

森林総合研究所

交付金プロジェクト研究 成果集 43

基準・指標を適用した持続可能な
森林管理・計画手法の開発

独立行政法人 森林総合研究所

2011. 12

「交付金プロジェクト」は、平成13年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この成果集は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として公表するものである。

ISSN1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 43

「基準・指標を適用した持続可能な
森林管理・計画手法の開発」

発行日 平成23年12月31日

発行 独立行政法人森林総合研究所

〒305-8687茨城県つくば市松の里1番地

電話 029-873-3211（代表）

目 次

研究の要約	1
第1章 持続可能な森林経営の基準・指標の背景と動向	11
第2章 基準・指標の測定結果を用いた動態予測モデルの開発	16
1. 生物多様性動態予測モデルの開発	16
第3章 森林の健全性の危険度予測モデルの開発	31
1. 風害危険度の評価	31
2. 森林火災危険度の評価	37
3. 森林病害の危険度評価のための要因分析ーヒバ漏脂病を例として	45
4. 森林の健全性評価で考慮すべき要因	50
第4章 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発	57
1. 先進国におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の適用 ーアメリカ合衆国の事例から	57
2. 日本の森林・林業統計による地域レベルでの基準・指標の把握	65
3. 水土保持に関する基準・指標（土壌及び溪流水の水質）	76
4. 水量の保全に関する指標について	79
5. 社会経済に関する基準・指標の基盤である政府統計の近年の動向	85
6. 持続可能な森林経営の基準・指標で言及される 観光レクリエーション的側面	90
7. 複数の基準・指標による森林機能の評価	100

研究の要約

I 研究年次及び予算区分

平成 18～22 年（5 か年）
運営交付金（交付金プロジェクト）

II 主任研究者

主 査： 研究コーディネータ 加藤 隆（平成 18 年 4 月 1 日～平成 20 年 3 月 31 日）
森林管理研究領域長 家原敏郎（平成 20 年 4 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日）
（平成 20 年 4 月 1 日～平成 21 年 3 月 31 日；資源解析研究室長）
副主査： 資源解析研究室長 家原敏郎（平成 18 年 4 月 1 日～平成 20 年 3 月 31 日）
取りまとめ責任者： 家原敏郎

III 研究場所

森林総合研究所 東北支所
森林総合研究所 本所
森林総合研究所 多摩森林科学園
森林総合研究所 関西支所
森林総合研究所 四国支所
森林総合研究所 九州支所
静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

IV 研究目的

生物多様性、国土保全、森林の生産力など森林のもつ多面的機能に対する国民のニーズは大変高い。こういった森林の多面的機能を損なわないように森林を管理・経営するため、国際的には「持続可能な森林経営」の実践が求められている。持続可能性は「基準・指標」により科学的に測定され、我が国も基準・指標の国際的なグループのひとつであるモンテリオール・プロセスに参加している。

そのため森林総合研究所は、第 2 期中期計画で「持続可能な森林の計画・管理技術等の開発」を掲げた。本研究は中期計画の一部として、森林情報と関連づけて評価できる生物多様性動態予測モデルを開発し、指標の測定手法の科学的透明性と実用性を検証すること、及び森林の健全性を損なう生物被害と非生物被害について、環境要因・林分要因からの評価を行い、森林の健全性に対する危険度予測モデルを開発すること、生物多様性、森林の健全性のモデル、森林の生産力などから総合的な評価手法を開発し、日本の森林計画・管理への基準・指標の適用手法を提示することを目的とした。

V 研究方法

研究は、1 つの基準を単位として研究が必要であると考えられた生物多様性に関する基準（第

2章)、及び森林の健全性に関する基準(第3章)、基準・指標と林業統計の関係及び複数の基準・指標による総合的な評価、その他の注意すべき基準・指標(第4章)の3実施課題に分担して行った。報告書は、実施課題ごとに作成することを基本としたが、基準・指標は多くの内容を含み全体像が把握しにくいいため、第4章の成果の一部を用い、基準・指標の背景と動向に関する第1章を設けた。

第1章 持続可能な森林経営の基準・指標

主としてモンリオール・プロセス等の報告書や資料等をもとに、持続可能な森林経営の基準・指標の成立の背景と過程、近年の国際的な動向について調べ、全体像を把握した。

第2章 基準・指標の測定結果を用いた動態予測モデルの開発と検証

森林情報と関連づけて生物多様性の評価を行えるようにするため、生物多様性の測定スケールを、具体的な森林計画・管理の単位でありスケールの点で他の基準との整合がとりやすい森林計画区レベルまで拡大するため、生物種群のデータ収集を行い解析することにより、生物多様性の動態予測モデルを作成した。モデル作成のための測定手法をコスト・時間・科学的信頼性等について検証・評価した。

第3章 森林の健全性の危険度予測モデルの開発

森林の健全性を損なう生物被害と非生物被害の状況、環境要因・林分要因との関連性が比較的明瞭であるケースを分析することにより、健全性判定の科学的根拠と評価手法の開発を目的として、主要な被害に関する危険度予測モデルを提示した。

森林火災については、落葉層の含水比および延焼速度を火災発生危険度の指標として、岡山県竜ノ口山および熊本県立田山をテストサイトとして予測モデルを開発・適用した。風害に関しては、スギおよびヒノキの樹形と幹揺れの関係等を調査するとともに、過去に襲来した主な台風経路と強風分布に関するシミュレーションを行い、強風被害地の分布を比較しつつ、風害危険度マップを作成した。病害については、約20年生ヒバ人工林の漏脂病被害木から病原菌 *Cistella japonica* の分離等を行い、樹体内での分布様式、生息条件等を調べた。人工林の健全性評価の考え方を整理するため、気象害抵抗性の指標とされる形状比や林分構造と成長特性等を解析し、各種被害を回避するための森林施業等について提示した。

第4章 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発

基準・指標の森林管理への適用手法を開発するため、基準・指標の利用に関して先進的であるアメリカ合衆国より専門家を招聘し、取材等により地域レベルでの基準・指標の適用の事例を調査した。日本でどの程度基準・指標が把握可能か明らかにするため、茨城県北部の国有林である(旧)多賀森林計画区をテストエリアとし、過去からの地域森林計画書及び事業統計書を収集・分析した。指標値の算出のために、既存統計等の記載項目とモンリオール・プロセスの基準・指標の対応関係を調べ、どの指標が抽出可能であるか明らかにした。また、基準・指標の基礎データとなる森林・林業統計の動向、及び日本の森林分野では統計が取られていない土壌特性や水質などについてモニタリングの方向性を提示した。

多面的機能の評価するためのモデルを気象や地形のデータを用いて開発し、そのモデルを利用

して生物多様性（森林タイプ）、森林の健全性、森林の生産力の指標についてマップ化し、想定する森林管理目的に合わせゾーニングを行った。多面的機能による様々な制約条件に基づいて最適な森林計画を策定し、それに従うシミュレーションを行って指標値の変化を予測することで、多面的機能を総合的に評価し、合わせて基準・指標を使った総合的な評価手法として提示した。

VI 研究結果

研 究 計 画 表

課 題 名	担 当	期 間
(1) 基準・指標の測定結果を用いた動態予測モデルの開発と検証 (第2章執筆)	森林昆虫、森林植生、野生動物、森林遺伝、森林管理各研究領域 東北支所、関西支所、多摩森林科学園	18～22
(2) 森林の健全性の危険度予測モデルの開発 (第3章執筆)	植物生態、森林微生物、気象環境、水土保全各研究領域、 企画部、関西支所 静岡県森林・林業研究センター	18～22
(3) 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発 (第1章、第4章執筆)	森林管理、林業経営・政策、水土保全、立地環境各研究領域、 研究コーディネータ、上席研究員、 関西支所、四国支所	18～22

第1章 持続可能な森林経営の基準・指標

基準・指標の設立の背景や展開、近年の動向について取りまとめた。モニタリング・プロセスでは、今後も基準・指標を集めた報告書の定期的な作成が継続されること、その利用方法については、現在は指標値の変化トレンドを観察・評価するといったものに留まるが、今後は、数理的・総合的な評価など、より高度なものが望まれていることがわかった。

第2章 基準・指標の測定結果を用いた動態予測モデルの開発と検証

茨城県北部の多賀森林計画区内において、生物多様性の種の多様性を、森林の構造的指標を用いて評価し、ランドスケープレベルの種の多様性動態予測モデルを開発した。構造的な指標はモニタリング・プロセスで用いられている指標である、森林タイプ（植生）、遷移段階（林齢）、分断化（林分面積）が適当であることを現地調査によって検証し、これらを用いた。動態予測モデルによって予測を行った結果、森林生物の種の多様性は老齢林で高いことから、生物多様性の変化は長期予測が必要であり、ランドスケープレベルの種の多様性の変化は100年程度経過してから顕在化することが明らかとなった。

また、モニタリング・プロセスの遺伝的多様性の指標は個体数や分布状況であるが、新たに孤立化や個体群の分断化の指標化を検討したところ、両者は指標として適切である可能性があることがわかった。

第3章 森林の健全性の危険度予測モデルの開発

森林の健全性を評価する科学的根拠を踏まえた評価手法として、主要な生物被害と非生物被害を対象に、被害実態とその発生要因を分析して、主要な被害に関する危険度予測モデルを開発するとともに、森林の健全性を評価する上で明らかにすべき問題点を指摘した。

森林の健全性を低下させる主な非生物的被害として林野火災と風害があるが、これらは気象条件に大きく影響される。林野火災の危険度を判定するためには、林床落葉層の含水率から着火危険性を評価する「火災発生危険度」と、火災発生後の延焼速度を評価する「火災拡大危険度」があり、それぞれ林床可燃物含水比予測モデルおよび延焼速度予測モデルを改良して、林野火災の危険度を評価できた。たとえば、常緑広葉樹の混交率が高い林分では、発生危険度と拡大危険度のどちらも高くなりにくい。こうしたシミュレーション結果を、岡山県の「竜のログリーンシャワー公園」で検証し、森林タイプごとの火災危険度を日単位で判定することが可能となった。

森林の風害については、気象害に関する既存情報をデータベース化するとともに、台風被害地（静岡県、北海道）の調査結果から台風モデルを改良して、地域的な強風分布図の有効性を確認し、全国的な森林の風害に対する危険度予測マップを作成した。北海道苫小牧地区で2004年8月に発生した風害被害地のデータから、モデル解析に使用した台風コースと類似した台風であれば、70%程度の精度で危険度判定が可能と考えられた。本評価モデルにより、台風コースに応じた強風分布予測図を作成し、風害危険度の指標として活用できる。

森林の生物的被害については、非生物被害のように気象条件を主たる因子として危険度を評価できるわけではない。たとえば漏脂病では、その原因菌である漏脂病菌 (*Cistella japonica*) は樹皮内に潜在的に生息しており、樹幹が乾燥状態になると病原菌の分離頻度が低下することから、間伐・枝打ち等による林内通気環境の改善等を図ることで菌密度が低下すると考えられる。また風害軽減のためには、樹冠サイズや樹幹直径の制御などによる耐風性の改善などが重要である。したがって、森林の健全性評価にあたっては、気象条件等を主たる要因とする広域な評価だけでなく、森林施業による林分単位での評価も必要であり、各種被害に対する抵抗性等を加味した健全性評価が有効と考えられた。

第4章 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発

アメリカ合衆国森林局の基準・指標担当者から、合衆国における基準・指標の適用の最新の状況について聞き取り調査等を行った。その結果オレゴン州など先進的な州や郡では、地域レベルの基準・指標を制定し、森林計画のプロセスの中に組み込んでいること、基準・指標の選定では全ての基準を網羅するが、モントリオール・プロセスの指標から半数程度を精選し、指標によっては多少修正して用いていることがわかった。日本でも地域レベルの行政資料やデータから、モントリオール・プロセスの64指標のうち21指標は、精粗はあるが把握可能であり、アメリカ合衆国の地域レベルの指標と比べても遜色はないと考えられた。地域での基準・指標活用の第一歩として、把握可能な指標について、過去からの数値等の変化を整理し、グラフ化できるものはグラフで表し、森林計画策定のための資料として活用することが必要であると考えられた。

また、近年の統計改革により林業経営等の統計が減少し、基準6の指標への影響が懸念されることがわかった。土壌や水質の指標は、10年程度の期間にわたるモニタリングデータに基づけば、変化の抽出が可能であることがわかり、水量では、指標の対象となる森林地域の流路延長について、数値地形図等を使った算出方法を提示した。

複数の基準・指標による森林機能の評価を行い、様々な価値基準に基づいて森林計画を策定する手法を開発した。開発した手法においては、地域レベルの森林管理目的ゾーニングと、団地レベルの多面的機能を考慮した収穫規整を階層的に組み合わせ、茨城県北茨城市および高萩市を対象として適用例を示した。森林管理目的ゾーニングにおいては、生物多様性に関して森林タイプ（ブナ林成立適性）、及び森林の健全性モデルから風害危険度、土地生産力を評価指標として、木材生産、保全、およびその調和という森林管理目的をゾーニングする手法を提示した。多面的機能を考慮した収穫規整においては、隣接関係による伐採の制約および伐採後に天然生林へと再生する面積を制約条件として、持続可能な木材生産量を最大化するような伐採スケジュールを定める手法を提示した。このような階層的な手法によって、地域全体において森林の多面的機能を偏りなく発揮させるような森林配置計画と、個々の林分における伐採計画が有機的に結合され、持続的な森林管理の実践に有効であると考えられた。

以上より、森林情報と関連づけて評価できる生物多様性動態予測モデル及び森林の健全性に対する危険度予測モデルが開発され、生物多様性、森林の健全性のモデル、森林の生産力などから総合的な評価手法を開発し、既存の森林・林業統計からの指標の抽出と合わせ基準・指標の適用手法が提示され、当初の研究目的は達成された。

VII 成果の利活用

森林の生物多様性では、種の多様性が大変重要な要素である。本研究で提示した生物多様性の動態予測モデルは、基本的な森林タイプと3段階の林齢区分から種の多様性を評価するもので、現実には困難である、ある地域の森林に生息する生物の種数を全て数えること無しに、種の多様性の指標を計測できるようにしたものである。この考え方と手法の一部は、林野庁「生物多様性森林総合調査事業」に反映され、担当者はその立案に協力し、事業実施機関のアドバイザーボードに参画した。また、風害などの危険度予測モデルは、予め属地的なリスクを予測できるものであり、研究成果の一部が林野庁「気象災害に強い多様な森林整備調査事業」で使われた。以上は、今後ツールとして、地域での森林管理・計画や、国有林の生物多様性評価等への応用・利用が期待できる。

本研究で実施した海外の先進事例やモントリオール・プロセスの発展過程の研究から、森林・林業統計から指標を抽出しその時系列変化をまとめることが、森林管理への基準・指標利用の第一歩であることが明らかになり、実際に日本の地域レベルでの森林・林業統計からモントリオール・プロセスの基準・指標を抽出し提示した。21年度に林野庁により行われた日本国モントリオール・プロセス「第2回国別報告書」では担当者がその作成作業に協力し、以上のような考え方が報告書の作成に反映された。また、開発した総合的な評価手法は、森林林業再生プランで示された、団地集約化の考え方と親和性が高いものであり、今後の森林管理において有益な手法となると考えられる。

研究成果の普及のため、国際生物多様性の日記念シンポジウム(2008年及び2009年5月22日・早稲田大学)、森林計画研究会(2010年2月3日・東京大学)、ユフロ第23回世界大会基準・指標セッション(2010年8月24日・韓国ソウル市COEX国際会議場)、林野庁が企画したCBD/COP10サイドイベント(2010年10月18日・名古屋国際会議場)で本研究の成果を発表・講演し、公開

シンポジウム「持続可能な森林経営のための基準・指標－地域レベルへの適用」（2010年12月6日・東京大学）を開催した。国際機関に対しては、韓国で行われたモントリオール・プロセス第20回総会（21年6月9日・韓国済州市）で、成果の一部を日本における取組みとして紹介した。

VIII 今後の問題

生物多様性動態予測モデルをより一般化するため他地域への適用などが必要であり、そのため、外部資金による依頼プロジェクトで研究を進めている。また、本研究で開発した総合的評価手法には、当初そこまでは計画していなかったこともあり、土壌の保全及び水資源に関する面的な指標については、まだ取り込んでいない。これらは計測や面的なモデル化が困難ではあるが、森林機能の総合的な評価についてさらに発展させるため、個々の水土保全機能に関する研究に取り組むとともに、これらの総合的な評価を含めた森林機能のシミュレータ関連の研究が必要である。

IX 研究発表

第1章 持続可能な森林経営の基準・指標

家原敏郎・宮菌浩樹（2007）モントリオール・プロセスの「基準・指標」の改訂－モントリオール・プロセス、ワーキンググループ第17回会合報告．熱帯林業，68，74-82.

家原敏郎（2010）森林管理・計画と基準・指標－持続可能な森林経営の7つの要素．森林計画研究会報，439，1-7.

第2章 基準・指標の測定結果を用いた動態予測モデルの開発と検証

磯野昌弘（2006）昆虫調査ツールとしての羽化トラップ．日本昆虫学会大会講演要旨集，66，59.

東條一史（2007）日本産森林依存性鳥類種数の推定．森林総合研究所研究報告，6(1)，9-26.

東條一史・田中 浩（2007）森林タイプと林齢が鳥類の種多様性に与える影響．日本鳥学会2006年度大会講演要旨集，109.

岡部貴美子（2007）国際的基準指標に基づく持続的森林生態系管理．生態研センターセミナー，<http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/ecology/activities/2006.html>.

佐野真琴（2008）里山の生物多様性を予測する．国際生物多様性の日記念シンポジウム「里地里山の生物多様性」講演要旨，3.

Kikuchi, S., Shibata, M., Tanaka, H., Yoshimaru, H. and Niiyama, K. (2009) Analysis of the disassortative mating pattern in a heterodichogamous plant, *Acer mono Maxim.* Using microsatellite markers. *Plant Ecology*, 204, 43-54.

Yamaura, Y., Ikeno, S., Sano M., Okabe K. and Ozaki K (2009) Bird responses to broad-leaved forest patch area in a plantation landscape across seasons. *Biological Conservation*, 142, 2155-2165.

佐野真琴・宮本麻子・岡部貴美子・古家直行（2009）異なる森林の取り扱いによる生物多様性マップの推移と評価．第120回日本森林学会大会学術講演集，332.

Iehara, T, Sano, M., Okabe K., et. al. (2010) Development of a method for creating a local-level biological diversity map for sustainable forest management. *International Forestry Review*, 12(5), 90.

岡部貴美子 (2010) 生物多様性の基準・指標—種の多様性を測定、予測し森林管理に役立てる。森林総合研究所公開シンポジウム「持続可能な森林経営のための基準・指標—地域レベルへの適用」講演要旨。

岡部貴美子 (2011) 森林の生物多様性の評価。社団法人産業と環境の会主催「森林と生物多様性—COP10の成果をふまえた今後の取り組みに向けて」シンポジウム予稿集, 47-57.

岡部貴美子 (2011) 生物多様性保全のためのモニタリングとシナリオに基づく森林管理。森林計画研究会報, 442, 1-5.

第3章 森林の健全性の危険度予測モデルの開発

玉井幸治・後藤義明 (2006) 林床可燃物含水比予測モデルに対するパラメータと林内光環境の影響度。日本森林学会誌, 88(3), 150-155.

Suzuki, S., Goto, Y., Noguchi, H., Yoshitake, T., Otani, Y. (2007) Self-induced oscillation of a standing tree in wind. Proceedings of international conference on wind and trees, 55.

鈴木 覚・吉武 孝・後藤義明 (2008) 過去50年間の森林気象害の発生状況。関東森林研究, 59, 253-256.

玉井幸治・後藤義明 (2008) 林床可燃物の乾燥過程の特性—熊本市立田山実験林の場合。九州森林研究, 62, 208-209.

鈴木 覚・吉武 孝・岡野通明 (2006) 統計データによる森林気象害の発生規模の把握。日本森林学会大会講演集, 117, 235.

黒田慶子 (2006) 林業再生の道—新たな森林産業の構築へ向けて」シンポジウムの概要。森林・木材・環境アカデミー講演会「日本林業再生の道 Part II」要旨集, 1-6.

黒田慶子 (2006) スギ黒心の発生とその対策。木材工業, 61(12), 611-613.

Chiba, Y. (2006) Effects of thinning regime on stand growth in plantation forests using an architectural stand growth model. Management of natural resources, Sustainable development and ecological hazards, WIT Press, London, 321-328.

後藤義明 (2007) 林野火災の大規模化とその影響。森林火災対策協会報, 28, 5-7.

後藤義明 (2007) 大規模林野火災の発生要因とその影響。しんりんほぜん (森林保全研究会会報), 64, 12-15.

Tamai K. and Goto Y. (2007) The estimation for temporal and spatial fluctuation of forest fire hazard index: The case of forested public area in Japan. Proceedings of East FIRE Conference.

千葉幸弘 (2007) 高齢化する人工林。森林技術, 786, 24-25.

吉武 孝・鈴木 覚・後藤義明・杉山正幸・荒井和徳 (2007) スギ・ヒノキ人工林の幹揺れと間伐の関係。樹木医学会第12回大会講演要旨, 43.

千葉幸弘 (2007) 長伐期林への道しるべ。森林技術, 789, 8-14.

千葉幸弘 (2008) 炭素量としてカウントされていない森林の付着枯死量。関東森林研究, 59, 181-182.

Tamai, K. and Goto, Y. (2008) The estimation of temporal and spatial fluctuations in a forest fire hazard index - the case of a forested public area in Japan. WIT transactions on Ecology

and the Environment, 119, 397-404.

千葉幸弘 (2008) 長伐期林への道筋を考える (I) 高齢林の成長特性. 森林技術, 801, 9-15.

渡井 純・加藤 徹 (静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター) (2009) 平成 16 年台風 22 号による風倒木被害地の植生回復状況, 中部森林研究, 57.

吉武 孝・鈴木 覚・黒川 潮 (2009) 台風モデル解析による強風分布図作成の試み. 関東森林研究, 60, 245-248.

黒川 潮・吉武 孝・鈴木 覚・渡井 純・加藤 徹 (2009) 台風モデルを用いて作成された風害発生危険地区分図の精度検証. 関東森林研究, 60, 249-252.

鈴木 覚・吉武 孝・後藤義明 (2009) 日本における森林気象害の発生状況 (1954 年度～2003 年度). 森林総研研報, 8(1), 71-100.

千葉幸弘 (2009) 間伐に伴う林冠再開鎖までの所要年数. 関東森林研究, 60, 149-150.

千葉幸弘 (2009) 長伐期林への道筋を考える (II) 樹冠長を目安とした高齢林の管理. 森林技術, 802, 11-17.

市原 優・窪野高徳・升屋勇人・田端雅進・田中功二 (青森県林試)・兼平文憲 (元青森県林試) (2009) ヒバ漏脂病における *Cistella japonica* 接種方法の改良. 第 120 回日本森林学会大会講演集, 832.

後藤義明 (2009) インドネシア共和国リアウ州における泥炭地の火災について. 森林火災対策協会報, 29, 9-10.

玉井幸治 (2009) 林床可燃物含水比の予測-林冠下の光環境について. 水利科学, 53(3), 29-51.

後藤義明 (2009) 山火事による土壌侵食と植生による侵食防止効果. 水利科学, 53(4), 73-85.

黒川 潮 (2009) 風害の危険地をはかる. 森林科学, 57, 40.

右田千春・千葉幸弘 (2010) 節解析によるスギ林木の成長過程の復元. 森林立地, 52, 87-94.

吉武 孝 (2010) 複層林化・長伐期化等の非皆伐施業の最適化に関する調査事業 (気象災害に強い多様な森林整備) 報告書. 林野庁, 18-39, 別添資料 1-18.

千葉幸弘 (2010) 複層林化・長伐期化等の非皆伐施業の最適化に関する調査事業 (気象災害に強い多様な森林整備) 報告書. 林野庁, 5-17, 87-88.

千葉幸弘 (2010) 樹木の成長と山林の施業管理. 森林・林業講座テキスト、森林再生システム・トヨタ自動車, 11-17.

千葉幸弘 (2010) 森林の被害危険度を評価する指標. 森林総合研究所公開シンポジウム「持続可能な森林経営のための基準・指標-地域レベルへの適用」講演要旨.

第 4 章 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発

光田 靖・家原敏郎・松本光朗 (2006) 基準と指標の森林計画への応用に関する研究レビュー. 第 117 回日本森林学会大会講演集, 85.

光田 靖・伊藤 哲 (2006) 国土数値情報を利用した土地利用形態の立地依存性の解析 II-3 次メッシュ内の土地利用形態別面積による解析. 日本景観生態学会第 16 回大会講演要旨集, 49.

山本伸幸 (2006) 統計制度改革下、逆風の中の林野統計. 山林, 1470, 58-67.

山本伸幸 (2006) 統計改革下の林野統計の動向. 林業経済学会秋季大会口頭発表.

山本伸幸 (2006) 統計改革下の林野統計の動向. 林業経済学会研究会 BOX 口頭発表.

- 家原敏郎・光田 靖 (2007) 森林計画区レベルの統計資料とモントリオールプロセスの基準・指標の関係. 日本森林学会関東支部論文集, 58, 45-48.
- Mitsuda, Y., Ito, S. and Sakamoto, S (2007) Predicting the site index of sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. *Journal of Forest Research*, 12, 177-186.
- 山本伸幸 (2007) 地籍調査の現状. 『森林・木材を活かす大事典』産業調査会.
- 山本伸幸 (2007) 統計法改正と林野統計のこれから. 農政と公務労働, 101, 11-18.
- 家原敏郎・光田 靖 (2008) 森林計画区でのモントリオール・プロセスの基準 6, 7 の指標の把握. 関東森林研究, 59, 19-20.
- 光田 靖・家原敏郎・松本光朗 (2008) 森林生態系タイプ把握のための立地区分の試み. 関東森林研究, 59, 25-26.
- 山本伸幸 (2008) 統計法改正. 木材情報, 204, 22.
- Mitsuda, Y., Iehara, T., Sano, M. and Tanaka, H. (2008) Developing the distribution model of *Fagus crenata* forest for local landscape management using climatic, topographic and human disturbance factors. Abstracts of the 8th IUFRO International Beech Symposium, 125-127.
- 光田 靖・家原敏郎・松本光朗・岡 裕泰 (2009) 基準・指標の理念に基づく森林計画手法に関する検討. 森林計画学会誌, 42 (1), 1-14.
- 田中伸彦・渡辺杏子 (元東京農大) ・宮林茂幸・関岡東生 (東京農大) (2009) 千葉県民の森における森林レクリエーションのための空間整備および管理者の意識—1990年代・2000年代の調査結果を用いた時系列的比較. 関東森林研究, 60, 5-9.
- 家原敏郎・光田靖 (2009) アメリカ合衆国におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の適用. 関東森林研究, 60, 59-60.
- 家原敏郎・光田 靖 (2009) モントリオール・プロセスの近年の動向. 第120回日本森林学会大会学術講演集, 323.
- 光田 靖・家原敏郎・松本光朗 (2009) 基準・指標を森林経営へ応用するための手法としてのゾーニング. 第120回日本森林学会大会学術講演集, 327.
- 山本伸幸 (2009) 統計制度改革と林野統計. 餅田治之・志賀和人 編著『日本林業の構造変化とセンサス体系の再編—2005年林業センサス分析—』, 農林統計協会, 35-53.
- 家原敏郎 (2009) 統計学的なサンプリングプロットによる森林資源調査. 森林技術, 807, 26-31.
- 山本伸幸 (2009) 瀬戸際に立つ森林・林業統計. 森林総合研究所関西支所研究情報, 93, 1.
- Mitsuda, Y., Iehara, T. and Matsumoto, M. (2009) A forest zoning system using forest productivity and biodiversity indices for cool temperate forest landscapes in north Ibaraki Prefecture, Japan. Abstracts of International Conference on Multipurpose Forest Management, 36.
- 家原敏郎・光田靖 (2010) モントリオール・プロセス基準 7 の改訂指標の特徴と地域レベルでの把握. 関東森林研究, 61, 77-78.
- 家原敏郎・光田 靖 (2010) モントリオール・プロセス第2回国別報告書の特徴. 第121回日本森林学会大会学術講演集, 61.
- 山本伸幸・立花 敏 (2010) 森林・林業統計のこれから—活用と課題に着目して. 林業経済,

63(1), 16.

Mitsuda, Y., Iehara, T. and Matsumoto, M. (2010) Localizing the Montreal Process Criteria and Indicators for local level forest planning of cool temperate forest landscapes in north Ibaraki Prefecture, Japan. *International Forestry Review*, 12(5), 92.

Tanaka, N., Iehara, T. and et. al (2010) Criteria and Indicators for Sustainable Recreational Use in Japan. *International Forestry Review*, 12(5), 119.

Yamamoto, N. (2010) The future view of the forest and forestry statistics in Japan. 23th IUFRO World Congress, HP09-P02.

家原敏郎 (2010) 地域レベルの行政統計・資料から把握できる基準・指標. 森林総合研究所公開シンポジウム「持続可能な森林経営のための基準・指標－地域レベルへの適用」講演要旨.

光田 靖 (2010) 複数の基準・指標による評価－森林の配置計画への応用. 森林総合研究所公開シンポジウム「持続可能な森林経営のための基準・指標－地域レベルへの適用」講演要旨.

家原敏郎 (2011) オレゴン州におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の応用. 関東森林研究. 62, 41-44.

田中伸彦・家原俊郎・杉村乾・宮本麻子・松浦俊也 (2011) モントリオール・プロセスにおける持続可能な森林管理と観光. 東海大学紀要 観光学部, 1, 1-14.

山本伸幸 (2011) 森林・林業統計の現状と展望. 山林, 1522, 10-16.

家原敏郎・光田 靖 (2011) モントリオール・プロセス第2回国別報告書の国際比較. 第122回日本森林学会大会学術講演集, 226.

X 研究担当者

第2章 基準・指標の測定結果を用いた動態予測モデルの開発と検証

岡部貴美子 (森林昆虫領域・チーム長)、井上大成 (多摩森林科学園・教育的環境グループ)、磯野昌弘 (東北支所・生物被害グループ)、田中 浩 (森林植生領域長)、阿部 真 (森林植生領域・群落動態研)、服部力 (関西支所・生物被害グループ)、東條一史 (野生動物領域・鳥獣生態研)、佐野真琴 (森林管理領域・資源解析研)、宮本麻子 (森林管理領域・環境計画研)、吉丸博志 (森林遺伝領域長)、菊地 賢 (森林遺伝領域・生態遺伝研)

第3章 森林の健全性の危険度予測モデルの開発

千葉幸弘 (温暖化対応推進拠点長)、後藤忠男 (国際連携拠点長)、窪野高徳 (森林微生物領域長)、吉武 孝 (元企画部)、後藤義明 (気象環境領域・チーム長)、鈴木 覚 (気象環境領域・気象害防災林研)、玉井幸治 (水土保全領域・チーム長)、黒川 潮 (関西支所・森林環境グループ)、黒田慶子 (関西支所・地域研究監 (現神戸大学))、渡井 純、加藤 徹 (静岡県林業技術センター)

第4章 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発及び第1章

家原敏郎 (森林管理領域長)、光田靖 (四国支所・流域管理研究グループ)、田中伸彦 (元上席研究員 (現東海大学))、松本光朗 (研究コーディネータ)、山本伸幸 (関西支所・チーム長)、岡裕泰 (林業経営政策領域・林業システム研)、吉永秀一郎 (九州支所・産学官連携調整監)、坪山良夫 (水土保全領域・水保全研)

※研究終了時 (平成23年3月) または退職時点の所属を示した。

第1章 持続可能な森林経営の基準・指標の背景と動向

ア 研究目的

基準・指標の適用手法の開発のため、まず基準・指標成立の背景や概要、国際的な動向を調べ、基準・指標について今後必要な研究の方向性を検討することを目的とした。

イ 研究方法

主としてモンリオール・プロセス等の報告書や資料等をもとに、持続可能な森林経営の基準・指標の背景と成立の過程、概要と近年の動向について調査、検討した。

ウ 結果

1) 基準・指標の発足の背景

1980年代から90年代にかけて、熱帯林の破壊・減少、ヨーロッパでの酸性雨による森林被害、森林伐採などによって放出されたCO₂による地球温暖化への懸念など、森林に関わる問題が、地球環境全体に関わる問題であると強く意識された。それを受け、1992年6月リオデジャネイロで、世界の首脳たちが集まり地球環境問題を討議する「国連環境と開発に関する会議」が開催された。この会議で気候変動枠組み条約と生物多様性条約が事実上スタートした。森林・林業分野では、「Sustainable Forest Management＝持続可能な森林経営」の実現が中心議題となった。

「持続可能な森林経営」の定義として、ITTO（国際熱帯木材機関）は、「永久地を一ないしそれ以上の明示された経営の目的を（持続的に目標とされた森林産物の生産が断続することなく、また、その固有の価値及び将来の生産性を削減することなく、さらに、不当な好ましからざる影響を物理的及び社会環境に及ぼすことなく）達成するための経営過程をいう」と定義している（国際林業協力会1996）。すなわち、森林の有する多面的機能（生産、物理的環境、社会環境）を将来にわたり壊すことなく持続的に発揮できるような森林経営」と解釈できる（家原2010）。

この会議で、持続可能な森林経営を実現するための森林条約を作ることを目指したが、南北間の対立から果たせず、代わりに法的拘束力はないが、権威がある国際文書として森林原則声明及びアジェンダ21が採択された。アジェンダ21では、世界の全ての森林タイプの保全と持続可能な発展のために、科学的な基準とガイドラインを作ること、森林の体系的な観察とアセスメントのための科学的な基準を作ることが提議された（国連事務局1993）。

2) 国際的な基準・指標プロセスの発足と概要

アジェンダ21で提議された、持続可能な森林経営の程度を測定するためのツールとして、基準・指標（Criteria and Indicator）が考えだされた。基準とは、例えば森林の生産力のように、持続可能であるべき森林機能等のカテゴリーを示すものである。指標とは、基準を測るためのメジャーで、1つの基準に対し複数設定される。例えば、森林の生産力の基準に対しては、森林面積や、成長量に対する伐採量が良い指標となる。

基準・指標として最初のものは、ITTOの持続可能性の測定基準（1992年7月）で、次いで1993年6月には、汎ヨーロッパ森林プロセス（現フォレスト・ヨーロッパ）が発足した。1994年6月

には、カナダ、アメリカ合衆国、日本など環太平洋温帯・北方林諸国がモンテリオール・プロセスを発足させ、基準・指標作りを開始した（国際林業協力会 1996）。

その後 FAO（国連食料農業機関）が指導し、国際的な基準・指標プロセスが続々と作られ、現在 9 つのプロセスができ、世界のほとんどの国が参加している（表 1-1）。多くの国が参加することで基準・指標が共用され、共通の理解が促進することが期待できる。ただし、世界の森林は多様で、例えば高等植物の種数のように温帯林では測定可能でも、熱帯林では種類が多く分類が難しいため測定が困難な指標もあるので、基準・指標は世界のブロック別に作られ、地域による相違を認識しつつ、森林のどういう機能を重視すべきかといった世界共通のルールを提供するものとなっている。国際的な基準・指標プロセスは、国際条約に基づくものではなくボランティアな活動だが、各国政府の森林・林業及び外交部局が参加するものである。

3) モンテリオール・プロセスの概要

日本が参加しているモンテリオール・プロセスは、カナダ、アメリカ合衆国、ロシア、日本、オーストラリア、チリ、韓国、メキシコ、ニュージーランドの 9 ヶ国により 1994 年 6 月に発足し、その後アルゼンチン、ウルグアイ、中国を加え、環太平洋 12 カ国、ヨーロッパを除く温帯林・北方林諸国による国際的な基準・指標プロセスである。1994 年 6 月の発足後基準・指標の作成を進め、翌 1995 年 2 月には、7 基準 67 指標を策定し、サンチャゴ宣言として公表した。モンテリオール・プロセスの基準・指標の概要を表 1-2 に示す。モンテリオール・プロセスの発足に大きな役割を果たしたカナダの（元）森林局長 J. Maini 氏は、7 つの基準の関係を図 1-1 のように示した。基準 3 の森林の健全性が持続可能な森林経営の基盤であり、森林の機能である生物多様性、生産力、土壌と水資源、炭素吸収（基準 1、2、4、5）が社会を支え、その結果として社会・経済便益（基準 6）が生まれ、法制度（基準 7）の屋根が守る、という構造である。

表 1-1 世界の基準・指標プロセス

プロセス名	地 域	加盟国数	基準・指標数
ITTO プロセス	国際熱帯木材機関加盟生産国	27	5 基準 27 指標
汎ヨーロッパ森林プロセス	欧州の温帯林・北方林諸国	38*	6 基準 27 指標
モンテリオール・プロセス	非欧州の温帯林・北方林諸国	12	7 基準 67 指標
タラポト・プロポーザル	アマゾン協力条約加盟国	8	7 基準 47 指標
乾燥アフリカイニシアティブ	サハラ以南の乾燥アフリカ諸国	27	7 基準 47 指標
中近東プロセス	北アフリカ・中近東諸国	30	7 基準 65 指標
中央アメリカ・ラパチュルクプロセス	中央アメリカ諸国	7	8 基準 52 指標
アフリカ木材機関プロセス	熱帯アフリカ諸国	13	5 原則 60 指標
アジア乾燥林プロセス	南アジア・東南アジア乾燥林	10	8 基準 49 指標

注) *: 欧州委員会を含む。

出典：「持続可能な森林経営のための基準・指標に関する政府間セミナー」レポート（1996. 8）

ISO/TC207/WG2 テクニカルレポート（1997. 12）

FAO, FORESTRY INFORMATION NOTE (Updated 1997. 8) "Criteria and indicators for sustainable forest management"

モントリオール・プロセスは1995年カナダ（2007年から林野庁計画課海外林業協力室）に連絡事務局、1996年には技術諮問委員会を設置し、総会、委員会をそれぞれほぼ年1回のペースで行い、フォレスト・ヨーロッパ、ITTOと同様に活発な活動を行っている。

モントリオール・プロセスでは、2003年10月開催の第12回世界林業会議に合わせ、各国の森林・林業に関する基準・指標値をまとめた第1回国別報告書、及び代表的な指標について各国の指標値を集めた第1回概要報告書を発行した。第12回世界林業会議では、サイドイベントや展示ブースでモントリオール・プロセスの活動や報告書が紹介され、同時に開催されたハイレベル会合では、活動の継続と指標の改良、地域レベルでの基準・指標の応用、指標に関する研究開発などを盛り込んだケベック宣言が採択された（Montreal process 2003）。

モントリオール・プロセスでは、順応的森林管理の一環として、指標を継続的に改良することとしている。そのため、2004年から指標の改訂作業が行われ、2006年7月に札幌での総会で基準1～6の指標が改訂され7基準64指標となった。改訂指標を用いて第2回国別報告書を作成することが決定された（家原・宮菌2007）。また、2007年には、第3回報告書からの使用を予定して、基準7の指標も改訂された。第2回国別報告書は2009年10月にブエノスアイレスで行われた第13回世界林業会議に合わせ作成・公表された（林野庁2009、佐藤2010）。

4) 基準・指標の意義

基準・指標の意義について、モントリオール・プロセス技術諮問委員会の前議長は、以下のよう述べている。南米の一部など、国家としての充実した森林統計を持たなかった国では、森林関係データを集めるための良い動機となる。先進国でも、生物多様性など林業以外の森林に関する広い分野のデータを組織的に集める良い機会となる。また、連邦制をとっているような国では、国家としてまとまった統計が取りにくいので、基準・指標が大変役にたつ（家原・光田2009）。

表1-2 モントリオール・プロセスの基準・指標の概要（2006改訂指標）

基準	主要な指標の内容
基準1. 生物多様性の保全	森林タイプ、森林の分断度、種数、絶滅危惧種、遺伝的多様性の危機にある種数と分布域、個体数レベル、多様性保全に向けた取組
基準2. 森林生態系の生産力の維持	木材生産利用可能面積、蓄積、成長量に対する伐採量、非木材林産物
基準3. 森林生態系の健全性と活力の維持	生物的要因（病虫害等）による森林被害、非生物的要因（火災、暴風等）による森林被害
基準4. 土壌及び水資源の保全と維持	保安林、土壌劣化、土壌・水保全の法令遵守、森林地帯河川水の物理・化学・生物的变化
基準5. 地球的炭素循環への寄与の維持	森林生態系・林産物の炭素蓄積とフラックス、バイオマスエネルギーの寄与
基準6. 社会の要望を満たす長期的・多面的な社会・経済的便益の維持	生産・消費、環境便益、貿易、投資、雇用、先住民、レクリエーション、文化ニーズ
基準7. 森林の保全と持続可能な経営のための法的、制度的及び経済的枠組み	法制度、森林計画、政策、啓蒙・教育、市民参加、モニタリング、研究・技術

注) 指標の詳細については、本報告書第4章2を参照。

基準・指標による持続可能な森林経営の評価については、成長量に対する伐採量の比といった、理解しやすい指標もある。しかし多くの場合、数量的に指標の良否を評価することが難しいため、指標の長期的な変化をグラフ化し、トレンドが良い方向かそうでないかという判断したら良いと言われている（家原 2010）。図 1-2 に、モントリオール・プロセス第 1 回概要報告書に記載された各国の森林面積の長期変化のグラフを示す。この図からどの国で森林減少が顕著なのか、過去に減少させた国では回復に努めているのか、などが明らかになる。このような図が国際的に公開されると、問題がある国が明らかになるので、当該国の担当者は森林減少回避に努力すると期待できる。基準・指標はデータ公開によって自発的な努力を促すために考えられた仕組みであるといえる。

1 つの基準には、複数の指標が設定されるが、これは、森林の特定の機能を、1 つの側面から評価するのではなくて、複数の側面から見て総合的に評価しようということである。ある指標が良くなった場合に別の指標は悪くなるというように、指標は相互関係をもっている。そのため指標間の関係分析や、指標の中でも特に重要なものの選択や、評価を容易とするための指標の科学的な評価手法の開発は今後の研究課題とされている (Montreal process 2003)。基準・指標を使った森林の評価については、米国の一部の国有林のように先進的な所でも、現状では、複数の森林計画案における指標の将来予測を、有識者を含む利害関係者が円卓会議で協議して評価するというような方法が取られている（家原・光田 2009）。

エ 考察

以上から、基準・指標の背景や必要性は明確であると考えられたが、その利用方法については、現時点では、指標値の変化トレンドや将来予測を中心に、専門家を含むステークホルダーが会議で評価するといったものであるとまとめられた。指標間の関係分析や、指標の選択・重みづけ、指標値の閾値や許容範囲の問題、総合的・数量的な評価など、これからの課題が多く残されている。

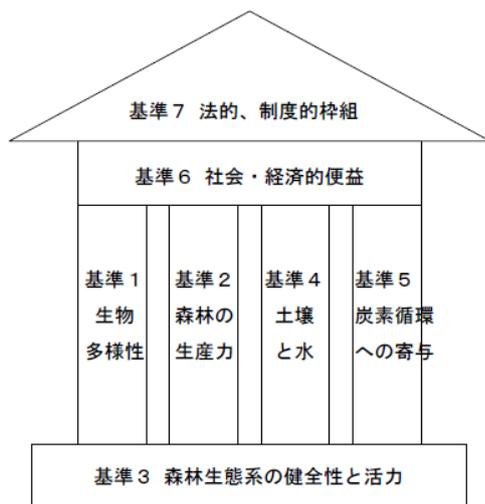


図 1-1 モントリオール・プロセスの基準の構造

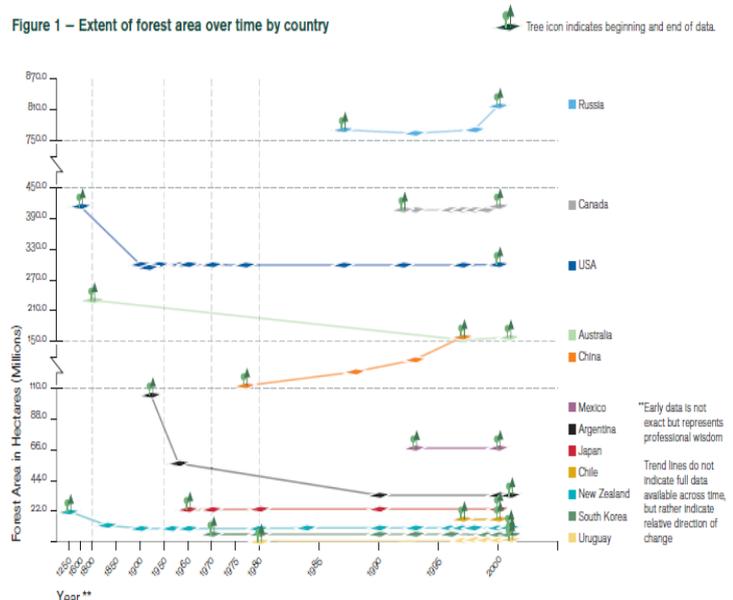


図 1-2 各国の森林面積のトレンド
(出典:モントリオール・プロセス第 1 回概要報告書)

ると考えられた。これは、課題としては難しいものだが、研究の必要性は高いといえる。

本報告書の第2章の生物多様性動態予測モデル及び第3章の森林の健全性に対する危険度予測モデルは、指標をトレンドとして過去の結果に留めるだけではなく、将来の予測に使えるモデルに発展させたものであり、第4章7は複数の指標を使った総合的評価手法に関するものであり、モントリオール・プロセスが今後の検討課題とした方向に沿うものと考えられる。

オ 今後の問題点

基準・指標の利用に関する研究、あるいは関連して森林機能の評価に関する研究は、今後とも森林シミュレータなど各種の研究の中で取り組む必要がある。また、基準・指標は、地球環境問題という社会的なニーズが環境政策に影響を与え考え出された概念であるため、その展開過程を考察すると、今後も政策にあわせ変化したり発展することもありうる。指標値を計測・評価する技術的な研究だけでなく、国際的な基準・指標プロセスを政策研究の1テーマとして研究対象にすることも必要であろう。

カ 要約

基準・指標は、持続可能な森林経営の程度を計測するツールとして作られた。日本が参加するモントリオール・プロセスをはじめとする国際的な基準・指標のプロセスが作られ、世界のほとんどの国が参加している。モントリオール・プロセスでは、改訂を経て7基準64指標からなる基準・指標を制定し、指標値を示した国別報告書を2回作成し、今後も報告書の作成は継続される。基準・指標の背景や必要性は明確であると考えられたが、その利用方法については、基準・指標の利用としては、現在は指標値の変化トレンドを評価するといったものであるが、今後は総合的な評価などによる、高度な利用が望まれている。

キ 引用文献

国際林業協力会（1996）持続可能な森林経営にむけて。日本林業調査会，454pp.

家原敏郎（2010）森林管理・計画と基準・指標－持続可能な森林経営の7つの要素。森林計画研究会報，439，1-7.

国連事務局監修（1993）アジェンダ21。海外環境協力センター，461pp.

Montreal process（2003）Montreal process first overview report 2003。20pp.

家原敏郎・宮藺浩樹（2007）モントリオール・プロセスの「基準・指標」の改訂。熱帯林業，68，74-82.

林野庁（2009）我が国の森林と森林経営の現状－モントリオール・プロセス第2回国別報告書，pp.136

佐藤雄一（2010）モントリオール・プロセス「第2回国別報告書」（日本）の公表について。森林計画研究会報438：7-10

家原敏郎・光田靖（2009）アメリカ合衆国におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の適用。関東森林研究，60，59-60.

