の抑制機能を評価するためにはこれらの要因を総合的に判断することが必要です。

評価モデル

土砂災害が発生するリスクを評価するために、山腹崩壊危険度点数表(林野庁 2006)が提示されています。これは日本の国有林における斜面の不安定さを評価する方法として、地形(傾斜、縦横断面形状)、土層深、林相、林齢を経験的な知見を基に数値化したものです。私たちは長野県の民有林において、写真等の目視判読により特定した崩壊危険地形と、山腹崩壊危険度点数表によってマップ化された危険度ランクがどの程度合致しているか、整合性を検証しました(図1)。

その結果、リスクが高い山地斜面で崩壊危険地形の存在割合が高い一方で、リスクが低いと評価された山地斜面でも一定数の崩壊危険地形が認められました(表1)。

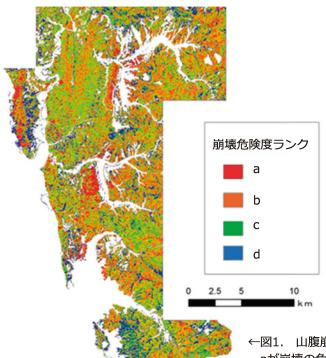


表1. 目視地形判読による崩壊危険地形との比較

山腹崩壊危 険度ランク	対象範囲 (民有林)	目視判読に よる崩壊危 険地形	存在率 (%)
а	484164	5125	1.1
b	1254035	8000	0.6
С	1422012	5817	0.4
d	835766	687	0.1
合計	3995977	19629	2.2

赤枠で示す崩壊危険度ランクが高いエリア(a、b)ほど、崩壊危険地形が多い一方、危険度ランクが低いエリアでも一定数の崩壊危険地形が認められました。

←図1. 山腹崩壊危険度ランクマップ aが崩壊の危険性が高く、dが低いことを示しています。 最近の研究から、崩壊発生の要因としては雨量、地形(傾斜)、地質条件が植生(林相・林齢)よりも強く働き、植生の状況としては林相の違いは崩壊の発生に対する影響としては小さい一方で、林齢の影響は相対的に大きいことがわかってきました(図2)。山腹崩壊危険度点数表の最新版では、得点表が見直され、これらの知見を反映したものとなっています。

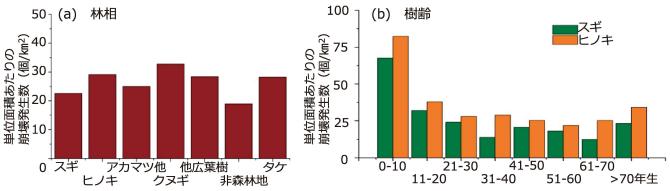


図2. 2017年九州北部豪雨における福岡県朝倉地域の民有林で発生した崩壊と林相(a)およびスギ林とヒノキ林の林齢(b)との関係。非森林地には裸地や草地のほか、人工的に改変された斜面も含まれています。

12時間雨量で500mm超の降雨があったエリアの単位面積あたりの崩壊発生数を示しています。林相の違いによる影響は小さく、林齢で相対的に影響が大きい(0-10年生で発生が多い)という結果が示されました。

評価モデルによる広域的な地図化

山腹崩壊危険度点数表の最新版(林野庁 2016)を用いて、共通対象地において土砂崩壊抑制機能を 地図化しました(図3)。なお最新版では、林相の違いは得点に反映されていないこと、地質の分類方 法を見直していること、全国を非多雨地域と多雨地域に分け、それぞれの項目の得点に差をつけている ことなどの違いがあります。

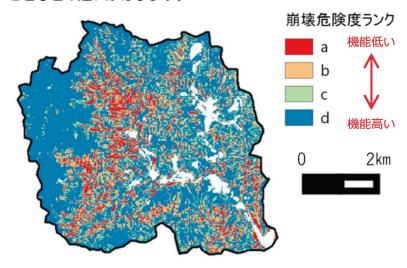


図3. 共通対象地(茨城県北部)における崩壊危険度ランクマップ aが崩壊の危険度が相対的に高く、 dが低いことを示しています。

(崩壊危険度度が低いほど、森林の 土砂崩壊抑制機能は高くなります) 実際の過去に発生した崩壊との整合 性については、まだ検証していない ため、その点については留意する必 要があります。

森林を管理するにあたって

山腹崩壊危険度点数表は現在も検証、改訂が進められています。森林伐採は崩壊の危険性を高めるため、適切な森林施業、森林管理が求められることから、本成果はその一助となると考えます。ただし、本予測、評価はあくまで相対的なものです。崩壊発生のしやすさは現地で確認、検証していくことが不可欠です。また、斜面の不安定性の他に保全対象(住宅や道路等)からの距離なども、森林施業、森林管理の中で斜面の危険度を判断、評価する上では考慮する必要があります。

参考文献

林野庁(2006)山地災害危険地区調査要領.

林野庁(2016)山地災害危険地区調査要領.

Saito H, Murakami W, Daimaru H, Oguchi T. (2017) Effect of forest clear-cutting on landslide occurrences: Analysis of rainfall thresholds at Mt. Ichifusa, Japan. Geomorphology 276: 1-7.

