

森林の継続調査と成長量の地域間比較

Applicability of Continuous Forest Inventory to Regional Planning and Growth Comparison among Forest Planning Units

松村直人

Matsumura, Naoto

キーワード: CFI、NFI、成長モデル、地域森林計画、林分形数、四国地方

要約: 森林調査法の概要を振り返り、最近の傾向や特徴を分析した。また、四国地域の森林計画区を対象に、地域別森林成長モデルの作成を行い、固定試験地の成長資料を利用した長期予測モデルの検証や精度向上の可能性を検討した。さらに、この地域別モデルを基本モデルとして利用することによって、広域あるいは小流域森林の成長予測への応用や暫定プロット調査の補完的利用による地域森林計画への応用の可能性について明らかにした。

Abstract: Following the history of forest inventory, the outline of recent trends and characteristics is reported. As an example, for Shikoku regional forest planning units, local forest growth models are derived and their applicability for precise prediction over the long term horizon is discussed by using growth data from permanent and temporary plots. For the use in regional forest planning, conjunction with various sampling and yield plots data is recommended with these local models as a basic model. It would be applied to multi-regional planning, and fill information gaps.

はじめに

近年、世界的な「持続可能な森林経営」への関心の高まりとともに、その「持続可能性」の評価のために、各種の具体的、かつ数値的な指標が求めら

れている。国レベルでの基準・指標としては、モンリオール・プロセスで合意された7基準、67指標がある（林野庁1995a）。その中でも森林資源に関するものとしては、森林タイプごとの面積、年齢別面積（基準1：生物多様性の保全関連）、木材生産に利用可能な森林面積、総蓄積、持続可能と決定される量と比較した年間伐採量（基準2：森林生態系の生産力の維持関連）などがある。

平成11年度より全国で始まった「森林資源モニタリング調査」（家原1999、家原・埜田1999）では、全国一律に4kmメッシュによって調査定点を選定している。調査内容は森林資源関係のものが中心であるが、種多様性や森林の健全度に関する項目も含め、森林環境調査とも呼べる特徴を持っている。このような試みは全国統一基準でもって、日本の森林資源を評価し、その評価手法や推定誤差を公開しようとするものである。また、北海道と高知県で始まった林野庁事業の中では全国規模のモニタリングを補完する意図もあり、石狩川と四万十川流域で森林生態系調査を実施している（加藤・対馬1999、松村ら1999a、b）。

このように全国の森林の一部ではあるが、定点観測網が整備されつつあり、今後の森林状態の変化が測定される。しかし、費用、労力、時間的制約などから、特定の生態系に重点を置くなり、固定試験地などの過去のデータが利用できる場所ではデータを補完し、集中的に取り組む、などの対応策を必要としている。ここでは、森林資源の時間的変化に関して「持続可能性」の評価指標を検証する際に、全国レベルの数少ない調査点を補完し、地域森林計画の重要な基礎資料となる森林の継続調査資料に注目し、資源データの採取と成長解析、ならびに成果の地域へのフィードバックについて考察する。

森林調査小史

1. 調査の概要

ここで、森林資源調査に関するこれまでの経過を振り返ってみる（松村1997b）。資源調査と考えられるものの中でも、狭義の資源調査（インベントリー、サンプリング調査）と毎木調査、悉皆調査としての収穫調査に大別

する。大面積森林をサンプリング調査することによって、その資源内容を推定しようとする試みは、古くはデンマークやビルマ（現ミャンマー）に始まり、これが国家森林資源調査の始まりのようである（Gregoire and Köhl 2000）。一方、特定の地域の、特定の樹種を対象に、施業と成長の関係、収穫予測に適用するための収穫調査としては、資源調査に遅れること40年にして、IUFRO主催でドイツにて始まった。それからさらに5年後、日本においても造林試験として始まっている。これは今日でも森林総研における「収穫試験地調査」として継続されている（森林総研1996、家原ら1998）。

資源調査は北欧を中心に、アメリカでも実施され、この間の経緯や調査内容、調査地点の設計などは西沢（1959）、西川（1994）などに詳しい。一方、熱帯における資源調査はFAOの作成したマニュアルに従って実施され、日本でも3000点の予備調査の後、2回の10,000点調査が行われた（松下・林1955、林野庁1964、1968、林1996）。これらをまとめたものが表1である。