第2章 基準・指標の測定結果を用いた生物多様性動態予測モデルの開発

1. 生物多様性動態予測モデルの開発

ア 研究目的

森林の多面的機能を発揮させ持続可能な森林管理な森林利用のために、日本国内でもモントリオール・プロセス（MP）に基づく基準・指標の重要性が増している。MPでは各国が国別レポートを発表するほか、研究者主導の国際シンポジウムやワークショップを開催し、指標の評価、測定手法の開発、測定結果の評価手法開発などの科学的なサポートに取り組んできた。またMPは国レベルの指標の他に、各国が地域レベルで森林管理に有用な指標を開発することを推奨している。これに基づき、カナダでは国～施業単位レベルのモニタリング指標の開発が行われてきた。このようなモニタリングを継続することにより、森林の現状が明らかになるだけでなく、森林管理の評価も行うことが可能になることから、順応的な森林管理には適切な指標の選定とモニタリングが欠かせない。

1992年以來、森林総研ではMPの基準1「生物多様性の保全」における指標の測定手法の開発などに関する研究に取り組んできた。その結果、森林のタイプや遷移段階によって様々な生物の種数が変化すること、変化には一定の傾向があることなどから種の多様性については予測できる可能性が高いことが明らかになってきた。これらのことから本実施課題では、これまでの研究成果を用いて生物多様性（種の多様性）測定結果の実用化に向けた予測モデルの作成に取り組むこととした。予測モデルは持続可能な森林管理・計画手法の開発に資するために地域的なモデルとし、茨城県北部（八溝・多賀森林計画区内）をモデル地域とした。なお本実施課題の研究の一部は、平成19年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業課題番号1959「国際的基準に基づく森林の生物多様性変化予測・評価手法の開発」によって行われた。

遺伝的多様性の保全は、モントリオール・プロセスで設定された持続可能な森林経営のための基準・指標のなかにも挙げられているが、実際に、森林施業が森林樹木の遺伝的多様性の維持に与える影響については、詳細な研究が少ないのが現状である。森林施業等による森林景観の変化は、種組成に変化を与えるとともに、特定の種について見れば、集団を分断化させ、あるいは孤立化させる。こうした集団の孤立・縮小は、構成種集団が保持する遺伝的多様性を減少させ、環境適応能力の低下や近交弱勢によって、集団の絶滅リスクを高めることが予想される。そこで本実施課題では、森林施業による景観の分断化が森林樹木の遺伝的多様性の維持に与える影響も検討するため、日本の温帯性落葉樹林の主要構成樹種のひとつであるイタヤカエデを対象として、遺伝解析をおこなった。

イ 研究方法

1) 種の多様性動態予測モデルの開発

生物多様性予測モデル開発のための種の多様性情報は、Makino (2006)を用いた。予測モデルを作成する地域は、生物多様性を収集した地域が北茨城市北部及びその周辺だったことから、茨城県内の山岳林地帯に位置する八溝多賀森林計画区内とした（図2-1-1）。

予測モデルの作成は以下の手順で行った。

(1) 分布情報の基礎となる空間スケールの整理

生物多様性情報を収集した分類群について、文献及び専門家の経験に基づき、該当地域における分布状況と各個体の移動分散距離を推定した。

(2) 生物の空間配置情報の基礎となる土地被覆図の作成

森林構造と種の多様性の関係を明らかにし、予測に必要な植生タイプや遷移段階のカテゴリーを明らかにした。これらに基づき、該当地域の森林施業図及び空中写真から土地被覆図を作成した。またランドスケープ構造を定量化する空間パターン分析プログラム (FRAGSTATS 3.3) を用いて生物多様性に関わるランドスケープ解析を行い、該当地域における生態系の特徴を明らかにした。

(3) 生物多様性予測モデルプロトコルの作成

生物多様性ベースマップとして、対象地域の約半分について、土地被覆図を 2003 年撮影の空中写真を判読して作成し、GIS データとして格納した。これらの生物および地理的情報を元に、平成 19 年度高度化事業において当該地域の生物多様性予測マップを作成した。

(4) 予測結果の検証

事前調査を行っていなかった林分を訪問し、昆虫及び鳥の生息調査を行った。同時に新たなモデルのパラメータの検討を行うため、面積や周辺環境が異なる林分で調査を行った。昆虫は時間的な制約から同等の生物群を調べることができなかったため、竹筒トラップを用い、周囲 1km 以上が人工林に囲まれた人工林内、周囲 1km 以上が広葉樹林に囲まれた人工林、周囲 1km 以上が広葉樹林の広葉樹林内 (いずれの調査林分も、林齢は約 40 年) でハチの種数と個体数を調査した。またパッチサイズが異なる二次林で鳥の種数調査を行った。

さらに、森林の生物多様性評価手法を高度化するために、モニタリング手法の整理と予測モデル作成にかかるコストを明らかにした。

2) 遺伝的多様性の評価

小川学術参考林 (茨城県北茨城市。以下、学参林) および隣接する保残帯 (福島県いわき市) を対象とし、イタヤカエデの分布調査と試料採取をおこなった (図 2-1-2)。学術参考林内につい

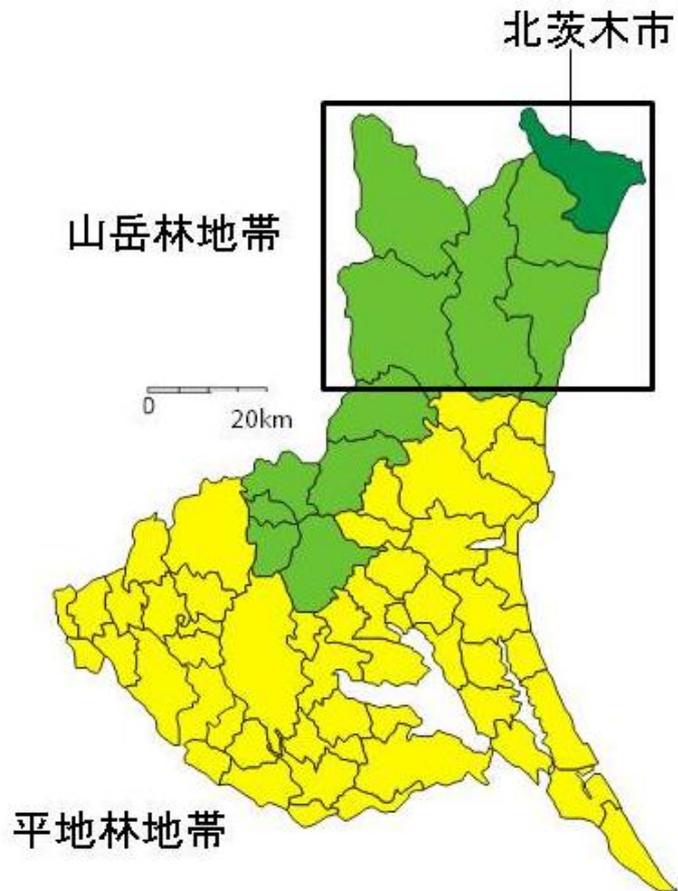


図 2-1-1 生物多様性の調査および予測地域

ては、6ha 永久プロットについて、保残帯については図 2-1-2 に示す範囲の全域より、開花が確認されたイタヤカエデの成木個体の位置を記録し、遺伝解析用に葉を採取した。また、そのうちいくつかの結実個体（学参林から 5 個体、保残帯から 8 個体）より種子 1714 個を採取した。採取した葉および種子（種子内の子葉）からは DNeasy Plant Mini Kit を用いて DNA 抽出を行った。

これらのサンプルについて、イタヤカエデについて開発した 8 組の PCR プライマ（Kikuchi et al. 2008）を用いて PCR 反応を行い、ABI PRISM 3100 Genetic Analyzer で DNA 断片長を解析することによって、遺伝子型（マイクロサテライト多型）の判別をおこなった。

これらのデータをもとに、森林の分断化をうけていない学参林内のイタヤカエデ集団と、保残帯のイタヤカエデ集団とで空間的な遺伝構造の違いを比較した。空間構造の指標には、個体間距離クラスごとに算出した個体間の遺伝的近縁度 Relatedness（Ritland 2000）を用いた。

さらに、各母樹から採取した種子集団から、自殖と近親交配の割合を推定し、森林の分断化がイタヤカエデの次世代の遺伝的多様性にもたらす影響を検証した。自殖率や近親交配の推定には、MLTR（Ritland 2002）を用いた。

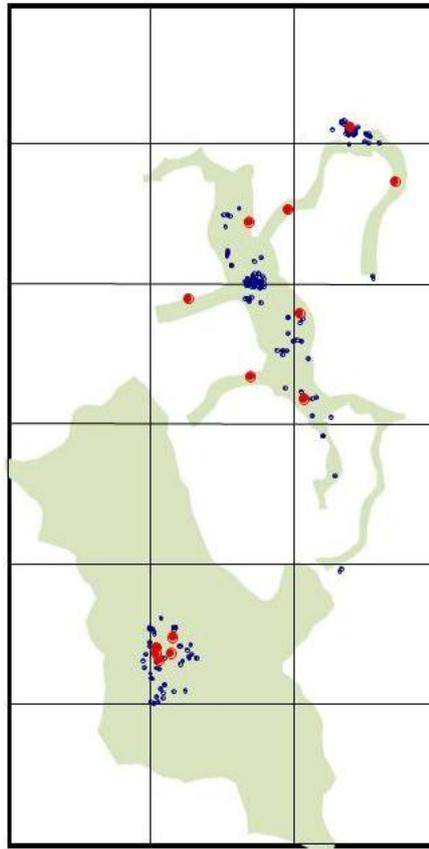


図 2-1-2 小川学術参考林および保残帯において、遺伝解析に使用したイタヤカエデ成木個体の位置図

ウ 結果

1) 種の多様性動態予測モデルの開発

(1) 分布情報の基礎となる空間スケールの整理

生物多様性の分布予測は、2002 年に茨城県北茨城市小川学術参考林及び周辺の林分で、2003 年に茨城県常陸太田市（旧里美村）の人工林で収集した、樹木、草本、鳥、昆虫を中心とした節足動物、土壌動物、腐朽菌のインベントリーに基づく。これらの生物はそれぞれ移動分散距離が異なるが、未調査林分については図 2-1-3 に示すように分散距離に基づいて分布を推定した。たとえばある林分内でクマが記録された場合は、クマの行動範囲はランドスケープ全体にも及ぶことから、1 点での調査結果に基づきクマはランドスケープ全体に分布するという方法で予測した。

実際の調査結果から、ランドスケープ全体を行動圏とするような生物は確認されなかった（図 2-1-4、坂本ら 1995）。ハナバチ、カリバチ、猛禽類は他の分類群に比べて行動範囲が広がった。一方でほとんどの昆虫や菌類の移動分散範囲は、林分内と推測された。

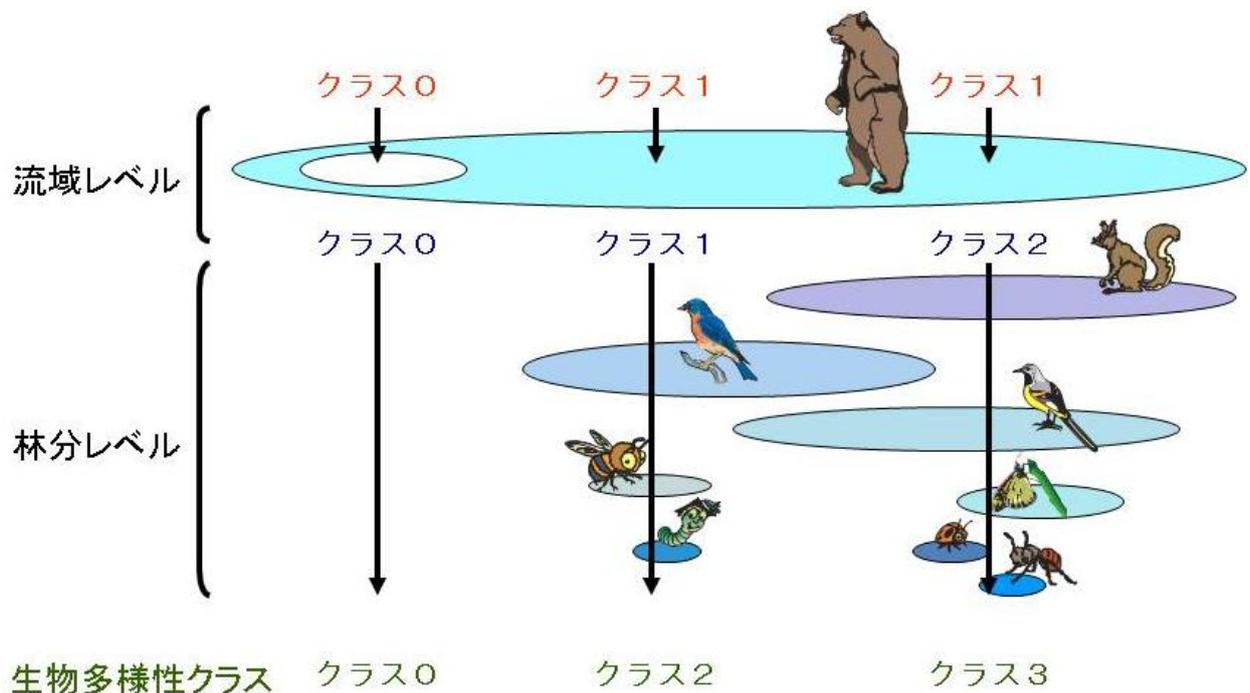


図 2-1-3 ランドスケープレベルの生物多様性予測の地図化概念図

(2) 生物の空間配置情報の基礎となる土地被覆図の作成

土地被覆図作成のために抽出すべき森林の植生や遷移段階を明らかにするため、生物種の多様性と林分構造について多変量解析を行った。その結果、森林生物の種数の少ない順に、壮齢・老齢人工林、若齢人工林・若齢天然林、壮齢・老齢天然林の3つのカテゴリーに分けることができた(図 2-1-5)。またこの3つのカテゴリーは林分構造によっても明確に区別することができた。この地域において種の多様性が異なる若齢、壮齢、老齢の林齢は、それぞれ約10年まで、10年～100年、100年以降であった。またこの地域の天然林で優先するナラ類やスギ人工林では樹齢と樹高の相関関係が知られており、成長曲線などが提案されている(片倉 1987, 井上 2000)ことから、若齢:樹高<10m、壮齢:樹高10～20m、老齢:樹高>20mとして土地被覆区分を作成し(表 2-1-1)、空中写真からこれを読み取る技術を開発した。このことにより土地被覆図を作成した(図 2-1-6)。

ランドスケープ解析の結果、スギ林(樹高10～20m)は集合度が高くかつ広範囲に配置されていること、落葉広葉樹林(樹高10～20m)は小さなパッチが高密度に分布していること、ブナ林(樹高10～20m)は、大きなサイズのパッチが凝集していることなどの特徴が明らかとなった(図 2-1-7)。

(3) 生物多様性予測モデルプロトコルの作成

実際の調査によって種数に基づく生物多様性は3段階に分けられた。本地域ではシカやクマなどの大型ほ乳類が分布しないが、森林構造や植生などから仮に分布すれば生息可能であることか

ら、図 2-1-3 に基づき、すべての森林に多様性クラスを 1 段階追加した。これによって生物多様性予測モデルのプロトコルを作成した（図 2-1-8）。

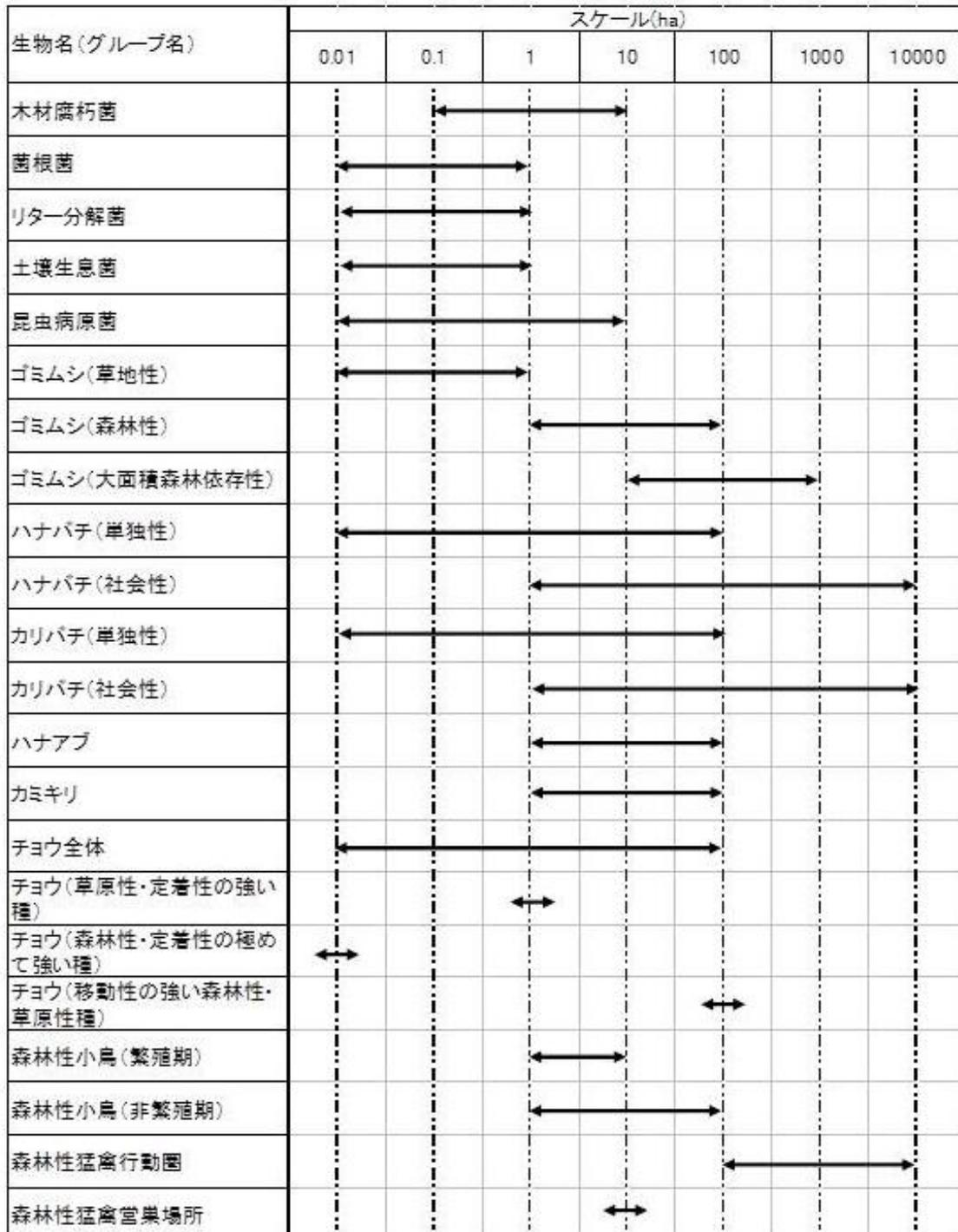


図 2-1-4 調査した生物の分布スケール

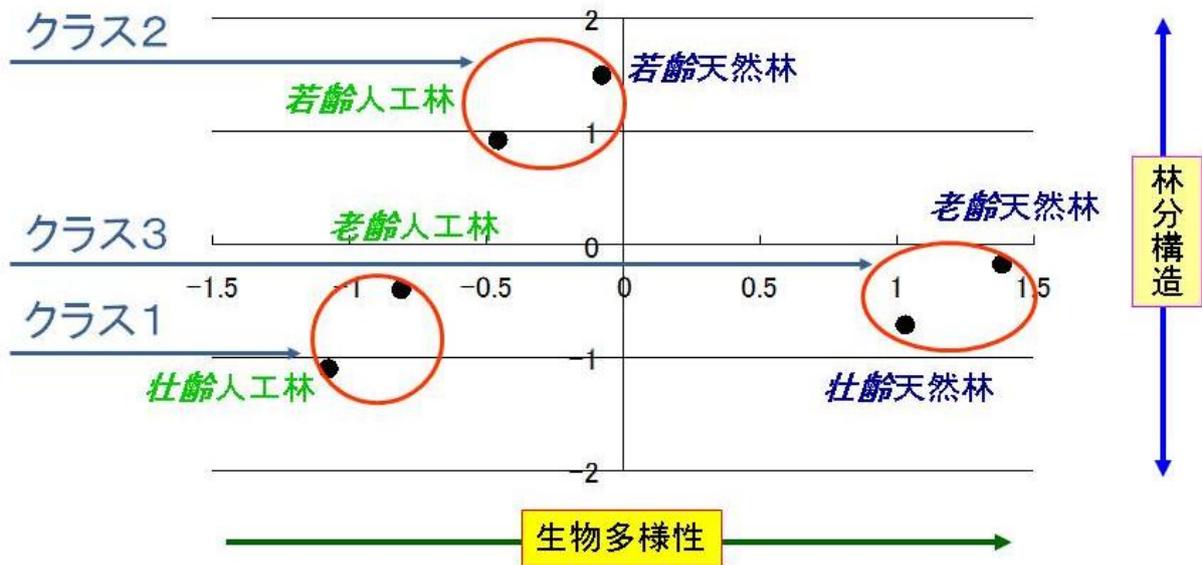


図 2-1-5 種の多様性と林分構造に基づく各森林タイプの分類

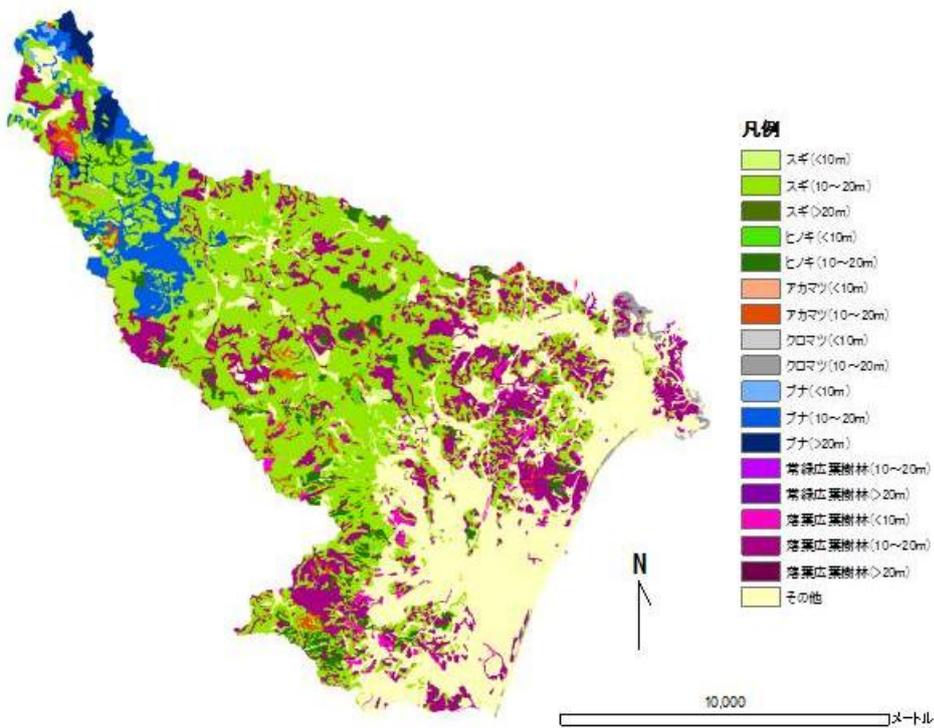


図 2-1-6 土地被覆区分図 (一部抜粋)

表 2-1-1 土地被覆図作成のための土地被覆区分 (図 2-1-6 参照)

Code	Description
S1	ATH < 10m
S2	10 < ATH < 20m
S3	ATH > 20m
H1	ATH < 10m
H2	10 < ATH < 20m
A1	ATH < 10m
A2	10 < ATH < 20m
K1	ATH < 10m
K2	10 < ATH < 20m
B1	ATH < 10m
B2	10 < ATH < 20m
B3	ATH > 20m
J2	10 < ATH < 20m
J3	ATH > 20m
R1	ATH < 10m
R2	10 < ATH < 20m
R3	ATH > 20m
OT	その他 Other

ATH: 平均樹高 Average tree height

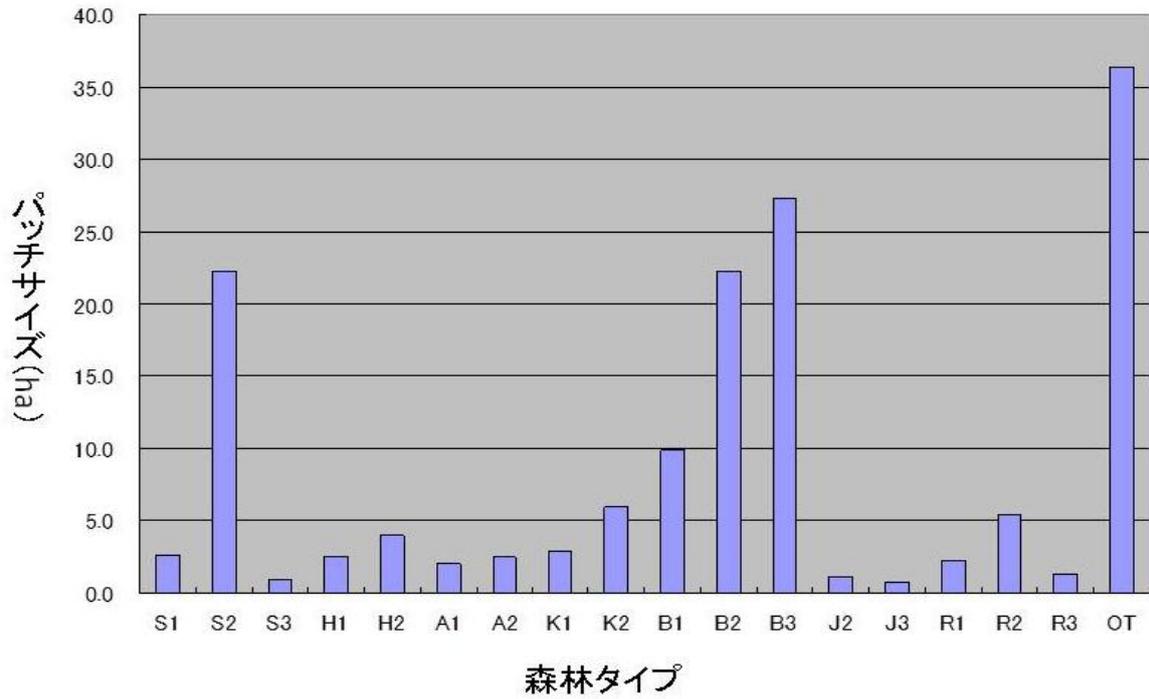


図 2-1-7 各森林タイプごとの平均パッチサイズ

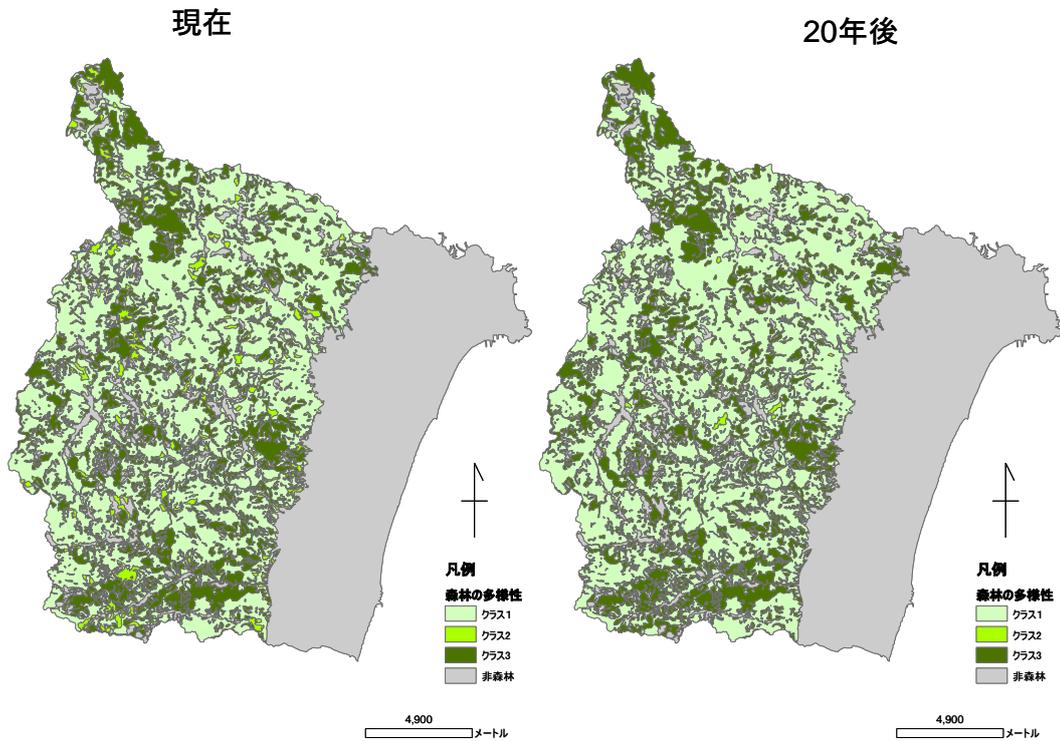


図 2-1-8 生物多様性予測マッププロトコル

(4) 予測結果の検証

異なる林分に設置した竹筒には、主にカリバチの営巣が認められた。全種数が5以下で少なく差異が明確でなかったことから個体数を比較したところ、広葉樹二次林ではほぼ同じ種数が得られたが、人工林内では広葉樹林に囲まれていても個体数が少なかった（図 2-1-9）。一方異なる面積の広葉樹二次林では、著しい差はなかったものの、面積の増加に伴って種数が増加した（図 2-1-10）。1ha の林分内で観察された鳥種数が2倍になるのは、面積が約300ha以上の林分だった。

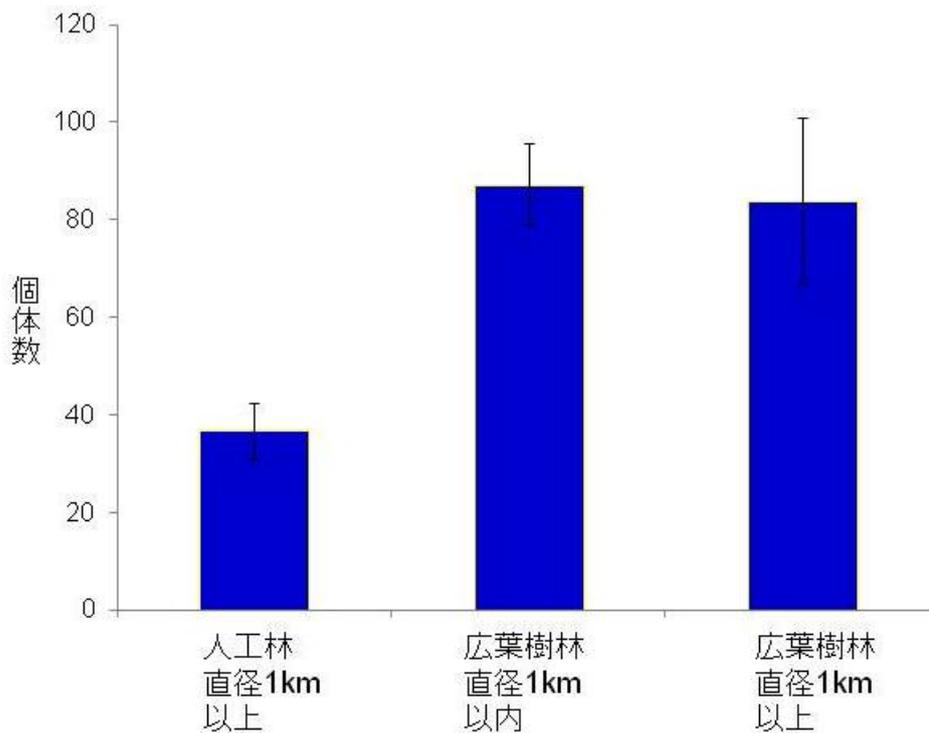


図 2-1-9 異なる周辺環境と竹筒営巣性ハチとの関係

(5) 生物多様性予測マップにかかるコスト

予測モデル作成のためには該当地域の生物多様性のモニタリングが必要となる。複数回のモニタリングによってモデルの精度は向上すると考えられるが、今回は1回分の調査で予測モデルを作成することを想定して、そのコストを明らかにした。その結果、コンピュータ、コンピュータソフトなどの基本的な設備と研究者を有する機関では、該当する地域のモデルに2,200万円程度を要することがわかった（表 2-1-2）。また時間的コストは、生物のサンプリング（1年間以上）、サンプルの標本化と同定（1年程度）、データの解析（約1ヶ月）、マップの作成（約1ヶ月）、ランドスケープ解析等（約1ヶ月）で、この順に進行せざるを得ないことから、調査開始から予測モデルの作成、地図化には最低でも2年半を要すると算出された。今回の予測モデル作成は、調査開始時にモデルのアルゴリズム等が全く想定されていなかったため、解析と再調査等に時間を費やし、プロトコル完成までに6年間を要した。

森林を含む陸上生態系の生物多様性モニタリングについて文献収集を行い、適切な生物指標の抽出を行った。その結果、鳥、チョウ、腐食性のハエ（ハナアブなど）、糞虫はコストの面からも、科学性からも、望ましいこと、小型ほ乳類、ガ、ショウジョウバエは、コストまたは科学的精度（あるいは両方）の面から推奨されないことがわかった（Gardner et al. 2008）。

表 2-1-2 生物多様性予測モデル作成にかかる経済的コストの算出項目（金額は 2010 年当時）

費用項目	詳細
現地調査	(交通費+日当) ×人 ×回 (2 週間おき 8 ヶ 月、延べ 8 人)
トラップ	昆虫マレーズトラップ サンケイ式トラップ 竹筒トラップ 3,000 円/基 56,000 円/基、 7,000 円/基
標本作製	人件費 1,000,000 円× 標本箱 7,000 円/個 保存容器 15,00 円/100 個 人×年
同定 解析	依頼費用 1,000,000 円 標本送付 1,500 円/回 データの電子化人件費 1,000,000 円×年
植生図	空中写真 5,000,000 円 ×地域
GIS データ 化	4,000,000 円×地域

2) 遺伝的多様性の評価

個体間の遺伝的類縁度は、図 2-1-11 に示すように、学参林においても保残帯においても、個体間の地理的距離の増加に伴って減少しており、明瞭な遺伝構造が認められた。しかし、そのパターンには林分間で差異があり、学参林では遺伝的類縁度 Relationship が有意 ($P < 0.05$) に正の値を示したのは 50m 以下の距離クラスのみであったのに対し、保残帯では 100m 以上の距離クラスまで有意に正の値を示した。このことは、保残帯において、近縁個体からなるクラスターが空間的に大きいことを意味している。

ヘテロ接合度から推定される種子の自殖率は、0~0.412 と母樹によって差があった。自殖率には学参林と保残帯との間に明瞭な差はみられなかったが、自殖率と母樹周辺の個体密度との間には負の相関があり、孤立木で自殖率が高くなる傾向が得られた (図 2-1-12)。また、自殖率と二親性近親交配の割合を合わせた値を比較すると、学参林と保残帯との差も明瞭で、近親交配が保残帯で増加する傾向が認められた (図 2-1-13)。

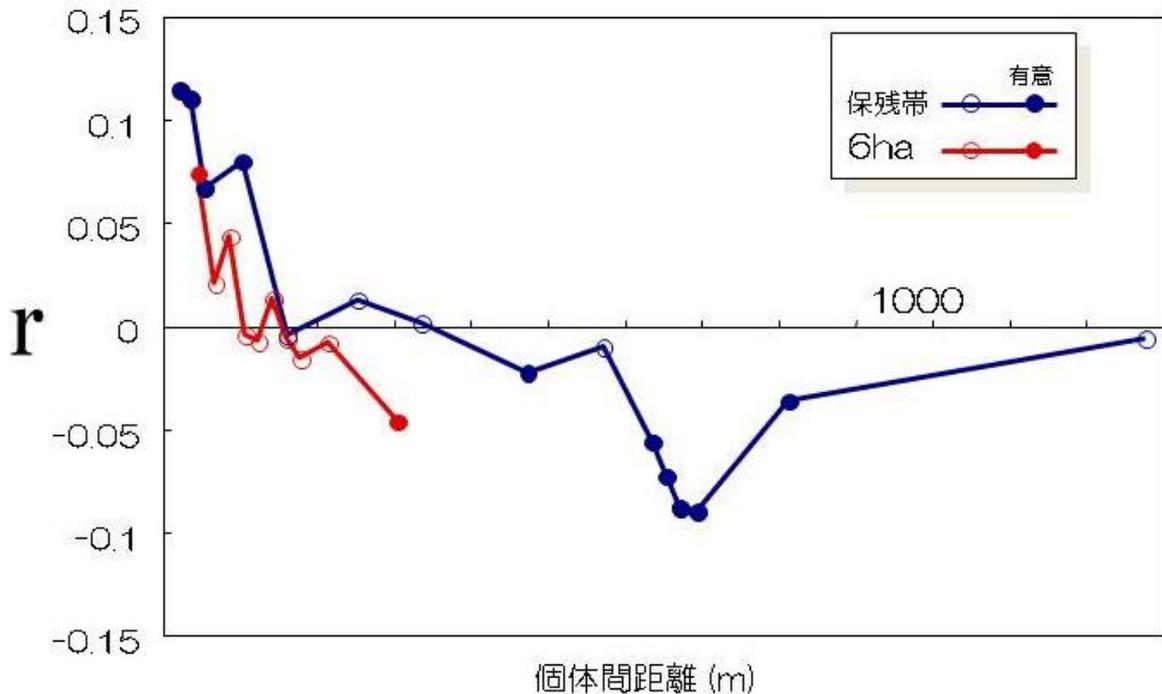


図 2-1-11 小川学術参考林 6ha プロットおよび保残帯における、イタヤカエデ成木集団の遺伝構造を示す。個体間の遺伝的類縁度 (r) を縦軸に、距離を横軸に対置している。遺伝的類縁度 r として、距離クラスごとに個体間の遺伝的類縁度の平均値を算出した。なお、距離クラスは属するデータ数が均等になるように決定されたため、間隔は均等ではない。

エ 考察

1) 種の多様性動態予測モデルの開発

生物の種数に基づく生物多様性は、天然林二次林（本地域では主に落葉広葉樹林）と人工林それぞれの林齢によって大まかの分類できることが明らかとなった（図 2-1-5）。また人工林の各生物群の種数は二次林よりも低いという傾向は、ここでも支持された。それぞれの生物は短期長期的に移動分散することから、それぞれの移動距離に基づき、予測モデルを作成する面積を求める必要がある。今回該当地域で収集した生物の移動範囲は 10~100ha までのものがほとんどであった。このことからランドスケープレベルの予測を行うことが適切であり、林分単位の生物種数変化に基づいてこれを地図化することとした。

土地被覆図と生物の移動距離、森林タイプや林例などのパラメータに基づいて、生物多様性の分布を予測し、地図化した。この分布予測は該当地域の再調査によって検証したが、周辺の森林の状態にかかわらず行動範囲が 1~10ha と予想される昆虫では、概ねこの予測に適合した。しかし行動範囲の広い鳥類では、面積の影響が顕在化した。従って面積を新たなパラメータとし、予測モデルを高度化することが必要である。施業もパラメータとして検討する必要がある。文献に基づき間伐について検討したが、岡部（2009）により間伐 1 年後の情報があれば予測に利用可能であるが、3 年後には間伐の影響が認められなくなることから本予測モデルでは不要と判断した。しかし間伐の長期的な効果は検証されていないので、今後明らかにしてゆく必要があるだろう。

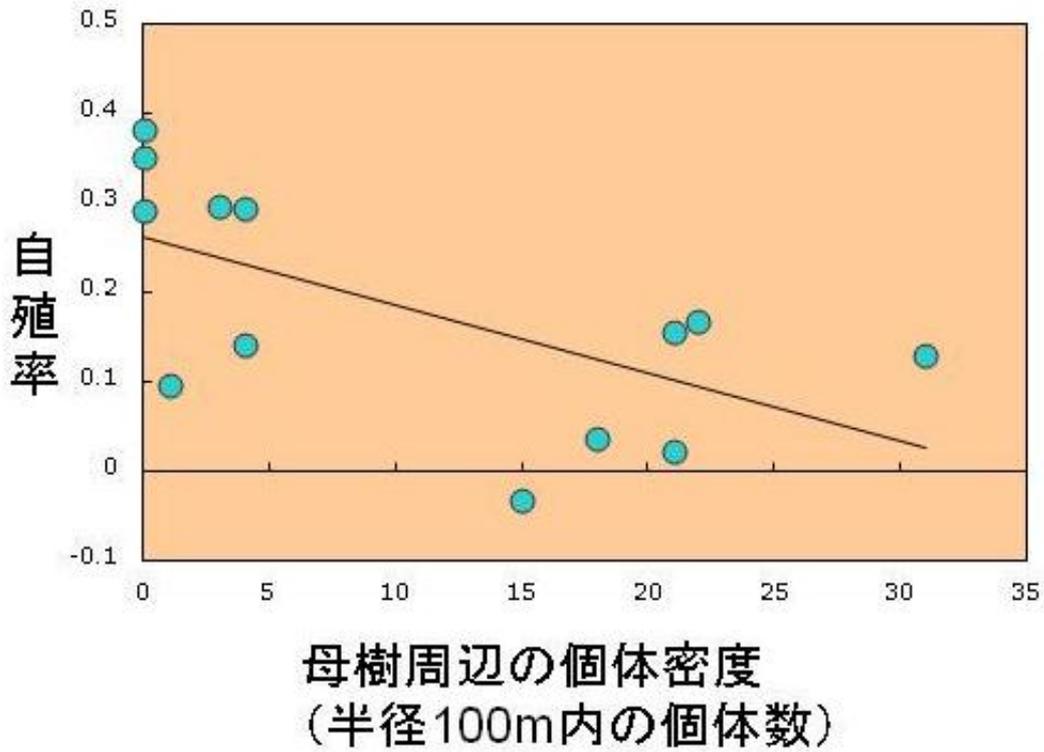


図 2-1-12 母樹周辺の個体密度（母樹を中心に半径 100m 内の個体数）と自殖率（縦軸）との関係

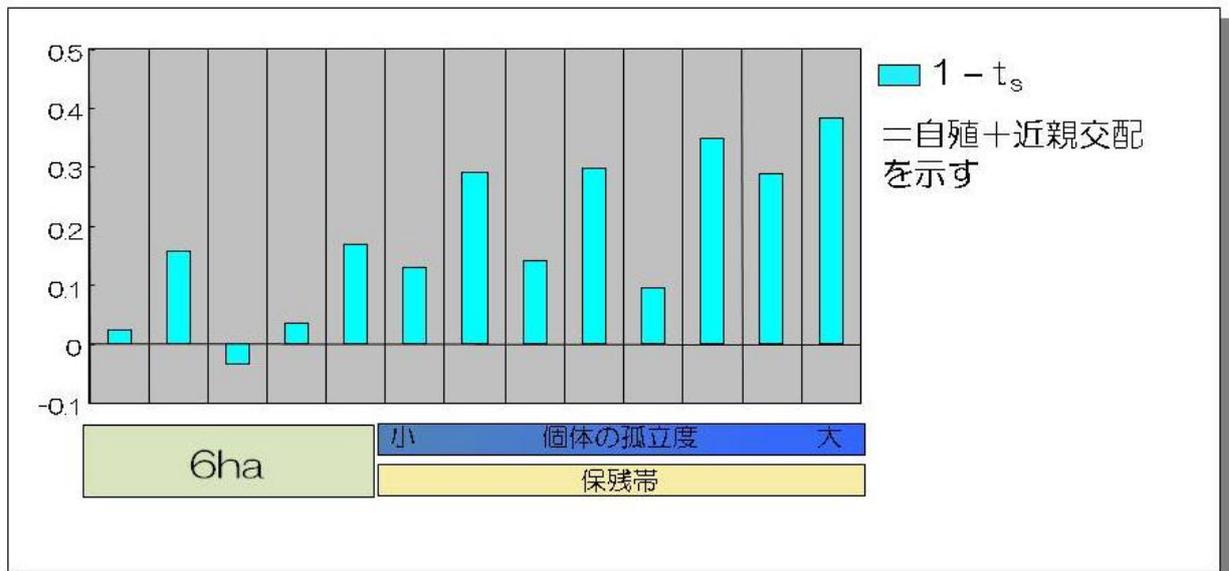


図 2-1-13 各母樹の種子の自殖率と二親性近親交配の推定値の和を示す。

生物多様性の変化を予測するためには、森林管理における施業の周期（標準伐期など）などのほか、ランドスケープの特徴を明らかにする必要がある。ランドスケープ解析の結果、スギ人工林は集合度が高かったことから、大面積皆伐のシナリオを想定することが可能であることがわかった。また落葉広葉樹二次林は面積が小さいが密集傾向があるので、二次林の長期間放置によって大面積のパッチにすることが可能であることがわかった。一方ブナ林は大きなパッチで孤立しているので、保全のためにはブナの導入可能な林分を配置することが重要である。これらの知見を元に保全シナリオを作成し、評価することが可能となった。試みに、20年後の予測を行ったところ、20年後の生物多様性分布には大きな変化が認められなかった（図 2-1-8）。これは老齢林に匹敵するクラスが林齢 100 年以上であることによると考えられる。従って生物多様性の変化予測には、少なくとも 100 年以上の長期予測が望ましい。

予測モデルの作成にかかったコストの算出と有用な生物指標の知見は、新たな予測モデル作成に資すると考える。本研究によりサンプリング手法とプロトコルが作成されたことから、今後は指標生物の数を減らし経済コストを抑えることが可能であると考えられる。一方サンプリングにより新たな地域のパラメータを抽出しアルゴリズムを確立する必要があるため、時間的コストは現状では削減できないと考える。

2) 遺伝的多様性の評価

森林の分断化が樹木にもたらす影響は、樹木の生態的特性によって大きく異なり、分断化によって減少し地域集団の絶滅につながる種もあれば、逆にギャップ等に更新し、個体を増加させる種もある。冷温帯落葉樹林の代表的な構成樹種であるイタヤカエデの場合、保残帯には周辺に他の繁殖個体がほとんど見られない孤立木がみられた一方、二次林では個体密度の多い林分も見られた（図 2-1-2）。

遺伝解析の結果からは、学参林と比べて保残帯では、類縁個体からなるクラスターがより大きくなる傾向が得られた（図 2-1-11）。保残帯では森林の分断化による老齢個体密度が減少している一方、一斉更新したと思われる若齢林分も存在している。保残帯で見られた強い遺伝構造は、過去に成木個体密度の減少にともない近隣個体間の交配が増加したことと、それに由来する実生が人為攪乱をうけた林分に局所的に更新したことを反映していると考えられる。

種子の遺伝解析からは、孤立木では自殖が増加する傾向が得られた（図 2-1-12）が、自殖だけでは必ずしも森林の分断化との関係を説明する要因とはならなかった。しかし、自殖と二親性近親交配とをあわせて比較した場合、個体密度や森林の分断化との関係は明瞭となった。

以上から、森林の分断化がイタヤカエデの送粉過程や遺伝的多様性に及ぼす影響については、次のようなシナリオが推定される。森林の分断化は、イタヤカエデの個体密度を変化させ、個体の孤立化を引き起こす一方、更新によって局所密度が増加する場合もある。しかし、こうした密集個体は血縁個体である場合が多いと考えられる。孤立化した母樹では、自殖が増加する。一方、母樹が孤立化しなくても、分断化による類縁個体の密集によって、近親交配の頻度が高くなる。こうした自殖や近親交配の増加は、世代を経て蓄積し、将来的に近交弱勢による地域集団の衰退をもたらす可能性があると考えられる。以上の結果から、樹木の多様性評価の指標として分断化や孤立化を指標とすることが可能であることが示唆された。

オ 今後の問題点

本研究により、森林地帯における種の多様性の予測モデルのプロトコルが作成された。本モデルのパラメータには林齢という時系列データが使われていることから、長期的な変動の予測が可能であると考えられる。森林は社会経済状況によって森林タイプや林齢が大きく変化する可能性がある。従って将来予測には、社会経済に関するシナリオが必要である。また本プロトコルは茨城県北部の調査データによるものだが、他地域でも森林タイプや林齢、林分面積などによる生物多様性の影響を評価し、標準的な手法を開発する必要がある。またランドスケープレベルから地方や国レベルに拡大する際には異なるアルゴリズムの開発が必要と考える。

1ha程度の林分単位の間伐等の施業は生物多様性に長期的に大きな変動をもたらすものではないが（岡部 2009, Taki et al. 2010）、大面積の皆伐や人工林における施業放棄は生物多様性に影響を与える可能性がある。これらの評価が必要である。また気候変動、シカや病害虫などの大発生などにも対応可能な予測が必要である。更には、種数だけでなく種組成に配慮すること、生物の機能に着目することなども今後の課題である。

種の多様性は生物多様性の中でも比較的良好に調べられており、一般にわかりやすい。また種数が多いか少ないかは直感的に生物多様性が高いか低いかという理解に結びつけやすい。しかしながら生物種が同じ種構成の林分は、ランドスケープレベルの種の多様性を高めることができない。このことから、若齢林や老齢林に特徴的な種や種構成を明らかにし、生物多様性を評価する別の手法も必要だろう。また生物多様性の保全にとっては希少種の生息地の保全が重要なタスクの一つである。本予測手法は林分構造を指標として生物多様性を評価していることからハビタット評価手法の一種といえるが、現在の指標が有効な生物群の範囲を検証する必要がある。このことにより本予測モデルを利用して保全の優先順位を検討することが可能になると期待する。

孤立分断化は種の多様性にとっても有用な指標と考えられている（Thompson et al. 2009）。今後は更にいくつかの樹種を追加し、また異なる地域や景観の元で、遺伝的指標としての有効性を検討する必要がある。また本研究手法により、主要樹種の遺伝的多様性維持のための閾値が算出できる可能性が示された。今後は樹種を拡大しつつ検証する必要がある。

カ 要約

茨城県八溝・多賀森林計画区内で生物多様性の種の多様性を森林の構造的指標（Coarse filter indicators）を用いて評価し、ランドスケープレベルの種の多様性動態予測モデルを開発した。指標はモントリオール・プロセスで用いられている（た）指標の森林タイプ（植生）、遷移段階（林齢）、分断化（林分面積）が適当であることを現地調査によって検証し、これらを用いた。モデルによって予測を行った結果、森林生物の種の多様性は老齢林で高いことから、生物多様性の変化は長期予測が必要であり、ランドスケープレベルの種の多様性の変化は100年程度経過してから顕在化することが明らかとなった。

モントリオール・プロセスの遺伝的多様性の指標は個体数や分布状況であるが、孤立化や個体群の分断化の指標化を検討したところ、適当である可能性が明らかとなった。今後は地域や樹種を拡大して検証する必要がある。

キ 引用文献

- Gardner, T. A., Barlow, J., Araujo, I. S., Ávila-Pires, T. C., Bonaldo, A. B., Costa, J. E., Esposito, M. C., Ferreira, L. V., Hawes, J., Hernandez, M. I. M., Hoogmoed, M. S., Leite, R. N., Lo-Man-Hung, N. F., Malcolm, J. R., Martins, M. B., Mestre, L. A. M., Miranda-Santos, R., Overal, W. L., Parry, L., Peters, S. L., Antônio, M., Ribeiro-Junior, da Silva, M. N. F., Motta, C. da S. and Peres, C. A. (2008) The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. *Ecol. Lett.*, 11, 139-150.
- 井上昭雄 (2000) 相対成長式によるスギ同齢単純林における樹高曲線の解析. *日林誌*, 82, 355-359.
- 片倉正行 (1987) 長野県のコナラ・クヌギ林の成長と心・辺材及び樹皮厚. *長野林試研報*, 3, 7-12.
- Kikuchi, S. and Shibata, M. (2008) Development of polymorphic microsatellite markers in *Acer mono* Maxim. *Mol. Ecol. Notes* 8, 339-341.
- Makino, S. (2006) Development of a method for assessing relationship between biodiversity indicators and their habitats. In FFPRI (ed.) "Guidelines of sustainable forest management based on international criteria and indicators". FFPRI, 30-45.
- 岡部貴美子 (2009) 間伐が生物多様性に及ぼす影響の解明. 森林総合研究所交付金プロジェクト成果集 "要間伐林分の効率的施業法の開発". 森林総研, 19-25.
- Ritland, K. (2000) Marker-inferred relatedness as a tool for detecting heritability in nature. *Mol. Ecol.* 9, 1195-1204.
- Ritland, K. (2002) Extensions of models for the estimation of mating systems using n independent loci. *Heredity* 88, 221-228.
- 坂本知己・土屋俊幸・佐野真・中村 太・梶 光一・伊藤晶子 (1995) ランドスケープ概念による流域管理計画策定に関する一考察. *日林誌*, 77, 55-65.
- Taki, H., Inoue, T., Tanaka, H., Makihara, H., Sueyoshi, M., Isono, M. and Okabe, K. (2010) Responses of community structure, diversity, and abundance of understory plants and insect assemblages to thinning in plantations. *For. Ecol. Manag.*, 259, 607-613.
- Thompson, I., McNulty, S., Mosseler, A. (2009) Forest resilience, biodiversity, and climate change. CBD Technical Series, No. 43, 67pp.