8章 木材生産機能

ポイント

- ・木材をどれだけ効率的に収穫できるかという観点から、材積、道からの距離、斜面傾斜を用いて木材 生産機能を評価するモデルを作成しました。
- ・共通対象地では、面積当たりの材積の影響が比較的大きいことが分かりました。また、評価が高い林地と低い林地が、それぞれ偏って分布していました。効率的な木材生産は、評価が高い林地が多いエリアでほかの機能とのバランスを考慮しながら進めていくのがいいでしょう。

機能の意義

森林は、我々の生活に欠かせない木材を供給する機能を持っています。木材を生産するためには森林を伐採する必要がありますが、伐採によって森林の構造が変化し、他の機能に対して影響を及ぼすことが考えられます。森林の多面的機能の評価は、森林が持つ様々な機能を維持しながら、再生可能な資源である木材を効率よく生産する方法を検討する際に役立ちます。

評価モデル

木材生産機能は他の機能と違い、経済活動へ直接的に関係する機能です。そのため、木材をどれだけ 効率的に収穫できるかと、収穫可能な木材の量が重要です。そこで、木材生産機能では面積当たりの材 積と、木材の伐採・搬出のコストに影響する因子(道からの距離と斜面傾斜)によりモデルを作成しま した。

面積当たりの材積は、茨城県が作成した現実林分材積表を用い、樹種ごとに林齢と照らし合わせて計算しました。道からの距離や斜面傾斜は国土地理院が発行している標高モデル等の地理データを解析することで作成しました。次に、これらのデータを用いて対象地を区分し、それぞれに点数を付与しました(表1)。区分するときの閾値は、対象地の地域森林計画を参考にしています。これらの合計点数を、木材生産機能の評価値として採用しました。なお、天然林から生産される林木(主に広葉樹材)は用途が限られることから、取引価格の比(広葉樹丸太価格/スギ丸太価格)で評価値を割り引きました。

木材生産機能の評価には様々な考え方があります。今回は一般的に適用できる、簡易な評価手法を用いました。評価結果が必ずしも林業経営の有利、不利を表しているわけではないことに留意する必要があります。また、対象とする地域によっては、閾値や評価する因子を変えることも想定されます。

表1. 木材生産機能評価のための点数表 木材生産に条件が有利なほど、点数が高くなるように設定しています。

点数	1	2	3	4
材積(m³/ha)	<200	200~300	300~400	400≦
道からの距離(m)	400≦	300~400	200~300	<200
斜面傾斜(°)	35≦	30~35	15~30	<15

評価モデルによる広域的な地図化

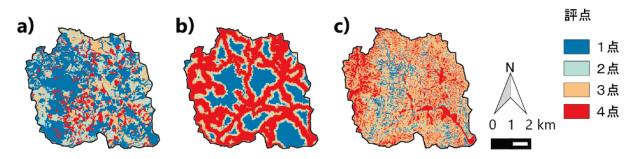


図2. 評価モデルによる共通対象地(茨城北部)の評点 a) 材積に対する評点。b) 道からの距離に対する評点。c) 斜面傾斜に対する評点。

共通対象地を表1の基準で区分して地図化しました(図2)。材積に対する評点が高い場所は、道からの距離に対する評点の高い場所が、おおむねカバーしています。また、斜面傾斜の評点は多くの場所で高い値を示しています。

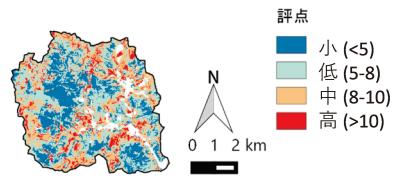


図3. 評価モデルによる共通対象地(茨城県北部)の木材生産機能 図2の評点から木材生産機能を評価しました。

図2の評点を基に、共通対象地に おける木材生産機能を評価して地図 化しました(図3)。人工林が多い 北部と南部で、機能が高い値を示し ました。また、材積に対する評点の 影響が、比較的大きいことが分かり ます。

林業の担い手不足が大きな課題となっている現状では、今後どこで優先的に木材生産を行うか検討することが重要です。より条件の良い場所で林業を振興することで、地域としての効率的な木材生産を期待できます。図3を見ると、評価が高い林地と低い林地が、それぞれ偏って分布しています。このようなマップを考慮に入れることで、地域の森林計画の実効性をより高めることができます。

森林を管理するにあたって

人工林は針葉樹が中心で、主に建築用材などに使われる木材を生産することができます。広葉樹林からは製紙原料や燃料用のチップ、家具や木工製品用の原材料、キノコ栽培用の丸太、薪や炭など様々な用途の木材が得られます。木材を低コストで効率的に生産するには、材積が大きく、傾斜が緩やかで、林道から近い場所の森林が適しています。こうした森林では木材生産機能が高くなります。13章のように、どのような木材をどれだけ生産するのかを示すシナリオを設定し、本プロジェクトで開発したモデルを用いることで、地域の森林資源の将来像と森林の多面的機能に対する影響を広域的に評価することができます。

参考文献

龍原哲・小幡浩司・箕輪光博 (1992) 流域における伐採の動向と素材生産量の予測. 森林計画学会誌 19: 1-30. 白石則彦 (1994) 林道からの距離別にみた森林施業の実態解析. 日本林學會誌 76(3): 218-223. 鹿又秀聡・齋藤英樹・山田茂樹 (2007) 熊本における皆伐地の状況. 九州森林研究 60:62-63.