表1 各国の森林資源調査の概要

年	国名	資源調査	収穫調査
1850	デンマーク ビルマ	森林局NFI	
1892	ドイツ		IUFRO試験地設定
1897	日本		大林区署造林試験
1921	フィンランド	NFI 9th:1996-	
1923/29	スウェーデン	NFI 6th:1983-1992	
1930	U. S. A.	NFI FIA Program	
第二次世界大戦			
1954	日本	NFI予備調査(3,000)	
1960	フランス	NFI -1980	
1961	日本	1stNFI (10,000)	
1966	日本	2ndNFI	
1973	FAO	熱帯調査マニュアル	
1982	ドイツ	森林被害調査 -1992	
1982	スイス	NFI -1986	
1986	ドイツ	NFI -1990	
1999	日本	3rdNFI-2003 (15,000)	

2. スイスの国家森林資源調査 (NFI)

スイスの森林には、18世紀から19世紀にかけて無秩序な開発によってかなりの被害を受け、それを復旧するのに相当な努力を要したという苦い歴史がある。今日では開発だけではなく、森林被害、林業の低迷、住民からの要望の増大など、新たな問題が起こってきている。これらに対処するために、スイス政府は法律を改正し、自然や景観の保全、生物多様性の保全、定量的かつ定性的な保護管理にあたることとし、新しい森林法を1993年1月に施行した。

スイスでは国家森林資源調査 (NFI, National Forest Inventory) がこれまでに2回実施されている。1983年～85年にかけて第1回 (1988に結果の公表、EAFV 1988)、第2回として1993年～95年、1999年に結果が公表されている (Brassel and Brändli 1999)。第1回調査の目的は、主として木材生産を主眼にしていたが、第2回目は森林のもつ機能に関するデータを集めることを重視した。法的な根拠としては、第1回は1981年の連邦会議の議決に従ったが、第2回目は新しい森林法に拠っている。第1回調査の調査項目については西川 (1994) に紹介されている。第2回では、以下のような森林の機能、土壌条件、植物社会学に関する調査が追加された。

- ①森林の機能：国土保全機能
- ②土壌条件：水の循環、栄養補給、公害のストレスなど
- ③植生：土壌や地位指数の判定に利用
- ④成長量、損失量：開発や伐採方法に関する変化を把握する

3. ドイツの連邦森林調査 (BWI)

旧西ドイツにおいては1986年から1990年にかけて、第1回の連邦森林調査 (Bundeswaldinventur) が実施されている (Dahm 1995)。トラクトと呼ばれるサンプリング点を4 km x 4 km の格子点上に落とし、ラインサンプリングとビッターリッヒ法を併用している。要求される精度に応じて、一部2.83km、ないしは2 km間隔の格子点になっている。最終的には全ドイツ (旧西独) に28,978点がとられ、そのうち12,580点が森林地帯であった。トラクトは150m四方の正方形で左下 (南西) の隅が格子点上にあり、森林と

判定された頂点でビッターリッヒ法が実施されている。なお、調査については飯塚（1992）に詳しい。

また、ドイツでは州レベルでも独自の森林調査を行っており、例えばニーダーザクセン州では第1回（1950年：暫定試験地の利用）のあと、1981年に初めてスイス方式の固定プロットによるサンプリング調査を実施している。その後1987年に新しい手法で調査を行っている。このときは葉量の損失評価など、森林被害の調査をともなっている。

4. ヨーロッパのモニタリング調査

4.1. IBP（国際生物学事業計画）：国際学術連合会議ICSU主催の生物生産力、自然保護、人間の適応性についての10年間（1965年～1974年）の研究計画であった。日本でも森林の体系を整理して、植生調査の基準となる群集からクラスまでの分類体系が作成された。この時に設定された試験地が以後も継続調査されている事例もある。

4.2. ICPforests（International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests）1985年～1995年：酸性雨等による森林被害調査は1984年からヨーロッパ全体を対象にサンプリング調査が実施されている（UN/ECE 1995）。調査項目は葉の被害、樹冠の外観、葉の黄変の状況、被害要因の究明（例えば虫害、霜害）等になっている。本来は毎年の森林被害調査と土壌調査を基本にしていたのであるが、EUとUN/ECE（国連欧州経済委員会）のもとでのレベル1調査として、1986年から固定試験地を全ヨーロッパに設置して取り組むことになった。さらにレベル2、レベル3調査も予定されている。

1) レベル1調査：16km x 16kmの4800点調査

樹冠状態の調査を実施し、森林被害の把握、データベース化を検討。

2) レベル2調査：400点の固定プロット調査

土壌、葉量、成長量などの調査。

3) レベル3調査：生態系分析調査

現在検討中。

4.3. MAB（Man and the Biosphere Program：人と生物圏研究）：IBPに続くUNESCOによるプロジェクトである。①生物多様性と生態系の多様性の保

全、②環境に調和した開発、③研究とモニターのための国際ネットワーク、これらを通して、生物圏の保全をはかっていく。ドイツでは例えば、バイエルンの森、ベルヒテスガーデンなどが登録済みであり、特定の生態系を保全していくという長期戦略が検討されるものと思われる。