(岡部貴美子・菊地 賢)

第3章 森林の健全性の危険度予測モデルの開発

1. 風害危険度の評価

ア 研究目的

本章では森林の健全性に関するモニタリング・プロセスの基準3について、森林の健全性を損なう生物被害と非生物被害の状況、環境要因・林分要因との関連性が比較的明瞭であるケースを分析することにより、主要な被害に関する危険度予測モデルを提示することを目的とした。本節では、まず非生物被害の中で最も多い風害の危険度の評価を行った。

毎年、日本列島周辺には多くの台風が上陸、接近し、強風による森林風害（以下、風害と記述する）を引き起こす。風害は非常に多く、平成 19 年度の統計では気象災害による森林被害面積 6,376ha 中 2,680ha となっており、最も高い割合を占めている。

間伐を行い、スギ・ヒノキに代表される人工林の成長を促進し、幹を太くすることで、強風にもある程度の抵抗性を持たせられるが、最大風速が 20m/s 以上の暴風になると、根返りや幹折れなどの発生確率が高まる。そこで、あらかじめ風害危険地域を推定出来れば、保育上の工夫で樹木の耐風性を高めることや危険な場所を避けた植林が可能となる。その結果、風害を減少させ、森林経営の持続可能性を高めることができる。

持続可能な森林経営に関する国際的な枠組みの 1 つであるモンリオール・プロセスにおいて、基準・指標の策定および改訂作業が進められている（家原ら 2007）が、風害の予測を対象とした指標は未だ開発されていない。

我が国の過去の森林風害発生地の調査報告書に記載されている被害地位置の記録をみると、よく似た経路で台風が通過した場合、同じ場所で繰り返し風害が発生していると指摘されている（高橋ら 1968、吉武 2010）。したがって、台風経路ごとの強風分布図が作成できれば、風害危険地域の予測が可能と考えられる。そこで、本研究では大きな森林風害を引き起こした代表的な台風を選び、台風モデルとマスコンモデルを組み合わせた数値計算から強風分布図および風害危険域分布図を作成する。

イ 研究方法

1) モデル計算

本研究では日本に大きな森林風害をもたらした 3 つの台風の気象観測データから台風モデルとマスコンモデルを組み合わせ（吉武ら 2009）、次の手順で風速分布の数値計算から強風分布図を計算した。

① 台風モデルによる上層風の推定

台風モデルでは台風域内の気圧の分布を台風の中心からの距離の関係として推定し、気圧分布から自由大気および台風域内の傾度風を推定する。さらに、台風の移動に伴う効果を組み込んで、大気上層の風分布を推定する。

② マスコンモデルによる地上風の推定

台風モデルで出力された上層風を初期内挿風場として、マスコンモデルによって地上風を計算する。その際に地形データを使って地形効果を含める。

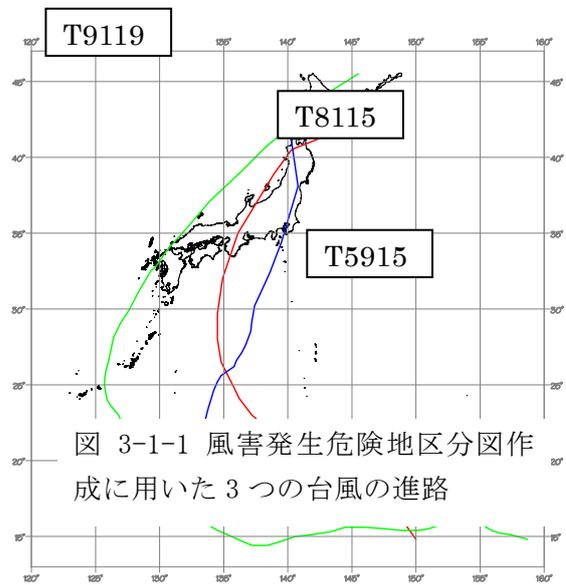
③ マスコンモデルの結果を 1km メッシュに内挿

モデルの出力を内挿することにより、日本全国を 1km メッシュで風向と風速を得る。

日本に大きな風害をもたらした 3 台風についてそれぞれ上記方法で強風分布を計算し、それらの結果を重ね合わせて最大風速分布図を作成した。さらに最大風速分布図をもとに、風速が 20m/s 以上と推定された場所を風害発生危険地とし、風害発生危険地区分図の作成を行った。計算した 3 つの台風の進路を図 3-1-1 に示す。1 つめの台風は紀伊半島に上陸し近畿、中部地方を進んだ 1959 年台風 15 号（伊勢湾台風、T5915）で、最大風速 42.3m/s であった。2 つめは関東、東北地方を縦断した 1981 年台風 15 号（T8115）で、最大風速 36.0m/s であった。3 つめは九州に上陸し日本海を進んだ 1991 年台風 19 号（T9119）で、最大風速 51.5m/s であった。

2) モデルの精度検証

モデルの推定精度を評価するため、15m/s以上の風速が観測された気象庁の地域気象観測所における測定値とモデルの推定値とを比較した。比較対象の地域気象観測所数はT5915では84地点、T8115は26地点、T9119は68地点であった。



3) 風害発生危険地区分図の汎用性についての検討

モデル計算の対象とした3台風以外でも風害発生危険地区分図を用いた風害発生危険地予測が可能かどうかを検証するために、1996年の台風17号(T9617)で発生した静岡県富士山麓周辺の風害発生地、および2004年の台風18号(T0418)で発生した北海道苫小牧市の風害発生地を対象として、予測精度の検証を行った。

T9617は平成8年9月13日にフィリピン東南海上で発生し、9月22日に伊豆諸島及び房総半島沖を北北東に進んで、千葉県銚子市で最大瞬間風速51.9m/sを記録した。静岡県富士山麓周辺に大規模な風害が発生し、ヒノキ人工林を中心とした約1,000haの森林が被害を受けた。T9617通過時の森林簿に記載されている風害発生地を1/50,000地形図で位置を確認し、GIS上で風害発生危険区分図に重ね合わせて検討した。

T0418は2004年9月7日に長崎付近に上陸したあと日本海を北東へ進み、翌8日に北海道沖を通過する際に、北海道の広い範囲に風害をもたらした。最大瞬間風速は札幌市で50.2m/s、苫小牧市で32.7m/sを記録した。支笏湖周辺を対象に、リモートセンシングにより抽出した被害分布図(鷹尾、2005)とGIS上で風害発生危険区分図に重ね合わせることで検討を行った。

ウ 結果

1) 強風分布

3つの台風のそれぞれについて作成された強風分布図をGIS上で重ね合わせ、日本全国を3次メッシュ(約1km×1km)単位で最大風速を抽出したのが最大風速分布図(図3-1-2)である。さらに、風害発生の危険性が高いと思われる風速20m/s以上のメッシュを最大風速分布図から抽出し、5m/s間隔で分類したのが図3-1-3であり、これを風害発生危険区分図とした。図3-1-3より、地形効果の少ない関東地方や台風接近数が少ない北海道の平野部などで風害発生危険度が低い一方、台風の進路にあたり地形効果が大きい紀伊半島や中部山岳地帯、中国山地では風害発生危険度が高いと予測された。

2) 風向・風速の推定精度の評価

モデルによる風速の推定値が地域気象観測所の観測値に対して、相対誤差 20%以内で推定された地点数は T5915 が 47%、T8115 は 62%、T9119 は 47%であった。特に台風の経路から離れた地点や、台風が弱体化して風速があまり強くない地点での誤差が大きかったが、相対誤差 40%以内に 88%の地点がおさまっており、おおむね良好な推定ができたと考えられる。ただし、全体的に風速が小さく推定される傾向が見られ（図 3-1-4）、推定値の平均値は観測値の平均値よりも小さく、その相対誤差は 16%であった。風向を 16 方位で示したときの方位差を計算すると、方位差が 2 方位以内の地点の割合は T5915 が 76%、T8115 は 69%、T9119 は 76%であり、きわめて良好に推定できた。3 台風に対して、方位差が 2 方位以内で、かつ風速の相対誤差が 20%以内の地点数は 35%であった。

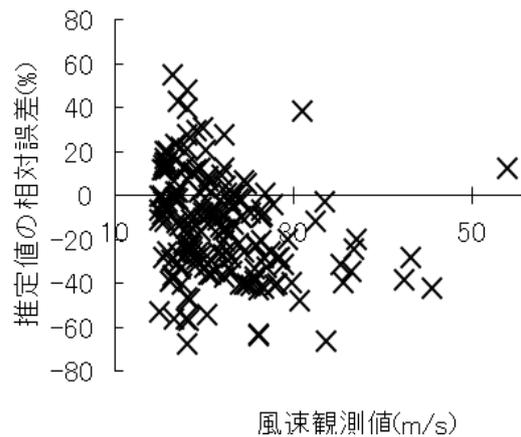


図 3-1-4 風速観測値と推定値の相対誤差

3) 風害発生危険区分図の汎用性についての検討

T9617 で発生した林班単位の風害発生地を森林簿より読み取ると、全て富士山麓周辺に存在しており、全部で 20 ヶ所であった。風害発生地と静岡県最大の風速分布を GIS 上で重ね合わせたものが図 3-1-5 である。風害発生地 20 ヶ所のうち最大風速分布図で風速 20m/s. 以上であったのは 11 ヶ所であり、風害発生危険区分図は本調査地において半数以上で一致した。一致した 11 ヶ所のうち風速 30m/s. 以上には風害発生地は存在しなかった。この原因として風速 30m/s. の地域は尾根または標高の高いところで、人工林の少ない場所に相当しているため、風害被害地がなかったものと考えられた。

T0418 において、被害有無と風速予測値との関係を図 3-1-6 に示す。20m/s 以下と予測されたにもかかわらず、激害を受けたピクセルが主に支笏湖南東に分布していた。風速推定値 20m/s 以上のピクセルを風速 5m/s 刻みに被害率(被害ピクセルの階級の全ピクセルに対する比)を計算すると、20-25m/s、25-30m/s、30-35m/s、35-40m/s それぞれ、37%、40%、58%、57%であり、風速の推

図 3-1-5 風害発生危険区分図と風害被害地位置との比較 (T9617)

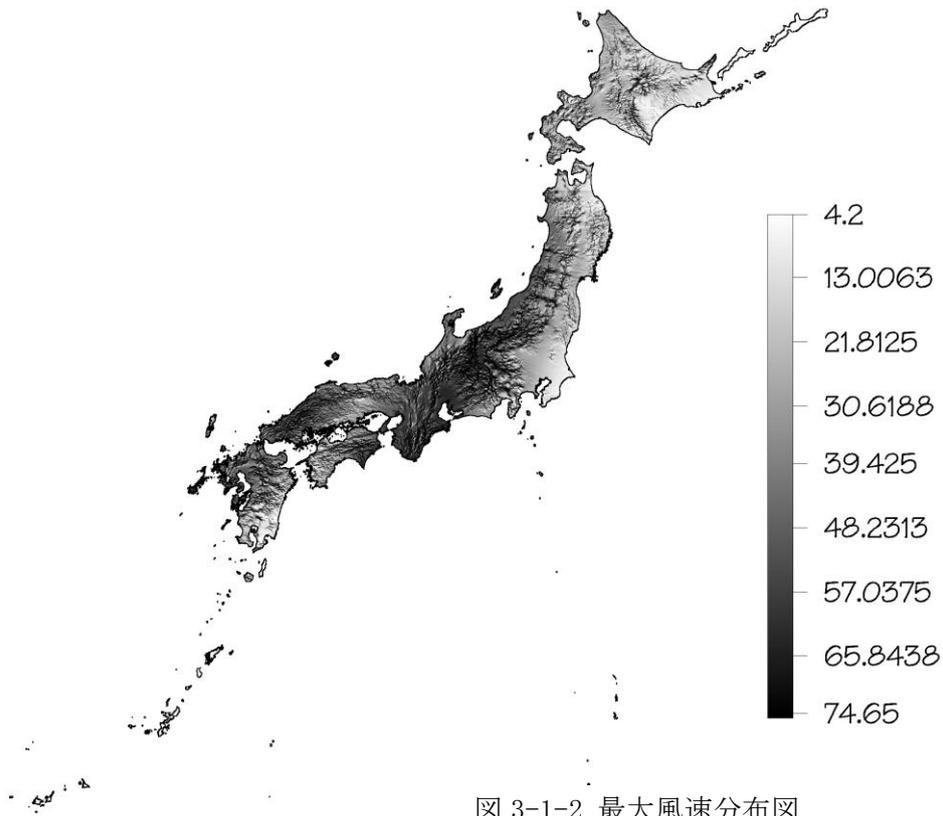


图 3-1-2 最大風速分布图

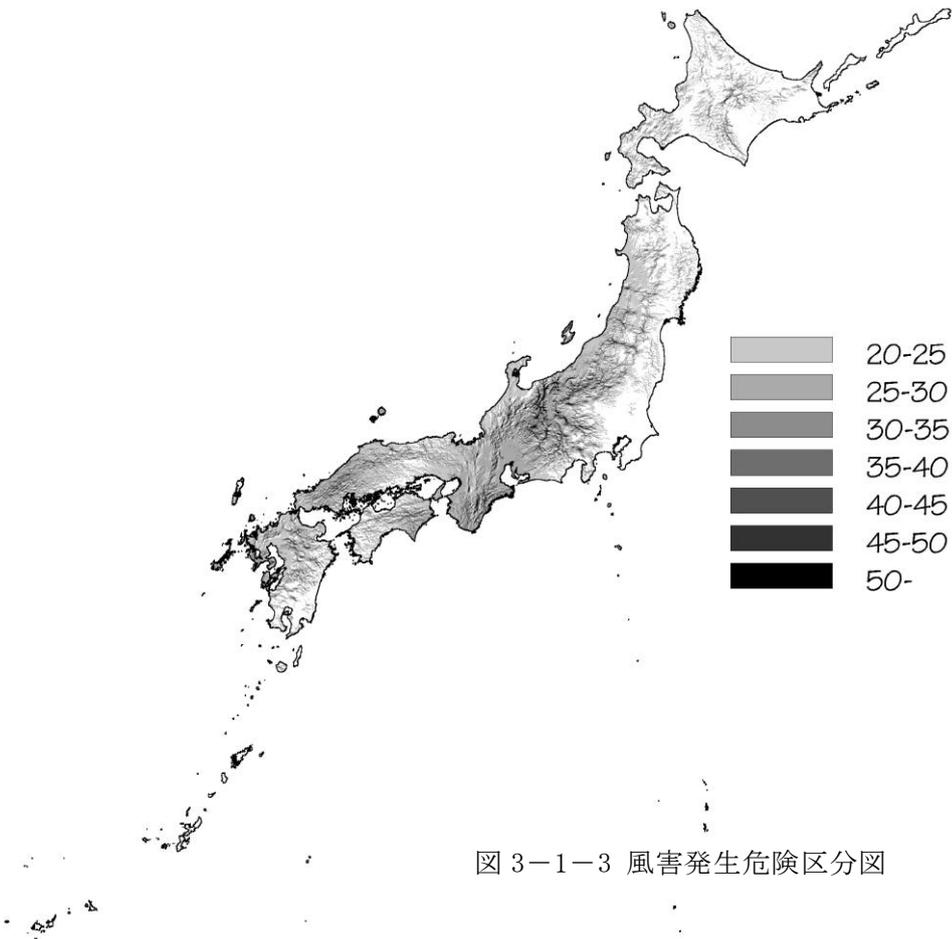
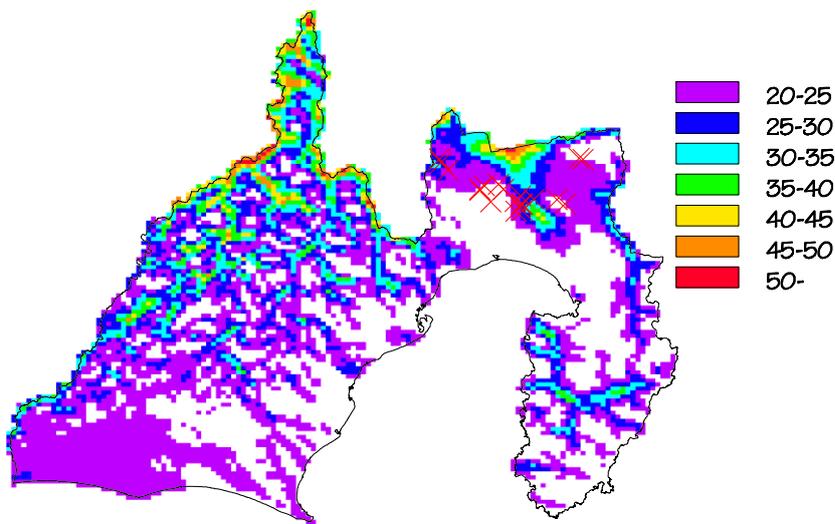


图 3-1-3 風害発生危険区分图



× 風害被害地

図 3-1-5 風害発生危険区分図と風害被害地位置との比較 (T9617)

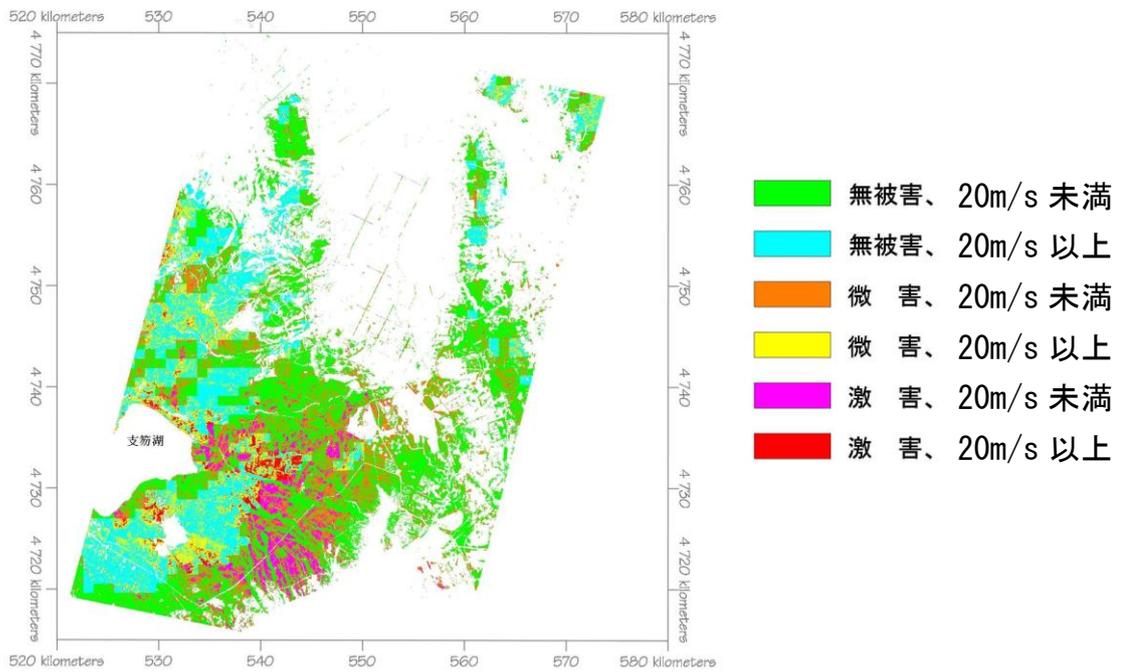


図 3-1-6 風害発生危険区分図と風害被害地位置との比較 (T0418)

定値が大きいほど被害率が大きくなる傾向が見られた。

本モデルによって事前に風害の発生リスクを知る、という目的からすれば、「風害発生危険地ではない」と予測されたにもかかわらず、被害が発生する事態を避けなければならない。そこで、T9617 において、風害危険地と予測されなかったにもかかわらず風害が発生した場所は、風速 20m/s. 以下で風害が発生した 9ヶ所であり、その地点数の割合を不的中率とすれば、その値は 45%であった。同様に T0418 において被害を受けたピクセルの全ピクセルに対する割合を不的中率とすると、その値は 24%であった(表 3-1-1)。

表 3-1-1 風害発生危険域と被害発生状況 (T0418)

	20m/s 未満と予測	20m/s 以上と予測
無被害	928, 768	523, 555
微害	429, 953	267, 570
激害	121, 518	53, 013
計	1, 480, 239	844, 138

(単位：ピクセル)

エ 考察

本研究では風速のみを風害発生危険域の予測に使用しており、地域気象観測所の観測値との比較で 5割～6割の地点の風速が相対誤差 20%以内で推定できたことから、本モデルは風害発生危険域の抽出に十分な精度が確保されていると考えられる。また、方位差が 2方位以内で、かつ風速の相対誤差が 20%以内である地点、すなわち風向と風速の両方が同時に精度良く推定できた地点数も 35%あり、風況予測モデルとしての本モデルの有効性を示している。しかし、全体的に風速が小さく推定される傾向が見られたことは、風害発生危険度を過小に見積もる可能性があるといえる。

T0418 の風害発生域と本モデルによる風害発生危険地区分図とを比較したとき、不的中率は 24%であり、比較的良好に風害発生域の予測ができたと考えられる。しかし、T9617 の不的中率が高く、その値は 45%であった。T9617 の不的中率が高かったのは、風害発生域が富士山麓南面の一部に集中し、面的な精度検証に不向きであったことも原因の一つと考えられ、ここで得られた不的中率は参考値として捉えるべきと考えられる。また、モデルの出力が 1km×1km であるため、微地形の影響が評価できないことも不適中率を高める要因として考えられる。すなわち、風速 20m/s. 未満と予測されても、微地形の効果で局地的に 20m/s. 以上の強風が発生する可能性が考えられるが、モデルではそうした小さなスケールの現象を捉えることが原理的に不可能なのである。

オ 今後の問題点

モデルにおいて風速が小さく推定される傾向が見られたことは、風害リスクを過小評価する危険性を内在していることを示しており、モデルの改善が必要と考えられる。

不的中率は小さく、比較的良好に風害発生危険地の推定ができたが、不適中率をさらに下げるには、モデルの精度向上の他に、微地形のスケールとその影響の大きさを知る必要がある。こうしたスケールに関する知見の蓄積とそれをモデルに反映させていくことが必要と考えられる。

カ 要約

過去に大きな風害を引き起こした台風の中から、コースの異なる 3 台風を対象に台風モデルとマスコンモデルを用いた数値計算で強風分布図の作成を行った。台風ごとに作られた強風分布図を 3 台風で重ね合わせ、最大風速分布図を作成した。また、最大風速分布図において風速 20m/s 以上の強風が予測されたところを風害発生危険域とし、風害発生危険地区分図の作成を行った。地域気象観測所の観測地とモデルによる推定値を比較したところ、風速は相対誤差 20%以内で推定できた地点がおよそ 5 割～6 割程度であり、良好に推定できた。計算対象の 3 台風以外であっても、風害発生危険地区分図が風害発生予測に有効かどうかを検証するため、T9617 による富士山周辺の風害被害状況、および T0418 による北海道支笏湖周辺の風害被害状況と風害発生危険地区分図との比較を行った。GIS 上で被害地の位置を風害発生危険地区分図に重ね合わせたところ、不的中率は T0418 で 24%であり、おおむね良好に推定できた。

キ 引用文献

高橋亀久松・本木茂・笹沼たつ（1968）昭和 41 年台風第 26 号による森林の風害．日林誌，50，75-78.

吉武孝（2010）第 5 章気象災害に強い多様な森林の整備指針．平成 21 年度「複層林化・長伐期化等の非皆伐施業の最適化に関する調査事業」報告書，林野庁，pp151.

鷹尾 元（2005）台風前後の SPOT HRV 画像の比較による風倒被害の把握．リモートセンシングによる森林風倒被害解析報告書，北海道森林災害リモートセンシング研究会，21-28.

吉武 孝・黒川 潮・鈴木 覚（2009）台風モデル解析による強風分布図作成の試み．関東森林研究，60，249-252.

家原敏郎・光田 靖（2007）森林計画区レベルの統計資料とモントリオール・プロセスの基準・指標の関係．関東森林研究，58，45-48.

黒川 潮・吉武 孝・鈴木 覚・加藤 徹・渡井 純（2009）台風モデルを用いて作成された風害発生危険地区分図の風害発生予測精度検証．関東森林研究，60，249-252.

（鈴木 覚・吉武 孝・黒川 潮）

2. 森林火災危険度の評価

ア 研究目的

モントリオール・プロセスの基準 3 の非生物被害の指標のうち代表的な項目の一つである森林火災危険度の評価を目的とした。近年、日本では森林の有する諸機能に対する国民の要請が多様化・高度化してきており、保健・休養等の目的で森林を訪れる人は増加傾向にある。森林は以前よりも広く利用されていることから、森林火災が発生する危険性は高まっているといえる。台風などの他の自然災害では、林床の草本類や落葉・落枝などはそのまま残されることが多いが、激しい森林火災の場合にはこうしたものまで灰や炭に変えてしまう。森林火災が森林に及ぼす影響は、他の自然災害にくらべより大きいと考えることができる。

日本の森林火災は、そのほとんどが人為的な原因で発生しているため、森林火災の予防には、その発生・拡大危険度を予測し、入山者の注意を喚起したり、森林のパトロールを強化したりすることで、火災の発生を未然に防ぐ対策が有効である。これまで日本では、主に気象官署が観測した気象データをもとに、統計的な手法により森林火災の危険度を予測する手法がとられてきた。しかしこの方法では、一つの都道府県を数ブロックに分割した程度の広い地域における危険度を評価しているに過ぎなかった。そこでわれわれは、森林の種類や構造なども考慮した、よりきめの細かい危険度予測手法の開発を目指し、研究を進めてきた。こうした手法が開発されれば、重点的に森林火災の予防活動を行う必要がある地域が明らかになり、森林火災の防止に役立つものと考えられる。

日本で発生する森林火災は、そのほとんどが林床に堆積した落葉・落枝などの可燃物（林床可燃物）に着火して延焼拡大する形態をとるため、林床可燃物の乾燥状態を予測することで火災の発生危険度を評価することが可能である。また可燃物の量や堆積状態、地形などを考慮することで火災の延焼速度を予測することが可能であり、延焼速度の違いから火災の拡大危険度を評価することができる。本研究では、森林火災の発生危険度を予測するモデルとして、林床可燃物含水比予測モデルを開発するとともに、森林火災の拡大危険度を予測するモデルとして、Rothermelの延焼速度予測モデル（1972）を日本の森林に適用することを試みた。これらのモデルを公共性の高い森林に適用し、火災発生危険度と拡大危険度を評価した。

イ 研究方法

1) 林床可燃物含水比予測モデル

林床可燃物の含水比を表すモデルは一段のタンクモデルである（図 3-2-1）。タンクに貯まっている水の深さが含水比（ θ : g g^{-1} ）に相当する。降水はタンクに貯まるが、最大含水比（ θ_{max} : g g^{-1} ）を超える量はタンクよりオーバーフローし、より深部へと浸透する。（1）式から計算される蒸発量の分だけタンク内の水は減少する。

$$\begin{aligned} E &= (a\theta - b)S & \theta < c \\ E &= (ac - b)S & c \leq \theta \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 E は蒸発量（mm）、 S は日射量（ kJ m^{-2} ）、 a 、 b 、 c はモデルパラメータである。本モデルで同定が必要なパラメータは、これらと θ_{max} の4つである。これらのパラメータは落葉層の堆積状態、不朽状態や落葉そのものの形状や保水特性などによって変化すると考えられる。森林火災は θ が0.2以下のときに発生する危険度が高くなることが知られている（小林ら 1991、後藤ら 2005）。

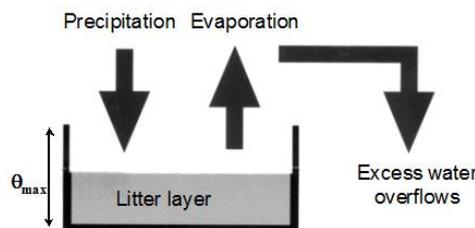


図 3-2-1 林床可燃物含水比予測モデルの概要

パラメータ同定のための実験には、直径 20cm、深さ 1、2、3cm の円筒型ライシメータを用いた。まず初めにライシメータを水に浸し、その後に太陽光にさらした。電子天秤によりライシメータの重量減少量を最小分解能 0.025mm の精度で測定し、落葉層からの蒸発量 (E) と落葉層含水比 (θ) の観測値算出に用いた。ライシメータの計量は原則的に 30 分間隔で行った。しかし θ が大きいときには 10 秒間隔で行った。

このモデルを実際の森林に適用して林床可燃物の含水比の変化を調べ、森林火災の発生危険度の予測を行った。対象地区として公共性の高い森林である岡山県岡山市の竜のロググリーンシャワー公園を選定した。年平均気温は約 1,200mm、年平均気温は約 14.3°C である。モデルを適用した森林の面積は約 40ha であり、その植生は樹種と樹高をもとに 6 種の林相タイプに区分されている(後藤ら, 2006)。林相タイプ 5 のヒノキ人工林を除き、いずれも広葉樹二次林である。今回はさらに斜面の方位を考慮して 9 種の林分に分割した(図 3-2-2)。各林分において着葉期と落葉期のそれぞれに林床面日射量を測定し、モデルの計算に用いた。降水量は公園内の露場に設置した雨量計のデータを用いた。

2) Rothermel の延焼速度予測モデル

Rothermel モデルは現在アメリカやカナダで実用化されている森林火災延焼シミュレーションの基本となっているモデルであり、(2) 式を基本としている。

$$R = \frac{\text{火線より放出される熱量}}{\text{可燃物の着火に必要な熱量}} \quad (2)$$

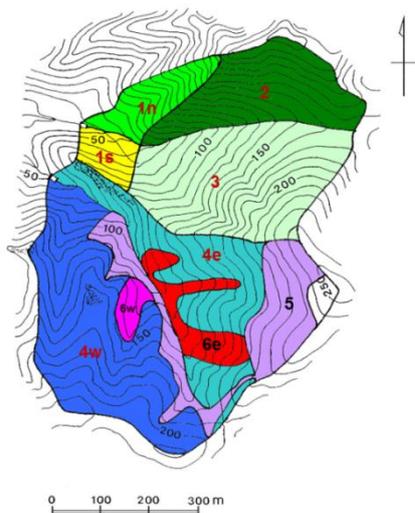
このモデルを日本の森林に適用するにあたっては、可燃物の低位発熱量や表面積一体積比など可燃物の燃焼特性を示す多くのパラメータの同定が必要だが、今回は後藤ら(2005)により同定された値を用いた。これらのパラメータに加え、実際の森林でモデルを適用するためには、可燃物の重量や堆積深など表 3-2-1 に示したようなパラメータ値を求める必要がある。本研究ではこのモデルを、林床可燃物含水比予測モデルと同じく竜のロググリーンシャワー公園に適用して、森林火災の拡大危険度の予測を行った。表 3-2-1 のパラメータのうち、 θ は上記の含水比予測モデルの計算結果を用い、気象データは竜のロググリーンシャワー公園より約 6km 南東にある岡山地方気象台発表の観測データを用いた。斜面の傾斜角度は地形図から読み取り、可燃物の単位面積あたり重量と堆積深は現地での実測により求めた。表 3-2-2 には含水比予測モデルと延焼予測モデルの計算を行った期間の岡山市の気象を示した。

ウ 結果

1) 林床可燃物含水比予測モデルのパラメータの同定

θ の大きさに応じて、 E と S の観測値の間には線形関係が認められた。求めた全ての回帰直線の回帰定数は、 $-0.012 \sim 0.012 \text{mm}$ と十分に小さいので 0mm とみなすことができる。一方回帰係数は、 θ が 1.8 より小さい範囲では、傾き 1.02×10^{-6} 、切片 -1.3×10^{-5} の線形関係が成立した。 θ が 1.8 以上の範囲では、回帰係数は 1.7×10^{-4} とほぼ一定であった。以上により (1) 式は (3) 式のように同定された。 θ_{\max} は 2.000 であった。

$$\begin{aligned} E &= (1.02 \times 10^{-6} \theta - 1.3 \times 10^{-5}) S && \theta < 1.8 \text{ のとき} \\ E &= 1.7 \times 10^{-4} S && 1.8 \leq \theta \text{ のとき} \end{aligned} \quad (3)$$



林分No.	林相タイプ	BA(m ² ha ⁻¹)		密度(本 ha ⁻¹)		最大樹高(m)
		落葉樹	常緑樹	落葉樹	常緑樹	
1n	1	16.2	4.3	1400	1550	15.3
1s		13.8	14.7	1000	3700	15.3
2	2	30.2	3.3	1650	1600	18.5
3	3	26.6	7.5	832	1566	26.0
4e	4	16.8	2.9	1500	1300	13.3
4w		21.4	20.3	2850	4000	17.0
5	5	-	19.7	-	1300	11.6
6e	6	5.1	4.9	750	1250	9.2
6w		20.5	3.3	1800	1800	13.5

図 3-2-2 竜のロググリーンシャワー公園の林相区分図

表 3-2-1 Rothermel の延焼速度予測モデルの計算に必要なパラメータ

パラメータ	説明
θ	可燃物の含水比 (g g ⁻¹)
U	風速 (m m ⁻¹)
D	斜面の傾斜角度 (°)
W	可燃物の単位面積あたり重量 (kg m ⁻²)
δ	可燃物の堆積深 (m)

表 3-2-2 モデル計算時の岡山市の気象 (岡山地方気象台発表データ)

月日	日平均相対湿度 (%)	日最小湿度 (%)	日平均風速 (m/s)	降水量 (mm)	天気
2/24	72	44	2.0	14	曇後雨
2/25	65	37	5.5	0	曇後晴
2/26	53	24	5.0	0	晴
2/27	57	36	3.0	0	晴後曇
2/28	57	39	2.5	0	晴後曇
3/1	57	28	3.4	0	晴後時々曇
3/2	63	42	3.7	0	曇
3/3	83	65	1.9	3	雨一時曇

2) 竜のロググリーンシャワー公園における森林火災発生危険度予測

林床の可燃物は含水比が 0.2 以下になると着火の可能性が極めて高くなることが知られており (小林ら、1991 ; 後藤ら、2005) 、火災危険度の判定基準として含水比 0.2 を用いることとした。各林分の林床可燃物含水比を (3) 式を用いて 30 分間隔で計算した。表 3-2-3 及び図 3-2-3 は調査期間中の日最小含水比の変化を示した。表 3-2-3 に示したように、観測初日の 2 月 24 日には降水があったため、日最小含水比は 2.000 であった。その後 6 日間はほぼ晴れの日が続いた。2 月 27 日には日最小含水比の林分間で差が 0.198~0.811 と最も大きくなり、日最小含水比が火災発生危険度の高い 0.2 を下回る林分もでてきた。3 月 1 日には岡山市に乾燥注意報が発令されており、翌日の 3 月 2 日には 9 つの林分のうち 7 林分で日最小含水比が 0.200 以下となった。このように降水後 6 日ほどで対象地のほぼ全域で、森林火災が発生しやすいう状態になったと判断された。翌日の 3 月 3 日は再び降雨があったため、全域で日最小含水比が 2.000 に戻った。

表 3-2-3 竜のロググリーンシャワー公園における林分別の林床可燃物含水比の予測結果
(算定された日最小含水比、林分 No. は図 3-2-2 参照)

月日	1n	1s	2	3	4e	4w	5	6e	6w
2/24	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
2/25	1.198	1.479	0.683	0.683	1.003	1.195	0.680	1.116	0.872
2/26	0.783	1.148	0.352	0.352	0.635	0.759	0.354	0.716	0.377
2/27	0.539	0.811	0.226	0.226	0.428	0.476	0.240	0.452	0.198
2/28	0.383	0.270	0.175	0.175	0.278	0.322	0.179	0.307	0.148
3/1	0.286	0.429	0.145	0.145	0.207	0.245	0.151	0.216	0.134
3/2	0.228	0.334	0.136	0.136	0.176	0.194	0.140	0.177	0.130
3/3	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

3) 竜のロググリーンシャワー公園における森林火災拡大危険度予測

表 3-2-4 には Rothermel の延焼速度予測モデルの計算に用いた竜のロググリーンシャワー公園における林分毎の可燃物と斜面の傾斜を示した。可燃物の堆積深は 0.029~0.069m、可燃物乾燥重量は 0.399~0.711kg m⁻²、斜面の傾斜は 20.6~31.9° の範囲にあった。表 3-2-2 の岡山市の気象、及び表 3-2-3 の林床可燃物含水比の予測結果、表 3-2-4 の可燃物と地形のデータを用いて Rothermel モデルにより火災が発生した場合の延焼速度を予測した (図 3-2-4) 。林床可燃物の含水比の変化に比べ降雨直後は延焼速度が低いままの日が続くが、これは Rothermel モデルでは可燃物の含水比が 0.2 以上では火がほとんど延焼しないように設定されているためである。日がたつにつれて延焼速度が大きくなる林分が増加し、3 月 2 日になると落葉広葉樹の割合が高い林分で延焼速度が大きくなり、800m h⁻¹ 以上になるところも出てきている。降水のあった 3 月 3 日には、延焼速度は低い状態に戻った。

表 3-2-4 竜のロググリーンシャワー公園における可燃物と地形

(林分 No. は図 3-2-2 参照)

林分 No.	可燃物堆積深 (m)	可燃物乾燥重量 (kg m ⁻²)	斜面の傾斜 (°)
1n	0.061	0.656	29.9
1s	0.047	0.711	31.9
2	0.039	0.596	31.0
3	0.053	0.509	28.9
4e	0.069	0.399	22.8
4w	0.021	0.680	26.0
5	0.047	0.584	20.6
6e	0.028	0.435	22.8
6w	0.040	0.615	21.8

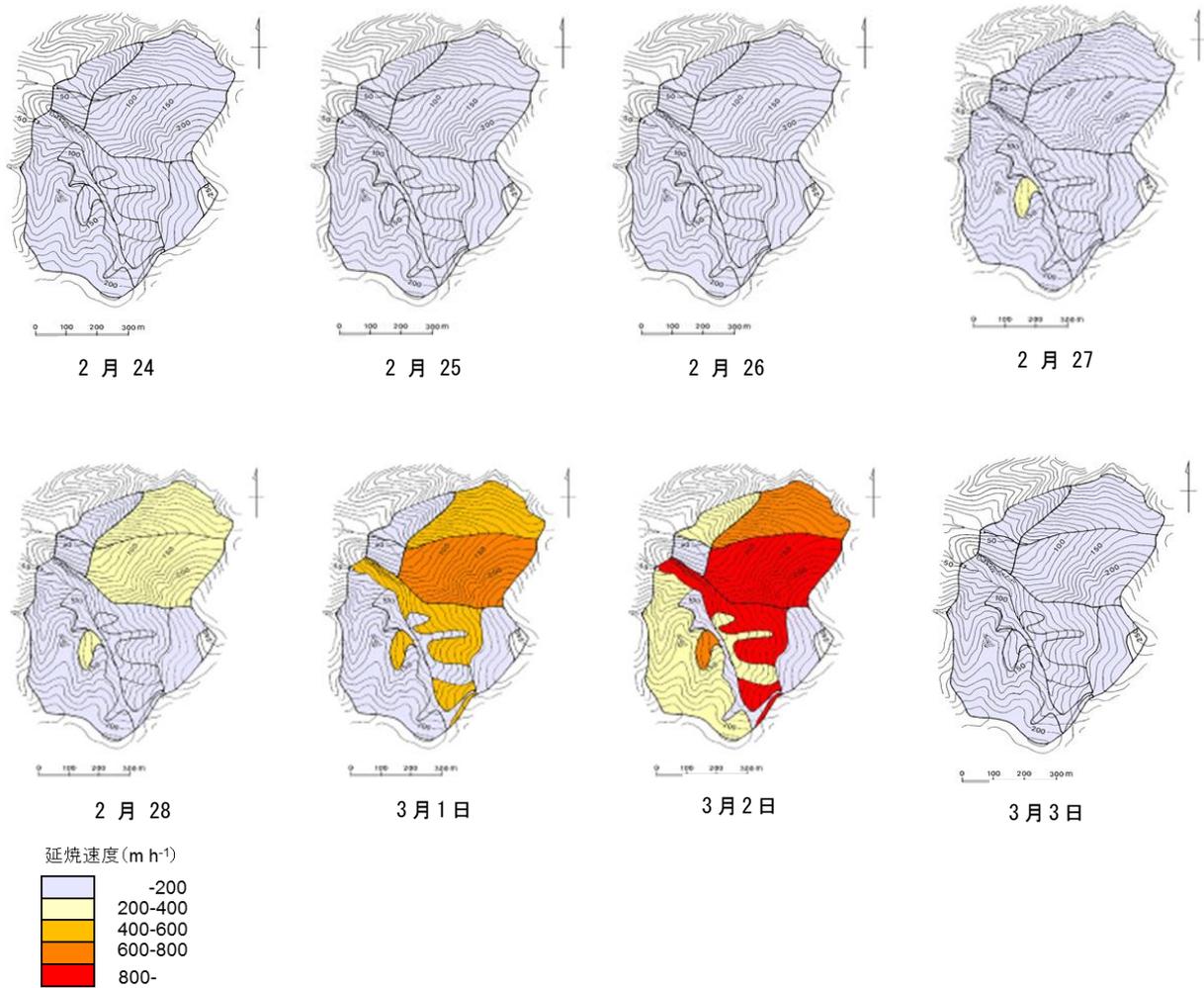


図 3-2-3 竜のロググリーンシャワー公園における林分別の林床可燃物含水比の予測

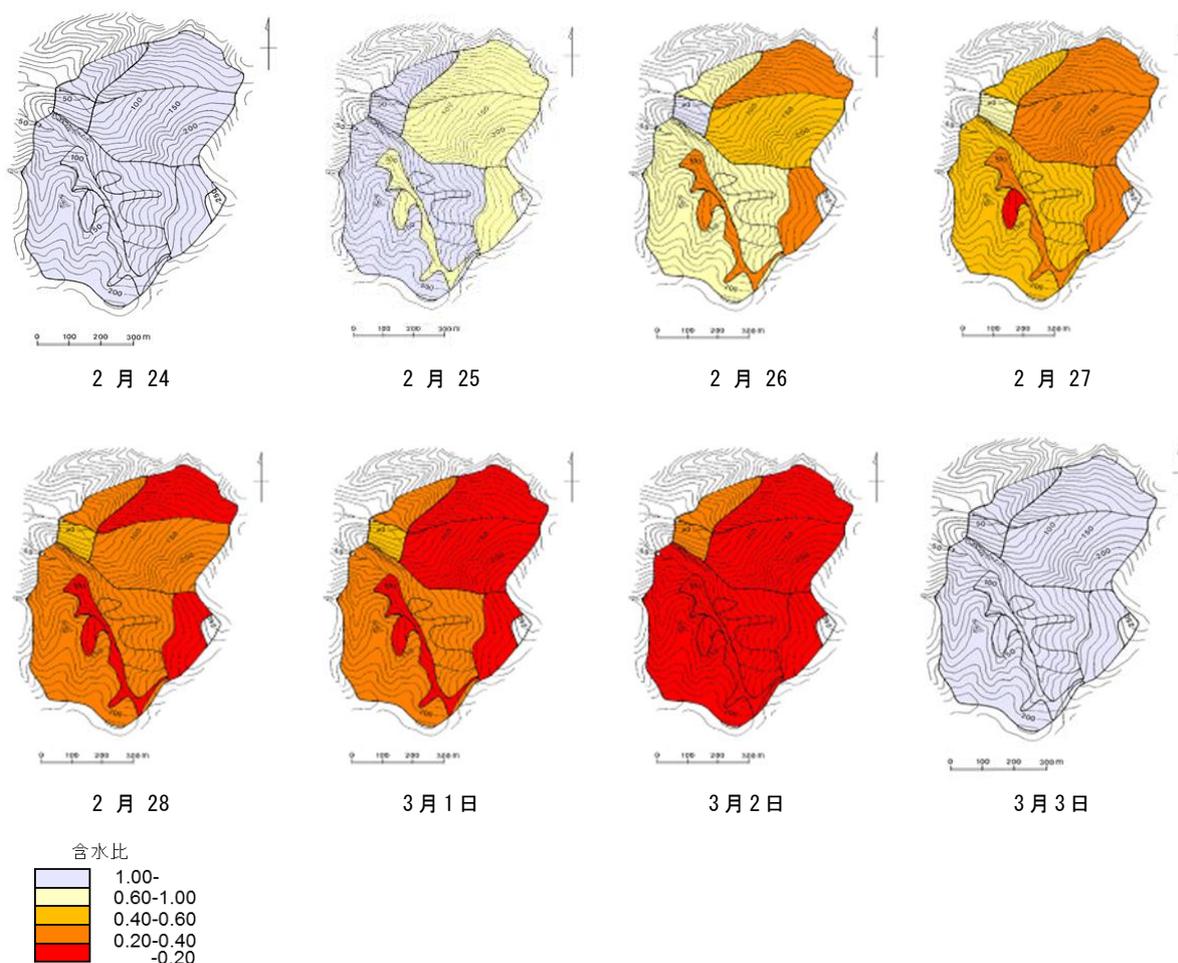


図 3-2-4 竜のログリーンシャワー公園における林分別の火災延焼速度の予測

エ 考察

林床可燃物含水比の予測結果をみると、林相タイプ 1s や 4w、6e など常緑広葉樹の割合が高いところでは、日最小含水比の低下が遅れる傾向があった。これは落葉広葉樹の割合が高い林分に比べ林内日射量が低かったためと考えられる。林相タイプ 5 はヒノキ人工林であるが、比較的早い時期に日最小含水比が小さくなっている。これはこの林分が間伐直後で林内日射量が高かったためと考えられる。以上のように林床可燃物の乾燥速度は隣接した林分であっても林分の種類や斜面の方位等により差異が生じ、森林火災の発生危険度が変化することが明らかとなった。本研究で開発した林床可燃物含水比予測モデルは、林野火災の予防を目的に、森林公園のような公共性の高い森林域での火災発生危険度評価に適しており、人間活動の管理などに利用が可能であろう。Rothermel モデルによる延焼速度の予測結果は、概ね林床可燃物の含水比の変化に追随しているが、必ずしも含水比の低い林分でそのまま延焼速度も速くなっているわけではない。林床可燃物含水比が比較的早く低下した林相タイプ 5 のヒノキ人工林は、3 月 2 日の段階になっても延焼速度の予測値が低いままである。これは Rothermel モデルが可燃物の表面積-体積比や斜面の傾斜の影響を強く受けるため、表面積-体積比が大きい可燃物ほど、あるいは斜面の傾斜角度が大