9章 保健休養・アメニティ機能

ポイント

- ・林齢、森林率、道からの距離を用いて、スギ・ヒノキ人工林、落葉広葉樹二次林・天然林それぞれに ついて、森林散策などの保健休養・アメニティ機能を地理的に簡便に評価するモデルを開発しました。
- ・周囲の人口分布や観光資源の分布などを加味することで、より詳細な保健休養・アメニティ機能の評価も可能です。

機能の意義

森林は、周辺住民の日常的な散策や、観光客が風景美を楽しむ等の余暇活動にも利用されています。これは、森林の保健休養・アメニティ機能と呼ばれ、人びとの健康維持や生活の質の向上に大きく役立っています。また、この機能は、森林の種類、林齢、伐採活動、林道や散策路の配置などによって変化するため、木材生産機能と共通する環境因子を用いて評価・地図化することで、林業活動との両立を図りつつ、その機能を維持・向上させることに役立ちます。

評価モデル

これまで、森林のもつ保健休養・アメニティ機能の高さは、道路や居住地からの近さ、人口分布、景観の見えやすさなどの地理的因子から評価されてきました。さらに、林種(人工林や天然林)、林齢、森林の構造などを含めた評価も少数ながら行われています。そこで、これらの研究を参考に、スギ・ヒノキ人工林、落葉広葉樹二次林・天然林のそれぞれについて、林齢、森林率、道からの距離にもとづく評価関数によって、保健休養・アメニティ機能を評価するモデルを以下のように作成しました。用いた関数は以下の2つです。

スギ・ヒノキ人工林の評価値 = $0.64 \times$ 林齢評点 + $0.08 \times$ 森林率評点 落葉広葉樹二次林・天然林の評価値 = $0.357 + 0.31 \times$ 林齢評点 + $0.15 \times$ 森林率評点

各関数は、スギ・ヒノキの人工林、落葉広葉樹二次林・天然林への訪問者に対する既存のアンケート調査にもとづき、階層評価法(AHP法)を用いて保健休養・アメニティ機能の高さをレクリエーションの場としての利用しやすさから評価し、さらに、簡易な地理的評価が可能となるようにしたものです。また林齢や森林率の評点(表 1)は、森林の保健休養・アメニティ機能に関わる研究者らで検討したものを、さらに連続的な評価結果が得られるように、各評点をゴンペルツ曲線で近似して評価しました(図 1)。また、一般的な森林散策等の活動では、道からそれて林内深く入ることはあまりないので、道から100m未満の範囲で、道に近い場所ほど評価が高くなるように(1-d/100)(ここでdは道からの距離(m))を各評価値に掛け合わせた値を用いました。

表1. 林齢および森林率の区分と評点

林龄	評点	
80年生~	1	1.0~ 1
60-80	0.8	0.5~1 0.5
40-60	0.5	0.2~0.5 0.3
20-40	0.3	~0.2 0
~20年生	0	

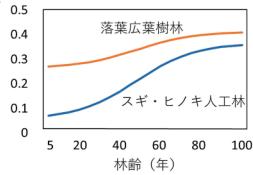


図1. 対象地における平均的な林分の評価値(縦軸)と林齢 (横軸)の対応関係 (ゴンペルツ曲線で評点を補間)

評価モデルによる広域的な地図化

評価モデルを用いて共通対象地の保健休養・アメニティ機能を地図化しました(図2)。道から近い、アクセスしやすい森林で評価が高くなり、とくに高齢級の落葉広葉樹二次林・天然林で高い評価になっている様子がわかります。

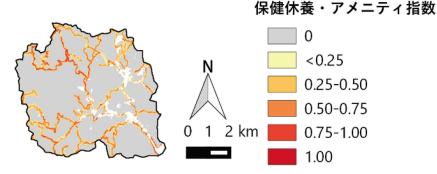


図2. 共通対象地(茨城県北部)における保健休養・アメニティ機能 落葉広葉樹二次林・天然林と、スギ・ヒノキ人工林のそれぞれについて評価値を算出・地図化

さらに、市街地や既存観光施設からの距離などの条件を加味して、都市近郊林としての重要性や、 観光として森林散策を楽しむ場合に高評価となりうる場所を絞り込んでいくことも可能です(図3)。