5. 最近の森林調査の特徴

これまでの調査法を国や地域、特定生態系などの対象地域別と環境保全や資源評価（照査）という観点から大別して、最近の環境評価や開発のための基礎調査のような特徴を持つものとして整理したものが図1である。森林資源調査を調査対象レベルとモニタリング設計における重点という観点で類型化している。日本でも全国レベルでは資源評価中心ながら、環境調査を含む森林資源モニタリングや酸性雨調査（林野庁1995b）、屋久島や白神山地のような生態系保全調査、また流域・地域中心のモデルフォレスト型など並行して進行中である。

		モニタリング設計の重点			
		環境保全	資源評価 (照査)	環境評価	開発 (住民参加)
調査 レベル	国家	ICPforests	NFI/BWI 1st	NFI2nd	
	地域			日本版 モデルフォレスト	カナダ版 モデルフォレスト
	特定 生態系	MAB			

図1 森林資源調査の類型化

資源把握のための森林調査は基礎データを提供する点で、議論の出発点であり、重要性は増しているが、それだけでは予算もとれないのが現実であり、環境モニタリング、また住民参加型のモデルフォレスト的活動の一翼を担う形で設計されている。予算面だけでなく、資源調査と実行組織活動の話も切り離せない問題であり、今後の運用で補っていく必要があろう（白石

1998)。予算と組織以外に、調査の設計部分で今後問題になる点を考えてみると、森林資源情報の整合性（集積度）、多様性、公開性が考えられる。

- 1) 整合性（集積度）：森林資源簿（属人、属地的）と森林統計表（森林指標など行政単位）などの整合性を高める方法の検討。林分（現場）レベルから流域（国家）レベルへあげる、情報を抽出する際に、集積度を高め、信頼度の高い行政指標を提供できるか。
- 2) 多様性：生物多様性や森林の持つ多様な機能への関心が高まるなかで、何をどう測り、属性データとして作っていくか。多様性の評価については西川（1998）にも紹介されているが、空間分布から独立なものとGISを利用するなどして、森林タイプの形状（西ら2000）、モーメントを利用した指標（田中2000）など空間分布も考慮したものが提案されている。
- 3) 公開性：カナダのモデルフォレスト運動、林野庁のモニタリング事業も情報の公開性は当然の前提である。情報発信ネットワーク作りも課題であり、情報公開にともなう作業負担、責任のあり方なども今後議論されるべきである。住民参加を前提としたデータの取得、対処の方法論はまだ始まったばかりである。

また、モントリオールプロセス、ヘルシンキプロセスは国家レベルでの持続性を検討しているが、ITTOでは現場レベル（FMU：Forest Management Unit level）でも「持続可能な森林経営」を検討している。我が国でも今後の流域林業活性化や流域単位でのモニタリング事業を考える際には現場－地域－国家のレベルでの資源情報のモニタリング、政策立案へのモデリング、現場への再評価という運用システム作りが欠かせないと思われる。

成長量の地域間比較

これまで森林調査の小史を概括してきたが、ここでは四国地域での事例として、森林継続調査といくつかの中間的取りまとめ、ならびに資源調査の具体的な地域へのフィードバック例について検討してみたい。

1. 四国地域における応用例

1.1. データベースの作成：高知営林局（現四国森林管理局）では1980年度から林業試験場四国支場（現森林総研四国支所）と共同して、管内5計画区に順次、成長試験地を設定してきている（図2）。これらの試験地は「施業標準地」と呼ばれ、現行の生産目標施業体系に基づいて施業した場合の成長量、収穫量、その他林分構造の推移を解明する基礎資料とすることを目標にしている。

一般に成長予測のための基礎資料としては、固定試験地資料と暫定試験地資料がある。前者は非常に精密ではあるが、測定に長時間を要し、また試験地の維持管理についても困難が多い。後者は数多くの標準地を設定できるが、あくまでも一時的な成長資料であり、時系列としての把握ができない。そこで、施業標準地の設定に当たっては、両者を折衷する形で固定試験地とするが、測定目標期間は20年と限定してスタートしている。