きいほど延焼速度は速くなる（後藤ら、2005）。林相タイプ5のヒノキ人工林では、ヒノキの落葉が細かいブロック状に分解するため広葉樹の落葉に比べ表面積・体積比が小さく、また斜面の傾斜角度も他の林分に比べ小さかったため、含水比が低下しても延焼速度は大きくならなかったものと考えられる。以上のように火の延焼速度は、林床可燃物の含水比と同様に、隣接した林分であっても林分の種類や斜面の方位等により差異が生じ、森林火災の拡大危険度は変化した。しかし拡大危険度は必ずしも発生危険度と常に同様の変化をするわけではなく、地形や可燃物の種類、堆積状態により異なる評価結果となった。

本研究で示したように、火災の発生・拡大危険度は、林分ごとに明確に区分することが可能であり、重点的に予防活動を行う必要がある箇所も抽出できる。竜のロググリーンシャワー公園のように公共性が高く、人の入り込みの多い森林では、火災予防対策として防火帯や防火水槽などの施設を設置することが有効であり、火災の発生・拡大危険度を考慮することで効果的な設置場所を決定することが可能である。また、火災の発生・拡大しにくい森林へ改良するなどの対策も重要であり、火災のリスクを考慮した森林管理にも本研究の成果が活用できよう。

オ 今後の問題点

火災の発生危険度を評価するために用いた林床可燃物含水比予測モデルでは、対象となる林分で林内日射量などの微気象を測定する必要がある。しかしより広い範囲の森林で危険度を評価するためには、全ての林分で微気象を観測することは難しいので、アメダス等の気象データから林床可燃物の含水比を予測する手法を開発する必要がある。拡大危険度を評価するために用いたRothermelの延焼速度予測モデルでは、延焼速度が風速の影響を強く受けることが知られている（後藤ら、2005）。本研究では岡山地方気象台で観測された風速のデータを計算に用いたが、気象台は平坦地にあるため、竜のロググリーンシャワー公園周辺では異なる風速分布になると考えられる。延焼速度をより正確に予測するためには、対象地周辺の風速分布を正確に把握する必要がある。

カ 要約

森林火災の発生危険度を予測するモデルとして、林床可燃物含水比予測モデルを開発するとともに、森林火災の拡大危険度を予測するモデルとして、Rothermelの延焼速度予測モデルを日本の森林に適用することを試みた。これらのモデルを公共性の高い森林に適用し、火災発生危険度と拡大危険度を評価した。

林床可燃物含水比予測モデルを竜のロググリーンシャワー公園に適用したところ、降雨後6日間ほど晴れの日が続くことで、対象地のほぼ全域で火災発生危険度が高い状態になった。延焼速度予測モデルによる拡大危険度の予測結果も、発生危険度とほぼ同様の変化を示したが、必ずしも発生危険度と常に同様の変化をするわけではなく、地形や可燃物の種類、堆積状態により異なる評価結果となった。これらのモデルを使用することで、火災の発生・拡大危険度を林分ごとに明確に区分することが可能であり、重点的に予防活動を行う必要がある箇所が抽出できると考えられた。

キ 引用文献

後藤義明・玉井幸治・深山貴文・小南裕志（2005）日本で発生する山火事の強度の検討—Rothermelの延焼速度予測モデルを用いた Byram の火線強度の推定．日本森林学会誌，87，193-201．

後藤義明・玉井幸治・深山貴文・小南裕志・細田育広（2006）竜の口山森林理水試験地における広葉樹二次林の階層構造に及ぼす攪乱の影響．森林総合研究所研究報告，5，215-225．

小林忠一・玉井幸治・服部重昭・西山嘉寛（1991）林野火災の延焼速度に関する実験的研究—傾斜角と林床可燃物の影響—．日本林学会誌，73，73-77．

Rothermel, R. C. (1972) A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap, INT-115, 1-40.

（後藤義明・玉井幸治）

3. 森林病害の危険度評価のための要因分析 —ヒバ漏脂病を例として—

ア 研究目的

森林の健全性の基準・指標のうち生物的被害の指標については、近年被害が多く見られるヒバ漏脂病を例として、危険度評価のための要因分析を行った。青森県及び石川県においては、ヒバは重要な造林樹種であり、近年、スギに変わって、造林面積が急激に増加している。ところが、ここ数年これら若齢ヒバ人工林において、漏脂病の被害が多く見られ深刻な問題になっており、ヒバ人工造林の最大の阻害要因となっている（矢田 1989、田中ら 1992）。

最近の研究によって、ヒバ漏脂病は子のう菌類に属する *Cistella japonica* 菌によって引き起こされることが判明し（市原ら 2004、窪野ら 2004）、本菌の生活史が明らかにされると同時に、本菌は分類学的にヒノキ漏脂病菌と同一であることが示された（Suto, 1992; 周藤 2002）。また、被害実態調査及び接種試験から、本菌は枯枝、あるいは生枝から樹体内に侵入することが推測されている（在原ら 2004、田中ら 2004）。しかしながら、本病に対する的確な防除手法は依然確立されておらず、東北森林管理局、青森県及び石川県から早急の解決策が求められている。そこで、本研究では、これまでの研究で明らかにされた病原菌の発生生態に基づき、ヒバの施業と被害危険度の関係を示し、被害回避法を提示することを主目的とした。

イ 研究方法

1) ヒバ林における漏脂病の被害実態把握

青森県及び岩手県下のヒバ林において、漏脂病被害実態調査を行った。青森県では18林分、岩手県では3林分の合計21林分を調査地とした。調査は天然林及び人工林を対象に実施し、林分の基礎データとして、胸高直径、林冠高、生枝下高、斜面方位、斜面傾斜及び立木密度を調査した。各林分において、ランダムに30～138本を選び、健全木及び被害木をカウントした。

2) 病原菌 *Cistella japonica* の発生生態

病原菌 *Cistella japonica* の子嚢盤形成時期と子嚢胞子の伝播様式を明らかにすることを目的に実験を行った。青森県林業試験場が管理する約20年生ヒバ人工林において、春季4月～秋季10

月の間、被害林分において病患部上に形成される子囊盤の発消長及び子嚢胞子の飛散様式を明らかにする実験を行った。ほぼ月1回の割合で子囊盤を採取し、実験室において子嚢胞子の落下及び発芽状況を記録した。また、患部に形成した子囊盤に対し殺菌水を噴霧し、流れ出した水分（樹幹流とした）をパスツールピペットで採取した。その後、採取した流水を遠心分離器に掛け、子嚢胞子の有無と発芽状況を光学顕微鏡で調べた。また、*Cistella japonica* の潜在感染を検討するため、春季4月～秋季10月の間、罹病木における健全樹幹部から外樹皮及び内樹皮を採取し、菌分離試験を行った。

3) 病原菌 *Cistella japonica* の感染部位の特定

感染に関与する病原体胞子の感染機構を明らかにするため、ヒバ樹幹及び枝樹皮に着目して、本菌の分離試験を行い、本菌の生息部位を明らかにすることを試みた。青森県林業試験場が管理する約20年生ヒバ人工林において、漏脂病被害木を2本採取し（樹高7.3m、樹高6.8m）、菌分離試験に供した。伐倒した被害木を1mの丸太に玉切り、「①病患部及び非病患部」、「②生きた枝基部及び枯死した枝基部」及び「③生きた枝樹皮及び枯死した枝樹皮」の各部位から病原菌の分離を行った。

ウ 結果

1) ヒバ林における漏脂病の被害実態把握

青森県及び岩手県に生育するヒバ天然林11林分及び人工林9林分を対象に被害実態調査を行った結果、ヒバ天然林の漏脂病被害率は5～38%、ヒバ人工林の被害率は10～80%であった（図3-3-1）。また、天然林及び人工林を問わず、漏脂病患部には、枯枝及び生枝の存在が観察された（図3-3-2）。

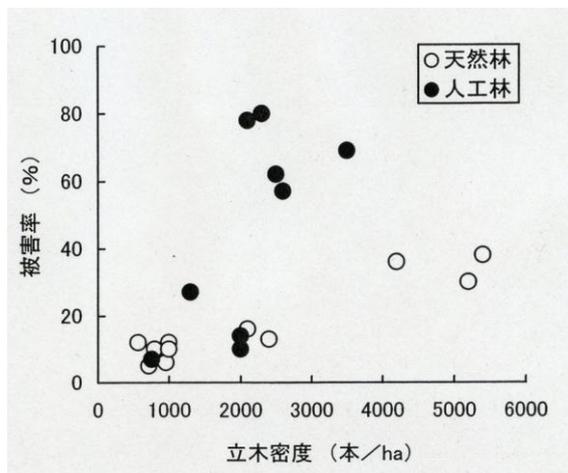


図 3-3-1 ヒバ漏脂病の被害率と立木密度の関係



図 3-3-2 漏脂病患部

2) 病原菌 *Cistella japonica* の発消生態

Cistella japonica の子囊盤の発消長と子嚢胞子の発芽状況を表3-3-1に示す。成熟した子嚢胞子を保持した子囊盤は4～10月の間、樹幹上に存在し、秋季9～10月にかけて新鮮な子囊盤の形成が確認された。また、子嚢胞子の落下試験では、秋季9～10月に採取した子囊盤から自然落下

が確認されたが、秋季以外では自然落下は観られなかった。一方、春季4月～秋季10月の間に採取した樹幹流を分析した結果、樹幹流中に子嚢胞子を認め、これらが発芽することを確認した。以上の結果から、ヒバ漏脂病患部に形成された *Cistella japonica* の子嚢盤は4月～10月まで樹幹上に存在し、かつ常時発芽能力を有する子嚢胞子を保有することが明らかになった。また、春季4月～秋季10月の間、罹病木における健全樹幹部の外樹皮及び内樹皮から菌分離試験を行った。その結果を、表2に示す。*Cistella japonica* 菌は、低率ながら、8～10月の外樹皮から分離されたが、内樹皮からは分離されず、外樹皮に生息していることが判明した。

3) 病原菌 *Cistella japonica* の感染部位の特定

樹幹各部位における *Cistella japonica* の分離頻度を図3-3-3に示す。漏脂病患部からは高率で *Cistella japonica* が分離された(病原菌分離株数/総分離材片数 $\times 100 = 23/70 \times 100 = 33\%$)。一方、非病患部においては、材部及び内樹皮からは本菌はまったく分離されなかったが、外樹皮からは低率ながら本菌が分離された(14/560=2.5%)。漏脂病被害のない「生きた枝基部」から病原菌の分離を行った結果、低率ながら本菌が分離された(3/280=1%)。しかし、「枯死した枝基部」からは本菌は分離されなかった(0/140)。生きた枝の中肋部樹皮(0/105)及び枯死した枝の中肋部樹皮(0/105)から菌の分離を行ったが、*Cistella japonica* は分離されなかった。

エ 考察

1) ヒバ林における漏脂病の被害実態把握

今回実施したヒバ天然林及び人工林における漏脂病被害実態調査の結果、天然林及び人工林に関わらず、漏脂病の発生が確認された。しかし、漏脂病の被害率の高い林分は、天然林及び人工林ともに立木密度の高い林分であり、林内環境の悪化が漏脂病の発生を促進したものと推察された。また、漏脂病患部には枯枝や生枝の残存が多く見られ、漏脂病の発生には、枯枝や生枝が関与していることが示唆された。以上のことから、高い立木密度や枝打ちの不備等、不適切な施業が漏脂病の発生を誘引している可能性が示唆された。

2) 病原菌 *Cistella japonica* の発生生態

漏脂病患部に形成された *Cistella japonica* の子嚢盤は4月～10月まで樹幹上に存在し、かつ常時、発芽能力を有する子嚢胞子を保有することが明らかになった。また、樹幹流中に子嚢胞子の存在が確認されたことから、降雨時に雨水とともに、子嚢胞子が伝播される可能性が示唆された。また、菌分離試験によって、健全樹幹部の外樹皮に本菌が生息していることが判明した。以上のことから、本菌は通常、外樹皮に腐生的に生息し、内樹皮に何らかの原因によって傷が形成された際に、本菌は傷口から内樹皮に侵入し、病斑形成に至るのではないかと推察された。

3) 病原菌 *Cistella japonica* の感染部位の特定

樹脂(ヤニ)は枝基部から流出することが実態調査によって判明したことから、枝基部に本菌が生息していると推測し、分離試験を行った。しかし、今回の分離結果を見る限り、枝基部周辺に本菌が高率に生息しているとは言えない。今後さらに分離片数を増やし、枝基部とヤニ流出と

表 3-3-1 *Cistella japonica* 子囊盤の発生消長と子嚢胞子の発芽状況

調査日	4/29	5/30	6/28	8/4	9/11	10/25
子囊盤有無	+	+	+	+	+++	+++
子嚢胞子有無	+	+	+	+	+	+
子嚢胞子落下	-	-	-	-	+	+
子嚢胞子発芽	a+	a+	a+	a+	b+	b+
樹幹流中の子嚢胞子の有無と発芽	c+	c+	c+	c+	c+	c+

注) + ; 子囊盤及び子嚢胞子の存在有り, - ; 子嚢胞子の自然落下なし
 a+ ; 人為的に取り出した子嚢胞子の発芽有り, b+ ; 自然落下した子嚢胞子の発芽有り, c+ ; 樹幹流中の子嚢胞子の発芽有り

表 3-3-2 罹病木における健全樹幹部からの *Cistella japonica* の分離頻度 (%)

試料採取日	4/29	5/30	6/28	8/4	9/11	10/25
外樹皮	0	0	0	17 *	15 *	18*
内樹皮	0	0	0	0	0	0

注) * ; 出現した *Cistella japonica* のコロニー / 全出現コロニー X 100 (%)
 外樹皮からは *Cryptosporiopsis abietina* が高頻度で分離された。

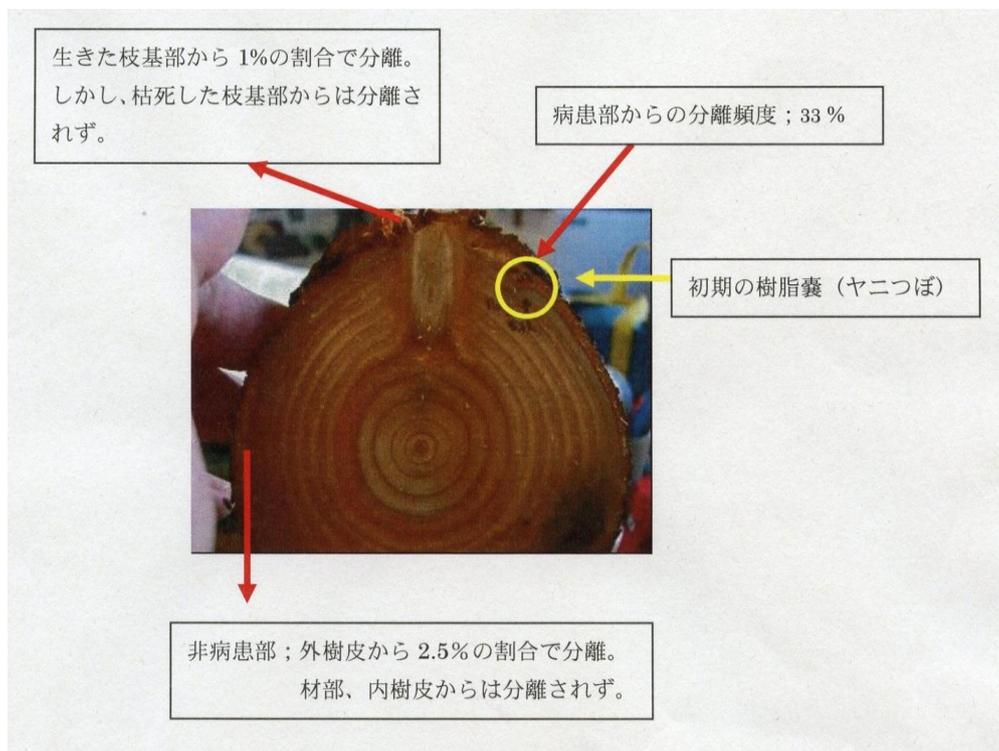


図 3-3-3 樹幹各部位における *Cistella japonica* の分離頻度

の関係を明らかにする必要がある。また、枝樹皮から本菌の分離を行ったが、全く分離されなかった。分離片数が少ないことから断定はできないが、本菌は主に樹幹外樹皮に生息するもので、枝樹皮には生息しないのではないかと推察された。

オ 今後の問題点

今回の研究によって、ヒバ漏脂病菌は除伐や間伐の遅れた立木密度の高い林分において、高い発病率を示した。また、これらの林分には枯枝や生枝が多く残存し、枯枝や生枝から樹脂が流出している現象が多く見られた。一方、*Cistella japonica* 菌は、子嚢胞子や菌糸体の状態で、外樹皮に常時生息し、潜伏感染していることが判明した。以上の結果を総合的に判断すると、漏脂病菌は外樹皮に常時生息し、枯枝や生枝の基部に何らかの傷害が発生した場合に、その傷口から内樹皮に侵入し、本病を発病させるものと推察される。

今後の問題として、上記の仮説を立証する必要があるが、今回の研究結果を基に本病の発生リスクを軽減及び回避させる方法は、以下の通りである。すなわち、適切な森林施業を実施して、感染部位と思われる下枝（枯枝や生枝）をできる限り排除すること、また、除伐・間伐を行って立木密度を低くし、陽光・通風等の林内環境を良くして子嚢盤（子嚢胞子）の発生密度をできる限り抑えることが、本病の発生を回避する最善の方法と考える。

カ 要約

1) 青森県及び岩手県に生育するヒバ天然林及び人工林において被害実態調査を行った結果、天然林及び人工林を問わず、立木密度の高い林分で被害率が高い傾向が見られた。また、漏脂病患部には、例外なく、枯枝あるいは、生枝が存在するとともに、基部から樹脂の流出が観察された。

2) ヒバ漏脂病患部に形成された *Cistella japonica* の子嚢盤は4月～10月まで樹幹上に存在し、かつ常時、発芽能力を有する子嚢胞子を保有することが明らかになった。また、樹幹流中に子嚢胞子の存在が確認されたことから、降雨時に雨水とともに、子嚢胞子が伝播される可能性が示唆された。

3) 樹幹及び枝の樹皮における *Cistella japonica* の分離試験結果から、本菌は通常、樹幹外樹皮に腐生的に生息し、樹幹内樹皮に何らかの原因によって傷が発生した際に、本菌は傷口から内樹皮に侵入し、病斑形成に至るのではないかと推察された。また、枯枝及び生枝の基部から樹脂が流出していることから、内樹皮に発生する傷害は枯枝及び生枝の形成と深く関係していることが示唆された。

キ 引用文献

在原登志男、齋藤直彦（2004）現行の枝打ちによるヒノキの樹幹変形木の出現抑制効果．東北森林科学会講演要旨，9，51．

市原 優、窪野高德、升屋勇人、田中功二、兼平文憲（2004）ヒバ漏脂病罹病木から分離された菌類の接種試験．東北森林科学会講演要旨，9，50．

窪野高德、市原 優（2004）ヒバ漏脂病の材質劣化に關与する菌類の探索．東北森林科学会講演要旨，9，49．

Suto, Y (1992) A new species of *Cistella* (Discomycetes) inhabiting bark of *Chamaecyparis*

obtusa and *Cryptomeria japonica*, and its cultural characters. Transactions of The Mycological Society of Japan, 33, 433-442.

周藤靖雄 (2002) ヒノキ漏脂病(森林をまもる－森林防疫研究 50 年の成果と今後の展望－全国森林病虫獣害防除協会), 125-136.

田中功二、兼平文憲 (1992) 青森県におけるヒノキアスナロの漏脂病について (予報), 平成 3 年度青森県林業試験場報告, 29-40.

田中功二、兼平文憲 (2004) ヒバ人工林の枝打ち処理後、5 年間の樹脂流出状況. 東北森林科学会講演要旨, 9, 48.

矢田 豊 (1989) ヒノキ・アテ漏脂病の被害実態に関する研究 (I) - 樹脂流出状況の季節変化 - . 石川県林業試験場研究報告, 19, 13-18.

(窪野高德)

4. 森林の健全性評価で考慮すべき要因

ア 研究目的

モニトリオールプロセスの基準 3 「森林生態系の健全性と活力の維持」における健全性は、外形的には生物被害 (虫害及び病害) と非生物被害 (風害及び森林火災) の被害状況 (強度、進行速度) を明示的な指標とすることが可能であるが、健全性の判定においては単なる被害状況だけではなく、その森林を取り巻く環境要因や森林の生育状況などの内部要因の効果を含めた評価が必要である。

台風被害や林野火災といった気象災害等に関しては、土壌条件や気象条件を間接的な指標としてある程度評価が可能であり、本章 1 節および 2 節で述べたように、気象データ等を使って広域的な森林を対象とした危険度を定量的に表現することが可能である。それに対して森林病害のような生物被害は、気象条件などの外部環境だけではなく、立木の生育段階や林分密度あるいは施業管理など多くの要因に依存するため、健全性を損なう要因を広域で一律に評価することはむずかしい。

そこで本節では、人工林の健全性評価の考え方を整理するため、気象環境のような外部条件だけでは判定しがたい要因として、気象害抵抗性の指標とされる形状比や林分構造と成長特性等を検討し、森林の健全性に及ぼす環境要因と林分要因との関連性を明らかにすることを目的とした。

イ 研究方法

人工林の成長発達に伴って変化する個体サイズや林分構造と健全性との関係を検討するため、既存の調査データを利用するとともに、様々な施業形態で現れる林分の構造的特徴を吟味するため、以下のような人工林成長モデルおよび風害抵抗性等に関するモデルを開発・改良して、様々な人工林を想定して検討を行った。解析にはこれまでに公表されてきた人工林等のデータを用いた他、適宜、補完的に調査してきたデータを利用した。

人工林の成長および林分構造の検討には、植栽本数密度や間伐施業を任意に設定できる林分成

長のシミュレーションモデル (Chiba, 2006) を用いた。間伐による林分密度効果を反映した林木の樹高、直径、枝下高に代表される個体サイズの成長経過を再現することができる。間伐を繰り返すたびに樹冠長が長くなるが、こうした樹冠構造の変化を取り込んで幹の成長過程を表現するため、分枝構造に基づいた樹幹形モデル (Chiba, 1990) を用いた。こうしたシミュレーションモデルにより、植栽時の立木本数密度、間伐年と間伐率などを自由に設定することによって、立木本数管理、形状比の変化、直径成長 (年輪幅)などを予測することができる。風圧力に対する立木の変形に関しては、沢田モデル (沢田, 1983; Chiba, 1994) を適用し、樹冠サイズ、幹の直径、形状比などとの関係を検討した。

ウ 結果

風害や病害等を軽減して森林を健全に維持するためには、適切な森林施業によって健全性を維持・向上させるように森林を誘導する必要がある。そこで、人工林の成長とともに変化する林分構造、直径や樹高のサイズ、林内光環境などを明らかにした上で、気象害や生物被害に関与すると考えられる要因について検討した。

1) 人工林の個体サイズと風害危険性

人工林では、林木の配置がほぼ均等であり、個体サイズも比較的均質であるため、枝下高は個体サイズに関係なくほぼ一定の高さにそろう傾向がある (図 3-4-1: 清野 1990、Chiba 2006)。人工林の枝下高が揃う現象はスギ人工林でも認められている。ただ、林齢とともに枝下高のバラツキは大きくなっていくが、これは間伐の繰り返しによって立木密度が低くなり、林内の混み具合に不均一さが生じるためと考えられる。一方、樹冠長は間伐を繰り返すたびに長くなり、その結果、個体あたりの葉や枝の量が増加して、幹の直径成長を促すことになる。

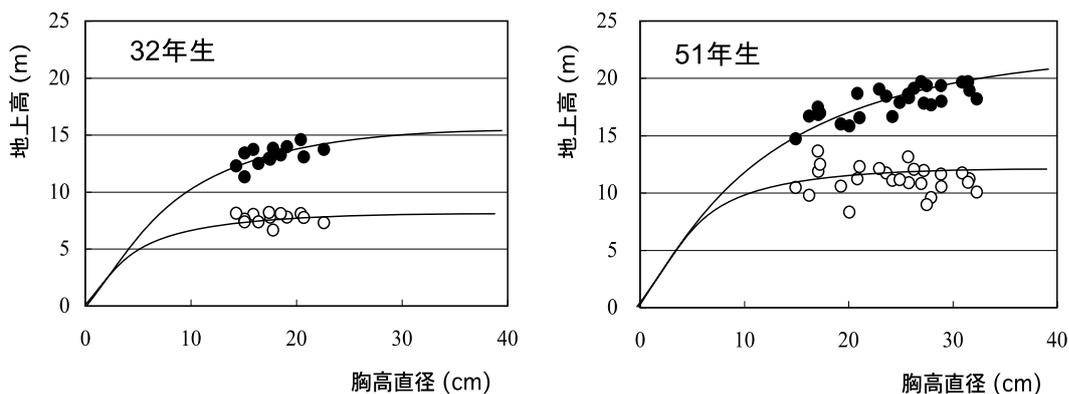


図3-4-1 ヒノキ人工林の樹高、枝下高と胸高直径の関係

森林総研天岳良試験地 (茨城県筑西市) での継続調査データで、32年生および51年生時点の関係を比較した。●: 樹高、○: 枝下高である。

樹高と胸高直径の関係は、同一林内で見ると図 3-4-1 で示すように飽和曲線で近似される。つまり、形状比は樹高と胸高直径の比であるから、大きい個体ほど形状比は小さくなる。一方、林齢ごとに形状比を比較すると、間伐を繰り返して林分密度が徐々に低下するため、形状比は林齢

とともに低くなる。風雪害の受けやすさは形状比と密接に関係するとしばしば指摘されるが、正しくは、直径が小さい個体の抵抗性が低いということである。若齢林あるいは劣勢木は一般的に形状比が大きい、径級が小さいことと裏腹の関係にある。

一般的に、強風に対する抵抗力は DBH の 3~4 乗に比例して強くなることが知られている。樹高が高くなれば、それに比例して強風による曲げモーメントは大きくなるが、DBH の太りの方が樹高よりも大きいので、樹高が高くなったとしても DBH の太りの効果のほうが大きく、林齢とともに風害抵抗性はむしろ増大する。したがって、高齢林などで DBH が太ければ、風害に対する危険性は低下するであろう。ただし、猛烈な強風が発生した場合は、幹が折損する危険性が減少するとしても、高樹高で低密度な高齢林では根返り被害が誘発される可能性があり、実際にそうした被害も発生している。

2) 立木本数密度の変化と健全性

全国各地の人工林では、地域や経営目的などさまざまな事情に応じて植栽本数も異なり、その後行われる間伐の頻度や強度も実にさまざまである。図 3-4-2 は全国各地のスギ人工林を対象に調査時点の林分密度を網羅的にプロットしたものである。植栽本数は 1,500 本/ha 程度から 10,000 本/ha を超えるものまであり、初期の林分密度の違いは非常に大きい。しかし高密度を維持する人工林はほとんどなく、林齢 70~80 年生までに林分密度を 400~700 本/ha 程度まで低下させ、最終的には 200 本/ha 程度にまで減少している。

実際にそうした本数管理を意図的に実施しているかどうかは定かではないが、気象害等を被ることなく現存するスギ人工林については、少なくともこうした立木本数と林齢の関係がある。図 3-4-2 で示した立木密度よりも高密度の人工林が無いとは言えないが、そうした高密度の林分は気象災害等によって健全な成長を阻害され、結果的に林分としては消失している可能性がある。

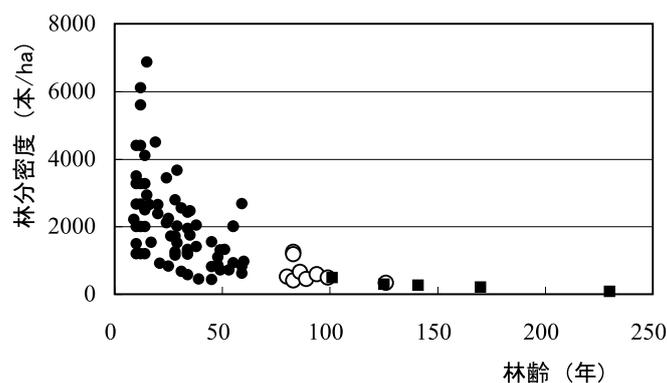


図 3-4-2 様々なスギ人工林の林分密度

● : ほぼ 60 年生以下の全国の林分 (Canne11, 1982) 、○ : 高知県船戸山高齢林、■ : 奈良県吉野地方スギ高齢林。高齢林○と■は竹内 (2002) によった。

3) 風害危険性と間伐との関係

強風に伴う林木の変形や物理的な強度に関するシミュレーションを行い、林分密度、胸高直径、樹高、枝下高などの個体サイズおよび林分構造に関する定量的な関係を検討した(千葉, 2009b)。その結果、樹幹形状が完満であるほど最大応力発生部位が低くなること、直径が太ければ強風への抵抗性が増大すること、樹高が高くなるとモーメントの増大により根返りの危険性が増すことなど(図 3-4-3)、これまでの風害調査で得られている知見と矛盾しない結果が得られ、シミュレーションの有効性が確認された。その概要は以下のとおりである。

樹高が同じ人工林であれば、高密度林分ほど根返りの危険性が増大すると考えられる。また林分密度が同じであれば、樹高が高いほど転倒の危険性が増すであろう。個体サイズがそろった林分では林内のすべての個体が比較的大きい樹冠を持っているため、小径木でも風圧力が大きくなり、折損被害が増えることが示唆された。つまり、さし木由来の造林地では個体サイズが揃いやすく、強風に対する抵抗性は弱い可能性がある。

間伐直後の人工林は風害を受けやすいという指摘があるが、間伐前後で林木のサイズは同じであるから、強風に曝されたときの応力の大きさや発生部位は間伐前と同じである。ただ、間伐によって林内を吹き抜ける風速が増加することから、個々の林木が受ける風圧力は増大するであろう。そのことが風害危険性の判断基準になる。間伐前後で樹形が変わらない以上、風圧による応力の大きさとその発生位置に大きな違いはない。したがって、間伐によって折損する位置が変わる可能性はほとんどなく、林内を吹く風速が増大する分だけ、間伐直後は被害発生の可能性が高くなるということである。

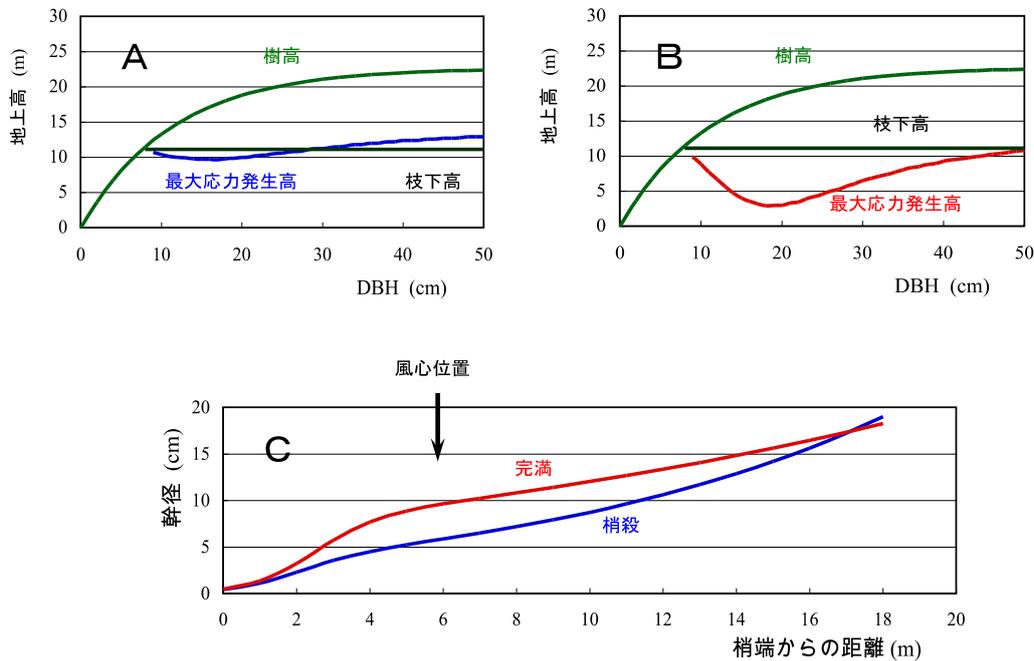


図 3-4-3 林分構造が同じでも樹幹形状が異なれば風圧力に対する応答が異なる
樹高～DBH 関係が同じでも、Cのように樹幹形状が梢殺な林分(A)と完満な林分(B)では、強風によって発生する最大応力発生高が大きく異なり、風害発生の様相は異なるであろう。

4) 間伐がもたらす健全性低下の可能性

人工林では林木の健全な成長を促すために間伐を行うが、間伐による林冠疎開は風害等の危険性を招く可能性もある。特に林冠の再開鎖までに長期間を要するような強度間伐などにおいて、こうした危険性はしばしば指摘される。そこで人工林の間伐後に林冠が再開鎖するまで要する期間と、間伐前の生育状況との関係について検討した。

単木間伐の後に林冠が再開鎖するまでの所要時間は、樹冠の形状とその拡幅速度によって決まるが、樹冠の拡大速度は樹高成長と密接に関係する。閉鎖林分の平均樹冠長が林分密度に対して負のべき乗式で近似されることなどを前提条件として、間伐後の林冠閉鎖時間が推定できる（千葉，2009a）。特に当該林分の成長の善し悪し（地位）が大きく影響する。表 3-4-1 は年間の樹高成長速度を 30cm として推定した結果である。

立地条件が悪く、樹高成長が期待できない林分では、同じ間伐率でも林冠の再開鎖に長期間を要することになる。表 3-4-1 の例示で、所要年数が 10 年を超える場合、林木同士の間隔が広くなり過ぎるので、実質的には林冠は再開鎖できないと考えて良いであろう。また、すでに何度か間伐がなされ、立木本数が少なくなっている林分も、間伐後の再開鎖年数は長くなる。このように林冠再開鎖までの所要年数が長くなるような林分では、残存林木が長い期間にわたって隣接木から離れた孤立木の状態で生育するため、強風や冠雪等の危険にさらされる可能性が高くなる。

当初本数 本/ha	再開鎖に要する年数						
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
4000	0	1	2	3	5	9	17
3800	0	1	2	3	6	10	18
3600	1	1	2	4	6	10	20
3400	1	1	2	4	6	11	22
3200	1	1	3	4	7	12	24
3000	1	1	3	5	8	14	27
2800	1	2	3	5	9	15	30
2600	1	2	3	6	10	17	34
2400	1	2	4	6	11	19	40
2200	1	2	4	7	12	22	47
2000	1	3	5	8	14	26	56
1800	1	3	6	10	17	32	70
1600	1	4	7	12	21	40	89
1400	2	4	8	15	27	52	-
1200	2	6	11	20	36	73	-
1000	3	8	15	28	53	-	-
800	4	12	23	45	87	-	-
600	8	21	44	87	-	-	-
400	20	54	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-

表 3-4-1 間伐実施後に林冠が再開鎖まで要する年数（試算）

樹高成長 30cm/年の場合の試算値である。間伐前の立木本数が少なく、本数間伐率が大きければ、林冠再開鎖までの所要年数は長くなる。表中 - は所要年数 100 年以上である。

エ 考察

樹木が集まって成立する森林は、隣接個体が相互に補完しあいながら、集団として安定な状態を維持するように成長する。間伐などの人為的操作は一時的にせよ、安定的な森林構造が乱され、個々の樹木にとっては樹体の支持バランスが崩されることになる。間伐後に林冠が再開鎖するのである所要年数は、間伐前の立木本数と間伐率によって異なるだけでなく、樹高成長が低下している林地では再開鎖までに長期間を要し、その間、残存木は強風に晒される。したがって風害リスクという点では、高齢林で樹高成長が鈍化している林分や、地位が貧弱な林地も要注意である。

しかし一方で、閉鎖林分では陽光が林内に入射しにくく、林床植生が貧弱になるなど林内環境が良好とはいえない。すでに森林病害に関連して指摘されたように、林内湿度が高い状況は、

漏脂病菌などの繁殖を促すことになりかねない。したがって、病害の防除という観点からは、林冠が適度に疎開され、林内の通風が確保され、過湿な状態を回避することが望ましい。

森林が何らかの障害・被害を受けた場合に、樹木集団としての森林の自然修復力が発揮されるように、あるいはそれを促進するように管理することが理想である。森林の修復力の判断基準のひとつとして、樹高成長がある。台風や冠雪害、あるいは生物被害等によって枯死木が発生した場合であっても、林冠を短時間で再閉鎖させるくらいの成長ポテンシャルがあれば、欠損した林冠を短期間に修復することが期待できる。したがって、健全性を判断する指標として、当該林分の樹高成長量あるいはその変化を把握しておく必要がある。健全性評価のためには、単なる地位指数（＝基準林齢のときの平均樹高）のような指標ではなく、評価時点の樹高成長ポテンシャルを指標として把握する必要がある。

本章で述べてきた、健全性の危険度予測に関して、マクロ的には気象条件をもとにした危険度マップや予測モデルがある程度の評価手法として有効であるが、本節で検討・指摘してきたように、林分そのものの構造や樹種の違い、あるいは樹木の成長を規定する土地条件など、森林の生長ポテンシャル等に関与する要因を合わせて評価することが、森林の健全性を正しく理解し、適切な森林管理を実現する上で不可欠である。

オ 今後の問題点

森林の健全性は、上述したように、いくつかの要因が複合的に作用して阻害されるのが普通である。しかも健全性判定を可能とする各種被害の表現型は、潜在的慢性的な被害もあり、健全性の判定をより困難なものにしている。また、被害は希に発生する現象である場合が多く、体系的な関連情報の蓄積・解析が行われないケースが多く、今後は、森林生態系の健全性に関与する生物的、非生物的諸要因を総合的に評価する必要がある。

カ 要約

森林施業による林分構造と樹形の制御に関して、人工林の成長モデルを用いて間伐強度・間伐頻度を自由に加えた場合に実現する直径成長と形状比の変化、あるいは強風による林分構造の違いが風害発生に及ぼす効果等についてシミュレーションを行い、人工林の成長過程と風害抵抗性との関係を検討した。樹高が高く低密度な高齢林では根返り被害が誘発され、樹高が低いほど被害形態としては折損被害になる可能性が高いことなどが確かめられ、各種被害に対する抵抗性等を評価する上でモデル化が必要・有効である。広域な森林を対象とした健全性の危険度予測モデルだけではなく、生物被害や非生物被害であっても林分構造や森林の生長ポテンシャルを考慮した危険度評価が必要であり、森林管理を通じた健全性の維持管理に向けた取り組みが重要である。

キ 引用文献

安藤貴ほか（1968）スギ林の保育形式に関する研究，林試研報 209，1-76.

Cannell, M. G. R. (1982) World forest biomass and primary production data. Academic Press, London, 391p.

Chiba, Y. (1990) A quantitative analysis of stem form and crown structure: the S-curve and its application. Tree Physiology 7: 169-182.

Chiba, Y. (1994) A mechanistic analysis of devastating damage by typhoons in sugi plantations in terms of stem breakage. J. Jpn. For. Soc. 76 : 481-491.

Chiba, Y. (2006) Effects of thinning regime on stand growth in plantation forests using an architectural stand growth model. Management of natural resources, sustainable development and ecological hazards. WIT Press, London, 321-328.

千葉幸弘 (2009a) 間伐に伴う林冠再閉鎖までの所要年数. 関東森林研究 60、149-150.

千葉幸弘 (2009b) 複層林化・長伐期化等の非皆伐施業の最適化に関する調査事業 (気象災害に強多様な森林整備) 報告書、林野庁、5-17、87-88.

清野嘉之 (1990) ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. 森林総合研究所研究報告 359: 1-122.

沢田 稔 (1983) 風および冠雪による針葉樹幹の変形. 林試北支研究資料 128 : 1-18.

竹内郁夫 (2002) 長伐期林の現存量と保育技術. わかりやすい林業解説シリーズ 110, 長伐期林の実際, 林業科学技術振興所, 20-37.