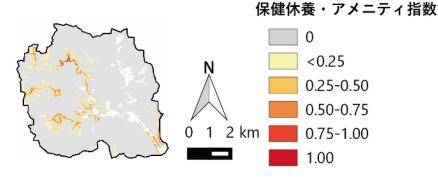


図3. 神社仏閣や景勝地など既存観光資源の近くにある森林を高評価とした場合の保健休養・アメニティ機能

森林を管理するにあたって

一般的に、道の近くにある森林は伐採や搬出にも適しているため木材生産に利用されやすく、場所によっては伐採や搬出が保健休養・アメニティ機能に大きな影響を与えることがあります。そこで、林種、林齢、森林率、道からの距離といった、木材生産機能と共通する環境因子を用いてモデルを作成し、評価結果を地図化しました。これによって、林業活動との両立を図りつつ、保健休養・アメニティ機能を維持・向上させる森林管理の検討が可能となります。なお、今回の評価関数で用いた係数等は、既往研究や共通対象地での調査にもとづくもので、対象地の特性に応じて適宜調整する必要があります。係数等の設定に用いた階層評価法(AHP法)は比較的容易に実施できるので、今回の評価モデルをベースに、地域の特性に応じた評価関数を設定するとよいでしょう。

参考文献

井川原弘一・香川隆英(2000) 日本の代表的森林タイプにおけるアメニティの比較考察. ランドスケープ研究 63(5): 583-586

香川隆英(1991)京都北山における人工林のアメニティに関する研究. 造園雑誌 54(5): 185-190

香川隆英(1992)里山二次林そして自然性の高い森林におけるアメニティ. 造園雑誌 55(5): 217-222

Kangas A, Kangas J, Kurttila M (2008) Decision Support for Forest Management. Springer

Sugimura K and Howard TE (2008) Incorporating social factors to improve the Japanese forest zoning process. Forest Policy Econ 10: 161-173

10章 天然特用林産物生産機能

ポイント

- ・天然特用林産物のうち山菜ときのこについて、その生育・採取地の特徴を、聞き取り調査にもとづく 階層評価法で整理し、採取適地を指標に生産機能を評価するモデルを開発しました。
- ・この機能の高さは、対象種ごとの生育・採取環境の特性によって大きく異なるため、対象地に応じて 適した種を選択することが重要です。
- ・このモデルから、森林施業により天然特用林産物の生産機能がどう変化するのかを予測できます。

機能の意義

天然の山菜やきのこなどの特用林産物は季節の味覚として、直売所での販売、贈答や個人売買に加えて、最近はインターネットでの通販も行われています。伝統食や、民宿・旅館等の食材として地域の魅力を高める素材になっています。特用林産物は天然採取のみの種も多く、天然物の風味を好むニーズもあります。山菜・きのご採りは、農山村のみならず都市の住民にも好まれる余暇活動です。このように、天然特用林産物の生産機能は、食材等の供給と文化的価値の両面で重要です。一方、天然特用林産物の生産機能は、伐採や樹種転換、林道開設などの林業活動に大きく影響されます。そこで、地形、森林の種類、林齢、道からの距離など、他の多面的機能と共通の環境因子を用いて評価・地図化することで、林業活動や保健休養・アメニティ機能等との両立を図りつつ、本機能を維持・向上させていくことが可能となります。

評価モデル

天然特用林産物の生産機能が高い場所は、その生育・採取いずれにも適した場所と考えられます。 適地推定には、実際の採取行動を GPS(全地球測位システム)で捉え、各種の地理情報を用いた統 計解析で採取地の分布特徴を明らかにする方法があります。しかし、実際の採取地分布の把握は容易 ではありません。そこで、既存の文献資料や聞き取り等にもとづいて、種ごとの採取地の環境条件を 捉え、各種の地理情報にもとづく評価モデルを作成し、採取の適地を推定・地図化しました。

天然特用林産物の生育・採取に影響する環境因子のうち、広域の地理情報で捉えやすいものに、地形、林種、林齢、道からの距離などが挙げられます。そこで、これらの因子を用いて評価モデルを作成しました。評価手法には、複数の基準から評価関数を集約できる多基準評価法(MCE)のうち、階層評価法(AHP法)を主に用いました(図1)。ここで、ある種Aの採取適地は、その種の生育適地のうち道から採取地まで行きやすい場所と考え、以下3つの式で表しました。

採取適地 採取地適性 = 生育地適性 x 道からの距離の関数 生育地適性 = 地形の適性 + 林種や林齢の適性 道からの 地形の適性 = 傾斜度の適性 + 斜面方位の適性 + 斜面位置の適性 生育適地 距離 対象種は、山菜のワラビと、きのこのコウタケとし(図2)、各項 目の係数は、採取者への聞き取り調査にもとづきました。 地形 土地被覆 林種・ 傾斜 斜面 斜面 位置 林齢 度 方位

図2. ワラビ(a)とコウタケ(b)

図1. 山菜・きのこ採取適地推定に用いたAHP法の構造

評価モデルによる広域的な地図化

評価モデルを用いて共通対象地における天然特用林産物の生産機能を地図化しました(図3)。 ワラビは、草地や伐採跡地、新植地のうち、道から近い場所で評価が高くなっています。一方、コウタケは、斜面の中腹から上部の比較的日当たりのよい斜面にある若齢から壮齢の落葉広葉樹林のうち、道から少し入ったところで評価が高くなっています。両者で道からの距離に差が出たのは、ワラビは道沿いのまとまった生育地で採られやすいのに対し、コウタケは採取者間の競合を避けて、やや林内に入った採取が多いことを反映しています。