図2 四国地域の継続調査試験地

施業標準地は、旧5地域施業計画区（高德、松山、四国西南、高知、安芸）内に、1980年度から1986年度までにスギ225箇所、ヒノキ261箇所が設定された。1985年度から1991年度までに第2回目の測定が実施され、累計はスギ441箇所、ヒノキ515箇所に達している。2回分の測定資料のなかで、他樹種の混入区等の資料を除き、データの整備を進めてきている。この間に、各

計画区毎の直径分布や樹高分布の推移、成長量の比較、間伐施業の類型区分等の分析を行っている（松村・宮本1993）。

流域管理システムの導入にともなう新しい森林計画区ごとのレポート出力も可能であり、流域資源情報データベースとして整備し、資源予測に関する情報提供サービスも考えられる（松村・小谷1998）。現在この施業標準地のデータベースを利用し、四国地域における各森林計画区別林地生産力の評価基準の作成と地域間比較、多様な森林管理手法に対応した長期収穫予測システムについて検討を重ねている。

1.2. スギ人工林の森林計画区別樹高成長の比較：スギ人工林の樹高成長資料について計画区ごとにデータを検索し、ミッチャーリッヒの成長曲線をあてはめ、地域別の成長曲線に関するパラメータセットを求めた。さらに、四国地域の12森林計画区のうち、施業標準地のない肱川計画区を除き、樹高成長の地域間比較を行った。林齢10年から60年までと、100年までの10年ごとの値に対してダンカンの多重比較検定を行った。5%水準の検定では、60年までは有意な差はなく、100年生までの数値では約3グループに分類された。簡単な地域区分ではあるが、成長の良い順にグループA、B、Cとして表示した（松村1997a）。

1.3. スギ人工林の直径成長・直径分散の推移予測：各森林計画区の直径成長、直径分散についてもミッチャーリッヒ式を当てはめ、成長予測のための基礎モデルを作成した。安芸森林計画区におけるスギの直径成長と直径分散に対する推定値は、どちらもデータに対してそれぞれ相関係数で0.87、0.85と良好な当てはまりを示した。

1.4. 林分指数を用いた材積推定（安芸森林計画区）：施業標準地の資料から、林齢6年生から61年生までの林分を抽出し、林分係数を直径階別に求め、単純に全林分を対象にした場合と精度の比較を行った。単純に林分係数を求めた場合には誤差率が37%あったが、直径階別に求めると24%となり、さらに実用上必要な胸高直径10cm以上の場合では16%（-38%～+61%）であった（図3）。決定係数 R^2 は0.88と良好な値を示しているが、このような林分係数を地域別に層化して整備することによって、野外調査と計画のための行政資料がうまく結合できるものと思われる。

おわりに

森林法の改正により、地域森林計画における市町村森林整備計画の作成など、市町村の役割が強化されている。森林簿などの現況データの水準を引き上げるとともに、森林資源情報の整備・拡充は急務の課題であると思われる（白石1995）。戦後、森林資源調査に関する研究がサンプリング理論の研究に偏りすぎたが（Suzuki 1986）、森林の機能評価・類型化の推進と長伐期施業や有利販売への情報提供など、森林の継続測定資料や流域森林モニタリング調査の成果を地域へフィードバックする方法を探ることは、「システムとしての地域林業計画」（箕輪1999）の復権にも繋がる。今後「情報の提供と合意形成」は森林計画を進める上で避けて通れない課題である（西川1999、田中1999）。なお、これらの議論の基礎として、そもそも「森林の情報とは何か」（木平1992）、「森林情報データベースの構築」（内藤1996、行武2000など）、「流域活性化における情報化問題」（Yamada and Matsumura 1996）などについては稿を改めて考えてみたい。