(千葉幸弘)

第4章 森林計画・管理のための基準・指標適用手法の開発

1. 先進国におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の適用

－アメリカ合衆国の事例から－

ア 研究目的

モントリオール・プロセスでは、2003年のケベック宣言によって、地域レベルについても、基準・指標を作って、持続可能な森林経営の達成度を評価することを推奨した。日本においても持続可能な森林経営の取組を有効なものにするには、地域レベルへの基準・指標の適用が必要であるのはいうまでもない。しかし、基準・指標に関する取り組みは、日本では国レベルにとどまっておらず、地域での適用方法について、日本では経験がなく不明な部分が多い。モントリオール・プロセスの基準・指標に関しては、カナダとアメリカ合衆国が最も積極的に取り組んでいると考えられるが、その中で私有林が多いなど日本の森林・林業とより共通点多いアメリカ合衆国を事例として、地域レベルの森林管理への基準・指標の適用事例を調査した。

イ 研究方法

アメリカ合衆国における基準・指標の適用の概要については、2007年11月に、モントリオール・プロセスに関して長く指導的立場にあったアメリカ合衆国農務省森林局国際プログラム上級森林政策分析官 Robert Hendricks 氏を招聘し、講演してもらった際の講演内容及びその際の提供資料、追加的な聞き取り調査によりとりまとめた（家原・光田 2009）。Hendricks 氏は、オレゴン州の国有林地方局で森林計画業務に携わった後、1994～2008年の間、合衆国森林局でモントリオール・プロセスに関する業務に従事し、1996～2003年にはモントリオール・プロセス技術諮問委員会議長を務めている。また、その際に特に先進的な事例として指摘されたオレゴン州における基準・指標の取り組みについて、関連資料を収集しとりまとめた（家原 2011）。資料は主として、オレゴン州林業委員会及びオレゴン州林業局の持続可能な森林経営関係のホームページから入手した資料（Oregon Board of Forestry 2003, Oregon Department of Forestry 2007, 2010）によった。

ウ 結果

1) アメリカ合衆国における基準・指標の適用の概要

a. 連邦レベルでの基準・指標の適用

Hendricks 氏は、モントリオール・プロセスの基準・指標は国家レベルの森林モニタリングツールであるが、実際に持続可能な森林経営を実践するためには、基準・指標の考え方をスケールダウンして、様々なレベルに応用することが必要であると述べた。モントリオール・プロセス各国は、2003年に第1回国別レポートをとりまとめ、合衆国でも森林レポート（USDA Forest Service 2004）としてとりまとめたが、氏によれば、これは連邦レベルで森林全体の多様なデータをまとめた大変良い冊子となったとのことである。背景には、それまで国有林と私有林、連邦と州で情報が分断していた問題がある。森林レポートは、継続的な森林資源調査を包括的にまとめる機会であり、1930年代から続く国家森林資源調査の継続にとっても有効である。またレポートの存在

は、国連森林フォーラムの行動提案項目「(各国において) 持続可能な森林経営を実践するための組織があるか、機能しているのか」を、合衆国が満たしていることの根拠となる。

合衆国国有林では2007年から” U.S. Forest Service Land Management Planning Framework” の名称でモントリオール・プロセスの基準・指標を応用したモニタリングも始まった。スケールが異なるので、全指標をモニタしているわけではないが、全ての基準を網羅している。

b. 州レベルでの適用

合衆国の50州のうち、少なくとも23州でモントリオール・プロセスの基準・指標を用いて森林管理を評価している。各州が同じレベルではなく、費用の問題もあり、いくつかの州では全ての指標でなく、指標を選択して使用している。Hendricks氏は、基準・指標という共通の言語で持続可能な森林経営について議論が可能になるので、限定的でも良いので、基準・指標の枠組みへの参加が大切と指摘した。最も先進的なのはオレゴン州で、後述するように基準・指標による森林状況の評価を行い、指標について目標を掲げて、これに向けた計画を策定している(Oregon Department of Forestry 2007)。2008年からは、州政府がモントリオール・プロセスの基準・指標を用いて森林を評価し、それに基づいた森林計画策定に対し連邦が資金を提供する” State Assessment & Response Plans” が始まった。

また、州森林官協会と連邦森林局は、モントリオール・プロセスの基準・指標をブレイクダウンしたハンドブックを作成し(National Association of State Forest and USDA Forest Service 2005)、州森林官による私有林家との対話を行い、持続可能な森林経営の推進に努めている。

c. 地域レベルでの適用

合衆国では、全国に155あるうちの先進的な国有林や、自治体でも持続可能な森林経営の基準・指標の策定が行われている。Hendricks氏は、モントリオール・プロセスの基準・指標をスケールダウンし林業の現場に適用するときには、特に基準(criteria)や標準(standards)という言葉に誤解が生じやすいので、注意が必要と指摘した。基準・指標は国家レベルのモニタリングのために設計されたものであり、地域の森林について目標値を定めるものでないが、合衆国でもそのことが理解されにくいということである。Hendricks氏はまた、地域レベルではスケールが異なるので指標は応用できず、基準を応用すべきと述べた。

個々の国有林の基準・指標はモントリオール・プロセスの基準と多少異なるが、本質的に同じものであり、国家・国際レベルの議論と連携が可能である。国有林では、基準・指標を用いた森林経営が、地域住民にどんな利点があるのかを説明する必要がある。

自治体の基準・指標の例としては、メリーランド州ボルチモア郡があげられる。ボルチモア郡は、小さな地方自治体のため持続的森林管理を具体化する手法がなかったが、モントリオール・プロセスの基準を応用し、実情に応じた具体的な指標を策定することによって、持続可能な森林経営について評価することができるようになった。

d. アメリカ合衆国における基準・指標の重要性

Hendricks氏によれば、モントリオール・プロセスの指標でもあり、最も基礎的な情報である木材資源情報は、木材産業への投資を判断する基準となり、木材産業界は木材生産量のトレンド、

資源の持続性、病虫害、気象害の発生トレンドを常に欲している。また、基準・指標は森林政策決定議論のための基礎情報となる。これまで国有林と私有林、連邦政府と各州政府で情報が分断しており、合衆国全体の森林の状況を表すデータが無かったが、基準・指標は合衆国全体の森林で何が起きているのかを明らかにする重要データソースとなった。ただし、政策論争の下地にはなってきたが、ホワイトハウスの関心を集めるにいたっておらず、基準・指標に基づいて施策が実施されるには至っていないとのことである。

Hendricks氏は、合衆国内で誰もが基準・指標に好意的であるわけではないとし、基準・指標がホワイトハウスの関心を得るためには、他省庁と連携し、森林だけでなく持続可能な開発について議論を盛り上げる必要があるとした。例えば、アメリカの草地については砂漠化の懸念があり、草地に関して国際的な枠組みを制定する動きがあるので、このような動きと連携すべきである。また、研究の重要性を指摘し、指標である森林分断度の測定方法、生物群集の回復力、指標を統合して評価するモデルなど基礎的な研究や、多忙なポリシーメーカーのために指標を統合的に判断し、簡潔に解釈できるような研究が必要とした。森林の変化スパンは長く、施業の効果がすぐに現れるわけではないので、基準・指標の有効性を信じる献身的な職員が職に長く留まり、何か間違いが起きれば責任を持って対処する体制が必要である、とも述べた。

2) オレゴン州における基準・指標の応用

a. 基準・指標と戦略的プランニング

オレゴン州では、州の森林・林業に関する施策を、戦略的プランニングのプロセスとして実施している（図 4-1-1）。その中核にあるのが、2003年に林業委員会によって策定されたオレゴン林業プログラムである。林業プログラムには、持続可能な森林経営のための7つの戦略がある。これは順序や表記は異なるが、内容はモントリオール・プロセスの基準と同一である（図 4-1-2）。各戦略に1つから4つの実用的な指標を定め、各指標の目標として、望ましいトレンド（将来の傾向）を定め、現在の指標の状況とトレンド、関連データの状況を州のホームページ上で公開している。また林業委員会は、目標を実現するためアクション、より重要なキーアクションといった行動計画を戦略ごとに定めている。これらは、モントリオール・プロセスの基準・指標を、具体的な施策との結合に向け、一歩前進させたものと考えられた。

林業プログラムに準拠して、州の森林局がとる具体的な政策が計画され、毎年取組が評価されて、州の行動計画や林業プログラムにフィードバックされる仕組みとなっている。施策の評価に必要な森林のアセスメントには、連邦がまとめるモントリオール・プロセス国別報告書のオレゴン州版を作成し利用する。

b. 社会経済に関する戦略

オレゴン州の持続可能な森林経営の戦略で、先頭となる戦略Aは、モントリオール・プロセスの基準7に相当する法制度、政策に関するもので、3つの指標がある（表 4-1-1）。指標の計測能力及び、持続可能な森林経営に関する知識の指標は、概ねモントリオール・プロセスの指標に準拠しているが、望ましいトレンドとして数値化も可能な具体的な目標を掲げている。

法制度に関する指標は、林業規則の遵守の1つのみとし、法律・制度・政策の内容記述を行う指標は省略しており、またパートナーシップや意志決定への市民参加は指標として用いていない。

戦略Aを遂行するため、林業委員会は、オレゴン林業法及び私有林の資源保護としての土地利用計画の支援及び、連邦との協力、アダプティブ・マネージメントとモニタリングの促進、地域コミュニティによる連邦林管理実験の認可の4項目をキーアクション、地域土地利用計画への支援など6項目をアクションと定めている。

2番目の戦略Bは、社会経済便益に関わるもので、モントリオール・プロセスの基準6に相当する。モントリオール・プロセスでは、20もの指標があるが、オレゴン州では4指標に絞っている(表4-1-1)。4指標のうち3指標が林業・林産業の指標、1指標は生態系サービスの指標で、木材とそれ以外の便益にバランスをとっているが、林業が盛んな州だけに、やや木材生産よりといえる。モントリオール・プロセスの指標のうち、林産物のリサイクルと国家間の問題である貿易は指標化せず、非木材製品及び、レクリエーション・観光、文化的ニーズは、生態系サービスに含む余地を残すが独立した指標としていない。他方、B.aはモントリオール・プロセスに無いオレゴン州固有の指標である。戦略Bの遂行のため、森林ビジネスへの好適な投資環境構築及び、林産業の競争力強化、消費者の木材需要増加、家族経営林家のユニークなチャレンジの評価の4つのキーアクション、レクリエーション及び、文化的利用、先住民対策の促進、都市林や集落有林への支援など8つのアクションが設定されている。

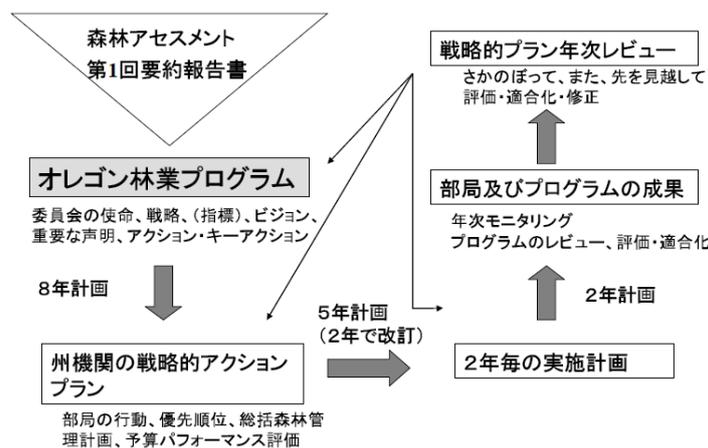


図 4-1-1 オレゴン林業プログラムにおける戦略的プランニング

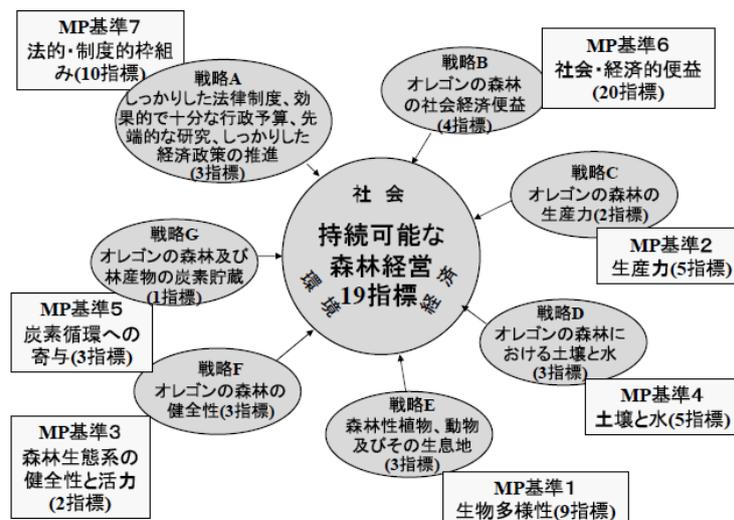


図 4-1-2 オレゴン林業プログラムの戦略とモントリオール・プロセスの基準の関係

c. 森林の生産力及び森林環境に関する戦略

戦略Cは、モントリオール・プロセスの基準2の森林の生産力に相当し、森林面積、成長量、伐採量という林業の基本的な要素を、2つの指標にまとめている（表4-1-2）。天然更新により成立する森林が多いためか植林に関する指標が無く、森林の総蓄積も指標とされていない。非木質林産物に関する指標も無い。望ましいトレンドとして、計画されたレベルに対し何パーセントという、具体的な数値が盛り込まれている。租税措置や規制による林地の改良がキーアクションに、成長量以下の伐採の指導、森林の木材や水などの生産・提供能力に対するアセスメントや研究への支援など5つがアクションとなっている。

戦略Dは土壌と水に関わるものであり、モントリオール・プロセスの基準4に相当する。水関係の指標が重複も含め3つ、土壌関係が1つで水資源を重視しているようである。モントリオール・プロセスの土壌劣化に関する指標が無く、日本の保安林面積に相当する土壌及び水資源保全のための森林面積に関する指標が、制度が異なるためか存在しない。サケと流域保全への支援がキーアクションに、水質指数への理解促進とそれを使った溪流保護の促進、林道のモニタリングなど7項目がアクションとなっている。

表 4-1-1 オレゴン州林業プログラムの社会経済に関する戦略と
モントリオール・プロセスの基準・指標の関係

モントリオール・プロセスの基準・指標 (2006及び2008年改訂)	オレゴン州の戦略・指標	望ましいトレンド	状態	トレンド	情報
基準7: 森林の保全と持続可能な経営のための法的、制度的及び経済的枠組	戦略A: しっかりした法律制度、効果的で十分な行政予算、先端的な研究、しっかりした経済政策の推進				
7.5.c 森林の持続可能な経営に向けた進展に関するモニタリング、評価及び報告	↔ A.a. 他全てのオレゴン州の持続可能な森林経営の指標の計測・報告能力	全ての指標のためのデータの最新性、完全性、信頼性が増加する。	混在もしくは適正	不確か	部分的
7.4.a 森林の持続可能な経営を支える事業、サービス及びその他の資源	↔ A.b. 持続可能な森林経営に関する知識の発展・維持	学生と個人森林所有者の森林教育プログラムへの参加が増加し、森林資源研究の資金、森林資源利用に関わる高等教育、天然資源専門団体の地位、及び林業改良普及スタッフは維持されるかもしくは増加する。	混在もしくは適正	不確か	部分的
7.4.b 森林の持続可能な経営のための研究及び技術の開発及び適用	↗				
7.3.b 森林に関連する法律の執行	↔ A.c. 林業規則の遵守	オレゴンの連邦有林では、管理計画基準及びガイドラインについて法令遵守が高いレベルである。私有林の再植林及びその他の活動では、オレゴン森林法が求める任意の法令遵守が高いレベルである。森林資源の公益的価値の保護と維持への私有林所有者の寄与について、公共政策の期待が明らかである。	良好	変化なし、ただし不確か	部分的
基準6: 社会の要求を満たす長期(該当なし)	戦略B: オレゴンの森林の社会経済便益				
	B.a. 州や自治体の公共サービスを支える森林関連の歳入	森林関連の歳入は、それらに依存しているオレゴン州及び自治体の公共サービスにとって有意で予測可能な資金である。	良好	不確か	十分
6.5.a 森林セクター部門での雇用者数	↔ B.b. 森林関連の雇用と賃金	森林関連の雇用と報酬が、安定または増加する。	悪い	悪化	十分
6.5.b 主な森林雇用分野毎の平均賃金、平均の年収及び年間負傷率	↗				
6.1.c 森林が提供する環境的便益からの収益	↔ B.c. 社会に寄与する森林生態系サービス	産出される生態系サービスが安定または増加し、持続可能である。	良否混在	不確か	不十分
6.1.a 一次加工及び二次加工を含む木材及び木材製品の生産額及びその量	↔ B.d. 木材セクターの活力	木材セクターの生産量及び生産額、投資額が安定または増加する。	悪い	不確か	部分的
6.3.a 森林経営、木材及び非木材産業、森林が提供する環境的便益、レクリエーション及び観光への資本投資額及び年間支出額	↗				

注) ↔ : 対応する指標 ↔ : 関係する指標。

表 4-1-1 オレゴン州林業プログラムの森林の生産力及び森林環境に関する戦略と
 モントリオール・プロセスの基準・指標との関係

モントリオール・プロセスの基準・指標 (2006及び2008年改訂)	オレゴン州の基準・指標	望ましいトレンド	状態	トレンド	情報
基準2: 森林生態系の生産力の維持 戦略C: オレゴンの森林の生産力					
2.a 森林の面積とその割合及び木材生産に利用可能な森林の正味面積	↔ C.a. 非連邦森林面積と開発のトレンド	目標: 2010年のオレゴンの非連邦野生森林の面積は、1974年レベルの97.4パーセントである。(オレゴン発展委員会目標オレゴンベンチマーク82と同一)	良好	改善、ただし不確か	十分
2.d 木材の年間収穫量及び純生長量または保続収穫量に対する割合	↔ C.b. 計画され算定された収穫レベル及び林木の成長ポテンシャルと対比した木材収穫量	目標と望ましいトレンド: オレゴンの木材収穫レベルは計画され算定されたレベルの90~110パーセント(オレゴン発展委員会目標ベンチマーク83)であり、材木の成長ポテンシャルが、安定または増加する。	混在	不確か	十分
基準4: 土壌及び水資源の保全と維持 戦略D: オレゴンの森林における土壌と水					
4.3.b 物理的、化学的あるいは生物学的な特性が標準状態に比べて重大に変化した森林地域における水系面積とその割合または流路延長	↔ D.a. 森林河川の水質 ↙ D.b. 森林河川の生物学的保全	森林流域の水質指数値が安定または改善する。 森林流域の生物保全値の指数が安定または改善する。	良好	不確か	部分的
4.3.a 河畔地域、水質、水量、流出の平準化などの水に関連する資源を保全するための技術指針や他の関係する法令・通達を満たしている森林経営活動の割合	↔ D.c. 土壌及び水資源への林道のリスク	サンプリング調査で土、壌及び水資源へ低リスクであると判定された林道の比率が増加する。		(ランクづけせず)	
4.2.a 土壌資源を保全するための技術指針や他の関係する法令・通達を満たしている森林経営活動(例: 地持や収穫)の割合					
基準1: 生物多様性の保全 戦略E: 森林性植物、動物及びその生息地					
1.1.a 森林生態系タイプ、遷移段階、年齢及び土地所有権または利用権ごとの森林面積とその割合	↔ E.a. 森林植生の組成、多様性及び構造	州全体の植物と動物の保全政策の策定のうち、オレゴンの森林植生の組成、多様性及び構造が、望ましい将来の状態の範囲の中に入るか、範囲に向かう。		(ランクづけせず)	
1.1.b 保護地域にある森林の森林生態系タイプ、年齢または遷移段階ごとの面積とその割合	↔ E.b. 保護地区カテゴリにおける森林被覆タイプ別面積	州全体の植物と動物の保全政策の策定のうち、保護地区カテゴリへの森林被覆タイプの配分が、望ましい将来の状況と一致する。	混在	混在	十分
1.2.b 法的あるいは科学的評価により絶滅の危機に瀕しているとされている森林に存する自生種の数とその状態	↔ E.c. 危機に瀕している森林性植物及び動物	オレゴンで危機にさらされている(絶滅、危急、絶滅危惧、脅かされるか、潜在的に絶滅危惧または脅かされている)森林性植物、動物の種数が減少する。	適正	混在	十分
基準3: 森林生態系の健全性と活力の 戦略F: オレゴンの森林の健全性					
3.a 標準状態の範囲を超えて生物学的プロセス及び要因(例: 害虫、病気、侵入性外来種)により影響を受けた森林の面積及びその割合	↔ F.a. 昆虫、病気、他の被害因子による樹木の枯損	森林の樹木枯損の長期的レベルが安定または減少する。	適正	不明	部分的
3.b 標準状態の範囲を超えて非生物的要因(例 火災、暴風害、土地開発)により影響を受けた森林の面積及びその割合	↔ F.b. 林地における侵入生物のトレンド	オレゴンの「100の最も危険な」リストの侵入種は州有林では避けられ、侵入種に影響を受けた面積は安定または減少する。	適正	不明	部分的
(該当無し)	F.c. 林野火災のリスクと関連した森林の可燃物の状態及びトレンド	火災への抵抗性を改良する森林可燃物の効果的処理の比率、及び林野火災に対し抵抗性のある森林面積が増加する。		(ランクづけせず)	
基準5: 地球的炭素循環への森林の寄与の維持 戦略G: オレゴンの森林及び林産物の炭素貯蔵					
5.a 森林生態系の総炭素蓄積量及びそのフラックス	↔ G.a. 林地及び林産物中の炭素のストック	森林及び林産物中の炭素貯蔵率が、安定または増加する。		(ランクづけせず)	
5.b 林産物の総炭素蓄積量及びそのフラックス					
注) ↔ : 対応する指標 ↔ : 関係する指標。					

Eは森林の植物、動物及び生息地に関する戦略とされているが、内容はモントリオール・プロセスの基準1の生物多様性の保全に相当する。森林植生及び、保護地域における森林タイプ別面積、絶滅危惧種に関する3指標から構成されている。国レベルでも計測が困難とされている遺伝的多様性の指標群及び、森林性の自生種の数、森林の分断度合は採用されていない。維管束植物・脊椎動物の状況、生息地等の評価での大学等との協力及び、保護のための大学や森林所有者との協働の促進、森林所有者に対する保護の多様なはたらきかけの促進、州有林での科学的なモニタリングを伴う構造ベース管理への支援の4項目をキーアクションに、長期、短期両方のモニタリングの促進など2項目をアクションとして設定している。

戦略Fは森林の健全性であり、F.a、F.bの2指標で病虫被害やその他の被害を網羅しており、モントリオール・プロセスの基準3の内容にほぼ等しい。指標F.cは、林野火災に関連する林地の可燃物の状態に関する指標であり、オレゴン州にとって実用的な指標であると言える。林業委員会は林野火災抑制のための可燃物と植生管理の促進をキーアクションに、火災や虫害など自然攪乱に抵抗をもつランドスケープの促進、大気汚染・侵入生物のモニターの奨励など5項目をアクションとしている。

最後の戦略Gは、モントリオール・プロセスの基準5の森林の炭素貯留であり、森林と林産物中の炭素ストックをまとめ1指標のみとしている。対象を炭素貯留量にしぼり、炭素の吸収・放出であるフラックスや、バイオマスエネルギーは入れておらず、シンプルなものとなっている。キーアクションはないが、都市林の維持及び、森林経営と森林火災がカーボンプールに与える影響予測の強化、カーボンオフセット市場の開発など7項目がアクションとされている。

エ 考察

アメリカ合衆国では連邦森林局の努力により、連邦のみならず州・地域レベルでも基準・指標が利用されはじめていることがわかった。ただし、地方レベルでの利用は、まだ全国的なものとはなっていない。州レベルでは、モントリオール・プロセスの基準・指標をそのままあるいは選択して使用し、地域（郡、個々の国有林など）では基準を利用し、指標は必要かつ可能なものを策定する方向で進んでいると考えられた。また、連邦レベルでは、基準・指標は議論のためのデータになりつつあるが、まだ政策のツールになるに至っていないといえた。

オレゴン州では、以上のように7つの戦略について19指標を定め、持続可能性をモニターしている。モントリオール・プロセスの54指標に比べると、指標数は半分以下と少なく、明らかに国家レベルのものや、州では測定が困難なものなどを省略して、簡素化しているといえた。一方で、モントリオール・プロセスにはないが州特有な指標を加え、望ましいトレンドとして具体的な目標を決め、指標の状態等を判定するなど、実効的なものにしようという努力をしていると考えられた。望ましいトレンドを実現するため、林業委員会として14のキーアクション、35のアクションと多数の行動計画を定めているが、米国の私有林は私権が強いため、促進するといった書き方のものが多かった。権原がおよぶ州有林については、1項目ではあるが、森林管理の手法に言及したキーアクションがあった。以上より、オレゴン州では、国際的に合意されたモントリオール・プロセスの基準・指標を、戦略－指標－目標（望ましいトレンド）－行動計画という流れで、林業施策や森林管理に結びつけ、州の林業や市民にとって有意義なものとしており、これは、持続可能な森林経営の実践に役に立つシステムであると考えられた。

オ 今後の問題点

国連森林フォーラムは、森林の持続可能性において主題となる領域として、モントリオール・プロセスの7基準にほぼ一致する、7つのセマティックエリアについて、基準・指標でモニタするという方向性を打ち出している。日本も対応が必要となっている。アメリカ合衆国は、従来の森林情報を基礎としそれを発展させる方向で進んでおり、日本では、国、都道府県レベルで古くから各種の森林統計があるので、統計を基準・指標の概念で再整理して役立たせることが、まず必要であると考えられる。その際に、オレゴン州に見られるように、国レベルの基準・指標をもとに、指標数をしぼりこむこと、その地域に特異的な必要な指標を抽出し盛り込むことは、重要なポイントとなると考えられ、日本に適用する場合にはさらに検討が必要である。

カ 要約

アメリカ合衆国森林局の基準・指標担当者から、合衆国における基準・指標の適用の最新の状況について聞き取り調査を行った。連邦として基準・指標に基づいた政策が実施されるという状況には至っていないが、連邦が行う各種調査がモントリオール・プロセスの国別レポートのために包括的にとりまとめられ、政策の議論のためのデータとなりつつあること、23州が基準・指標の概念を利用して森林のモニタリングを行い、地域の国有林や郡レベルでも基準を応用して持続可能な森林経営を測るツールとする動きがあることがわかった。最も先進的な州であるオレゴン州の、基準・指標に関する取り組みを資料等から調べた。オレゴン州の林業委員会は、モントリオール・プロセスの基準と内容的に一致する持続可能な森林経営のための7つの戦略を作り、モントリオール・プロセスの指標に準拠しつつ精選して、各戦略に1つから4つの実用的な指標を定め、各指標について目標を定め、目標に対する行動計画を策定しており、林業施策の戦略的プランニングの中で、中核的な位置に組み入れていることがわかった。

キ 引用文献

家原敏郎・光田靖 (2009) アメリカ合衆国におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の適用. 関東森林研究, 60, 59-60.

家原敏郎 (2011) オレゴン州におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の応用. 関東森林研究, 62, 41-44.

Oregon Board of Forestry (2003) Forestry Program for Oregon. 76pp.

Oregon Department of Forestry's Agency Affairs Program (2007) 2007-2009 Oregon Forests Report. 23pp.

Oregon Department of Forestry (2010) Oregon Indicators of Sustainable Forest Management. <http://www.oregon.gov/ODF/indicators/>

USDA Forest Service (2004) National Report on Sustainable Forest 2003. 139pp.

National Association of State Forest and USDA Forest Service (2005) A Stewardship Handbook for Family Ownership. 45pp.

(家原敏郎・光田 靖)

2. 日本の森林・林業統計による地域レベルでの基準・指標の把握

ア 研究目的

モンテリオール・プロセスでは、2003年に代表的な指標について各国の値を集約した第1回概要レポート（Montreal process 2003）をまとめ、参加各国も国別レポートを作成した。概要レポートでは指標の長期的な変化がグラフとしてまとめられ、持続可能性を指標の長期的なトレンドとして把握するという、指標活用の方向性が示された。概要レポート公表に合わせて出されたケベック宣言には、地域レベルの基準・指標開発に関する一文がもられ、ほぼ5年毎に国別報告書を作成することが決まり、2009年には第2回国別報告書が作成された。

地域レベルでは、地域特性や森林管理上の問題点に留意し、地域に適合した指標が策定されるべきであろう。他方、モンテリオール・プロセスの基準・指標は、国家レベルにおいて、持続可能な森林経営が行われているか否かをチェックする項目である。例えば、森林蓄積や保護林の面積など森林に関わる基本的なデータは、地域レベルにおいても重要であることに変わりないであろう。従って、前節で述べたアメリカ合衆国の事例（家原・光田 2009、家原 2011）でも見られたように、モンテリオール・プロセスの基準・指標を適用することが、地域版の基準・指標でもまず考えられる。そこで本節では、日本の地域や森林計画区レベルでの基準・指標の活用を視野において、森林計画区レベルの基本的な林業統計と、モンテリオール・プロセスの基準・指標の関係を分析することを目的とした。

イ 研究方法

森林計画区レベルの基本的な林業統計と、モンテリオール・プロセスの基準・指標の関係を分析した（家原・光田 2007、2008）。指標としては、2009年の第2回国別レポートを作成した際のもの、すなわち、基準1から6については、2006年7月に札幌で行われたモンテリオール・プロセス第17回総会で改訂された指標、基準7については、1993年制定の当初のものを対象に分析した。古くから森林管理局が集計・刊行している、国有林の事業統計書（東京大林区署 1912～1921、東京営林局 1925～1941、1950～1998、関東森林管理局東京分局 2000～2003）及び地域森林計画書（関東森林管理局 2004）をもとに、どの基準・指標が統計から把握できるか、長期変化の把握が可能か検討した。

事業統計書では、ほとんどの項目が森林管理署（営林署）の管轄範囲の国有林を単位として集計されている。茨城県の北部の北茨城市及び高萩市、日立市の国有林は、国有林野事業改革の一環として廃止される平成14年度末までの100年余りの間、（旧）東京営林局高萩営林署の管轄範囲であった。事業統計書では、途中第二次世界大戦による欠落期間があるものの、1912年から2003年にわたる92年間のデータが存在する。また、3市の森林面積の約47%を国有林が占め、地域における重要性も大きい。そこで（旧）高萩営林署管内、すなわち東京営林局高萩事業区を事例として、数値的に表される指標はその変化をグラフ化し、記述として把握される指標については、事業統計書・森林計画書のどのような項目が、モンテリオール・プロセスの指標に相当するのか調べた。

基準7は2007年に改訂されたが、準備期間不足のため2009年の第2回国別報告書作成では用いられず、第3回報告書から用いとされた。そこでこの新指標についても、将来の利用の観点

から、把握の可能性を検討した。2007年の改訂指標と改訂前の指標の対応関係を、指標の解説書であるテクニカルノート（Tim Payn 2008）を基に調べた。改訂後の指標について、該当する統計や記載が、事業統計書及び森林計画書にあるか調べた。

ウ 結果

1) 生物多様性の保全に関する基準

基準1は森林の生物多様性に関する基準であり、2006年改訂では、主要な指標は2003年の制定時の指標を残し新しい指標を追加して、9指標に再編された（表4-2-1）。

指標1.1.aは森林タイプ別面積の指標であり、改訂で「森林生態系タイプ」とされ、生態学的な側面が強化された。事業統計では1949年から人工林、天然林別に針葉樹林、広葉樹林、針広混交林、竹林の面積統計が存在する。この区分は第1回概要レポート（Montreal process 2003）でも採用されており、森林タイプ区分としては最も簡単なものと考えられる。ところが、1992年に単層林、複層林といった林分構造に基づく区分に変更され、継続的なトレンド把握ができなくなった（図4-2-1）。また、遷移段階または年齢別の指標も求められているが、事業統計には該当する集計表は存在しない。高萩事業区の森林調査簿では、スギ、ヒノキなど主要針葉樹のほかブナ、クリ、ナラなどが区別されている（図4-2-2）ので、毎年の森林調査簿の原データが残されていれば、遡って集計することでより生態学的な森林タイプに区分でき、年齢別の指標も把握できると考えられる。保護地域に関する1.1.bの指標化にも、原データからの再集計が必要である。

森林の分断度合い（1.1.c）は将来的には、国有林GISを用いた算出が考えられるが、事業統計には関連データはない。種・遺伝子の多様性の指標（1.2.b、1.3.b）に関する情報も、事業統計、森林計画書には存在しない。2006年の改訂で、生物多様性保全の取り組みに関する指標1.2.c、1.3.cが作られた。森林計画書（関東森林管理局2004）に、生物多様性保全に該当する保護林に関する記載をすれば、それを指標として記載することができると考えられるが、体系的な記載は見られなかった。

2) 森林生態系の生産力に関する基準

森林・林業の生産力を示す基準2の指標2.aの「木材生産に利用可能な面積」については、利用可能についていろいろな解釈が可能だが、第1回概要レポート（Montreal process 2003）では未立木地を除く実森林面積から、法律や規制による禁伐林面積を控除したものとしている。この考え方に沿うと、禁伐林面積は、統計がある当初から把握できるので、未立木地の面積統計が現れる1949年から、木材生産に利用可能な面積のトレンドを把握できる（図4-2-3）。

指標2.bの蓄積に関する統計も戦後整備されている（図4-2-4）。ただし両指標は、同一の林小班が、保安林と自然公園の両方で重複して禁伐に指定されている場合には、統計表では重複部分がわからないので厳密には指標が求まらない。この場合には、森林簿のデータに戻って、重複を除き面積を計算すれば指標値が求まるであろう。

指標2.cは、人工林の面積・蓄積統計が戦後一貫してあり、かつ外来種の植林がほとんどないので、外来種が多い地域以外では、統計値をそのまま指標にできる（図4-2-5）。伐採量に関する指標2.dについては、伐採量はわかるが、成長量の統計がなく一部把握できるといえる（図4-2-4）。

指標2.eは非木質林産物を対象とするが、営林署単位でのキノコ等の統計が1975年まで取られ

Criterion 1: Conservation of biological diversity (基準1: 生物多様性の保全)

1.1 生態系の多様性

- 1.1.a 森林生態系タイプ、遷移段階、年齢及び土地所有権または利用権ごとの森林面積とその割合
- 1.1.b 保護地域にある森林の森林生態系タイプ、年齢または遷移段階ごとの面積とその割合
- 1.1.c 森林の分断度合

1.2 種の多様性

- 1.2.a 森林に存する自生種の数
- 1.2.b 法的あるいは科学的評価により絶滅の危機に瀕しているとされている森林に存する自生種の数とその状態
- 1.2.c 種の多様性の保全に焦点を当てた生息域内及び生息域外での取組の状況

1.3 遺伝的多様性

- 1.3.a 森林に存する種で、遺伝子の多様性及び土地に適応する遺伝子型の損失の危機にある種の数とその地域的分布
- 1.3.b 遺伝的多様性を示す代表的な森林に存する種の集団（個体数）のレベル
- 1.3.c 遺伝的多様性の保全に焦点を当てた生息域内及び生息域外での取組状況

Criterion 2: Maintenance of productive capacity of forest ecosystems (基準2: 森林生態系の生産力の維持)

- 2.a 森林の面積とその割合及び木材生産に利用可能な森林の正味面積
- 2.b 木材生産に利用可能な森林における商業樹種及び非商業樹種の総蓄積及びその年間増加量
- 2.c 自生種及び外来種の植林面積、割合及び蓄積
- 2.d 木材の年間収穫量及び純生長量または持続収穫量に対する割合
- 2.e 非木質林産物の年間収穫量

Criterion 3: Maintenance of ecosystem health and vitality (基準3: 森林生態系の健全性と活力の維持)

- 3.a 標準状態の範囲を超えて生物的プロセス及び要因（例：害虫、病気、侵入性外来種）により影響を受けた森林の面積及びその割合
- 3.b 標準状態の範囲を超えて非生物的要因（例 火災、暴風害、土地開発）により影響を受けた森林の面積及びその割合

Criterion 4: Conservation and maintenance of soil and water resources (基準4: 土壌及び水資源の保全と維持)

4.1 Protective function (保全機能)

- 4.1.a 土壌及び水資源の保全に焦点をあて指定または土地の管理がなされている森林の面積とその割合

4.2 Soil (土壌)

- 4.2.a 土壌資源を保全するための技術指針や他の関係する法令・通達を満たしている森林経営活動（例：地拵や収穫）の割合
- 4.2.b 顕著な土壌劣化状態にある森林の面積とその割合

4.3 Water (水)

- 4.3.a 河畔地域、水質、水量、流出の平準化などの水に関連する資源を保全するための技術指針や他の関係する法令・通達を満たしている森林経営活動の割合
- 4.3.b 物理的、化学的あるいは生物学的な特性が標準状態に比して重大に変化した森林地域における水系面積とその割合または流路延長

Criterion 5: Maintenance of forest contribution to global carbon cycles (基準5: 地球的炭素循環への森林の寄与の維持)

- 5.a 森林生態系の総炭素蓄積量及びそのフラックス
- 5.b 林産物の総炭素蓄積量及びそのフラックス
- 5.d 森林バイオマスのエネルギー利用により回避された化石燃料による炭素排出量

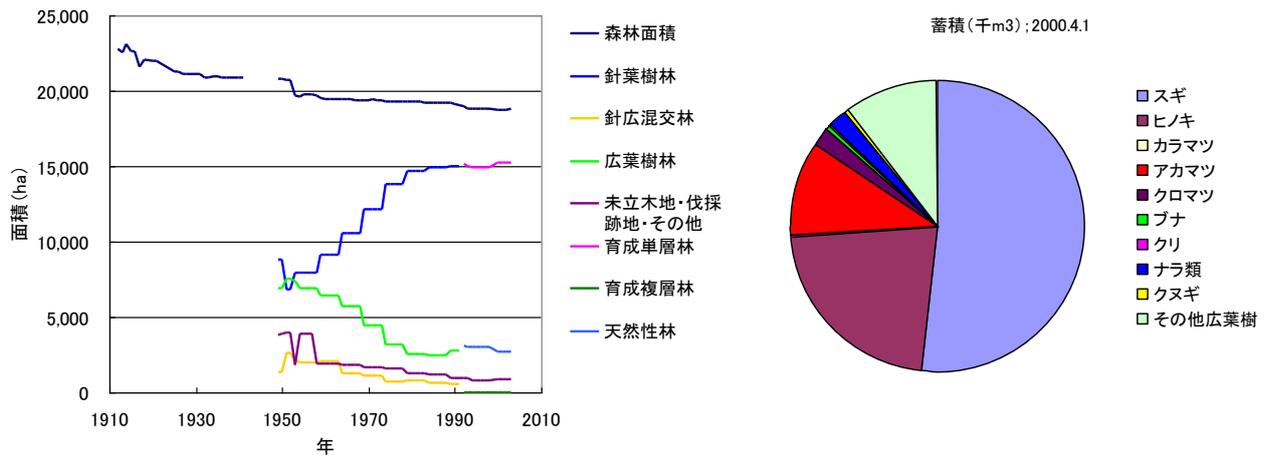


図 4-2-1 指標 1. 1. a 森林タイプに関連する統計値
(高萩事業区)

図 4-2-2 森林簿で区分されている樹種

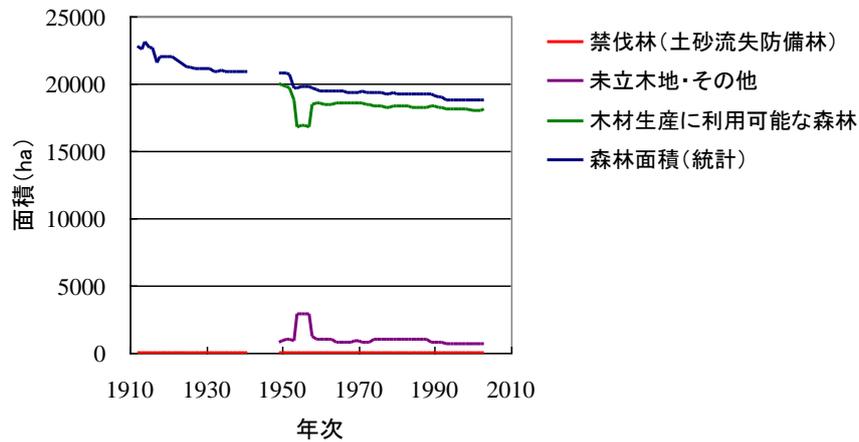


図 4-2-3 指標 2. a 木材生産に利用可能な森林面積に関連する統計値

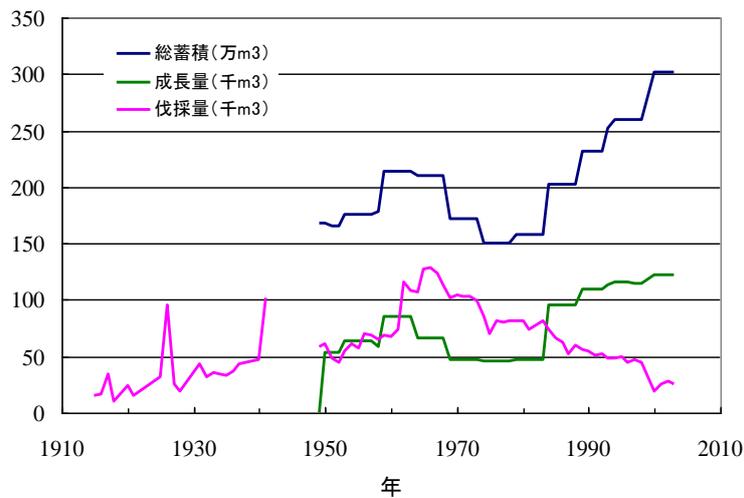


図 4-2-4 指標 2. b 及び 2. d、森林蓄積及び伐採量に関連する統計値

ていたが、現在では無くなっている（図 4-2-6）。

3) 森林の健全性に関する基準

基準 3 の森林の健全性に関する指標は、2003 年の制定時には、多くの指標があり有害な紫外線によって影響を受けた森林面積など、測定の難しい指標もあった。2006 年改訂で生物的な要因によるもの（指標 3. a）と、非生物的な要因（指標 3. b）とに大括りに整理され、測定が困難な指標は削除された。3. a では病虫害、3. b では林野火災、風水害、雪害の長期の統計表が残っており、被害材積の記載しかない年もいくつかあるが、ほぼそのまま指標とすることができる（図 4-2-7）。

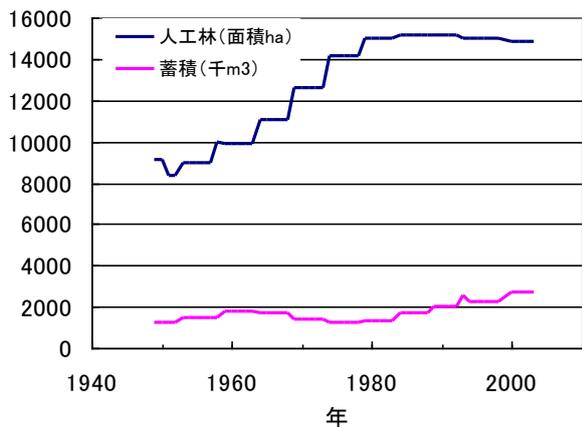


図 4-2-5 指標 2. c 人工林の面積・蓄積に関する統計値

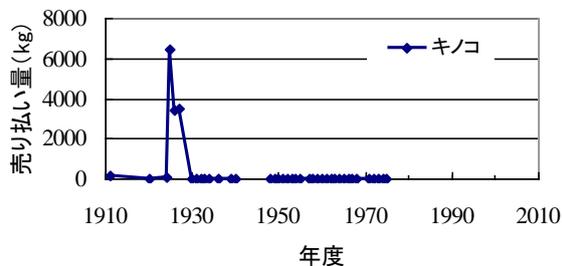


図 4-2-6 指標 1. 1. a 非木質林産物の生産量に関する統計値

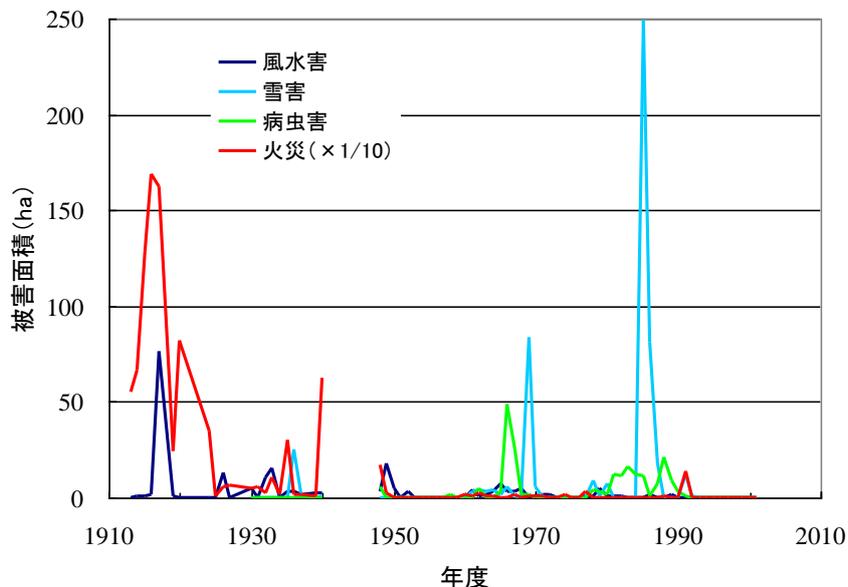


図 4-2-7 指標 3. a 及び 3. b、森林被害面積に関連する統計値
(火災による被害面積は表示の 10 倍である)

4) 土壌及び水資源の保全に関する基準

基準4は土壌及び水資源に関する基準で、2003年の基準・指標制定時には、水と土の指標が入り乱れて並んでいたが、2006年の改訂で保護機能及び、土壌、水の категорияに分類され配列された。

土壌及び水保全のための森林面積である指標4.1.aは、土砂流失・崩壊防備及び水源涵養保安林の面積をそのまま対応させ、指標とすることができると考えられる(図4-2-8)。しかし、水質のように、日本の森林セクターでは今日まで測定に取り組んでこなかった指標が多く、4.1.a以外の指標については、地域レベルの事業統計では対応困難であると考えられた。

5) 地球的炭素循環への森林の寄与に関する基準

森林や林産物への炭素貯留による地球温暖化防止に関わる基準である。これは、国連気候変動枠組み条約や京都議定書の報告のため、国レベルで取りまとめられることが多い。

地域レベルで評価する場合、指標5.aのうち立木の炭素蓄積量は、森林の幹部分の量を示す森林の蓄積から、枝・葉・根を含むバイオマス重量に換算する拡大係数(福田ら2002)のパラメータを使って求めることは可能である。しかし、森林生態系のうち土壌や枯死木、指標5.bの林産物、5.cのバイオマスエネルギーについては、事業統計からは関連するものは見いだせなかった。

6) 社会経済便益に関する基準

森林がもたらす経済的及び社会的便益に関する基準6は、20指標と多くの指標からなる。その性格からほとんどが計量的な指標である。

まず、貿易に関する3指標は国家を単位としたものであり、地域レベル(森林計画区)では無関係といえる(表4-2-2)。指標6.1.aの木材・木材製品の生産額量、及び指標6.3.aの森林セクターの雇用者数は、民有林を含めた範囲ではあるが、森林計画書の付属資料などから把握可能である。森林への投資の指標(6.2.a)はモンテリオール・プロセス国別報告書では、森林関係予算金額が報告されている。国有林では、森林管理局単位で統計が作成されているが、森林計画区での集計もある程度可能であろう。

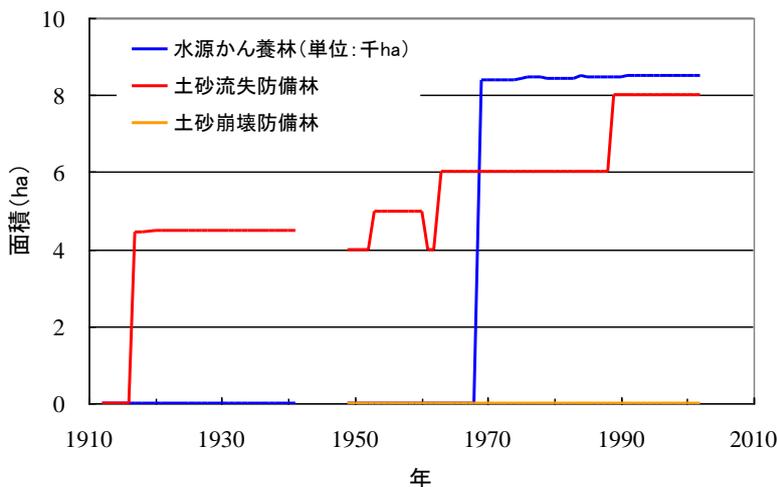


図4-2-8 指標4.a 土壌及び水保全のための森林面積に関する統計値

事業統計にあるレクリエーションの森の面積及び自然公園面積（図4-2-9）は、指標6.4.aに、史跡名勝天然記念物面積は文化的ニーズに関する指標6.5.aに対応している。レクリエーション施設に関する指標6.4.bについても、野営場、スキー場、避難小屋の3項目の統計が存在する。他の指標は、森林計画区よりも大きなスケールに適しているであろう。

表 4-2-2 地域森林計画書及び事業統計からのモントリオール・プロセスの基準6の指標の抽出

基準・指標	指標の性格	計画区への適用 ¹	統計・資料 ²
基準6: 社会の要求を満たす長期的・多面的な社会・経済的な便益の維持及び増進			
6.1 生産及び消費			
6.1.a 一次加工及び二次加工を含む木材及び木材製品の生産額及びその量	計量	○	事・計
6.1.b 生産または採取された非木材製品の額	計量	×	無
6.1.c 森林が提供する環境的便益からの収益	計量	×	無
6.1.d 丸太換算での木材及び木材製品の総消費量及び一人当たり消費量	計量	×	無
6.1.e 非木材製品の総消費量及び一人当たり消費量	計量	×	無
6.1.f 丸太換算での木材製品の輸出入額及びその量	計量	×	—
6.1.g 非木材製品の輸出入額	計量	×	—
6.1.h 木材及び木材製品の総生産量に占める輸出量の割合と木材及び木材製品の総消費量に占める輸入量の割合	計量	×	—
6.1.i 林産物の総消費量に占める林産物の再生利用またはリサイクルの割合	計量	×	無
6.2 森林分野における投資			
6.2.a 森林経営、木材及び非木材産業、森林が提供する環境的便益、レクリエーション及び観光への資本投資額及び年間支出額	計量	△ (一部)	無
6.2.b 研究、普及、開発及び教育への年間投資額及び支出額	計量	×	無
6.3 雇用及び地域社会ニーズ			
6.3.a 森林セクター部門での雇用者数	計量	○	計
6.3.b 主な森林雇用分野毎の平均賃金、平均の年収及び年間負傷率	計量	×	無
6.3.c 森林に依存する地域社会の地位の向上	計量	×	無
6.3.d 生計の目的で利用される森林面積及びその割合	計量	×	無
6.3.e 森林経営から得られる収益の分配	計量	×	無
6.4 レクリエーション及び観光			
6.4.a 一般へのレクリエーション及び観光に利用可能でかつ／またはそのために管理されている森林の面積とその割合	計量	○	事・計
6.4.b レクリエーション及び観光に属する訪問者及びそれに関連する利用可能な施設の数、タイプ及び地域的分布	計量	○	事
6.5 文化・社会及び精神的なニーズと価値			
6.5.a 文化的、社会的及び精神的なニーズと価値を有する区域の保全のために主として経営される森林の面積及びその割合	計量	○	事
6.5.b 人々にとっての森林の重要性	計量／記述	×	無