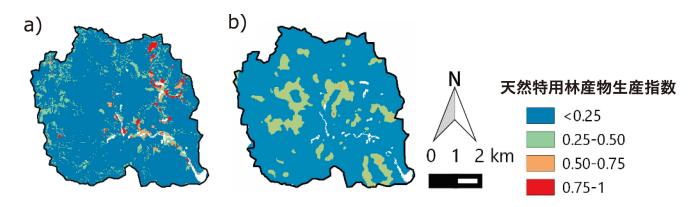


図3. 共通対象地(茨城県北部)における天然特用林産物生産機能 a)ワラビの採取適地、b)コウタケの採取適地(半径100mで平均化)

天然特用林産物には種類が多く、種による生育地や採取地の環境特性の違いが大きく、採取適地の分布が大きく異なります。例えば、山菜は沢沿いや林道沿いで採取されるものが多く、きのこは種によって生育・採取地がさまざまです。そこで、よく採取される種を対象地ごとに聞き取って、それらの生産機能の高い場所を絞り込むことが望ましいと考えられます。また、採取適地の分布推定のみならず、より詳細に実際の種ごとの採取量を推定できれば、市場価値にもとづく経済評価につなげることも可能です。

森林を管理するにあたって

木材生産は数十年以上の期間が必要なのに対し、天然特用林産物のうち、とりわけ山菜ときのこは、 毎年、採取が可能なことや、地域によっては、森林所有者や林業従事者以外の周辺住民や、他地域から の訪問者でも採取できる場合があることに大きな特徴があります。一方で伐採、植林、林道開設などの 森林施業は、天然特用林産物の生産機能に正負の両面で大きな影響を与えています。今回、作成したモ デルによって、林業活動との両立を図りつつ、天然特用林産物の生産機能を維持・向上させるための森 林管理手法の検討が可能となります。

なお、今回の評価では、事例地周辺で代表的な2種類の山菜・きのこを対象に評価を試みましたが、 対象とする種や地域によって生育・採取適地の特徴は異なります。そこで、対象地でよく利用される種 について、聞き取り調査等に基づく多基準評価による関数を作成し、機能評価や地図化を行うとよいで しょう。

参考文献

松浦俊也・林雅秀・杉村乾・田中伸彦・宮本麻子(2013)山菜・キノコ採りがもたらす生態系サービスの評価—福島県 只見町を事例に、森林計画学会誌 47(2): 55-81.

Matsuura T, Sugimura K, Miyamoto A, Tanaka H, Tanaka N (2013) Spatial Characteristics of Edible Wild Fern Harvesting in Mountainous Villages in Northeastern Japan Using GPS Tracks. Forests 5(2): 269-286.

Matsuura T, Sugimura K, Miyamoto A, Tanaka N (2014) Knowledge-Based Estimation of Edible Fern Harvesting Sites in Mountainous Communities of Northeastern Japan. Sustainability 6: 175-192.

松浦俊也(2014)森林からの供給・文化サービスの評価 - 山菜・キノコ採りを例に、環境情報科学 43(2): 23-27.

11章 多面的機能間の比較

ここまでの章では、森林の多面的機能を評価するために作成したモデルと、共通対象地への適用結果を個別の機能ごとに紹介しました。同一の対象地において様々な機能を評価することで、機能間のトレードオフやシナジーといった関係を明らかにすることができます。ここでは、モデルから得られた多面的機能と林齢との関係を整理しました(図1)。

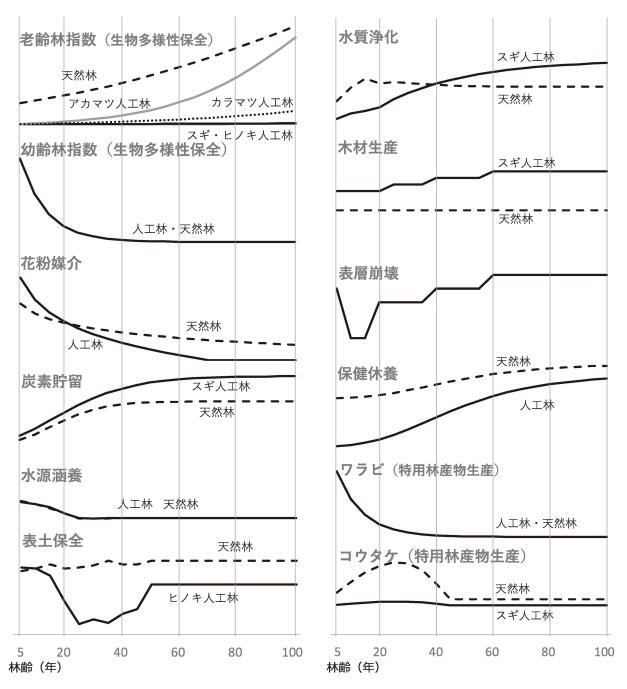


図1. 林齢と機能の関係の模式図

モデルから林齢と機能の関係を図化しました。斜面傾斜などの各種条件が同じ場合、各機能が林齢の増加に伴って、どのように推移するかを整理しました。機能の推移を相対的に見るため単位は省略してありますが、各グラフの線が上にあるほど機能が高いことを示しています。