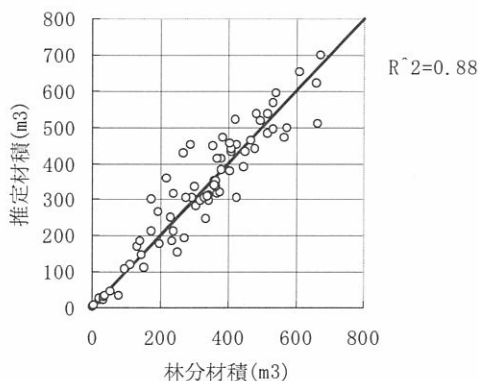


図3 安芸森林計画区の林分材積の推定

引用文献

- Brassel, P. und Brändli, U.B. 1999. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995, Verlag Paul Haupt, Bern, 442p.
- Dahm, S. 1995. Bundeswaldinventur Auswertungsmodelle und Vorschläge zur Effektivitätssteigerung Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr.180, Kommissionsverlag, Hamburg, 144p.
- Eidg. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen (EAFV) 1988. Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986, Nr.305, EAFV, Birmensdorf, 375p.
- Gregoire, T.G. and Köhl, M. 2000. Statistical ecology and forest biometry, *Environmental and Ecological Statistics* 7: 213-216.
- 林 知己夫 1996. 森林理念と良質データ、森林計画誌26:3-16.
- 家原敏郎 1999. 日本の新しい森林資源モニタリング調査、山林1384:54-61.
- 家原敏郎ら 1998. 森林総合研究所における収穫試験地の時系列データ収集の現状、森林計画誌30:63-66.
- 家原敏郎・埴田 宏 1999. モントリオールプロセスの最近の動向と日本の新しい森林資源モニタリングシステム、第110回日林学術講: 367-368.
- 飯塚 寛 1992. ドイツ連邦共和国の連邦森林調査、森林計画誌19:75-94.
- 加藤正人・対馬俊之 1999. 石狩川モデル森林のモニタリングー取り組みの概要と課題一、森林計画誌33:39-46.
- 木平勇吉 1992. 森林の情報とは何か、林業技術No.601:2-6.
- 松村直人 1997a. 長期モニタリングと成長比較、現代林業377:47.
- 松村直人 1997b. ヘルシンキプロセスに関連したスイス・ドイツの動きー森林資源調査の現状一、森林計画誌29:49-56.
- 松村直人・小谷英司 1998. 試験地データベースの作成と運用事例、森林応用研究7:31-34.
- 松村直人・小谷英司・宇久真司 1999. 四万十川森林計画区におけるモデルフオレストの取り組み、森林応用研究8:57-64.

- 松村直人・宮本知子 1993. 施業標準地資料のデータベース作成と利用例、日林関西支部論2:39-40.
- 松村直人・宇久真司・梶原規弘 1999. 四万十川森林計画区におけるモデルフォレスト事業、森林計画学会誌33:47-50.
- 松下嘉米男・林知己夫 1955. 森林調査の実際、産業図書、東京、298p.
- 箕輪光博 1999. 林材界共生の論理を探る、山林11月号、pp.2-11.
- 内藤健司 1996. 成長量データベースの構築に向けて、林業技術No.648:2-6.
- 西 政敏ら 2000. 島根半島弥山山地における森林植生と空間分布の解析、森林応用研究9-1:65-70.
- 西川匡英 1994. 先進諸外国の国家森林資源調査の動向と展望—多目的森林資源調査への推移を通して—、森林計画誌22:1-18.
- 西川匡英 1998. 天然林の調査法、森林計画学会出版局、東京、141p.
- 西川匡英 1999. 持続可能な森林管理に向けて—日本型モデルフォレストの取り組みへの課題、森林計画誌33:59-62.
- 西沢正久 1959. 森林測定法、地球出版、東京、302p.
- 林野庁 1964. 日本の森林資源—全国森林資源調査による—、林野共済会、東京、59p.
- 林野庁 1968. 日本の森林資源—第2回全国森林資源調査による—、林野共済会、東京、121p.
- 林野庁 1995a. 温帯林等の保全と持続可能な経営の基準・指標—モニタリング・プロセス、林野庁、東京、24p.
- 林野庁 1995b. 酸性雨等森林衰退モニタリング事業実施マニュアル、林野庁、東京、31p.
- 田中和博 1999. モデルフォレスト設定のための基礎的要件と三重県宮川流域における課題、森林計画誌33:51-56.
- 田中和博 2000. モーメント法による土地利用多様性指標、第111回日林学術講、pp.37.
- 森林総合研究所 1996. 森林長期モニタリングシステム—収穫試験地の時系列データの収集と整備—、収穫試験報告第20号、森林総合研究所、荻崎、44p.

- 白石則彦 1995. よりよい森林情報管理システムをめざして—次期森林資源調査システム開発調査より、森林計画学会誌25:83-95
- 白石則彦 1998. 21世紀にむけてわが国の森林調査はいかにあるべきか、山林 1373:2-10.
- Suzuki, T. 1986. Zur Kritik über die Anwendung der Mathematik nach dem zweiten Weltkrieg aus dem Blickwinkel der Forstwissenschaft, 18th IUFRO world Congress, Ljubljana, 113-119.
- UN/ECE 1995. Ten years ICP forests 1985-1995, UN/ECE, 15p.
- Yamada, S. and Matsumura, N. 1996. Information-oriented problems in newly established forest management system – A case study in river-basin of Yoshino River, Journal of forest planning 2:31-35.
- 行武 潔 2000. 日本林業の基本的課題、林業経済10月号:8-10.