注)1: ○;可能、(○);計画等を樹立または実施した行為自体が指標となるもの、△;可能性あり、×;困難

2: 事;森林管理局事業統計書、計;地域森林計画書、無;該当する統計、記載が無いもの、—;国レベルに限定される指標

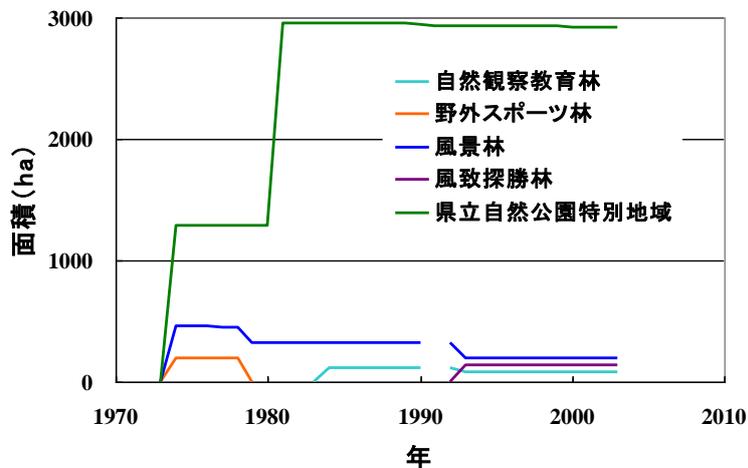


図 4-2-9 指標 6.4.a レクリエーション及び観光に利用可能な森林面積に関する統計値

7) 法的・制度的枠組みに関する基準

基準7は、森林・林業に関係する法律・制度・社会的枠組みに関する基準である。第1回及び第2回国別報告書に対しては、法律や制度、経済的枠組み、森林を計測する能力、研究開発の5つの指標群に分かれ、20もの指標があった(表4-2-3)。

法律の指標群では、法律の有無や状態に関する指標が多い。法律では基本的に国が、森林に関連する条例があれば、都道府県など自治体が報告単位となる指標であり、森林計画区レベルには該当しないと考えられる。

他方、制度的枠組みでは、森林計画の樹立(指標7.2.b)、規定の施行(指標7.2.e)など、当該森林計画区において森林計画書を策定した行為そのものが、指標となると考えられる。人材育成訓練(指標7.2.c)については、森林計画書にその実施がうたわれているので、最低限の指標となりうる。また、事業統計書には、林道、苗畑、貯木場に関する統計が存在し、これは指標7.2.dの物的基盤に該当する。また、指標7.2.aの国民の参画活動については、日本では森林計画の樹立過程において意見聴取などにより市民の参加が可能なので、これを体系的に記載することにより指標として把握できる可能性がある。

計測能力の指標群及び研究開発に関する指標群は、森林計画区より大きなスケールで把握すべきものであろう。

表4-2-3 地域森林計画書及び事業統計からのモンテリオール・プロセスの基準7の指標の抽出

基準・指標	指標の性格	計画区への適用 ¹	統計・資料 ²
基準7: 森林の保全と持続可能な経営のための法的、制度的及び経済的枠組			
7.1 次の項目の能力を含む、法的枠組み(法律、規定、ガイドライン)が森林の保全及び持続可能な森林経営を支える程度:			
7.1.a 所有者の明確さ、土地所有制度の適切さ、先住民の慣習及び伝統的な権利の認定、及び正当な手続きによる所有についての紛争解決手段の規定	記述	×	—
7.1.b 関連する部門との調整を含む、森林の価値の範囲を認定するような森林に関する定期的な計画、評価及び政策の見直しの規定	記述	×	—
7.1.c 森林に関連する公的政策及び意思決定への国民の参加並びに情報への国民のアクセスの機会の規定	記述	×	—
7.1.d 森林経営のための最良の施業規定の助長	記述	○	計
7.1.e 特に環境的、文化的、社会的、及び/又は科学的に保全する価値のある森林の経営の規定	記述	○	計
7.2 次の項目の能力を含む、制度的枠組みが森林の保全及び持続可能な森林経営を推進する程度:			
7.2.a 国民の参画活動や公的な教育、啓発、普及プログラムの規定及び森林関連情報の入手を可能とすること	記述/計量	△	無
7.2.b 分野横断的な計画及び調整を含む、森林に関する定期的な計画、評価及び政策見直しの企画及び実行	記述	(○)	計
7.2.c 関連分野にまたがる人材養成訓練の開発及び維持	記述	○	計
7.2.d 森林の生産物及びサービスの提供を促進するとともに、森林経営を推進するための効果的な物的基盤の開発及び維持	計量/記述	○	計
7.2.e 法律、規定及びガイドラインの施行	記述	(○)	計
7.3 次の項目の能力を含む、経済的枠組み(経済政策及び手段)が森林の保全及び持続可能な森林経営を推進する程度:			
7.3.a 投資の長期性を認識し、かつ、森林の生産物及びサービスの長期的需要を満たすために、市況、非市場経済的評価及び、公的政策決定に対応して森林部門内外へ資金が流入/出することを許容するような、投資及び課税政策並びに関連する法的環境	記述	×	—
7.3.b 森林生産物の非差別的貿易政策	記述	×	—
7.4 以下を含む、森林の保全及び持続可能な森林経営における変化を計測及びモニターする能力:			
7.4.a 基準1から7に関連する指標を測定し、又は記述するために重要な最新のデータ、統計、その他の情報の提供可能性とその程度	計量	×	—
7.4.b 森林資源調査、評価、モニタリング及び他の関連情報の範囲頻度及び統計的信頼性	計量	×	無
7.4.c 各指標についての測定、モニタリング及び報告に関する他国との整合性	記述	×	—
7.5 以下を含む、森林経営並びに森林の生産物及びサービスの提供を改善することを目的とした研究開発の実行及び応用能力:			
7.5.a 森林生態系の特徴及び機能についての科学的理解の促進	計量/記述	×	—
7.5.b 環境的・社会的な費用と便益の算定手法、それを市場や政策に統合する手法、並びに森林資源の増減を国民経済計算体系に反映させる手法の開発	記述	×	—
7.5.c 新規技術の導入に伴う社会・経済的影響を評価するための新規技術及び能力	記述	×	—
7.5.d 人間が介在することによる森林への影響を予測する能力の向上	記述	×	—
7.5.e 想定されうる気候変動が森林に与える影響を予測する能力	記述	×	—

注)1: ○;可能、(○);計画等を樹立または実施した行為自体が指標となるもの、△;可能性あり、×;困難

2: 事;森林管理局事業統計書、計;地域森林計画書、無;該当する統計、記載が無いもの、—;国レベルに限定される指標

8) 基準7の2007年改訂指標

基準7は、2007年の改訂前は指標数が大変多く、長く難解な指標名のものが多かった。2007年の改訂では、わかりやすく平易なものにするという方針のもと、5指標群10指標に再編された。改訂で指標名は簡潔なものとなったが、テクニカルノートに記載された指標の具体的な測定例から、改訂前の20指標に含まれたほとんど内容が、改訂後の指標に統合され盛り込まれていると考えられた。新旧指標の対応関係は、表4-2-4のようにまとめられた。

法律や制度の関係では、改訂前は法律・制度の有無に関係したものが法的枠組みの指標群に、実施の側面が強いものが制度的枠組みに分類されていたが、改訂指標で政策色が濃いものが制度の指標群、所有権など法律色の濃いものが法律の指標群とされ、指標の入れ替えが行われた。経済関連では、貿易政策に関する指標が削除されたが、枠組みに大きな変更はなかった。

改訂前5指標あった研究・開発関連の指標が1指標に統合され、制度的枠組みから移された経営基盤関連の指標とあわせ、経営基盤・研究開発の指標群とされた。また、改訂前の法的枠組み・制度的枠組みから市民参加に関連する指標が選択され、1指標に統合された旧計測能力指標群と合わせ、パートナーシップとモニタリングの指標群とされた。

森林計画に関する事項は、改訂前は法律や規制の有無は法的枠組みの指標群、制度の実行につ

表4-2-4 基準7の改訂指標；旧指標との対応及び森林計画書・事業統計との関係

基準7: 森林の保全と持続可能な経営のための法的, 制度的及び経済的枠組		指標の計画区へ統計・性格の適用 ¹ 資料 ²	
当初の指標(1995年)	2008年11月改訂指標		
7.1.b 関連する部門との調整を含む、森林の価値の範囲を認定するような森林に関する定期的な計画、評価及び政策の見	7.1.a 森林の持続可能な経営を支える法令及び政策	記述	○
7.1.d 森林経営のための最良の施策規定の助長			
7.1.e 特に環境的, 文化的, 社会的, 及び/又は科学的に保全する価値のある森林の経営の規定			
7.2.b 分野横断的な計画及び調整を含む、森林に関する定期的な計画、評価及び政策見直しの企画及び実行	7.1.b 分野横断的な政策及び事業の調整	記述/計量	(○)
7.3.a 投資の長期性を認識し、かつ、森林の生産物及びサービスの長期的需要を満たすために、市況、非市場経済的評価及び、公的政策決定に対応して森林部門内外へ資金が流入/出することを許容するような、投資及び課税政策並びに関連する法的環境	7.2.a 森林の持続可能な経営に影響を及ぼす税制及びその他の経済戦略	記述/計量	×
7.3.b 森林生産物の非差別的貿易政策	削除		
7.1.a 所有者の明確さ、土地所有制度の適切さ、先住民の慣習及び伝統的な権利の認定、及び正当な手続きによる所有についての紛争解決手段の規定	7.3.a 土地及び資源の保有関係、並びに財産権の明確さ及び保全	記述/計量	×
7.2.e 法律、規定及びガイドラインの施行	7.3.b 森林に関連する法律の執行	記述/計量	×
7.2.d 森林の生産物及びサービスの提供を促進するとともに、森林経営を推進するための効果的な物的基盤の開発及び維	7.4.a 森林の持続可能な経営を支える事業、サービス及びその他の資	記述	○
7.2.c 関連分野にまたがる人材養成訓練の開発及び維持			
7.5.a 森林生態系の特徴及び機能についての科学的理解の促進	7.4.b 森林の持続可能な経営のための研究及び技術の開発及び適用	計量/記述	×
7.5.b 環境的・社会的な費用と便益の算定手法、それを市場や政策に統合する手法、並びに森林資源の増減を国民経済計算体系に反映させる手法の開発			
7.5.c 新規技術の導入に伴う社会・経済的影響を評価するための新規技術及び能力			
7.5.d 人間が介在することによる森林への影響を予測する能力			
7.5.e 想定される気候変動が森林に与える影響を予測する能力			
7.2.a 国民の参画活動や公的な教育、啓発、普及プログラムの規定及び森林関連情報の入手を可能とすること	7.5.a 森林の持続可能な経営を支えるパートナーシップ	計量/記述	△
7.1.c 森林に関連する公的政策及び意思決定への国民の参加並びに情報への国民のアクセスの機会の規定	7.5.b 森林関連の意志決定における市民参加及び紛争解決	計量/記述	△
7.4.a 基準1から7に関連する指標を測定し、又は記述するために重要な最新のデータ、統計、その他の情報の提供可能性とその程度	7.5.c 森林の持続可能な経営に向けた進展に関するモニタリング、評価及び報告	計量/記述	△
7.4.b 森林資源調査、評価、モニタリング及び他の関連情報の範囲頻度及び統計的信頼性			
7.4.c 各指標についての測定、モニタリング及び報告に関する他			
7.4.c 各指標についての測定、モニタリング及び報告に関する他	国との整合性		

注) 1: ○; 可能, △; 可能性あり, ×; 困難,

2: 事; 森林管理局事業統計書, 計; 地域森林計画書, 無; 該当する統計, 記載が無いもの, -; 国レベルに限定される指標

いては制度的枠組みの指標群に分けられていた。改訂では法律・制度の有無、実行の両方とも制度の指標群に指標 7.1.a、7.1.b として配置された。法律の有無では国が報告単位となるが、施業規定等については、土地の保全に関する事項など森林計画区レベルに対応した項目があり、また地域森林計画書の策定行為そのものが、政策の実行行為として指標となりうる。従ってこれら 2 指標は、森林計画区レベルでも把握可能であり把握する必要がある部分があると考えられる。

経営基盤に関する指標 7.4.a は、物的基盤と人的基盤を統合したものであるが、人材育成訓練について森林計画書に関連する項目があること、事業統計書には、林道、苗畑、貯木場に関する統計が存在することから、改訂前と同様に把握可能である。研究開発に関する指標 7.4.b は、森林計画区より大きなスケールで把握すべきものであろう。

パートナーシップとモニタリングに関する指標群では、指標 7.5.a では森林ボランティア等の活動、指標 7.5.b では森林計画樹立過程での市民参加が関連し、これらは森林計画書には記載されていないが、森林管理局署では業務のために把握しているので行政資料を整理することにより記述可能であろう。また、指標 7.5.c では指標名が一般的化されたので、森林計画樹立時の調査を例示することも可能であろう。

エ 考察

以上より国有林の森林計画区レベルでは、事業統計書と森林計画書により、モントリオール・プロセスの第 2 回報告書で用いられた 64 指標のうち、21 指標が把握可能であるか、把握できる可能性があると考えられた。ほぼ把握できるのは、モントリオール・プロセスの指標 2.c、3.a、3.b、4.1.a、6.1.a、6.3.a、6.4.a、6.4.b、6.5.a、7.1.a、7.1.e、7.2.b、7.2.c、7.2.d、7.2.e の 15 指標、ある程度把握できるがやや問題点があるのが 4 指標 (2.a、2.b、2.d、5.a)、森林調査簿の原データが残っていれば再集計によって指標が算出できるものは 2 指標 (1.1.a、1.1.b) と考えられた。

社会経済及び法制度に関わる基準 6、7 では、国レベルに限定される指標が 15 あった。従って、地域レベルに対応したモントリオール・プロセスの指標のうち、半数弱は把握できるといった。また、全ての基準から最低 1 指標は把握できると考えられた。前節のオレゴン州の事例でも、指標は 19 であり、「全ての基準を網羅すべき」という条件も満たすので、日本での地域レベルへの基準・指標の適用は、まずは現行の統計・資料をうまく加工して、指標として把握することから始めるのが適当であると考えられた。

基準 7 については、2007 年の改訂による指標統合により、地域レベルでも対応できる指標の比率が高まったと考えられる。また、パートナーシップに関連する指標が指標群として重点化されたことは、地域でも有用な指標を目指す現れであり、計画区レベルでも行政資料の集約により対応する必要があると考えられた。

オ 今後の問題点

森林資源や生物多様性に関する指標の中には、森林調査簿の原データが残っていれば、指標が求まりそうなものや、より厳密に求まるものがあつた。また、モントリオール・プロセスの基準・指標は、2006 年の改訂のように、社会のニーズや計測手法の進歩にあわせ指標の変更がありうる。大きな変更があつた場合には、過去のトレンドは原データから再集計するしかなくなる。現在は

森林調査簿等の森林情報の原データは電子データとなっているので、今後は毎年度の原データを永久保存する必要があると考えられた。

カ 要約

基準・指標を地域レベルに適用するための、日本における森林計画区の基本的な統計資料とモニタリング・プロセスの基準・指標の関係について検討した。基準1から7までの64指標(2006年改訂)のうち、いずれの指標が国有林の事業統計書または地域森林計画書から抽出が可能であるか検討した。人工林面積や土壌及び水保全に焦点をあて管理されている森林面積など15指標は、統計表からほぼそのまま抽出が可能であり、炭素蓄積量など4指標は指標への変換が可能と考えられた。森林生態系タイプ別面積など2指標は、森林調査簿の原データが残っていれば再集計によって指標として把握できると考えられた。社会経済便益及び法的制度的枠組みの40指標のうち、15指標は法律、貿易など国レベルに限定されるので、残る49指標のうち約半数が把握できたことになり、アメリカ合衆国の事例に照らすと、日本での地域レベルへの基準・指標の適用は、まずは現行の統計・資料から、指標を抽出することが把握することが適当であると考えられた。今後は、指標の改訂に合わせ柔軟な集計を保証するため、原データを長期にわたって保管することが必要であると考えられた。

キ 引用文献

Montreal process (2003) Montreal process first overview report 2003. 20pp.

家原敏郎・光田靖 (2009) アメリカ合衆国におけるモニタリング・プロセスの基準・指標の適用. 関東森林研究, 60, 59-60.

家原敏郎 (2011) オレゴン州におけるモニタリング・プロセスの基準・指標の応用. 関東森林研究, 62, 41-44.

家原敏郎・光田靖 (2007) 森林計画区レベルの統計資料とモニタリング・プロセスの基準・指標の関係. 関東森林研究, 58, 45-48.

家原敏郎・光田靖 (2008) 森林計画区レベルでのモニタリング・プロセスの基準6,7の指標の把握. 関東森林研究, 59, 19-20.

家原敏郎・光田靖 (2010) モニタリング・プロセス基準7の改訂指標の特徴と地域レベルでの把握. 関東森林研究, 61, 77-78.

東京大林区署 (1912-1921) 東京大林区署統計書. 明治44年度～大正9年度.

東京営林局 (1925-1941, 1950-1998) 東京営林局事業統計書. 大正13年度～昭和15年度, 昭和24年度～平成8年度.

関東森林管理局東京分局 (2000-2003) 関東森林管理局東京分局事業統計書. 平成11～14年度.

関東森林管理局 (2004) 八溝多賀国有林の地域別の森林計画書. 77pp.

Tim Payn (2008) Report on the 11th Montreal Process Technical Advisory committee meeting. 9-19. (<http://www.rinya.maff.go.jp/mpci/meetings/>)

福田未来ほか (2002) 日本の主要な森林におけるバイオマス拡大係数について. 日本林学会関東支部論文集, 55, 61-64.

(家原敏郎・光田 靖)

3. 水土保持に関する基準・指標（土壌及び渓流水の水質の指標）

ア 目的

土壌と水は森林生態系の生産力や機能の基礎となるものである。一方で、私たちの快適な生活にも必要不可欠なものでもある。持続可能な森林経営を進めていく上で、土壌、水についての化学的、物理的な特性が低下することのないように、十分な配慮が払われなければならない。そのためには、森林管理に伴う土壌、水の化学的、物理的な特性の変化をモニタリングすることが必要である。ここでは、土壌と水資源の保全と維持に関わるモントリオール・プロセスの基準4のうち、既存の統計データから評価することが困難な指標として、4.2.b「顕著な土壌劣化が見られる森林の面積と比率」、ならびに4.3.b「標準的な状態に比べて、物理的、化学的、生物学的な特性に顕著な変化が見られる森林地域における推計の面積と比率や流路の延長」について、その評価手法の妥当性を検討する。

イ 研究方法

指標4.2.bについては、顕著な土壌劣化に該当する土壌の化学的、物理的な特性の変化を評価する必要がある。しかし、現実の森林では生育過程における物質循環は必ずしも一定ではなく、それにともなって土壌の特性が変化する。また、近年、特定の大气汚染物質の森林への負荷が日本各地で指摘されており、それにともなっても土壌特性が変化する。このため、土壌特性の自然的な変動を評価する必要があると考え、本課題では10年以上の時間経過にともなう土壌の化学的・物理的な特性の変化を全国的に配置した天然生林または高齢人工林の19試験地において解析した。

一方、指標4.3.bについては、森林地帯から流出する渓流水の水質を森林の健全性を示す指標として用いることにした。そこで、森林総合研究所の中では定期的に最も長期にわたって渓流水質のモニタリングが実施されている高知県の市ノ又試験地における水質変動を解析した。

ウ 結果

森林総合研究所が実施した酸性雨モニタリング調査2期（1995～1999）において、特定樹木群落モニタリング調査として本支所で分担して19林分（図4-3-1）において表層土壌16点のpH（H₂O）を測定した。本研究課題では、それらの調査から約10年経過した表層土壌16点のpH（H₂O）を測定することにより、土壌の特性の変化を解析した。調査林分は1995～1999年の調査の前半は天然生林、後半は60年生以上の高齢人工林が主体となっている。これらの林分を選定した理由は約10年間に林分としての蓄積は増加しているものの、林分構造としては大きな変化が起こっていないことによる。したがって、若齢段階の人工林のように林分の蓄積量の急速な増加による物質循環の変化の影響を少なくすることが可能である。

代表的な結果として、図4-3-2に天城山（ブナ林）の例を示す。天城山では表層16地点のpH（H₂O）は1997年調査時、2007年調査時ともに4前後の値を示し、有意な変化は認められなかった。また、代表土壌断面における深さ方向の炭素含有率にも、2時期では大きな変化は認められなかった（図4-3-3）。この林分は極めて緩傾斜（3°以下）であり、ブナ自体も高齢であり、安定した立地環境にある。このような林分では10年程度では土壌の特性には大きな変化は認められない。

特定樹木群落モニタリング

年	北海道	東北	本所	木曾	関西	四国	九州
1995	大雪			コメツガ			屋久島
1996		阿仁			大台ヶ原	魚梁瀬	
1997		黒沢尻	天城			白髪	椎葉
1998	苫小牧		愛鷹	シラベ	大台教会		
1999		大又赤倉	加波山			滑床(スギ・ヒノキ)	英彦山



本研究

年	北海道	東北	本所	木曾	関西	四国	九州
2006	大雪	阿仁		コメツガ	大台ヶ原	魚梁瀬	屋久島
2007		黒沢尻	天城			白髪	椎葉
2008	苫小牧		愛鷹	シラベ	大台教会		
2009		大又赤倉	加波山			滑床(スギ・ヒノキ)	英彦山

図 4-3-1 特定樹木群落モニタリングと本研究における調査地一覧

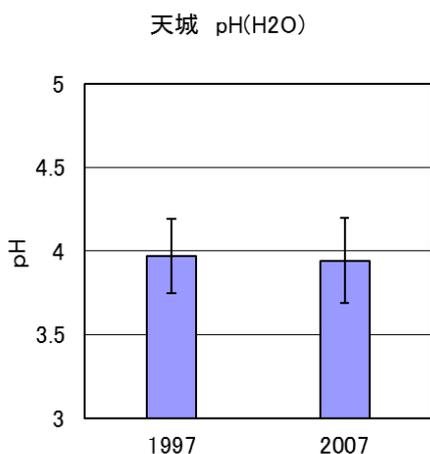


図 4-3-2 天城ブナ林における pH の変化

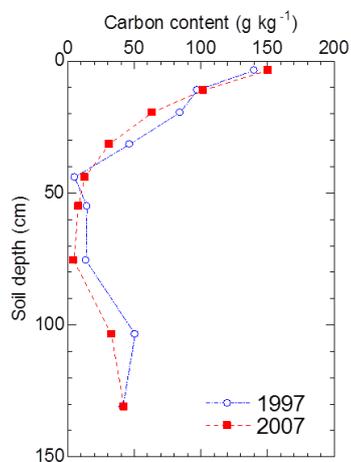


図 4-3-3 天城ブナ林における炭素含有率の変化

また、東北の黒沢尻ブナ林では表層 16 地点の pH (H₂O) は 1997 年調査時に比べて 2007 年調査時は有意に上昇していた。これに対して、関西の大台ヶ原では次表層 5~10cm の表層 16 地点の pH (H₂O) はわずかに減少していたが、表層 0~5cm の pH (H₂O) は有意に減少していた。黒沢尻では傾斜も 30° 以上であり、冬期の積雪による土壤の移動の影響もあり、表層土が侵食されて pH の高い次表層の影響が現れたと考えられる。大台ヶ原では日本でも有数の降水量が多い地点であ

ることから、降水による塩基の溶脱によって、酸性化が進んだと推定される。

19 林分における表層土の pH (H₂O) の変化を図 4-3-4 に記した。有意に上昇した林分は 6、有意に低下した林分は 2 であり、それ以外の 11 林分は有意な変化は認められなかった。

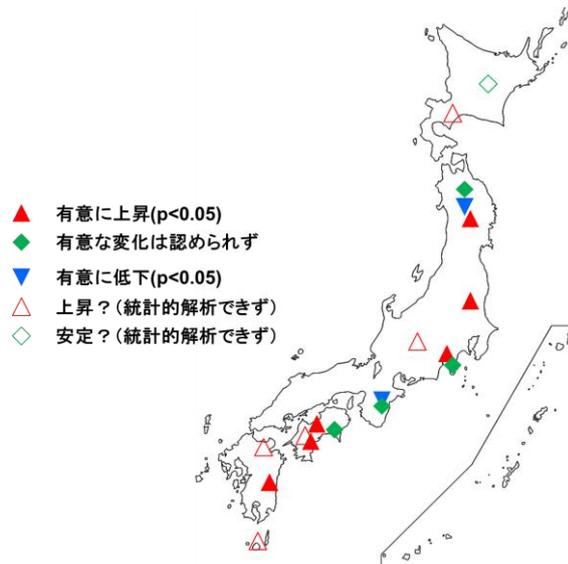


図 4-3-4 特定樹木群落モニタリング調査における林分の表層土の pH (H₂O) の変化

市ノ又試験地における水質のうち、Cl 濃度と NO₃ 濃度の 11 年間の変化を図 4-3-5 に示した。Cl は雨水を起源とし、流域内において吸着や吸収されることはなく基本的には蒸発散によって濃縮され濃度が決定されることから、水循環の健全性の変化を示す指標として、NO₃ 濃度は土壌-植物系から渓流水に流出することから、流域内における物質循環の指標として取られることが可能である。Cl 濃度は 11 年間に季節変動は認められるものの、顕著な年々変動は認められない。これに対して、NO₃ 濃度は同じく季節変動が認められるのに加えて、全体として 11 年間に減少傾向にある。これらのことから、市ノ又試験地では森林の健全性が保たれており、また、NO₃ 濃度の減少から、森林の成長にともなって窒素が流域内に蓄積されつつあることがわかる。

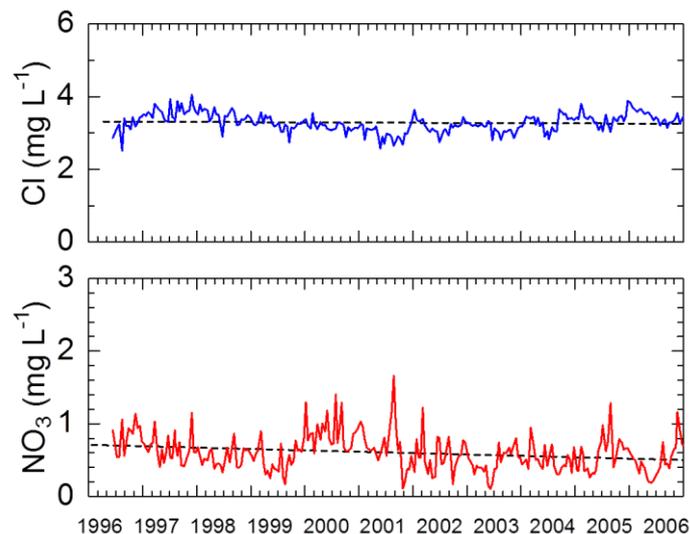


図 4-3-5 市ノ又試験地における水質の変化

エ 考察

モニトリオール・プロセスの指標 4.2.b の今後の評価の方向性については、土壌の特性の変化を把握することが可能なことが明らかになった。しかし、その変化を検出できたとしても、それに関与する林分の地形・土壌条件や降水条件などの環境要因の影響が強く、原因を特定することは難しい。今回は pH だけの解析にとどまったが、他の化学的な特性も含めて検討する必要がある。一方、指標 4.3.b の今後の評価の方向性については、水質が評価指標として有効であることが明らかになった。長期的な渓流水質についてのモニタリングはまだ不足している。また、水質の分析値が揃ってきたのがこの 10 年程度であり、ベースラインとなるデータがやっと整備されてきたので、今後は、きちんとしたモニタリング体制を確立する必要がある。

オ 今後の課題

土壌や水の変化を森林の健全性の指標とするためには、特性の変化に関わる要因を解明するとともに、長期的なデータの蓄積が課題である。

カ 要約

土壌と水資源の保全と維持に関わる基準 4 のうち、既存の統計データから評価することが困難な指標として、4.2.b ならびに 4.3.b をとりあげ、指標としての評価の妥当性を検討した。10 年程度の期間にわたるモニタリングデータに基づけば、変化の検出は可能であることが明らかになった。しかし、日本ではベースラインとなるデータの蓄積がまだまだ遅れており、今後もモニタリングを継続するとともに、長期的なデータを蓄積する必要がある。

(吉永秀一郎)

4. 水量の保全に関する指標について

ア. 研究目的

モニトリオール・プロセスの指標 4.3.b は「標準的な状態に比べて、物理的、化学的又は生物学的な特性に顕著な変化が見られる森林地域における水系の面積及びその比率又は流路の延長」と定められている。前半の「標準的な状態に比べて、物理的、化学的又は生物学的な特性に顕著な変化」という部分は多義的で様々な解釈が可能であり、とくに何を以て「標準的な状態」とするかは国や地域によって意見の分かれるところであろう。たとえ同じ量の水でも、その土地の気象条件や水利用の形態によって価値は変わるからである。しかし、いずれにしても、後半の「森林地域における水系の面積及びその比率又は流路の延長」を算出できなければ、この指標は絵に描いた餅である。そこで本節では、日本の森林地域における水系面積や流路延長を算出するとしたら、どのようなデータソースや方法があるかを検討する。

イ. 研究方法

地表の水は基本的に尾根や谷などの地形に沿って動く。そこで、ここでは算出方法を探索するためのテストエリアとして茨城県北部の水沼ダム集水域を選定した。森林地域における水系面積や流路延長を算出するには、森林と水域や流路の空間分布に関するデータが必要である。ここでは国土数値情報の土地利用細分メッシュデータ（1976年、1987年、1991年、1997年）と数値地図25000（空間データ基盤）水部データ（2003年版）を使用した。なお、水部データは水域ポリゴンと流路ラインから構成されるベクター型の地理情報である。

さらに、より広い範囲を対象に流路延長の集計を効率的に行うため、国土数値情報（JPGIS 準拠データ）の森林地域データと河川データを利用する方法を検討した。国土数値情報のJPGIS 準拠データは都道府県単位のデータセットとして公開されているので、流路延長の集計も都道府県単位で行った。

ウ. 結果

1) 水沼ダム集水域における検討

国土数値情報の土地利用細分メッシュデータと数値地図25000（空間データ基盤）水部データをもとに、水沼ダム集水域の土地利用（1997年）と水域・流路の分布を示したものが図4-4-1である。この図が示すように、ダム貯水池のようなまとまった面積をもつ水面は土地利用細分メッシュデータ上でも陸水域として区分されているため、森林地域と水域が重なる部分はほとんどない。このような状況は森林の多くが山地に分布している日本では普通であり、指標の算出には水域面積よりも流路延長を使用する方が実際的と考えられた。

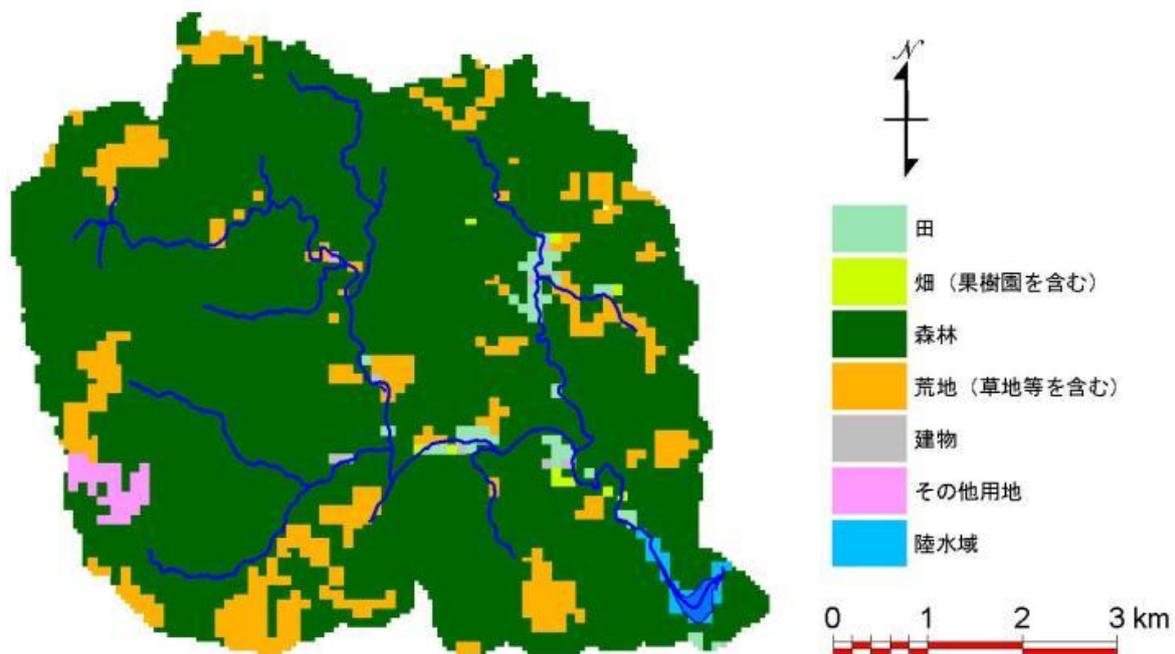


図 4-4-1 水沼ダム集水域の土地利用と水域・流路の分布

次に、この土地利用データと流路ラインを用いて、森林地域における流路の延長を集計した。使用する地理情報システムの仕様によって具体的な手順が変わる可能性はあるが、ここでは土地利用細部メッシュデータから同じ土地利用区分に属するメッシュグループの範囲を示すポリゴンデータを作成し、このポリゴンデータを介して河道ラインに土地利用の属性を転写するという方法を用いた（図 4-4-2）。水沼ダム集水域の 1974 年から 1997 年までの 4 時期の土地利用別の流路延長を、この方法により集計した結果を図 4-4-3 に示す。この 4 時期で集水域内の森林分布に大きな変化はないため、森林に属する流路の延長にもほとんど変化していないが、このような手順により流路延長の時系列的な変化も辿ることができる。

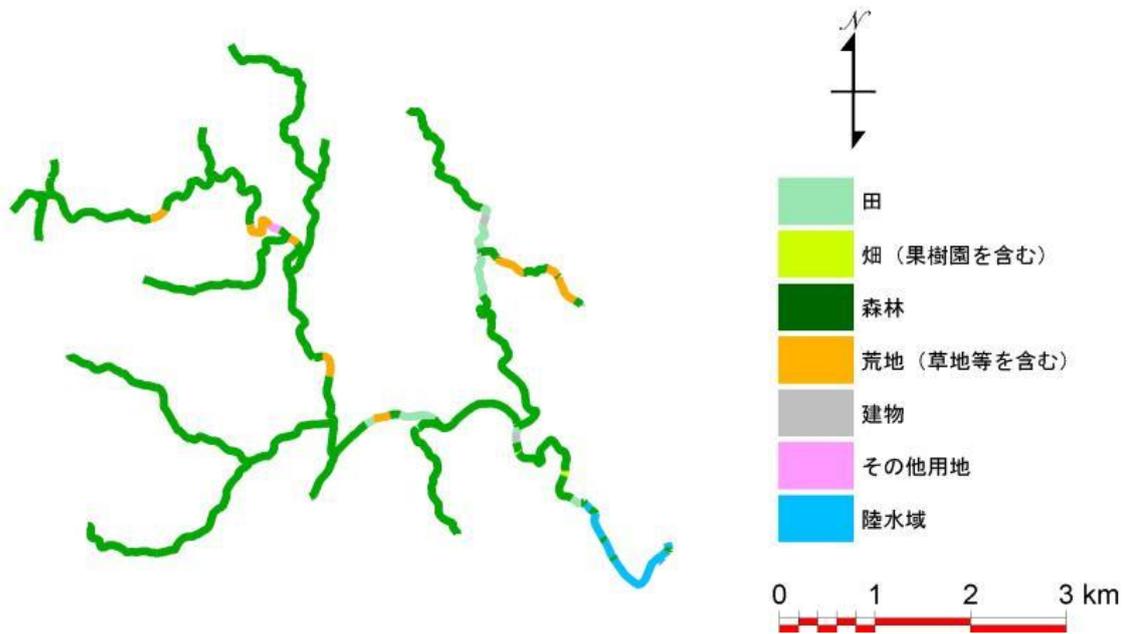


図 4-4-2 流路ラインに転写された土地利用属性

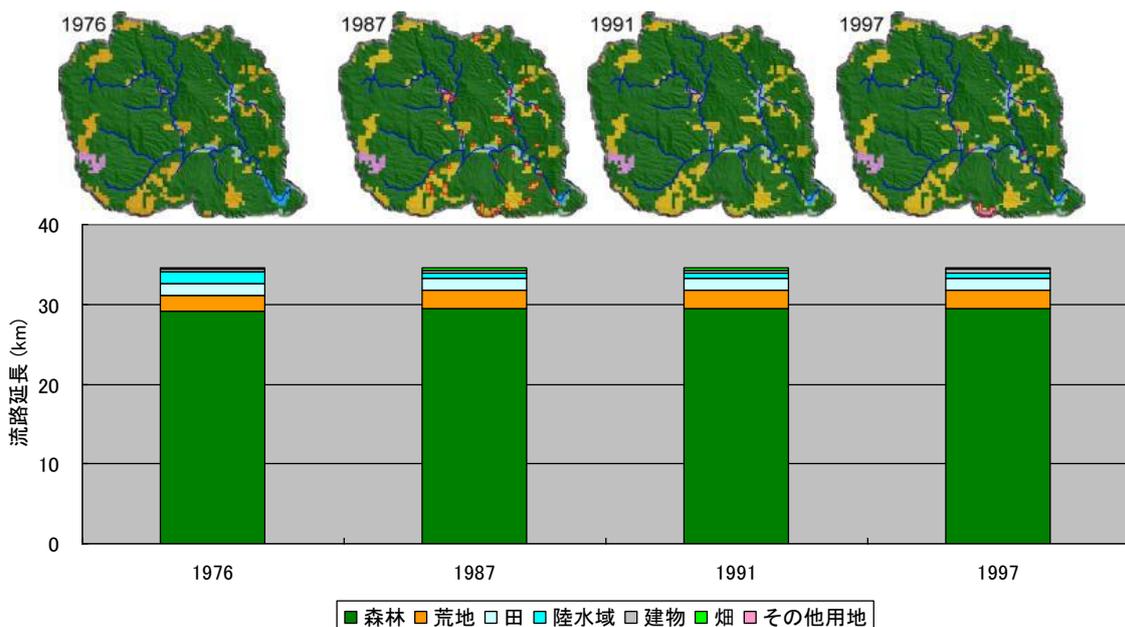
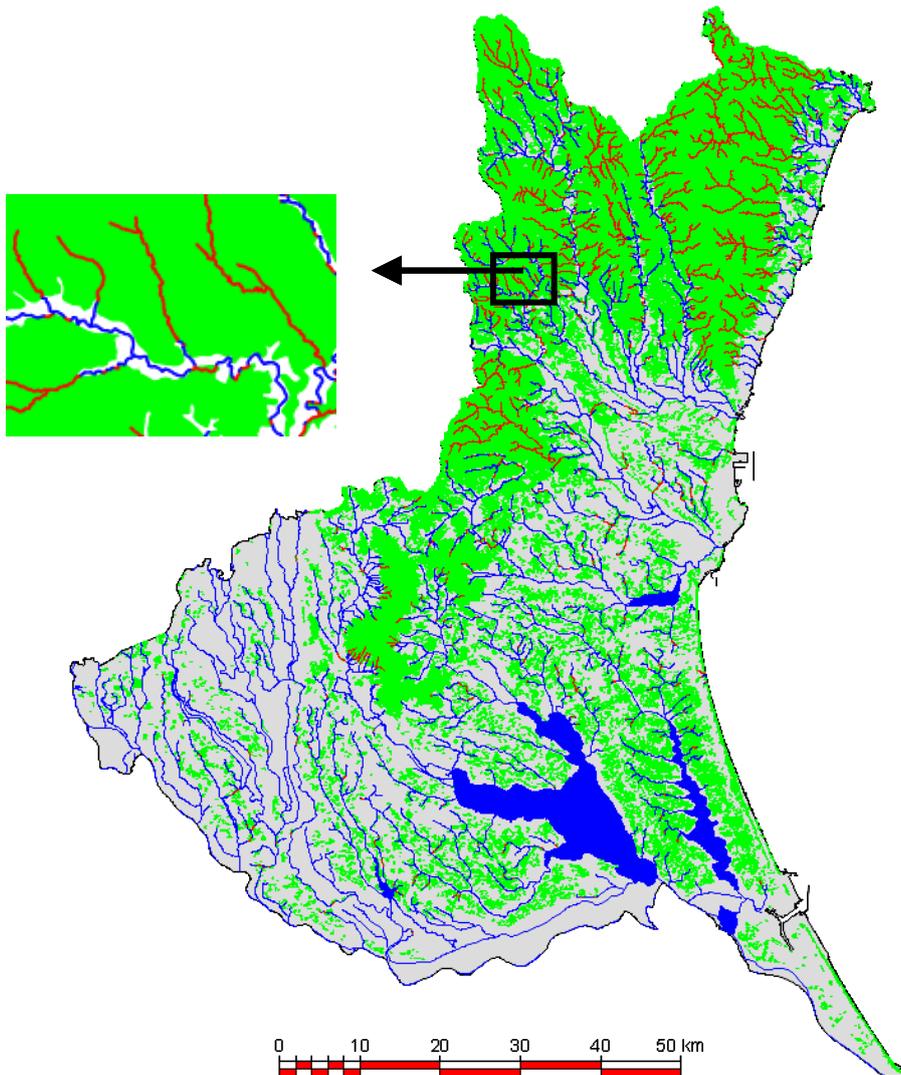


図 4-4-3 水沼ダム集水域における土地利用区分別の流路延長の推移

2) 広域スケールでの検討

前述の方法は、土地利用の属性を流路ラインに転写する際、中間的な作業データとして土地利用のポリゴンデータを作成する必要があるため、様々な土地利用がモザイク状に分布する広域のデータを対象とするには効率的ではない。そこで、流路延長の集計をより効率的に行うため、国土数値情報（JPGIS 準拠データ）の森林地域データと河川データを利用する方法を検討した。国土数値情報の JPGIS 準拠データは都道府県単位のデータセットとして公開されているので、流路延長の集計も都道府県単位で行った。その一例として茨城県の森林地域と河川の分布を図 4-4-1、各都道府県の森林内外の流路延長の集計結果を図 4-4-5 に示す。森林面積は都道府県によって異なるので、図 4-4-5 の右側では流路の延長を森林面積で割った値（水系密度）で表示している。森林地域の流路密度は、群馬、北海道、長野等で大きく、福岡、佐賀、岡山等で小さな値となった。



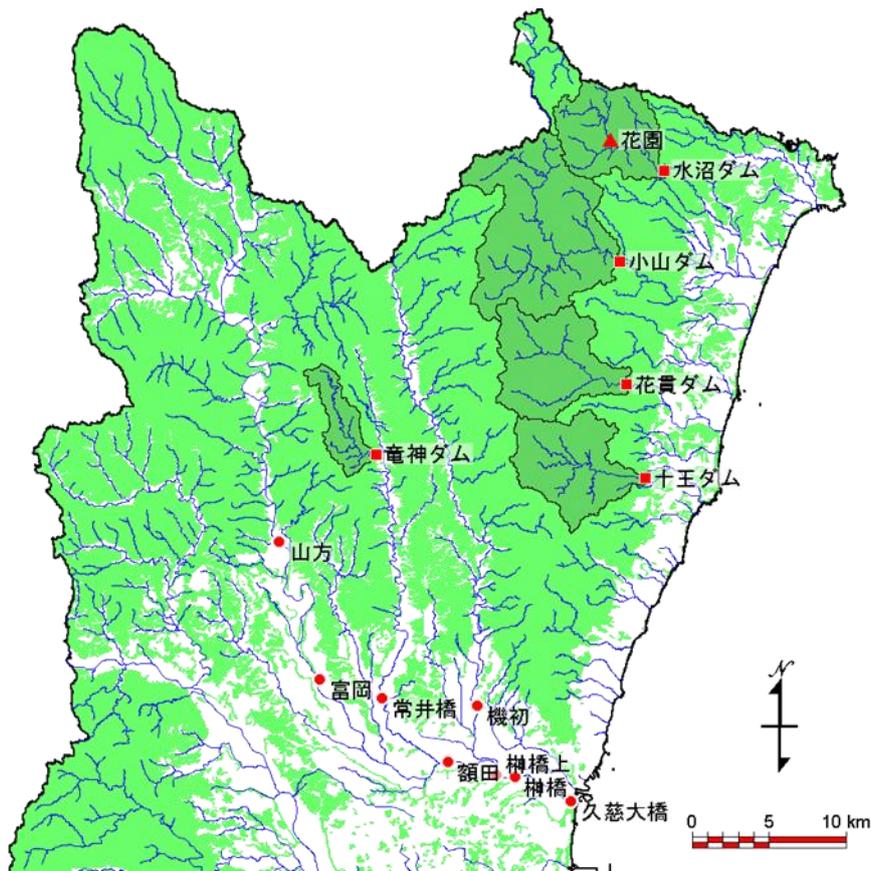


図 4-4-6 茨城県北部の主なダム集水域と久慈川水系の流量観測地点

エ 要約

森林地域における流路延長を算出するため、国土数値情報の土地利用細分メッシュデータと数値地図25000（空間データ基盤）水部データを使用する方法と、国土数値情報（JPGIS準拠データ）の森林地域データと河川データを使用する方法の二種類について、それぞれの算出過程と結果を比較・検討した。前者の方法は、土地利用のメッシュデータをポリゴンデータに変換する作業が必要であるが、複数時期の土地利用データを用いることで森林内の流路延長の経時的な変化を辿ることができる。後者の方法は、今のところ国土数値情報の森林地域データが一時期分しか公開されていないため複数時期の比較はできないが、森林の分布情報がポリゴンデータで提供されているため、より広い範囲を対象にできる。それぞれに一長一短がある。これらの特徴は使用する地理情報システムソフトウェアの仕様やデータソースの選択に依存する面もあるが、日本の森林地域における流路延長を算出するとしたら、これらの方法も選択肢の一つとなるであろう。

(坪山良夫)

5. 社会経済に関する基準・指標の基盤である政府統計の近年の動向

ア 研究目的

モントリオールプロセスの基準6は他の基準と異なり、モニタリングの多くを政府統計に依存したものである。したがって、政府統計の今後のあり方が基準6の指標の精度に大きく影響を与えることが考えられる。そこで本研究では、社会経済に関する基準・指標の基盤である政府統計の近年の動向を探り、将来の展望を得ることを目的とした。

イ 研究方法

統計改革全般について、「統計行政の中長期構想」（1985年）からはじまる統計審議会答申などを追った前史、「経済財政諮問会議」をはじめ様々な動きの錯綜する最近の動向をまとめた後、今回、大きな変更を余儀なくされた農林水産統計とその中の林野統計の動向に触れ、農林業センサスをはじめとした今後のあるべき林野統計のあり方を模索した。

ウ・エ 結果と考察

1) 統計制度改革と森林・林業統計

2007年5月に統計法が改正されて、すでに5年の歳月が経過した。統計制度改革による新たな枠組みが、現在着々と整備されつつある。この間の森林・林業統計を中心とした動きについては、幾度かの機会に言及してきた（山本2006, 2007, 2009、第14回林業経済研究会BOX 2010）。