図1のように、林齢に伴う多面的機能の変化を比較する試みは、約20年前に Fujimori (2001) によって行われています。Fujimori (2001) では、国内外の研究をもとに4種類の森林の機能が比較されました。一方、本研究では国内のデータをもとに、10種類の森林の機能を人工林と天然林を区別して比較することができました。その結果、各機能は林齢に伴って多様な変化を示すことが分かりました。たとえば林齢の増加に伴い、老齢林指数、炭素貯留機能、水質浄化機能などは上昇する一方、幼齢林指数、花粉媒介機能、水源涵養機能などは低下します。林齢に対して異なる反応を示す機能は互いにトレードオフ関係にあり、類似の反応を示す機能は互いにシナジーの関係にあります。また、表土保持機能やコウタケ生産機能のように、林齢が30年前後の時期に評価値が高くなったり、低くなったりする機能もあります。

表1に、林齢も含めて、各機能の評価値と森林の特徴の関係を整理しました。林相に注目すると、老齢林指数、花粉媒介機能、保健休養機能、コウタケ生産機能は天然林で評価が高く、炭素貯留機能と木材生産機能は人工林で評価が高くなりました。また、斜面傾斜、道からの距離、集水面積の値が大きくなるほど、評価が低くなる機能が多く見られました。一方で、老齢林指数は集水面積が大きいと評価値が高くなりました。

表1. 各機能の評価値が高くなる森林の特徴

作成したモデルから推定される各機能の評価値を整理しました。林齢の列では機能の推移を矢印で示しています。林相の列では、天然林(天)と人工林(人)で評価が高くなる方を示しています。斜面傾斜、道からの距離、集水面積の列では、それぞれの項目が大きくなった時、各機能の評価値が高くなる(+)か、低くなる(-)かを示しています。空欄は各項目の影響が小さいことを示しています。

機能	林齢	林相	斜面傾斜	道からの距離	集水面積
生物多様性保全機能					
老齢林指数	J	天	-		+
幼齢林指数	(
花粉媒介機能	(天			
炭素貯留機能	(人			
水源涵養機能	(
表土保持機能	Ú		_		_
水質浄化機能	~				_
土砂崩壊抑制機能	J		-		
木材生産機能	J	人	_	_	
保健休養・アメニティ機能	~	天		-	
天然特用林産物生産機能	_				
ワラビ	(_	-	
コウタケ	A	天		_	-

このような表は、森林管理が複数の機能に与える影響を考える手助けになります。たとえば、緩傾斜地を天然林化することで老齢林指数の上昇が期待できますが、木材生産機能は低下すると考えられます。それぞれの森林の条件から、機能のシナジー、トレードオフ関係を考慮した森林管理を行うことが、多面的機能の発揮のカギです。

参考文献

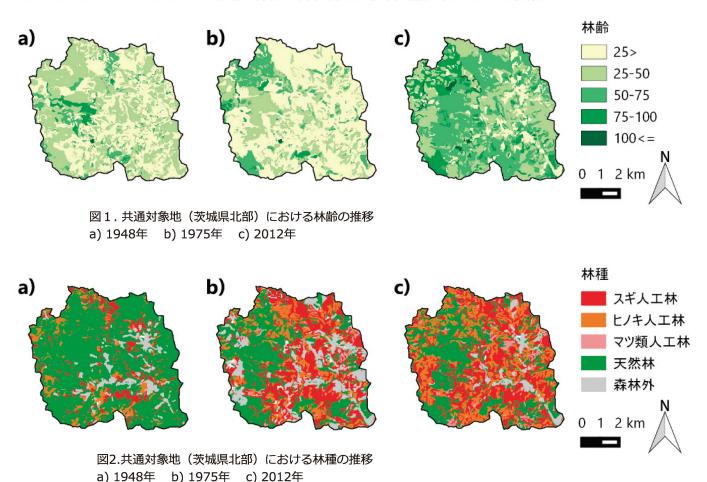
Fujimori T (2001) Ecological and silvicultural strategies for sustainable forest management. Elsevier.

12章 過去から現在への機能の変遷

森林管理と森林の変遷

我が国の森林は、社会状況の変化とそれに伴う森林管理の変化によって、大きな変遷をとげてきました。共通対象地においても、過去の森林管理が森林の様相に影響しています。過去の空中写真等をもとに作成した、戦後から現在までの3時期(1948年、1975年、2012年)における林齢(図1)と林種(図2)の分布図を見ることで、その推移を知ることができます。

1948年の時点では、天然林が共通対象地の多くを占めていました。1960年代に拡大造林による 天然林の伐採と人工造林が進むことで、1975年には若齢の人工林の面積が大きくなります。その後、 林業の不振等の影響から伐採があまり進まず、2012年には比較的高齢の森林が広く分布するように なっています。このように、地域の森林は森林管理の影響を強く受けながら変化しています。