今回の統計法改正によって、第二次大戦後初めて、日本の統計制度が抜本的に見直されることとなった。新たに制定された統計法は、従来の統計法と統計報告調整法を一本化した上でその全部を改正したものである。従前の統計審議会を機能強化した統計委員会の設置、「行政のための統計」から「社会の情報基盤としての統計」への転換を理念として掲げている点など、日本の統計制度は新たなステージに踏み出した。

良いことづくめに見える統計法改正だが、森林・林業関係者から見るとそうばかりとも言えない。理由を端的に言えば、今回の改正によって、森林・林業統計を含む農林水産統計全般が大幅縮小の憂き目にあったためである。戦後の分散型統計機構の中で、農林水産省統計部門は多くの地方事務所を擁する官庁統計の雄だった。統計委員会設置は分散型から集権型への統計機構の転換を意味する。折からの行政改革の動きもあり、農林水産省統計部門の人員は2010年度末までに従来の規模から半減される。日本のGDPに占める農業の割合と統計職員数の不均衡是正を主張する意見などがこの動きを後押しした。

確かに財政健全化が要請される昨今、費用対効果の視点は欠かせないだろう。とはいえ、社会に有用な統計を選択する基準はGDP比だけに限らないはずである。例えば、環境や産業基盤として重要な国土面積を基準とするなら、その3分の2を占める林地の現状把握に、森林・林業統計が重要であることは論を俟たない。また、枯渇性資源依存から再生可能資源活用への社会システム転換にとって、木質バイオマスが重要であることは今では広く認識されているが、この視点からも、林業、木材産業のフローとストックのモニタリングが、GDP比を遙かに超えて重要であることは明白である。

社会経済に関する森林セクターの基準・指標を今後発展していく上で、これらの政府統計が果

たす役割は大きい。最近の動向を踏まえつつ、森林・林業統計を巡る現状とこれからについて論じた。

2) 公的統計の整備に関する基本的な計画

統計法4条に、政府は「公的統計の整備に関する基本的な計画」(以下、基本計画)を定めることが規定された。森林・林業統計も今後この基本計画に沿って整備が進められる。その意味で、基本計画の動向は重要である。

現在の基本計画では、統計の体系的整備、経済・社会の環境変化への対応、統計データの有効活用の推進、効率的な統計作成並びに統計リソースの確保及び有効活用、の4つの基本的視点を挙げ、その上で、具体的施策を大きく3方向から計画する。

第1に、統計体系の根幹となる基幹統計の整備である。基幹統計とは、統計法に定める国勢調査及び国民経済計算の他、総務大臣指定の重要性が特に高い統計である。旧統計法では指定統計、承認統計、届出統計としていた統計調査の枠組みから、新法ではこの基幹統計調査に加え、総務大臣承認を要する一般統計調査、地方公共団体又は独立行政法人等が行う統計調査の枠組みへと変わった。特に、基幹統計として国勢調査、国民経済計算、経済構造統計を統計体系の中核に据えている点が特徴である。

2つ目の統計相互の整合性及び国際比較可能性の確保・向上では、国内、国際両面からの統計相互間の連携策が盛り込まれている。具体的には、国民経済計算の整備と一次統計等との連携強化、ビジネスレジスターの構築・利活用、福祉・社会保障全般統計の整備、財政統計の整備、ストック統計の整備、などの項目が並ぶ。

最後に、社会的・政策的なニーズの変化に応じた統計の整備として、サービス活動、少子高齢化・ワークライフバランス、暮らし方の変化、教育をめぐる状況変化、環境、観光、グローバル化の進展、企業活動の変化、働き方の多様化、などの統計整備が計画されている。

基本計画では、これらの施策を推進する上で必要な事項について併せて記載されているが、その内容は多岐に亘る。まず、効率的な統計作成として、行政記録情報等の利活用や民間事業者の導入。次に、都道府県の統計専任職員等による実査体制の機能維持や国と地方公共団体の連携など、統計リソースの確保及び有効活用。第三に、統計の評価を通じた見直し・効率化。第4に、オーダーメイド集計、匿名データの作成及び提供、統計データ・アーカイブの整備など、統計データの有効活用の推進、など。最後の統計データの有効活用については、今後の森林・林業統計にとって重要なので、後半であらためて触れたい。

3) 2010年農林業センサス

農林業センサスは基幹統計の一つであり^{注)}、様々な統計に母集団情報を提供する点で、同じく基幹統計である木材統計と並び、最重要の森林・林業統計である。最新の2010年センサス概数値でショッキングなのは、林業経営体数が14万経営体と、2005年の20万経営体から6万経営体も減少した点である。この理由として、木材価格低迷、高齢化、後継者不足などの諸要因による林業経営体の恒久的減少、「過去5年間に育林若しくは伐採を行っている」などの農林業センサスの外形基準を満たさない林業経営体が増加したことによる一時的減少、が考えられる。さらに志賀が指摘するように(志賀2010)、個人情報保護の観点から固定資産課税台帳等の目的外使用が禁

止され、従来の名寄せによる調査客体確定が難しくなった影響も懸念される。

農林水産省統計部への取材では、志賀の指摘する調査客体把握の困難化について、個人情報保護条例の制約により、統計調査に使用する目的であっても固定資産台帳や森林簿の閲覧が一部地域で困難だった事例も報告されているとのことであった。一方で、1ha以上の山林を保有する林家、林家以外の事業体の総保有山林面積（未公表）は2010年センサスで1,146万haであり、2005年センサスの1,147万haとほぼ同数であったとの理由から、両年の調査における客体把握は同程度であったとの見解も統計部からは示された。今回の林業経営体の激減要因については、今後、確定値が公表されたあと、さらなる検討が必要である。また、重要な母集団情報であるセンサス調査客体把握の改善はなお重い課題である。

4) センサス以外の森林・林業統計

農林業センサス以外の農林水産省統計部所管の森林・林業統計としては、まず、『木材需給報告書』として毎年公表される木材統計調査と木材流通統計調査がある。木材統計調査は製材、合単板、チップの動向に関する年次ないし月次調査であり、センサスと並ぶ基幹統計として重要な位置を占める。一方、木材流通統計調査は一般統計調査であり、製材、合単板、木材チップの素材価格と木材製品卸売価格に関する月次調査である木材価格統計調査、木材流通に関する5年周年期調査である木材流通構造調査の2つの調査から構成される。

木材価格統計調査の最近の変化として、「競争の導入による公共サービスの改革に関する法律」に基づく民間競争入札が、2009年度から実施されている点が挙げられる。本調査の競争入札については、調査客体の多くが零細であり、また、非都市部に分散的に立地していることから、他の調査と比較して、調査受託先が限定される傾向がある。実際、09年度の入札参加者は2者、落札者は農林統計協会であった。なおこの委託によって、調査回収率は国実施時同様に100%であったこと、調査初動期にもたつきのあったことなどが統計部によって報告されている。また同調査では、近年、パソコンによるオンライン調査が選択肢として加えられた。調査客体の希望により調査方法が選択可能だが、オンライン調査希望は全体の一割強と多くない。零細事業体の多いことが原因の1つに挙げられるだろう。

一方、木材流通構造調査は2011年に実施され、新生産システムの政策評価などへの活用が期待される。また、林業経営統計調査は前回2008年度に実施された。この調査はかつての林家経済調査だが、現在、年次調査から5年周年期調査に変更となっており、次回は2013年度頃の調査が計画されている。

従来から林野庁関係各課で作成されている統計は、逐次、一般統計調査への移行が進められている。承認統計調査であった「森林づくり活動についてのアンケート」（研究・保全課）は2009年度にすでに一般統計に移行した。また、もう一つの承認統計「森林組合一斉調査」（経営課）、届出統計調査「特用林産物需給動態調査」（経営課）、「緑化樹木の生産状況調査」（研究・保全課）も現在手続き中である。

5) 統計データの二次的利用

「社会の情報基盤としての統計」を実現し、国民のための統計を実現するために、新統計法では統計データの二次的利用について大きく門戸を開いた。これによって、旧統計法ではかなり煩

雑だった目的外使用の手続きが、ずいぶんと簡素化された。統計法 34 条のオーダーメイド統計や、三六条の匿名データがそれに当たるが、現在、統計行政全体として、これらの規程を多くの統計に適用し、広く国民一般の利用を促進する方向にある。

オーダーメイド統計とは、学術研究の発展に資すると認められる場合など、一般からの委託に応じ、その行った統計調査に係る調査票情報を利用して、有償で統計の作成等を行うことを可能とする制度である。匿名データはオーダーメイド統計と同様に二次的利用を目的とするが、世帯や個人が特定されないように必要な匿名化処理を行う点が異なる。これらの対象となる統計は徐々に増えており、森林・林業統計では 2005 年農林業センサスが現在オーダーメイド統計の対象である。おそらく 2010 年農林業センサスも今後対象となるだろう。

2005 年農林業センサスから新たに実施されることとなった農林業経営体調査によって、これまで別々に実施されてきた農家世帯と林家世帯、林業事業体等への調査が、「農林業経営体」概念の適用によって一元的に実施されることとなった。このことは森林セクターにとって多くの問題を孕む。一方で、農家林家など、農業部門と林業部門を兼ね備えた世帯ないし経営体の実態を知る上で、農林業センサスが貴重なデータソースとなる可能性もある。2010 年までを見る限り、農水省統計部から公表された結果に、林業と農業を横断的に分析したものは多くないが、この二次的利用によって、個票の中に埋もれた真実に光を当てることができるかも知れない。

著者らは旧法の目的外申請によって、2005 年農林業センサスの林業経営体及び、農業経営体のうち家族経営であって保有山林面積が 1ha 以上の経営体の全国個票データを用い、若干の検討を行った（山本ら 2009）。その結果、家族林業経営体として公表されている 17.7 万経営体（228 万 ha）に加え、保有山林 3ha 以上の家族農業経営体 9.4 万経営体（69 万 ha）、保有山林 1～3ha の家族農業経営体および育林・素材生産林業経営体 24.5 万経営体（40 万 ha）などのデータも補足されていることが分かった。

再集計の一例として図 4-5-1、図 4-5-2 に、これらの個票データを 3ha 以上保有山林世帯の年齢別世帯員数、経営耕地面積について地域別にしたグラフを示した。データの品質などの詳細な検討が今後必要とされるものの、目的に応じた統計利用の有用性は理解していただけるだろう。

総務省『平成 21 年度統計法施行状況報告』に報告されている二次的利用の現況によると、残念ながら、2005 年農林業センサスの利用実績はゼロである。この理由として、利用可能な統計データが 2005 年単年のものであることに加え、オーダーメイド統計に相応のコストがかかることが考えられる。後者の作成コストの問題は、研究者について言えば、科研の研究計画に統計の二次的利用を明記することで、統計法 33 条の「公益性を有する統計の作成」適用によって、無償とできる可能性もある。是非、統計部局に相談し、積極的利用を勧めたい。

オ 今後の問題点

新統計法 1 条では、その目的を「公的統計が国民にとって合理的な意思決定を行うための基盤となる重要な情報であることにかんがみ、公的統計の作成及び提供に関し基本となる事項を定めることにより、公的統計の体系的かつ効率的な整備及びその有用性の確保を図り、もって国民経済の健全な発展及び国民生活の向上に寄与すること」と謳う。財政の逼迫など様々な困難を抱えつつも、この法の精神が森林・林業をはじめ広く国民の厚生全般に及ぶものであって欲しい。そのために、まずユーザーである我々自身が、二次的利用などを通し、積極的に公的統計を利用し

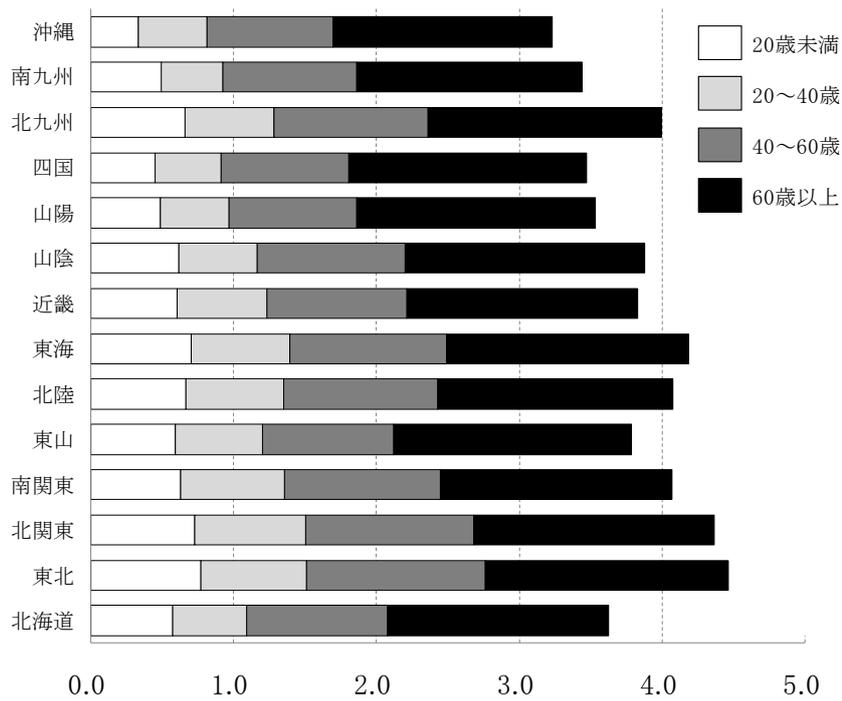


図 4-5-1 保有山林 3ha 以上世帯の地域別・年齢別世帯員数

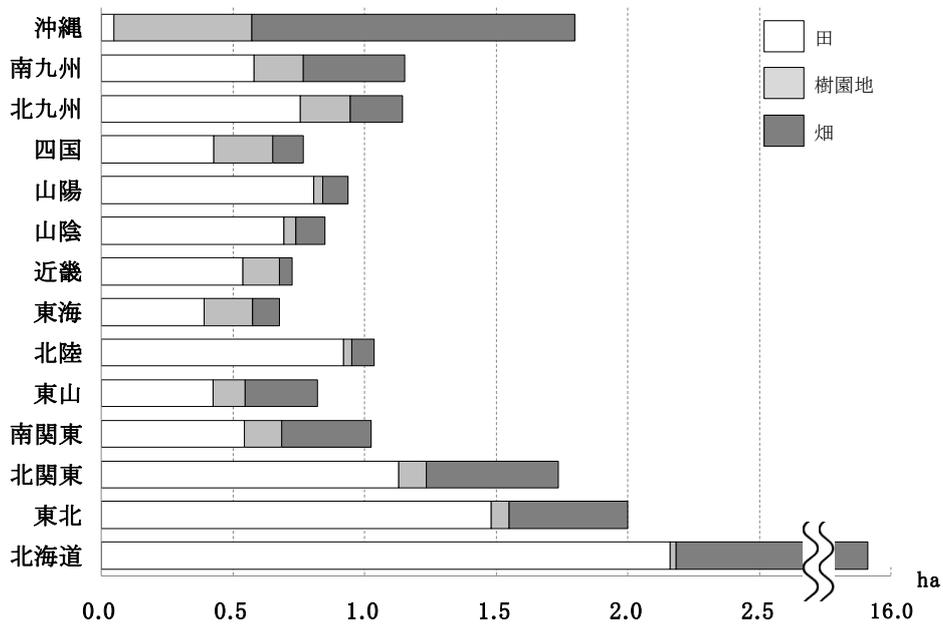


図 4-5-2 保有山林 3ha 以上世帯の地域別・地目別経営耕地面積

ながら、そのあり方に発言していくことが肝要だろう。一方で、林野庁をはじめとした公的統計を担う主体が、森林・林業統計に対し、今より一層意識的であることを願って止まない。研究としては、今後とも継続的に政府統計の動向に関するモニタリングを続けることが重要である。

カ 要約

社会経済に関する森林セクターの基準・指標を今後発展していく上で、農林業センサスをはじめとした政府統計が果たす役割は大きい。そこで、最近の政統計全般の動向を踏まえつつ、森林・林業統計を巡る現状とこれからについて論じた。その結果、統計制度改革によって、森林・林業統計の相対的重要度は低下していること、一方で、「社会の情報基盤としての統計」促進の動きの中で、個票利用など新たな展開の可能性のあることが分かった。

キ 引用文献と注

山本伸幸（2006）統計制度改革下、逆風の中の林野統計．山林，1470，58-67.

山本伸幸（2007）統計法改正と林野統計のこれから．農政と公務労働，101，11-18.

山本伸幸（2009）統計制度改革と林野統計，餅田治之・志賀和人編著『日本林業の構造変化とセンサス体系の再編－2005年林業センサス分析－』．農林統計協会，35-53.

第14回林業経済学会研究会 BOX（2010）森林・林業統計のこれから－活用と課題に着目して．林業経済，63（1），16-31.

志賀和人（2010）林業経営体把握の枠組みと問題点．山林，1514，34.

山本伸幸・林雅秀・田中亘（2009）2005年農林業センサス「農林業経営体」概念の予備的検討．日本森林学会大会報告

注）「農林業センサス」は調査名。基幹統計名としては「農林業構造統計」。

（山本伸幸）

6. 持続可能な森林経営の基準・指標で言及される観光レクリエーション的側面

ア 研究目的

森林は、世界各国で、観光レクリエーション活動のデスティネーション（目的地）として重要な役割を担っている。とりわけ、日本のように、国土のほぼ3分の2が森林に覆われている様な世界的な森林国にとっては、他国にも増して観光レクリエーション活動に対する森林の重要度が高くなるといえる。

例えば、知床や白神山地、屋久島など、世界自然遺産に登録されるほどにデスティネーション性が高い森林の多くは、広い圏域から多くの利用者を惹きつける。その様な地域では、観光レクリエーションのために多くの人が森林を直接訪れるという行為を通じて、その森林の周辺地域のコミュニティなどが管理・運営する宿泊、交通、ガイド、物販などのサービスや財が消費され、地域経済が潤うことに繋がる。そして、その様な経済活動が活発になれば、地域経済のキャッシュフローが潤沢になり、巡り巡って補助金等の公的資金注入に頼らずとも、適切な森林管理の運営が持続的に行われる可能性が高まる。

また、森林率が高い日本の様な国では、直接森林を利用することが目的ではない山間の温泉浴、都市近郊の屋外スポーツ施設の利用などの活動においても、周囲に森林が存在するかしないかで

活動の満足感に差が出ることは明らかである。周囲に森林が存在すれば環境・アメニティは向上し、当該観光レクリエーション資源や施設のデスティネーションとしての価値が高まることは言うまでもない。つまり、「デスティネーションとしての価値」という側面から見る限り、森林は直接的であれ、間接的であれ、地域に欠かせない存在であることがわかる。

以上を鑑みると、わが国では、観光レクリエーションという側面から、適切な形で持続可能な森林経営を行うことが、重要な課題の1つとして位置づけられうると指摘できる。

そこで本稿では、我が国における森林経営と観光レクリエーションとの関わりに着目することにした。そして、森林管理と観光レクリエーションとの関係性を考察するにあたり、モントリオール・プロセスの基準・指標を題材に、両者がどの様に関わるのかを整理した。そして、その結果から持続可能な森林経営と観光レクリエーションに対し、どの様なことが提言できるのかを考察することを目的とした。

イ 研究方法

研究の方法としては、まず研究を始めるにあたって確認すべき事前作業として、モントリオール・プロセスにおける現行の7基準、54指標の記述における観光レクリエーションへの言及状況をまとめた。そして、その事前作業で得た知見をもとに、持続的な森林管理の中における観光レクリエーションの位置づけを整理し、さらに、観光レクリエーションに係る持続可能な森林管理のための基準・指標の現状をまとめるという方法をとることとした。

モントリオール・プロセスにおける現行（2007年改訂）の基準指標（7基準54指標）は、表4-7-1に示したとおりである。表4-7-1を見ると、基準指標のうちで直接「観光レクリエーション」に言及している指標には、ハッチングで示したとおり「基準6：社会の要望を満たす長期的・多面的な社会・経済的便益の維持及び増進（全20指標）」のうち、「6.2森林セクターにおける投資」の「指標6.2a：森林経営、木材及び非木材産業、森林が提供する環境的便益、レクリエーション、並びに観光への年間の投資額および支出額」と、「6.4レクリエーション及び観光」の「指標6.4a：一般へのレクリエーション及び観光に利用可能で、かつ/又はそのために管理されている森林の面積とその比率」及び「指標6.4b：レクリエーション及び観光による訪問、並びに関連する利用可能な施設の数、タイプ及び地域的な分布」の3つが該当することが分かる。

しかしながら、指標6.2aについては、産業連関表を利用した森林分野への資本投資額や林野庁の公共事業予算などが数値的なアウトプットとなっており、森林全体の投資・支出額から観光レクリエーション関係だけの要素を抜き出すことは実質的に不可能な内容となっている。従って、モントリオール・プロセスにおける観光レクリエーションに関連する直接的な指標は、基準6のうち、基準6.4に係るものと限定して良いと考えられる（補注1）。

また、直接観光レクリエーションには言及しないものの、間接的に関わりとされる指標は、表4-7-1において斜体で示したとおり、5つの基準における15個の指標（すなわち、基準1の指標1.1b、基準2の指標2.e、基準3の指標3.b、基準6の指標6.1b/6.1c/6.1e/6.1g/6.2b/6.3c/6.5a/6.5b、基準7の指標7.1a/7.1b/7.3b/7.5b）にまたがることも明らかになった。そして、観光レクリエーションへの直接的、間接的な関わりを総合的に勘案すると、11個の指標が該当する基準6が、持続可能な森林管理と観光レクリエーションとの関係を考察するにおいて最も中心的であることがわかった。

表4-6-1 モントリオール・プロセスにおける7基準・54指標

<p>基準1 生物多様性の保全 (9指標)</p> <p>1.1 生態系の多様性 指標1.1a 森林生態系タイプ、遷移段階、齢級及び所有形態または保有形態別の森林の面積とその比率 指標1.1b 保護地域における森林生態系タイプ、齢級または遷移段階別の森林の面積とその比率 指標1.1c 森林の分断状況</p> <p>1.2 種の多様性 指標1.2a 森林性の在来種の数 指標1.2b 法令や科学的な評価により絶滅の危機に瀕しているとされている、森林に生息・生育する在来種の数と状況 指標1.2c 種の多様性の保全に焦点を絞った生息・生育域内と域外での取組の状況</p> <p>1.3 遺伝的な多様性 指標1.3a 遺伝的な多様性や地域に適応した遺伝子型が喪失の危機に瀕している、森林に生息・生育する種の数と地理的な分布 指標1.3b 遺伝的な多様性を表す特定の代表的な森林性の種の密度 指標1.3c 遺伝的な多様性の保全に焦点を絞った生息・生育域内と域外での取組の状況</p>
<p>基準2 森林生態系の生産力の維持 (5指標)</p> <p>指標2.a 森林の面積や比率と木材生産に利用可能な森林の実面積 指標2.b 木材生産に利用可能な森林における商業樹種と非商業樹種の総蓄積と成長量 指標2.c 在来種と外来種の造林地の面積、比率、蓄積 指標2.d 木材の年収穫量と純成長量または伝統的な収穫量に対する比率 指標2.e 非木質系林産物の年収穫量</p>
<p>基準3 森林生態系の健全性と活力の維持 (2指標)</p> <p>指標3.a 標準的な状態の範囲を超えて、生物学的な現象や要因(例:病気、昆虫、侵入種)により影響を受けた森林の面積と比率 指標3.b 標準的な状態の範囲を超えて、非生物学的な現象や要因(例:火災、暴風雨、土地造成)により影響を受けた森林の面積と比率</p>
<p>基準4 土壌と水資源の保全と維持 (5指標)</p> <p>4.1 保全機能 指標4.1a 土壌と水資源の保全に焦点を絞り指定や土地の管理が行われている森林の面積と比率</p> <p>4.2 土壌 指標4.2a 土壌資源の保全を目的とした技術指針やそれ以外の関係法令に適合している森林経営活動の割合 指標4.2b 顕著な土壌劣化が見られる森林の面積と比率</p> <p>4.3 水 指標4.3a 水に関連する資源の保全を目的とした技術指針やそれ以外の関係法令に適合している森林経営活動の割合 指標4.3b 標準的な状態に比べて、物理的、化学的、生物学的な特性に顕著な変化がみられる森林地域における水系の面積と比率や流路の延長</p>
<p>基準5 森林による地球の炭素循環への貢献の維持 (3指標)</p> <p>指標5.a 森林生態系における炭素の総蓄積量とフラックス 指標5.b 林産物における炭素の総蓄積量とフラックス 指標5.c 森林バイオマスのエネルギー利用により削減された化石燃料からの炭素の排出量</p>
<p>基準6 社会の要望を満たす長期的・多面的な社会・経済的便益の維持及び増進 (20指標)</p> <p>6.1 生産と消費 指標6.1a 一次加工および二次加工を含む、木材及び木材製品の生産額及び生産量 指標6.1b 生産又は採取された非木質系林産物の金額 指標6.1c 森林が提供する環境的便益からの収益 指標6.1d 丸太換算による、木材及び木材製品の総消費量及び国民一人当たりの消費量 指標6.1e 非木質系林産物の総消費量及び国民一人当たりの消費量 指標6.1f 丸太換算による、木材製品の輸出入額及び輸入量 指標6.1g 非木質系林産物の輸出額及び輸入額 指標6.1h 木材及び木材製品の総生産量に占める輸出量の割合、並びに木質製品の総消費量に占める輸入量の割合 指標6.1i 林産物の総消費量に占める回収またはリサイクルされた林産物の比率</p> <p>6.2 森林セクターにおける投資 指標6.2a 森林経営、木材及び非木材産業、森林が提供する環境的便益、レクリエーション、並びに観光への年間の投資額および支出額 指標6.2b 森林関連の研究、普及及び開発、並びに教育への年間の投資額および支出額</p> <p>6.3 雇用と地域社会のニーズ 指標6.3a 森林部門の雇用者数 指標6.3b 主な森林雇用区分別の平均賃金、平均年収及び年間負傷率 指標6.3c 森林に依存する地域社会の適応性 指標6.3d 生計の目的で利用される森林の面積とその比率 指標6.3e 森林経営から得られる収益の分配</p> <p>6.4 レクリエーション及び観光 指標6.4a 一般へのレクリエーション及び観光に利用可能で、かつ/又はそのために管理されている森林の面積とその比率 指標6.4b レクリエーション及び観光による訪問、並びに関連する利用可能な施設の数、タイプ及び地域的な分布</p> <p>6.5 文化的、社会的、精神的なニーズと価値 指標6.5a 種々の文化的、社会的、精神的ニーズ及び価値を主として保全するために経営されている森林の面積とその比率 指標6.5b 人々にとっての森林の重要性</p>
<p>基準7 森林の保全と持続可能な経営のための法的、制度的および経済的枠組み (10指標)</p> <p>指標7.1a 森林の持続可能な経営を支える法令と政策 指標7.1b 分野横断的な政策と事業の調整 指標7.2a 森林の持続可能な経営に影響を及ぼす税制とその他の経済戦略 指標7.3a 土地と資源の保有関係、並びに財産権の明確さと保全 指標7.3b 森林に関連する法律の執行 指標7.4a 森林の持続可能な経営を支える事業、サービスとその他の資源 指標7.4b 森林の持続可能な経営のための研究と技術の開発と適用 指標7.5a 森林の持続可能な経営を支えるパートナーシップ 指標7.5b 森林関連の意思決定における市民参加と紛争解決 指標7.5c 森林の持続可能な経営に向けた進展に関するモニタリング、評価と報告</p>

表中にハッチングで示した部分は、直接「観光」に言及している基準・指標を示す。
 表中に、斜体で示した部分は、間接的なものも含め「観光」に関連する基準・指標を示す。

以上をまとめると、モントリオール・プロセスの基準・指標に従い、森林の持続可能性を考えるに当たって、観光レクリエーションに注目した場合には、基準6の「社会の要望を満たす長期的・多面的な社会・経済的便益の維持及び増進」を中心に考えていくべきとしながらも、モントリオール・プロセスにおける持続可能な森林管理の基礎理念に照らし合わせて、観光レクリエーションが、森林の多面的機能の中にどの様に位置づけられるべきであるか考察を進めるといふ方法をとるべきと判断した。

- (補注1) ちなみに、ここで採りあげた6.4の指標は、改訂前の1995年時作成の指標では、
- 6.2a: 全森林面積と対比した、一般的レクリエーション及び観光のために経営される森林の面積及び比率
 - 6.2b: 人口及び森林面積と対比した、一般的なレクリエーション及び観光に利用される施設数及び施設のタイプ
 - 6.2c: 人口及び森林面積と対比した、レクリエーション及び観光のための利用客滞在延べ日数の、3つの指標として提示されていた。

基準6.4は、それを簡素化して策定されたものである(家原・宮園2007)。

ウ 結果

1) 多面的機能の発揮が期待される森林管理における観光レクリエーションの相対的位置づけ
モントリオール・プロセス理念によると、同プロセスの7つの基準は、大きく3つのカテゴリーに分けることができる。1つ目のカテゴリーは基準1~5までの5つの基準を含むもので、「生物多様性(基準1)」、「生産力(基準2)」、「生態系の健全性と活力(基準3)」、「土壌と水(基準4)」、「炭素循環(基準5)」と、特定の森林の機能が発揮されているかという点についてトピックを絞って、主に自然科学的側面から指標化していくものとなっている。2つ目のカテゴリーは、基準6の「社会経済的便益」が当てはまる。このカテゴリーは、基準1~5で示された諸機能がもたらす恩恵が、現実の人間社会や経済活動において十分発現されているかをチェックする基準となっている。3つ目のカテゴリーは、基準7の「社会・制度的・経済的枠組み」が当てはまる。このカテゴリーは、基準6で指標化された「社会経済的便益」を持続可能な形で保全・整備するための法令や組織体制が十分整っているのかを測るために設定されている。また、1つ目のカテゴリーに含まれる5つの基準のうち、基準3の「生態系の健全性と活力」については、他の4つの基準に優先する根本的な森林の機能であると、モントリオール・プロセスでは見なしている。

以上をとりまとめ、森林の持続可能性から見たモントリオール・プロセスの7つの基準・指標の相対的關係は、図4-6-1の様に土台と4本の柱、天井、屋根からなる建造物になぞらえて図示することができる。本論の論点となっている観光レクリエーションに関係する基準・指標は、基準6に多くの指標を置いているため、持続可能な森林管理という全体像から考えると天井にあたる部分を主に担っているといえる。また、観光レクリエーションに間接的に関連する指標は他の基準にも確認されるので、その点も考慮に入れて、天井を起点として、土台から屋根の部分にまで幅広く目配せをしながら、森林と観光レクリエーションとの持続可能性を考察していくことが理にかなっていると考えられる。

この点について、観光レクリエーションに主眼を置いて、より具体的に考察するために、図4-6-1を改変して図化し、図4-6-2として取りまとめた。

図4-6-2を見ると、わが国において観光レクリエーションという側面から持続可能な森林管理を考えた場合でも、①森林の基盤となる生態系の健全性や活力の確保や非生物的な要素の影響(基準3)が、観光レクリエーション機能の発揮に不可欠な大前提の土台として認められるとともに、②生物多様性の保全(基準1)における保護地域などにおける森林生態系の保全と観光レクリエーションとの関わりや、森林生態系の生産力の維持(基準2)における山菜やキノコ、溪流

魚などの非木質系林産物の適切な保全管理による観光振興などの重要性を指摘できる（補注 2）。

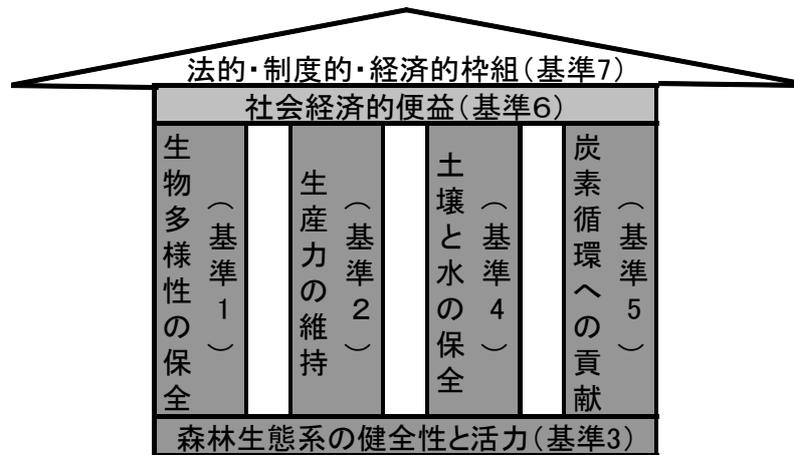


図4-6-1 モントリオールプロセスにおける基準・指標の考え方(出典: 林業技術704(2000))

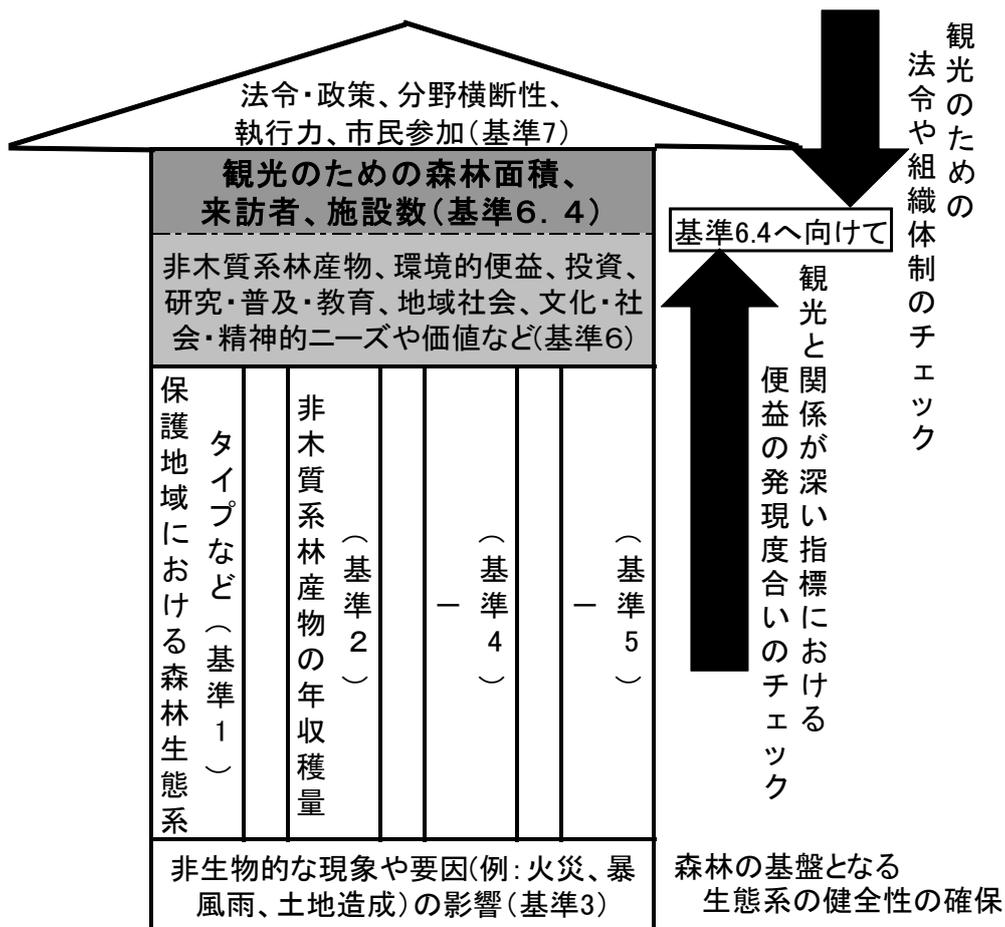


図4-6-2 観光にかかる直接的指標と間接的指標との関係性

すなわち、基準1～6のうち、観光レクリエーションに直接・間接的に関わる指標について、観光レクリエーションへの便益の発現度合いを基準3から上に向かってボトムアップ的にチェックしていくことが必要となる。一方、③森林がもたらす観光レクリエーションのための便益が保全・確保されているかを監視するためには、屋根に当たる、法令や組織体制の有無、経済的枠組み等（基準7）のチェックを進めることの重要性が指摘できる。

（補注2）今回行った検討の結果では基準4・5については、明確に観光レクリエーションと繋がる指標は見いだしがたいと結論づけた。

しかしながら適切な土壌や水の保安全管理、炭素循環の貢献が広い意味で間接的に観光レクリエーションという活動を支えていることは否定するものではない。

2) 観光レクリエーションに係る持続可能な森林管理のための基準・指標の現状

以上、モントリオール・プロセスにおける理念に基づき、基準・指標の全体構造の中における観光レクリエーションに対する位置づけを考察した。

引き続き、本項では、特に基準6.4の「レクリエーション及び観光」の部分を中心に、2009年10月に林野庁から公表された『我が国の森林と森林経営の現状 —モントリオール・プロセス第2回国別報告書—（林野庁2010）』に見る日本の具体的な基準・指標に係る統計の公表結果を概観し、持続可能な森林管理と持続可能な観光レクリエーションとの両者を同時に実現させるためには、現在どの様なことまでが言及されており、そして将来どの様な方向性のもとで森林管理を考えていくべきであるのかについて考察を進めることとする。

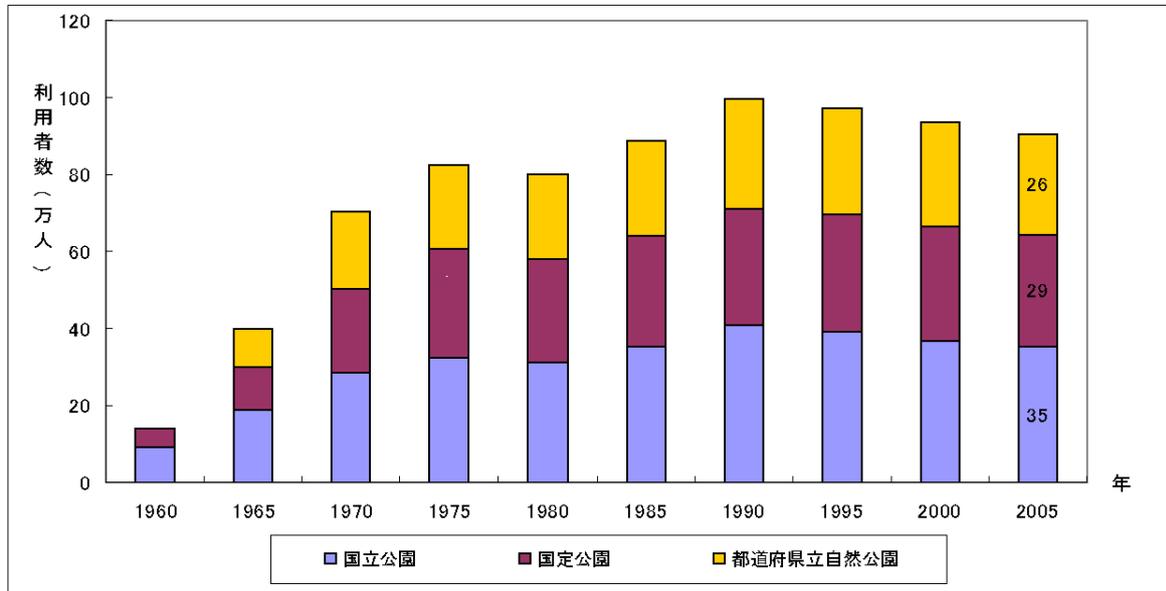
基準6.4について、同報告書では図4-6-3から図4-6-5に示した指標を林野庁は提示している。図4-6-3から図4-6-5を見ると、日本の観光レクリエーションに供される森林は自然公園（国土の約17%）が最も大きく（図4-6-3）、その自然公園の利用は1990年代までは上昇傾向にあったが、1990年に約100万人の入り込みを記録して以降は頭打ちないしは微減の傾向にあること（図4-6-4）、森林観光レクリエーションに供される施設は現在も増加傾向にあること（図4-6-5）などを、現状の指標から読み取ることができることが分かる。

また、基準6.4以外の指標については、基準7の法令や施策（7.1a）、分野横断的な連携（7.2a）、法令遵守（7.3b）、市民参加（7.5a）などの指標に加え、森林生態系サービスのうち特に供給／文化的サービスに該当する保護地域における森林生態系のタイプ（1.1b）やキノコや木の実・山菜採りに関連する指標（2e）、森林が提供する環境便益等（6.1c、6.2a）に係る指標などを複合的に見ていく必要があると考えられた。

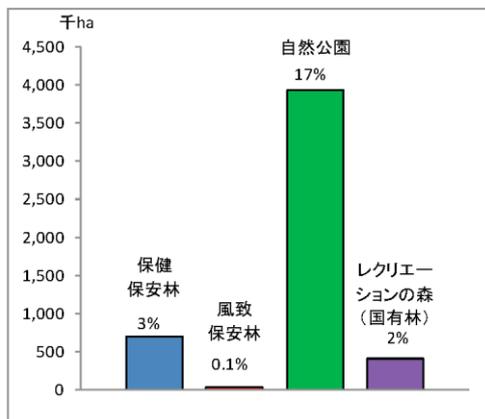
エ 考察

今回の検討結果では、国別報告書の基準・指標からは、上記にとりまとめた国家スケールの現状を読み取ることができた。しかし、持続可能な森林経営を実現させていくためには、将来に向けて克服すべき、いくつかの課題を今なお指摘することができる。それらのうち最も重要な課題は、

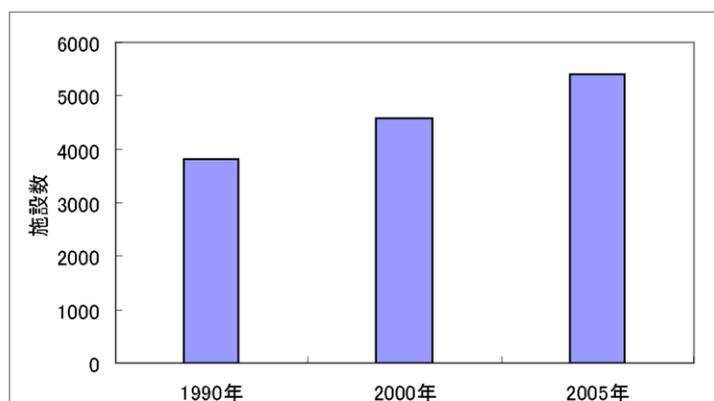
現状の指標では国全体における大まかな動向は把握できるものの、現実の森林の管理計画に反映させるためには、よりスケールを絞った地域レベルの基準・指標を確立していく必要があるという点であろう。



出典：環境省資料



（注1）各森林面積には重複が含まれる。
 （注2）比率は、全森林面積に対する比率である。
 出典：林野庁業務資料



出典：農林水産省「日本農業センサス」

図 4-6-3, 4, 5 モントリオール・プロセス第2次国別報告書(林野庁 2010-2)に記載された観光に直接関わる指標（基準 6.4：レクリエーション及び観光）

- 左下：図 4-6-3 指標 6.4a レクリエーションや観光を目的とする森林の面積と比率
- 上：図 4-6-4 指標 6.4b 自然公園への入り込み者数の推移
- 右下：図 4-6-5 指標 6.4b 森林レクリエーション・観光施設数の推移

実際、現行で9つある林の基準・指標に関する国際的な取り組みは、全て国家スケールの基準指標を策定している一方で、中米・中近東・汎欧州プロセスにおいては地域スケールの、ITTO・中米・タラポトプロセスでは経営体スケールの基準・指標に取り組んでいる（表 4-6-2）。モントリオール・プロセスは国家スケールの基準・指標のみを対象とした国際的枠組みであるが、日本においても、このようにスケールをブレイクダウンしていくことが、森林と観光レクリエーションとの持続可能性を言及していく上には必要になると考えられる。実際に世界に目を向けると、例えば欧州ではオーストリアの自然地域を対象とした地域レベルの基準・指標のケーススタディが既に行われており（Probstl 2010）、モントリオール・プロセスの参加国である韓国でもデルファイ法を用いて森林管理の専門家に持続可能な森林管理を地域スケールで行う際に取得するなど有効な指標についての検討を行っている事例がある（Shin 2010）。

表4-6-2 国際的な9つの森林の基準・指標への取り組みと対象とするスケール

プロセス名	対象スケール			
	世界	国家	地域	経営体
アフリカ木材機関(ATO)プロセス		○		
アジア乾燥林プロセス		○		
アフリカ乾燥帯プロセス		○		
ITTOプロセス		○		○
中米プロセス		○	○	○
モントリオール・プロセス		○		
中近東プロセス		○	○	
汎欧州プロセス		○	○	
タラポト・プロセス	○	○		○

（後藤2010を一部改編）

これまでに、日本においても基準 1～5 について森林計画区レベルの統計資料とモントリオール・プロセスの基準・指標との関係を考察した事例（家原・光田 2007）や、現行の全国森林資源モニタリング調査と基準・指標との関係を考察した事例（吉田 2008）、森林計画制度に則り地域森林計画区スケールで森林管理のために重要な観光レクリエーション資源・施設の地理的ポテンシャルを評価した研究（田中・渡辺 2002a, b）などは見られる。しかし、モントリオール・プロセスにおいては、地域レベルでの基準や指標を各国が自主的に策定すべきこととされている割には（家原・光田 2009）、日本における取り組みは未だ少ない。今後は日本においても地域スケールの取り組みが重要になると考えられる。

オ 今後の問題点

モントリオール・プロセスの基準・指標は、現状では、現実の森林管理に還元させるためには、国家スケールのみならず地域スケールでの基準・指標を確立させるとが重要であると指摘できた。この点についての今後の課題として、森林の管理に限ることではないが、日本における観光レクリエーション関係の国内諸統計の充実が挙げられる。我が国ではごく最近まで、観光統計については各自治体が異なる独自の手法で調査をして「観光入込客数」や「観光消費額」等を集計していたため、都道府県をまたがる形での比較・考察ができなかった。この点については、1997年に

森林総合研究所が、国内における森林観光レクリエーションに使用可能な統計の調査を行った際の検討結果においても、すでに指摘されており（森林総合研究所 1997）、その後 10 年以上経ても改善が見られることはなかった。

しかし、ようやく 2009 年 12 月に「観光入込客統計に関する共通基準」が観光庁により策定され、2010 年度からは、地域間での比較・分析が可能な統計がはじめて取り始められるようになった（観光庁 2010）。もちろん現状ではまだこれらの統計の成果を使った分析を行うためには時系列的な蓄積が不足しているが、今後はこのような統計値を観光レクリエーションに関する指標に加えていき、さらに、森林管理との関わりを考察していくことにより、観光レクリエーションの側面からみた森林の持続可能な管理を推進していくことが可能であると考えられる。

カ 要約

モニトリオール・プロセスにおける基準・指標の概念をベースに、持続可能な森林管理における観光レクリエーションの位置づけについていくつかの考察を行った。その結果、観光レクリエーションに直接的・間接的に関わる基準・指標を整理することができた。観光レクリエーションに係る指標は基準 6 に主として関わるため、同基準を中心に考えることが重要と考えられた。また、①森林の基盤となる生態系の健全性や活力の確保（基準 3）を不可欠の大前提として、②生物多様性の保全（基準 1）における保護地域などにおける森林生態系の保全と観光レクリエーションとの関わりや、森林生態系の生産力の維持（基準 2）における山菜やキノコ、溪流魚などの非木質系林産物の適切な保全管理による観光振興の重要性が指摘できた。また、③森林がもたらす観光レクリエーションのための便益が保全・確保されているかを監視するために法令や組織体制の有無、経済的枠組みなど（基準 7）のチェックを同時に進めることが重要であることを指摘できた。

また、『我が国の森林と森林経営の現状 —モニトリオール・プロセス第 2 回国別報告書—（林野庁 2010）』に明記された観光レクリエーションに関わる指標の考察を通して、日本の観光レクリエーションに供される森林は自然公園（国土の約 17%）が最も大きく、その自然公園の利用は 1990 年代までは上昇傾向にあったものの 1990 年に約 100 万人の入り込みを記録して以降は頭打ちないしは微減の傾向にあること、森林観光レクリエーションに供される施設は現在も増加傾向にあることなどを、現状の指標からは読み取ることができた。そして、基準 6.4 以外の指標については、基準 7 の法令や施策（7.1a）、分野横断的な連携（7.2a）、法令遵守（7.3b）、市民参加（7.5a）などの指標に加え、森林生態系サービスのうち特に供給／文化的サービスに該当する保護地域における森林生態系のタイプ（1.1b）やキノコや木の実・山菜採りに関連する指標（2e）、森林が提供する環境便益等（6.1c, 6.2a）に係る指標等を複合的に見ていく必要があると考えられた。

最後に、我が国においては国家スケールで基準指標を検討するための数値が提示できる反面で、地域スケールにおける調査研究は十分とはいえないという現状が指摘できた。

キ 引用文献

後藤健（2010）モニトリオール・プロセスをめぐる動向．日本森林学会北海道支部論文集，58，1-6.
家原敏郎・光田靖（2007）森林計画区レベルの統計資料とモニトリオール・プロセスの基準・指

標の関係. 関東森林研究, 58, 45-48.