多面的機能の変遷

森林管理と多面的機能の関係を明らかにするため、上で示した戦後から現在までの3時期の分布と本プロジェクトで作成したモデルを用いて、森林の多面的機能の地図を作成しました。その結果を整理したのが図3です。各機能は森林管理の影響を受けて、様々な変遷をたどってきたことが分かります。たとえば、老齢林指数は人工林の拡大によって減少した後、森林の成熟に伴って回復しています。一方で、花粉媒介機能は幼齢林が減少したために低下しました。

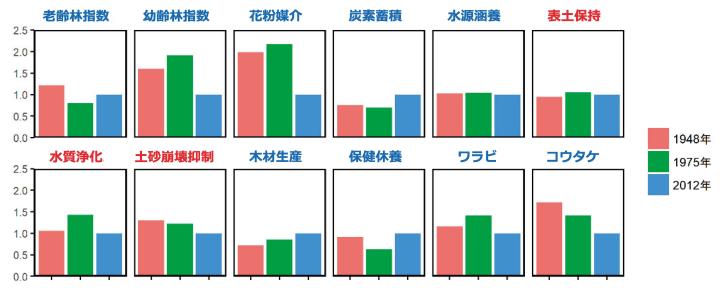


図3. 戦後から現在までの多面的機能の変遷

2012年の地域レベルでの評価値を1として、それ以前の2時期の相対的な評価値を示しました。青字と赤字で示した機能は、値が大きいほど評価がそれぞれ高い・低い機能を示します。この図は機能内での相対的な変遷を示しているため、機能間の比較を行う事はできません。たとえば、この図から「土砂崩壊抑制機能の変化量は表土保持機能よりも大きい」ということはできません。

機能の変遷を地図化することで、より多くのことが分かってきます。図4では老齢林指数の変遷を地図に示しました。図4と図1,2を見比べると、1948年から1975年にかけて人工林化した場所で機能が低下したことが分かります。また、2012年にはもともと天然林だったところが高齢化することで機能が上昇し、結果として全体の評価値が高くなっていました。また、花粉媒介機能の変遷(図5)からは、機能が高い森林の分布が時期により異なることがわかります。

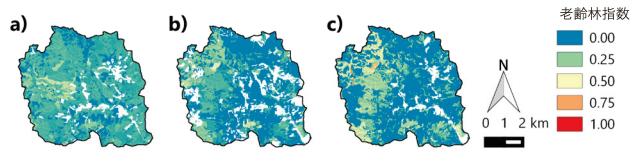


図4. 戦後から現在までの老齢林指数の変遷 a) 1948年 b) 1975年 c) 2012年

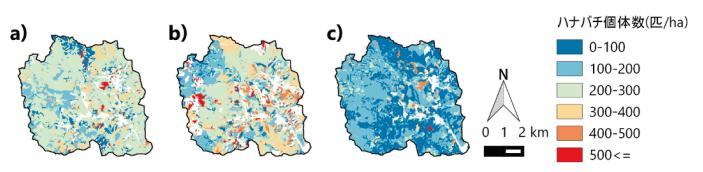


図5. 戦後から現在までの花粉媒介機能の変遷

a) 1948年 b) 1975年 c) 2012年

このように、森林管理がもたらす影響は機能によって異なるため、多角的な視点を持って森林やその 管理について評価する必要があります。また、機能の変遷を地図化することで、地域の森林の理解を深 めることができます。

13章 将来の森林管理と多面的機能

将来の森林管理

前章で過去から現在までの森林管理と多面的機能の変化を振り返りました。それでは、これからの森林管理をどのようにしていけばよいのでしょうか。本プロジェクトでは、それを考えるために、シミュレーションを用いて将来の多面的機能を予測しました。森林管理による影響を予測するため、表1に示す4つの森林管理シナリオを設定し、各シナリオにもとづいて将来の林齢と林種の分布図を作成し、それにモデルを適用することで機能を地図化しました(図1)。4つのシナリオは、今の森林管理がそのまま続くと仮定した現状シナリオ、人口減少を考慮した減産シナリオ、国産材供給を推進する増産シナリオ、増産しながら多面的機能に配慮するゾーニングシナリオです。

シナリオ	皆伐による木材生産量	備考
現行	8,614 m³/年	現行の伐採量
減産	4,307 m³/年	伐採量を1/2に
増産	37,699 m³/年	人工林の成長量を伐採
ゾーニング	37,699 m³/年	傾斜27度以上で伐採禁止

表1. 将来予測のための森林管理シナリオ

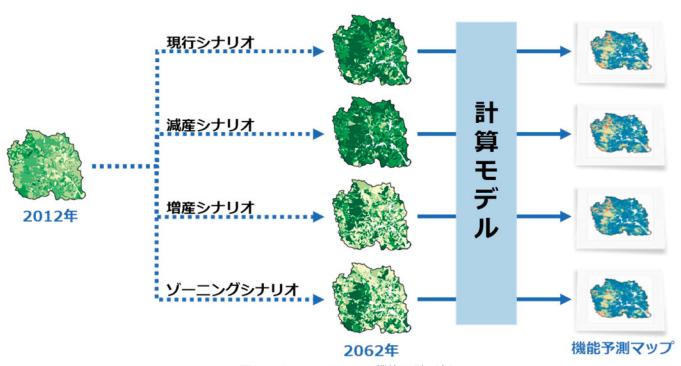


図1. シミュレーションと機能予測の流れ

シミュレーション

シミュレーションでは、2012年を起点として50年後(2062年)の機能を予測しました。まず、 実際に伐採された箇所を分析し、伐採のされやすさ(確率)を地図化しました。そして、シナリオ で定めた木材生産量に達するまで、伐採確率が高い場所から伐採・再造林が行われるように計算を 行いました。