家原敏郎・光田靖 (2009) アメリカ合衆国におけるモントリオール・プロセスの基準・指標の適用. 関東森林研究, 60, 59-60.

家原敏郎・宮園浩樹 (2007) モントリオール・プロセス「基準・指標」の改訂—モントリオール・プロセス, ワーキンググループ第17回会合報告. 熱帯林業, 68, 74-82.

観光庁 (2010) 『平成22年版観光白書』, 日経印刷株式会社, 115-116.

Probstl U. (2010) Development of criteria and indicators for sustainable forest management in Austria. *International Forestry Review*, 12(5), 119.

林野庁 (2010) 『我が国の森林と森林経営の現状—モントリオール・プロセス第2回国別報告書一』. 林野庁, 136pp.

Shin W. S. (2010) Criteria and indicators of sustainable recreational forest in Korea. *International Forestry Review*, 12(5), 119.

森林総合研究所 (1997, 『「持続可能な森林経営のための基準・指標」の現状と問題点』. 森林総合研究所, 88pp.

田中伸彦・渡辺貴史 (2002a) 平地流域で観光レクリエーションの観点から森林管理が重要な場所の地形構造および土地利用構造. *日本林学会誌*, 84(4), 280-283.

田中伸彦・渡辺貴史 (2002b) 中山間流域における森林管理上重要な観光レクリエーション地域の構造. *ランドスケープ研究*, 65(5), 615-620.

吉田茂二郎 (2008) 現行の全国森林資源モニタリング調査と戦後のわが国の森林資源調査について. *日本森林学会誌*, 90(4), 283-290

(田中伸彦)

7. 複数の基準・指標による森林機能の評価

ア 研究目的

1992年の国連環境開発会議において、国際的に権威のある森林管理についての初めての世界的合意である「森林原則声明」およびその具体的な行動計画である「アジェンダ 21」が採択された。このような経緯で各国は持続可能な森林管理を実践し、科学的な手法で森林に関する「基準・指標」を常に測定し評価を行って、森林の保全に努めるという合意ができあがった（藤森 1996, 2002, 家原 2004）。なお、「基準（Criterion）とは持続可能な森林管理を議論するとき、どのような面において議論するか、の側面または分野の範囲のことであり、指標（Indicator）とは基準の内容や状態を客観的に示すものである」（藤森 1996）と定義される。アジェンダ 21 をうけて世界中で国際的な基準・指標作りが始まり、国連の国際熱帯木材機関（ITTO）が基準・指標を制定したのに続き、ヨーロッパ森林保護閣僚会議プロセス（現フォレスト・ヨーロッパ、通称：ヘルシンキ・プロセス）や、日本も参加している環太平洋温帯諸国のグループであるモントリオール・プロセスなど、持続可能な森林管理に関する基準・指標グループが作られた。これまで日本はモントリオール・プロセスの枠組みの中で、平成 15 年および平成 21 年に国別レポートを作成し、基準・指標から評価した森林の現状およびその変化を報告している。

基準・指標の報告体制が整いつつある一方で、多岐にわたる基準・指標をどのようにして統合的に評価するのか、基準・指標による評価をどのように実際の森林管理へ取り込むのかという問題が盛んに議論されている（光田ら 2009）。個々の指標を見ているだけでは、持続的森林管理の目指している森林の多面的機能が偏りなく発揮されている状態にあるかどうかの判断はできない。また、基準間および指標間にはトレードオフの関係にあるものもあり、単純に全ての指標について向上や悪化に着目しても同様である。さらに、基準・指標を単にモニタリングしているだけで持続的森林管理が達成できるわけではないとの指摘（渡邊 2007）は重要である。基準・指標のモニタリングは持続的森林管理に向けた PDCA サイクルの一環であって、その前提となる持続的森林管理を達成するための森林計画が不可欠である。そこで本節では、複数の基準・指標によって森林機能の評価を行い、その評価を実際の森林管理へ適用する手法を開発することを目的とする。

イ 研究方法

ここでは、まず森林機能の評価方法について論じ、次に持続的森林管理に向けた複数の基準・指標による森林機能評価に基づく森林計画手法の枠組みを提示し、最後に具体的なデータを用いた事例研究によって今回提示する森林計画手法の優位性について議論する。

複数の基準・指標を総合化して森林機能の評価する手法として、全ての指標に何らかの変換や重み付けを与えて少数の指数へと統合するという手法がある（例えば、Reynolds et al. 2003）。ただし、これらの手法においては指標の変換方法や重み付け方法について考慮すべき点が多い。森林の多面的機能を少数の指数で統合的に評価するという事は、何らかの価値基準に基づいて、それぞれの基準および指標を同一軸上で評価し、優先順位づけることに他ならない。この価値基準は個々によって大きく異なるものであり、また時代と共に変化するものでもある。このことは森林の機能を統一的に評価する上では不可避な性質であり、そのため総合化した指数は大きな振れ幅を持つことになる。基準・指標を森林管理における意志決定に応用することが求められてい

る (Prabhu et al. 1996, Varma et al. 2000) ことから、何らかの総合的な指数によって森林の多面的機能を評価するよりも、それぞれの基準・指標の指標値をそのまま使い、様々な価値基準に基づいて森林計画を策定および評価する手法を開発することが有効であると考え。このような議論に基づき、ここでは複数の指標についてその相対的な優先度を操作することによって、様々な価値基準に基づいた森林計画を可能とする森林計画手法を提案する。実際の森林管理にあたっては、この森林計画手法によって様々な価値観に基づく森林計画の代替案が複数策定され、有権利者が集まった円卓会議でどの代替案を選択するのかが話し合われるといったプロセスを想定している (図 4-5-1)。

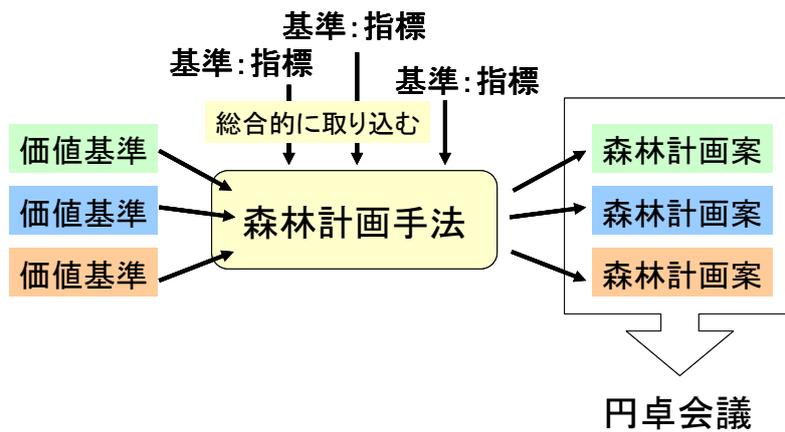


図 4-5-1 様々な価値基準に基づく森林計画手法

複数の基準・指標による森林機能の評価を取り込んだ森林計画手法開発のために、まず、森林計画における計画段階および空間スケールについて整理する。森林計画における計画段階については戦略レベル、戦術レベルおよび実行レベルの3段階に定義されることが一般的である (Næsset 1997, van Raffe 2000, Pukkala 2002)。一方で、空間スケールについては地域レベル、団地レベルおよび林分レベルの3段階に定義するのが適当であると考えられる (光田ら 2009)。これらの計画段階と空間スケールを組み合わせることによって、森林計画の対象が明確になり、個々の計画対象 (例えば、地域レベルにおける戦略レベルの森林計画) について適切な森林計画手法を選択することで持続可能な森林管理が達成可能となる。また、このような階層構造的な計画対象の分類を適切に組み合わせることによって、空間スケールをまたいで一貫した森林計画が可能となり、最終的に地域全体の森林について多面的機能がバランスのとれた状態へと誘導することが可能になる。本節では、以下に述べる2つの計画対象に着目し、それぞれについて適用する森林計画手法を選定して、複数の基準・指標による森林機能の評価を取り込んだ森林計画手法を開発する (表 4-5-1)。上位の森林計画として、地域レベルの空間スケールにおける森林資源の配置といった戦略レベルの計画を取り扱い、森林計画手法としてゾーニングを適用する。その下位の森林計画として、団地レベルの空間スケールにおける伐採林分の選定といった戦術レベルの計画を取り扱い、森林計画手法として収穫規整を適用する。

表 4-5-1 森林計画対象の階層的整理

空間スケール	計画段階		
	戦略レベル	戦術レベル	実行レベル
地域レベル	ゾーニング		
団地レベル	収穫規整		
林分レベル			

地域スケールの戦略的森林計画においては、地域森林景観全体の多面的機能についてバランスを取ることに主眼をおいて、どこでどのような主目的で森林管理を行うのかといった森林管理目的（例えば、木材生産、生物多様性保全、水土保持）を空間明示的に配置していく。具体的には、10,000 ha 程度の流域を対象範囲とし、その流域を構成する小流域（100 ha 程度）を単位として、流域全体のバランスをみながら各小流域に森林管理目的を割り当てていく。一方で、団地スケールの戦術的森林計画においては、多面的機能のバランスをとることを制約条件として、より具体的な森林配置を時間要素も含めて計画していく。具体的には、100 ha 程度の小流域を対象範囲として、その小流域に含まれる林分（数 ha を想定）をいつ皆伐するのか、また皆伐後に再造林するか広葉樹林化するかを計画する。このような階層的な森林計画手法をどのように実装するのか、またその利点については以下で述べる。

以下では、複数の基準・指標による森林機能の評価を取り入れたゾーニングおよび収穫規整について、データを用いて具体的な手法の説明を行う。対象地域は茨城県北茨城市および高萩市であり、使用データは国土地理院が発行する 50m 解像度の数値標高モデル（DEM）および気象庁が発行する 1km 解像度の気象データである。DEM を使って地形解析を行い流域およびその構成要素である小流域を区画し、気象データから区分される冷温帯域に属する部分を抽出して、80 個の小流域からなる約 19,000ha の流域を対象域とした（図 4-5-2）。

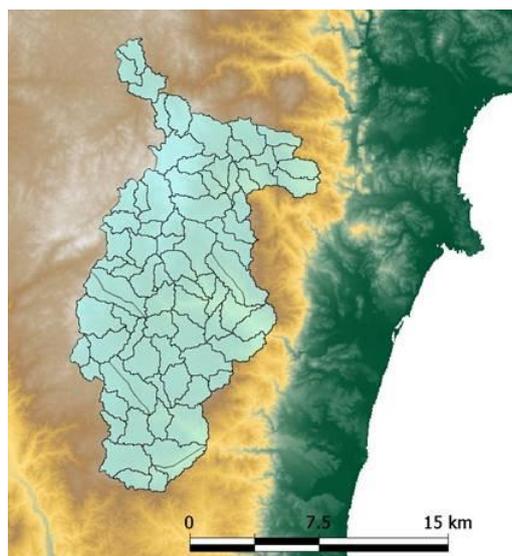


図 4-5-2 対象地

1) 地域スケールの戦略的森林計画手法：森林管理目的ゾーニング

地域スケールの戦略的森林計画である森林管理目的ゾーニングにおいては、広域の森林景観について森林管理の方針について基本的な戦略を提示するという意味から、理想的な森林配置の設計を目標とする。ここでは各小流域に設定する主たる森林管理目的を木材生産、保全（生物多様性保全および水土保全）および両者の調和の3種類とした。木材生産という森林管理目的に対しては、比較的短い伐期での人工林施業もしくは長伐期でも間伐の頻度を高くする施業を想定している。施業による人為攪乱の頻度が高い人工林においては、生物多様性を保全する機能には限界があり、また土壌が攪乱される危険性も高い。よって、対局として天然生林の維持・再生によって生物多様性を保全し、人為的な土壌攪乱を防ぐことを想定して保全という森林管理目的を設定した。ただし注記したいのは、小流域にある森林管理目的が割り振られた場合、その小流域にある全ての森林をその目的に沿って管理するというわけではないということである。例えば、ある小流域に木材生産が管理目的として割り振られた場合、全ての林分を人工林として木材生産に特化した管理をするわけではなく、小流域内に存在する各林分の取り扱いについては下位の団地スケールにおける戦術的森林計画で対応する。ただし、その際には上位計画で割り振られた木材生産という管理目的に重点が置かれることになる。このような階層的な森林計画によって、流域全体で多面的機能がバランス良く働くよう図ることと、個々の林分をどのように取り扱うのかを一貫して結びつけることが可能となる。

木材生産と保全という対立する森林管理目的について、ゾーニングを行うための指標を設計する。森林管理目的ゾーニングは理想的な森林配置を目標としているため、森林の状態に依存するものや人為的に改変できるものを除外し、気象や地形といった森林機能に関わる自然立地条件を指標として用いる必要がある。木材生産という管理目的は木材生産機能を最大限に高めることをゴールとすることから、土地の持つ生産力が高く、かつ自然災害を受けにくい立地に対して木材生産を管理目的として割り振ることが妥当であろう。そこで、基準「森林生態系の生産力の維持（モントリオール・プロセス（MP）基準2）」の指標として土地生産力および、基準「森林生態系の健全性と活力の維持（MP基準3）」の指標として風害危険度を用いた。保全という管理目的については、本研究においては生物多様性保全機能についてのみ着目し、対象地域に成立しうる潜在自然植生タイプのための生息環境を確保することをゴールとした。そこで、基準「生物多様性の保全（MP基準1）」の指標としてブナ林成立適性を用いた。なお、ブナ林成立適性を指標として用いたのはブナ林を特別視している分けではなく、既往の研究（Matsui et. al. 2004）によって成立適性の立地依存性の知見があるためであり、ブナ林成立適性の高さに応じて潜在自然植生タイプが変わるという考え方に基づいている。

森林管理目的ゾーニングに用いた指標についてここで簡単に述べる。土地生産力は炭素循環に基づく気象要因（日射、大気飽差および気温）による成長モデル（Mitsudaら 2010）を用いて、標準的な40年生の林分があった場合の年間純一次生産量によって表現した。ただし、気象因子は1km解像度であるため、50m解像度の地形によって補正を加えた。風害危険度は、第3章第1節で述べた気象モデルによって1km解像度で再現された3つの台風（1959年15号、1981年15号、1991年19号）における最大風速を、50m解像度の地形によって重み付けして評価した。ブナ林成立適性は航空写真から判読したブナ林／非ブナ林データを元に気象因子および地形因子から、ブナ林である確率を統計モデルによって構築し、その確率を指標値とした。これら3つの指標は50m解

像度で評価した後、各小流域について平均した。

土地生産力、風害危険度およびブナ林成立適性によって各小流域の木材生産機能および生物多様性保全機能を評価し、これを元に森林管理目的ゾーニングを行う。まず、小流域をブナ林成立適性の値によってブナ優占度高、中、低の3区分し、潜在自然植生タイプとみなした。この潜在自然植生タイプ別に、土地生産力および風害危険度をXY軸とする平面上に各小流域をプロットする。この評価グラフ上にしきい値を与えて、各小流域に森林管理目的を割り振る（図4-5-3）。基本的な考え方としては、土地生産力が高く、風害危険度が低い小流域に対して木材生産を割り当て、逆の立地については保全を割り当てる。しかし、どの程度の水準でしきい値を与えるのか、土地生産力は高いが風害危険度も高い小流域についてどちらを割り振るのかといった問題は、計画策定に関わる有権者の価値基準による。重要なことは、有権者の様々な価値基準に応じてしきい値を変動させることにより、その価値基準に従ったゾーニングが可能になるという点である。ここで提示した方法によって、科学的な森林機能評価に基づきつつも、様々な価値基準に応じたゾーニングが可能となり、より合理的に成果物であるゾーニングマップを比較検討できる。

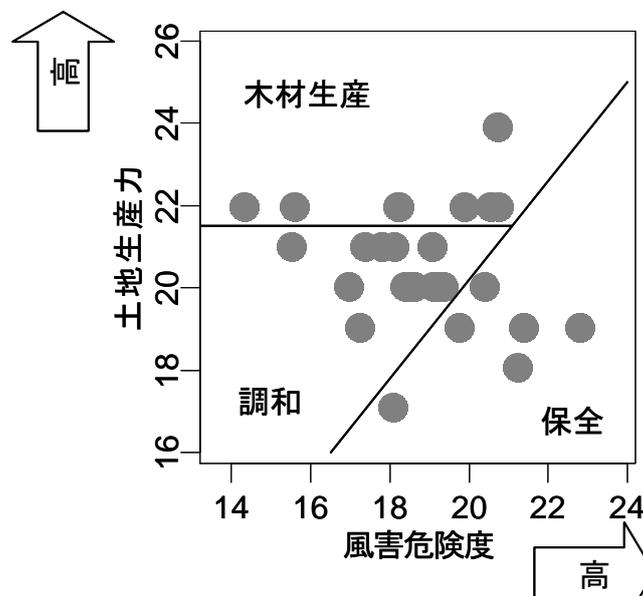


図 4-5-3 土地生産力と風害危険度によるゾーニングの概念図

2) 団地スケールの戦術的森林計画手法：多面的機能を考慮した収穫規整

団地スケールの戦術的森林計画である収穫規整においては、森林経営の単位である団地（作業級）の森林管理を具体的に計画するという意味から、具体的な林分の時系列伐採計画策定を目標とする。持続的森林管理の一要素として持続的な木材生産がある。これは過度の伐採により将来的に収穫可能な林分がなくなることとを避けるとともに、激しい生産量の変動を避けて安定的な木材の供給を可能とすることを意味する。団地スケールの戦術的森林計画においては、持続的な木材生産とその他の多面的機能の保全を両立することが求められる。古典的な収穫規整では持続可能な木材生産量を最大にするのみに関心が持たれていた。しかし、近年では木材生産機能とトレードオフ関係にあるその他の機能とのバランスを取ることを考慮して、様々な制約条件を付けた上で持続可能な木材生産量を最大化する手法が開発されている。本研究においてもそのよう

な収穫規整方法を採用し、水土保全機能および生物多様性保全機能の面から指標を使って制約条件をかける。ここで制約条件の強さによって計画策定に関わる有権者の価値基準を反映することができる。生物多様性保全機能や水土保全機能に高い優先度が付けられるならば、それだけ伐採許容に対して制約がきつくなり、伐採量は小さくなることになる。ただし、価値基準に従って制約条件を設定する際には、上位計画がより強い制約としてあることに注意が必要である。地域スケールの戦略的森林計画である森林管理目的ゾーニングによって木材生産を管理目的として設定された小流域においては、他の機能から制約は受けるものの、持続可能な木材生産量のある程度は高く維持することが求められる。逆に、保全を管理目的として設定された小流域においては、制約条件を厳しくすることが求められ、結果として持続可能な木材生産量は抑えられる。このような上位計画による制約は個々の団地における意志決定に足かせをかけるように見えるが、個々の林分の取り扱いを地域全体における多面的機能の維持、増進に結びつけることを可能としている。このような階層的な森林計画によって、地域スケールから林分スケールまで一貫した思想で森林管理することが可能となる。

多面的機能を考慮した収穫規整を適用するための制約条件としての指標を設計する。持続可能な木材生産量は木材生産機能に関する制約条件であり、その指標である。水土保全機能に関する制約条件として、隣接する林分が伐採された場合に伐採が許可される経過年数（以降、隣接制約年数と称す）を用いる。これは伐採面が連続することによって大規模な土壌攪乱が生じる可能性を避けるための制約であり、隣接制約年数が長くなるほど伐採可能な林分が少なくなることを意味する。生物多様性保全機能に関する制約条件として、人工林を伐採した後に天然生林へと転換する面積（以降、天然生林転換面積）を用いる。これは人工林が大部分を占める森林景観において低下した生物多様性を回復させるための制約条件であり、天然生林転換面積が大きくなると将来的に木材生産を行う人工林が減少するため木材生産量が低下することを意味する。ここで改めて整理すると、多面的機能を考慮した収穫規整を行うために、木材生産機能と関連して、基準「森林生態系の生産力の維持（MP 基準 2）」の指標として持続可能な木材生産量、水土保全機能と関連して、基準「土壌及び水資源の保全と維持（MP 基準 4）」の指標として隣接制約年数、生物多様性保全機能と関連して、基準「生物多様性の保全（MP 基準 1）」の指標として天然生林転換面積を用いる。上位の森林管理目的ゾーニングによって設定された管理目的に従いつつ、様々な価値基準に従って隣接制約年数および天然生林転換面積を設定して収穫規整手法を適用することで、どの林分をいつ伐採して、その後の取り扱いをどうするのかについて時系列的な計画が策定され、また持続可能な木材生産量が定まる。さらに、ここで用いられる 3 つの指標はいずれも具体的な意味を持つ数値であり、様々な価値基準に基づく計画代替案をより客観的に比較することを可能とし、どの代替案を選択するのかを意志決定する要因ともなる。

隣接制約年数および天然生林転換面積を設定し、持続可能な木材生産量の最大化を目的として多面的機能を考慮した収穫規整を行う。本研究で採用した収穫規整手法は ROHO-PATH アルゴリズム (Yoshimoto 2001) である。地域レベルで対象とした流域から、一つの小流域 (423 ha) を抽出し、任意に 100 林分へと分割した。15 林分をランダムに抽出して草地と天然生林分とし、残りをスギ人工林としてランダムに初期林齢を与えた。各林分の初期状態および成長は前出のモデル (Mitsuda et al 2010) を利用して推定した。計画期間は 5 年を 1 分期として、持続可能性を考慮するために 100 年、20 分期とした。ここでは制約条件の影響をみるために、森林管理目的ゾーニ

ングの結果にかかわらず、制約のない場合、隣接制約年数を 10, 15, 20 年と設定した場合、隣接制約年数を 20 年として天然生林分転換面積を全体の 20% から 50% まで 10% 刻みで設定した場合について ROHO-PATH アルゴリズムを適用し、最適な林分伐採のスケジュールを設計すると共に、その時の持続可能な木材生産量を比較した。

ウ 結果

1) 地域スケールの戦略的森林計画手法：森林管理目的ゾーニング

森林管理目的ゾーニングを行った例について、ゾーニングの手順に従って結果を示す。まず、対象流域について 50m 解像度で土地生産力、風害危険度およびブナ林成立適性の 3 つの指標を計算した (図 4-5-4)。次に、各指標を小流域ごとに集計した (図 4-5-5)。ここでブナ林成立適性については 3 区分にして潜在自然植生タイプ (ブナ優占度：高、中、低) としている。次に潜在自然植生タイプごとに小流域を抜き出し (ここではブナ優占度：中について示す)、土地生産力および風害危険度を XY 軸とした平面上に小流域を位置づけた (図 4-5-6)。この平面上に価値基準に従ってしきい値を線分として与えて区画することで、小流域に森林管理目的を割り振った (図 4-5-7)。ここで、参考のためにしきい値を変えてゾーニングを行った例を示す (図 4-5-8)。比較的バランスを重視した先の例と比べて、保全を重視した価値基準に従って風害危険度が高くなると土地生産力が高くても森林管理目的が保全となるようなしきい値を設定した。最後に、3 つの自然植生タイプごとにゾーニングした結果を結合して、流域全体のゾーニングを完成させた (図 4-5-9)。

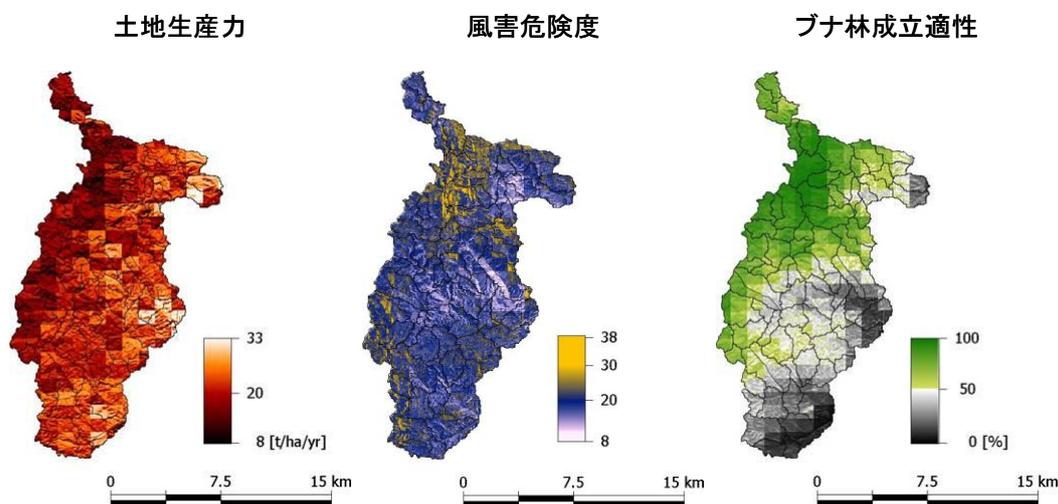


図 4-5-4 50m 解像度で評価した指標値の空間分布

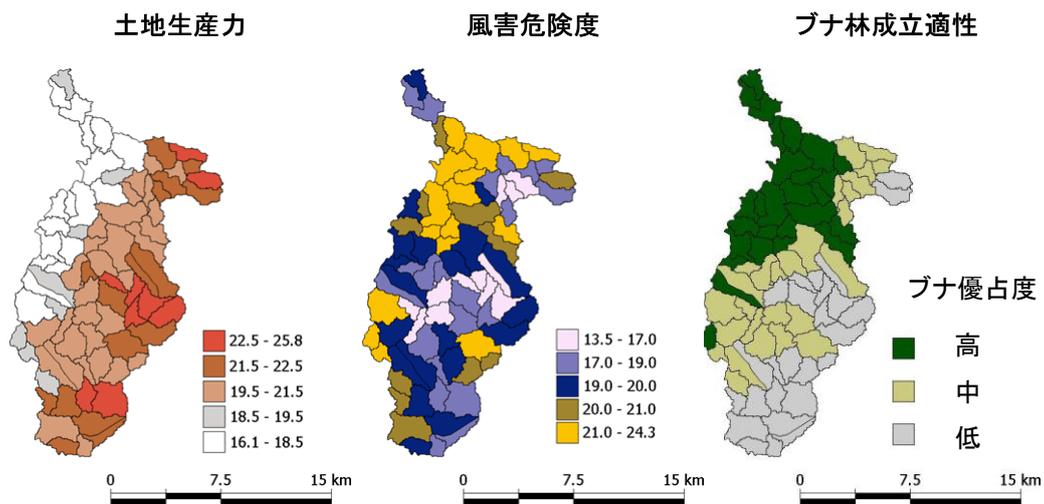


図 4-5-5 各指標値による小流域の評価

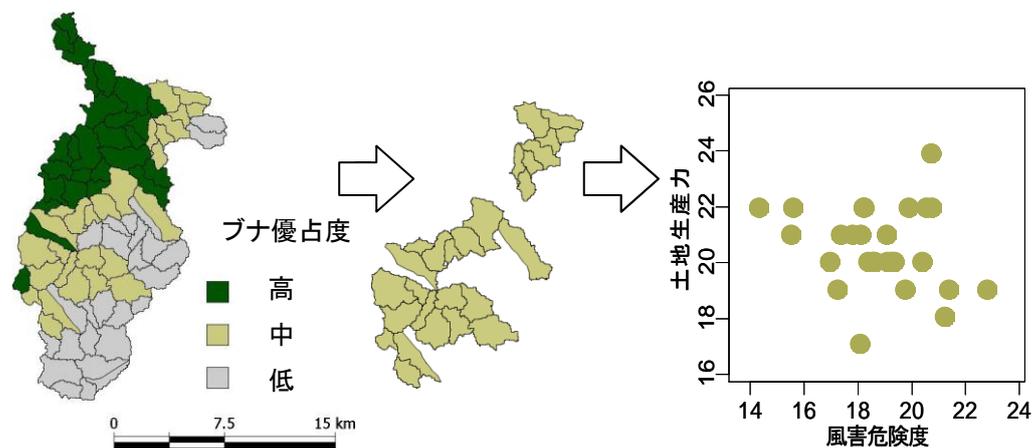


図 4-5-6 土地生産力と風害危険度による小流域の評価 (ブナ優占度：中)

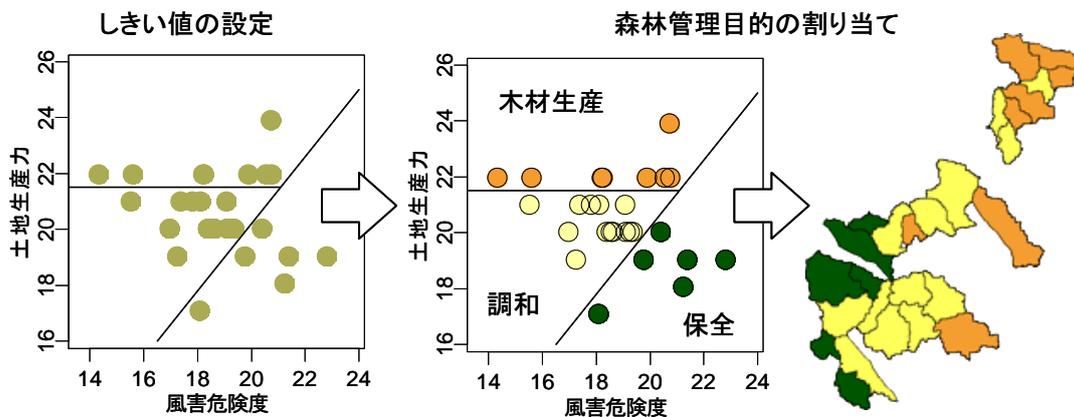


図 4-5-7 しきい値による森林管理目的の割り当て (ブナ優占度：中)

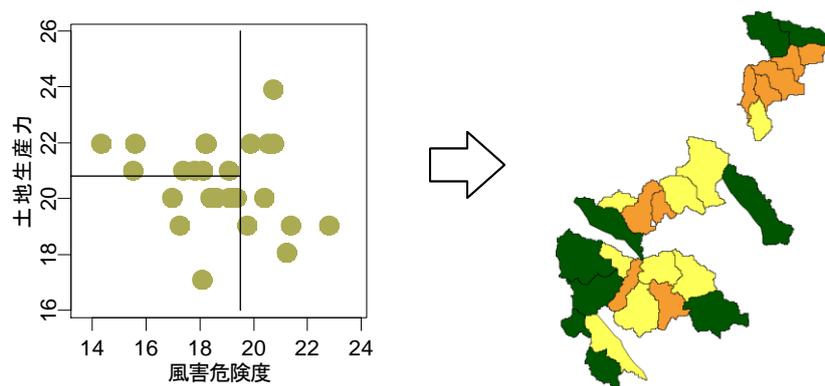


図 4-5-8 しきい値の違いによるゾーニング結果の違い（ブナ優占度：中）

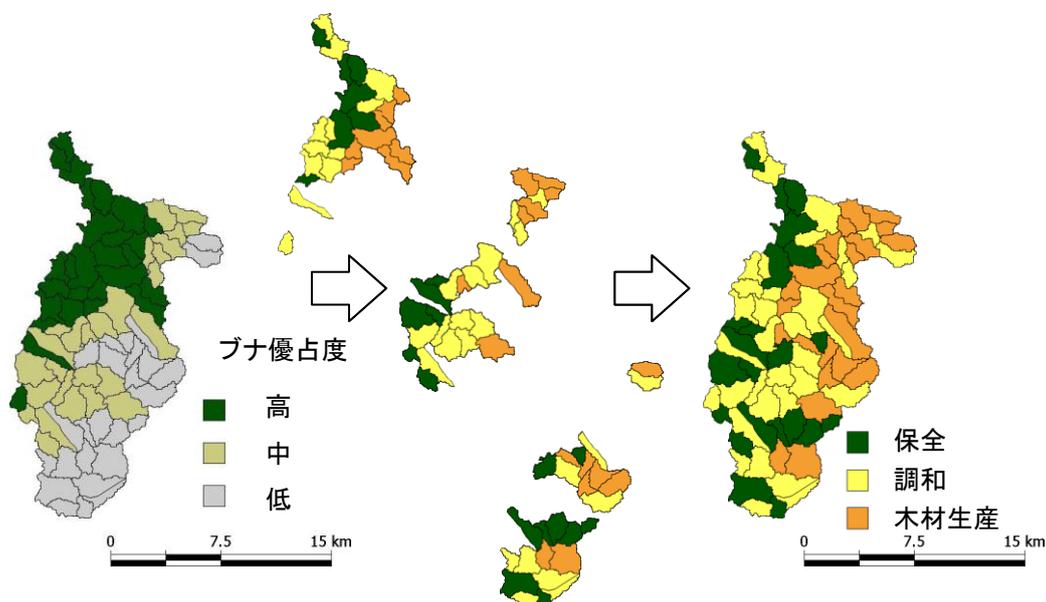


図 4-5-9 流域全体のゾーニング結果

2) 団地スケールの戦術的森林計画手法：多面的機能を考慮した収穫規整

多面的機能を考慮した収穫規整を行った例について、隣接制約年数を 20 年、天然生林転換面積を全体の 30%とした場合の景観動態を示す（図 4-5-10）。なお、この制約条件における持続可能な木材生産量は 1 分期あたり 11,000m³であった。次に、隣接制約年数および天然生林転換面積の制約が全くない場合から、制約条件を厳しく変化させた場合の期間伐採量を示す（図 4-5-11）。今回の例では隣接制約年数が 10 年ではあまり影響はなかったが、15 年となると持続可能な木材生産量は落ち込み、20 年ではさらに大きく低下して、制約無しの 16,000 m³から 11,000 m³となった。隣接制約年数 20 年制約に天然生林転換面積を追加したところ、持続可能な木材生産量は 20%および 30%で変わらなかったものの、40%および 50%では 10,000 m³と低下した。今回の例では天然生林転換面積は強い制約と見えないように見えるが、実際には隣接制約年数 20 年の制約がかかった時点で伐採が大きく制限されることによると考えられる。

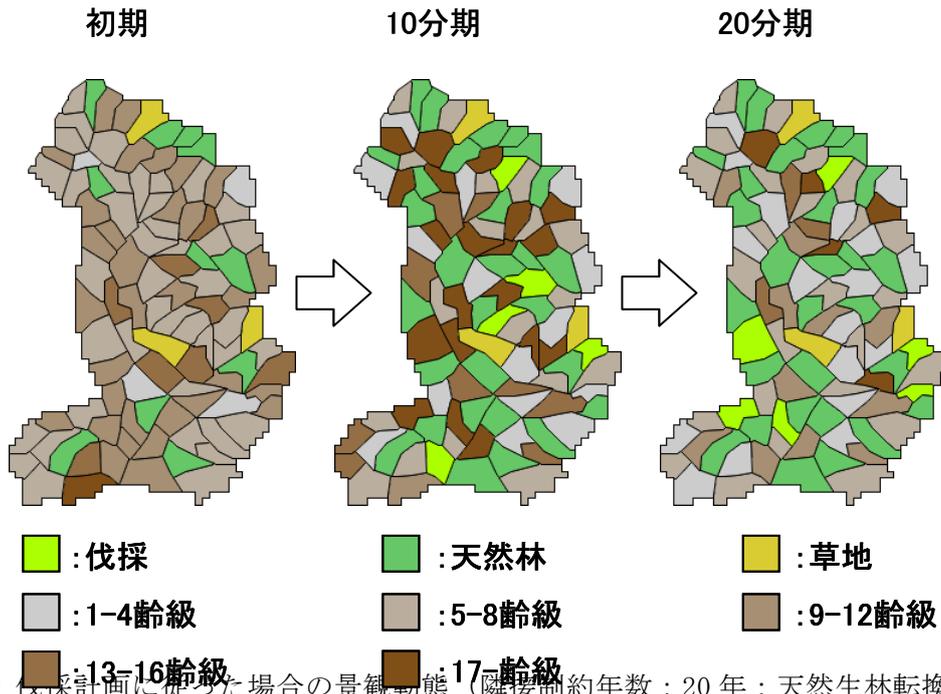


図 4-5-10 伐採計画に従った場合の景観動態（隣接制約年数：20年；天然生林転換面積：30%）

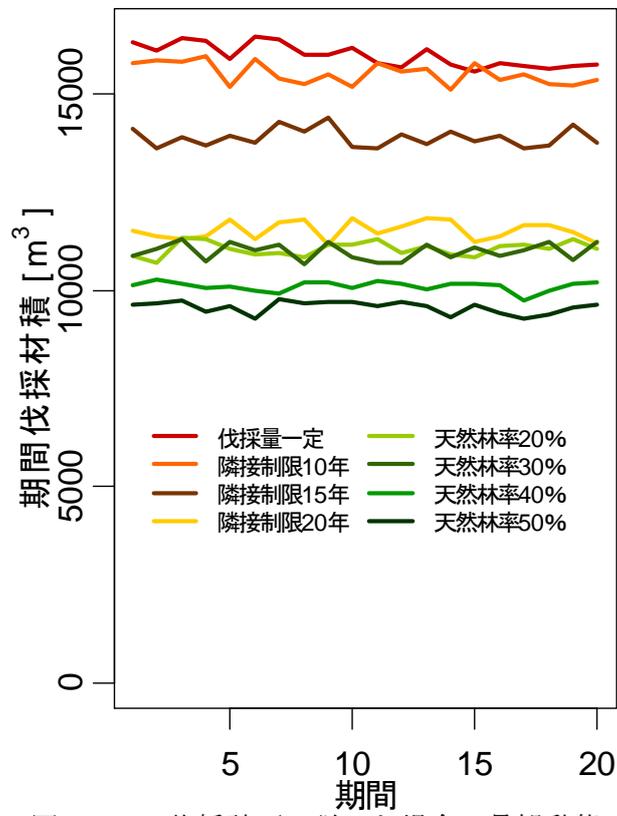


図 4-5-11 伐採計画に従った場合の景観動態

エ 考察

本研究においては、複数の基準・指標を用いた森林機能評価を取り入れた、森林計画手法を開発した。本計画手法を用いることによって、複数の基準・指標を様々な価値基準の下で総合的に評価し、その結果としての森林計画を策定することが可能となった。持続的な森林管理の目標は森林の多面的な機能が偏りなく、永続的に高い水準で維持されることである。ただし、多面的な機能のバランスを考えると、社会的な状況や価値観のトレンドによって機能の優先度は変化するものであり、それを森林計画策定においても取り入れる必要がある。本研究で開発した森林計画手法においては、機能間の優先度を具体的な数値で表現することが可能であり、またその結果が計画案として即座に反映される。このような手法は森林管理に関わる有権利者が多数にわたる場合に、意志決定を支援するうえで有効であると考えられる。

今回提示した階層的な森林計画手法は、地域全体として多面的機能がバランス良く発揮されるような地域レベルの森林配置計画と、個々の林分の取り扱いを有機的に結合することを可能とする。森林の多面的な機能が偏りなく発揮されるような持続的な森林管理を考える場合、一つの林分であらゆる機能を高く維持することは不可能であることから、その対象は個別の林分ではなくてある程度の広がりを持った森林となる。本研究においては、地域レベルの戦略的森林計画において理想的な森林配置を設計する森林管理目的ゾーニングを行い、団地レベルの戦術的森林計画において具体的な伐採計画である多面的機能を考慮した収穫規整を行った。ここで上位レベルとしての理想的な森林配置計画が、下位の具体的な時系列伐採計画における制約条件として機能することで、ある林分をいつ伐採するのかという計画が、地域全体の多面的機能を向上させる計画に一貫した思想の元で統合される。このような点において、階層的な森林計画手法は有効であり、森林管理目的ゾーニングと多面的機能を考慮した収穫規整の組み合わせは有効である。

モントリオール・プロセスなど活動により、基準・指標による森林モニタリングの重要性が再認識され、様々なレベルで実行されるようになってきた。しかし、モニタリングは持続的な森林管理のための PDCA サイクル (Rausher ら 2000) の一部分である。先に述べたように、モニタリングを行えば持続的な森林管理が達成されるということではなく (渡邊 2007)、PDCA サイクルの P にあたる森林計画において持続的な森林管理を達成できる計画を策定することが重要である。そのためには、本研究で用いたような森林計画に利用できる指標を開発することが不可欠である。本研究において提示した森林計画手法において導入した指標は森林計画のための指標 (Kneeshaw ら 2000) であり、モントリオール・プロセスで用いられているようなモニタリングのための指標とは性格を異にする。例えば、MP 基準 2 における指標の一つとして「2.b 木材生産に利用可能な森林における商業樹種及び非商業樹種の総蓄積及びその年間増加量」があるが、この指標は地域の森林について木材生産機能の向上・劣化をモニタリングする指標にはなるものの、森林管理目的ゾーニングを行うための指標にはなり得ない。Maness & Farrell (2004) は計画指標には目標となる将来の状態 (Target)、計画案策定のためのしきい値 (Threshold)、および意志決定要因 (Trigger) という 3 つの役割があると論じている。森林管理目的ゾーニングにおいて森林の機能をポテンシャル評価するために用いた指標は、計画案策定のためのしきい値として機能している。一方で、多面的機能を考慮した収穫規整における指標は制約条件、すなわち計画案策定のためのしきい値として機能する一方、代替案の選択における意志決定要因としても働いている。このように森林の機能を評価する指標には、モニタリングのための指標も含め、様々な性格があり、用

いられる場面によって必要とされる性格が異なる。場面にあわせた適切な性格をもった指標を用いることが肝要である。

オ 今後の問題点

本研究においては、複数の基準・指標を用いた森林機能評価を取り込んだ森林計画手法について、概念モデルとそれに従った実例を提示した。日本の私有林では、小規模分散型の森林所有であることから、森林管理における有権利者が膨大な数に上る状況であり、今回の手法をそのまま適用することは困難かもしれない。しかし、森林林業再生プランで示された、団地集約化の考え方やフォレスター、プランナーの制度は、ここで示した手法と親和性の高いものである。フォレスターは地域レベルの森林配置を計画し、プランナーは集約化された団地の生産計画を担当する。その場合に、本研究において開発した階層的な森林計画手法は非常に有効であると考えられる。今後は、新たな森林林業再生プランの浸透にあわせて森林計画の重要性を啓蒙すると共に、より科学的な森林計画手法を普及していくことが必要である。

カ 要約

複数の基準・指標による森林機能の評価を行い、様々な価値基準に基づいて森林計画を策定する手法を開発した。開発した手法においては、地域レベルの戦略的森林計画である森林管理目的ゾーニングと、団地レベルの戦術的森林計画である多面的機能を考慮した収穫規整を階層的に組み合わせた。茨城県北茨城市および高萩市を対象として、実データに基づく適用例を示した。森林管理目的ゾーニングにおいては、土地生産力、風害危険度およびブナ林成立適性を評価指標として、木材生産、保全、およびその調和という森林管理目的をゾーニングする手法を提示した。多面的機能を考慮した収穫規整においては、隣接関係による伐採の制約および伐採後に天然生林へと再生する面積を制約条件として、持続可能な木材生産量を最大化するような伐採スケジュールを定める手法を提示した。このような階層的な手法によって、地域全体において森林の多面的機能を偏りなく発揮させるような森林配置計画と、個々の林分における伐採計画が有機的に結合され、持続的な森林管理の実践に有効であることが議論された。

キ 引用文献

- 藤森隆郎 (1996) 「持続可能な森林経理」にむけて—なぜ今「持続可能な森林経営」なのか—。森林科学, 16, 57-58.
- 藤森隆郎 (2002) 新たな森林管理技術の構築—多様な機能の発揮に向けて—。森林計画誌, 36, 99-112.
- 家原敏郎 (2004) 森林・林業分野における「持続可能な森林経営」概念および「基準・指標」による多面的な機能の保全。農村計画誌, 22, 299-306.
- Kneeshaw, D. D., Leduc, A., Drapeau, P., Gauthier, S., Paré, D., Carignan, R., Doucet, R., Bouthillier, L., and Messier, C. (2000) Development of integrated ecological standards of sustainable forest management at an operational scale. For. Chron., 76, 481-493.
- Maness, T., and Farrell, R. (2004) A multi-objective scenario evaluation model for sustainable forest management using criteria and indicators. Can. J. For. Res., 34,

2004-2017.

Mitsuda, Y., Hosoda, K., Iehara, T. and Matsumoto, M. (2010) Parameterization of a process-based forest growth model using long-term yield survey plot data for predicting carbon sequestration in *Cryptomeria japonica* plantations. (Hoch, E. and Grunwald, S. (eds) Carbon Sequestration: Methods, Modeling and Impacts. Nova Science Publishers Inc, New York, USA) 175-201.

光田 靖・家原敏郎・松本光朗・岡 裕泰 (2009) 基準・指標の理念に基づく森林計画手法に関する検討. 森林計画誌, 42, 12-14.

Næsset, E. (1997) A spatial decision support system for long-term forest management planning by means of linear programming and a geographic information system. Scand. J. For. Res., 12, 77-88.

Prabhu, R., Colfer, C. J. P., Venkateswarlu, P., TAN, L. C., Soekmadi, R., and Wollenberg, E. (1996) Testing criteria and indicators for the sustainable management of forests: Phase 1 final report. Center for International Forestry Research, Jakarta, 217pp.

Pukkala, T. (2002) Introduction to multi-objective forest planning. (Pukkala, T. (ed.) Multi-objective forest planning, 207pp, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht), 1-20.

Matsui, T., Yagihashi, T., Nakaya, T., Tanaka, T., and Taoda, H (2004) Climatic controls on distribution of *Fagus crenata* forests in Japan. J. Veg. Sci., 15, 57-66.

Reynolds, K. M., Johnson, K.N., and Gordon, S.N. (2003) The science/policy interface in logic-based evaluation of forest ecosystem sustainability. For. Pol. Econ, 5, 433-446.

Rauscher, H. M., Lloyd, F. T., Loftis, D. L., Twery, M. J. (2000) A practical decision-analysis process for forest ecosystem management. Comput. Electron. Agric., 27, 195-226.

van Raffe, J. K. (2000) Tactic - A decision support system for forest management planning. Comput. Electron. Agric., 27, 413-415.

Varma, V. K., Ferguson, I., and Wild, I. (2000) Decision support system for the sustainable forest management. For. Ecol. Manage., 128, 49-55.

渡邊定元 (2007) 持続可能な森林経営・管理とは何か. (森林施業研究会編 主張する森林施業論, 日本林業調査会), 23-45.

Yoshimoto, A. (2001) Potential use of a spatially constrained harvest scheduling model for biodiversity concerns: exclusion periods to create heterogeneity in forest structure. J. For. Res., 6, 21-30.

(光田 靖・家原敏郎)