多面的機能の予測結果

現在(2012年)の評価値を1とした時の50年後の多面的機能を図2に示しました。50年間で増加する機能と減少する機能があり、その程度はシナリオによって異なっていました。たとえば老齢の天然林で高くなる老齢林指数や保健休養機能は、現行・減産シナリオで大きく増加していました。一方、幼齢林で高くなる幼齢林指数や花粉媒介機能、天然特用林産物生産機能は、増産シナリオで増加しました。また、土砂崩壊抑制機能や水質浄化機能といった水土保全に関する機能は、現行・減産シナリオでは増加するものの、増産シナリオでは減少し、伐採箇所を緩傾斜地に制限するゾーニングシナリオでは、増産シナリオよりも機能の低下を抑制できることがわかりました。

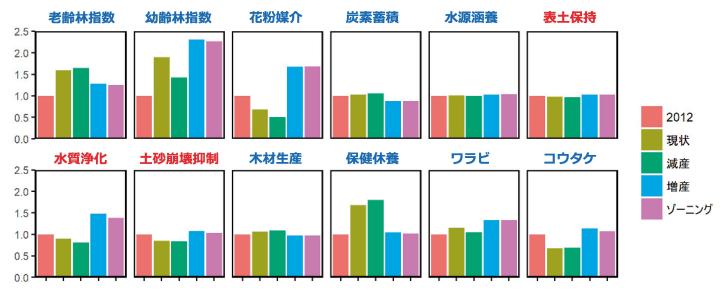


図2. 現在と50年後の多面的機能の予測

2012年の地域レベルでの評価値を1として、各シナリオの相対的な評価値を示しました。青字と赤字で示した機能は、値が大きいほど評価がそれぞれ高い・低い機能を示します。この図は機能内での相対的な違いを示しているため、機能間の比較を行う事はできません。たとえば、この図から「土砂崩壊抑制機能の変化量は表土保持機能よりも大きい」ということはできません。

図3では土砂崩壊抑制機能を2つのシナリオの間で比較しました。増産シナリオでは、もともと崩壊 危険度が高い中央部で、危険度が高い場所(赤色で示したランク a)がさらに増加しています。一方で ゾーニングシナリオでは、危険度が高い場所は中央部で減っていますが、他の場所へ広く分布していま す(地域全体では危険度が高い場所の面積は減っています)。このように、地図化することで数値だけ ではわからない森林管理の影響を見ることができます。

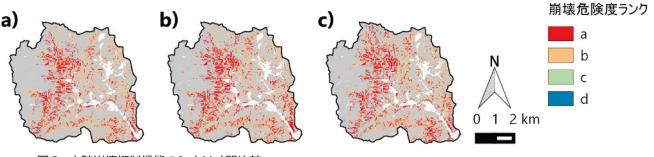


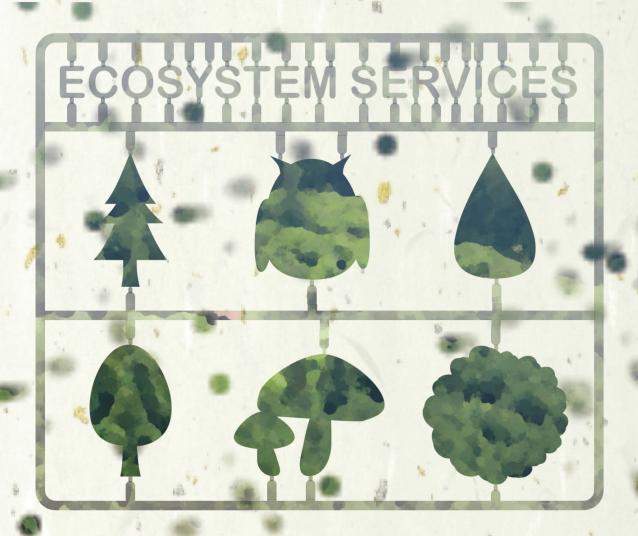
図3. 土砂崩壊抑制機能のシナリオ間比較

a) 現在(2012年)

b) 増産シナリオ(2062年)

c)ゾーニングシナリオ(2062年)

このようなシミュレーションと地図化により、森林管理によって将来の森林とその機能がどのように変化するのかを予測することができます。今後はモデルの精度向上と、共通対象地以外でも適用できるようにすることが課題ですが、このような課題を解決することで、本成果は森林の多面的機能を持続的に発揮させる森林管理計画の策定に貢献できます。



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地



発行日:2020(令和2)年11月2日発行 お問い合わせ先:広報普及科編集刊行係

電話: 029-829-8373

e-mail: kanko@ffpri.affrc.go.jp

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。