

《最終講義》

森林計画学のこれまでと、これから

田中和博

I. 森林計画学 <> 森林経理学 <> 収穫規整

I-1 森林計画学は、エネルギー政策学として始まった

その昔、人類はエネルギー源を専ら薪炭に依存し、また、建築物をはじめ、船、馬車、家具から諸道具に至るまで、多くの物は木材で作られていた。したがって、その当時の森林資源は、現在の石油資源に匹敵するか、それ以上に重要な資源であり、その枯渇は国の命運をも左右しかねないものであった。こうした背景のもと、林学は、今から300年位前に、ドイツで、官房学として、資源政策学あるいはエネルギー政策学として誕生した。

I-2 森林経理学 Forsteinrichtung

森林計画学は、以前は森林経理学と呼ばれていた。Forsteinrichtung とは森林を最適な状態になるように組織化することである。経理という用語は、現代では、もっぱら、金銭・財産の事務処理や管理という意味で使われているが、森林経理とは、森林の蓄積量や空間的な配置をおさめ整えることである。

I-3 保続原則と収穫規整

森林の恵みは、水土保持から木材生産に至るまで、多種多様である。木材は有限な資源であるが、光合成によって太陽エネルギーが固定されたものであるため、再生産は可能である。そこで、森林の恵みを持続的に利用するための大原則として保続原則がある。保続原則にしたがうと、将来の世代による森林利用も考慮に入れて森林計画を作成することになるので、当然、現役世代の物欲との闘いになる。そのため、木材の収穫量を規整するためのルールが必要であり、その具体的な方法は、収穫規整法と呼ばれている。森林計画の中心課題は、伐採を計画的に行い、森林資源を食い潰さないようにすることである。すなわち、持続可能な森林経営（SFM：Sustainable Forest Management）である。20世紀初頭に活躍したドイツの林学者 Wagner は、「森林経理学の任務は、森林を場所的に時間的に秩序付けることである」と言っている。

II. これまでの森林計画学

II-1 広葉樹による燃材生産時代の森林計画

人類がエネルギー源を専ら薪炭に依存していた頃、調理等に使う薪炭は毎日必要であったし、暖房用の薪炭は冬を越すのに必要であった。そのため、薪炭の供給が滞ることは死活問題であった。なお、燃材には広葉樹が適している。火力が強いととも、萌芽更新による森林の再生が比較的容易であるからである。

文献に残る最も古い収穫規整法は、「区画輪伐法」である。この方法は、経営対象となる森林の面積をFとし、森が再生するまでに要する期間をuとすれば、毎年の伐採面積をF/uに厳しく制限するものであった。同様の収穫規整法は、世界各地にあったが、いずれも、伐採量ではなく、伐採面積で規整している。面積の方が簡便かつ明確であり、また、違法伐採や不正が起きにくいからである。

II-2 針葉樹による用材生産時代の森林計画

◇ 面積平分法

産業革命の頃になると、産業用のエネルギーは石炭に切り替わっていった。また、炭坑の坑木、鉄道の枕木、電信柱など用材の需要が高まった。なお、柱等の用材には針葉樹が適している。通直であるとともに、加工がし易いからである。ナポレオンの登場後、ドイツでは神聖ローマ帝国解体後の新しい国づくりが始まり、用材生産を念頭においた近代林学が始まった。用材は燃料とは異なり、商取引において丸太の太さや長さが問題になるが、用材に適した樹木は森林内に均一に分布していないことが多い。そのため、一定の収穫期間（分期）の中で収穫量を規整する平分法が導入された。

ハルティッヒは各分期の材積量を均等にする材積平分法を提案したが、主流になったのはコッタが提案した面積平分法であった。面積平分法は各分期の伐採面積を均等にするものである。面積の場合は計算が簡便であり、また、成長量を予測する必要がないので不正もおきにくいという利点もあった。その後、面積平分法は、折衷平分法、齢級法へと改良されていった。

◇ 法正蓄積法

森林経営において理想とされる森林が法正林である。法正林とは、1年生から伐採時期の年齢までの各年齢の森林が等面積ずつ存在する森林のことである。法正林であれば、毎年一定量の収穫量を永久に収穫できることになる。しかし、実際には、風倒や雪害、病虫害等が生じることもあるので、法正林は現実には存在しない。そのため、現実林の森林蓄積をできる限り法正林の蓄積に近づけようとした。それが法正蓄積法である。代表的な方法はカメラルタキセ法である。

法正蓄積を求めるには、各年齢の森林の蓄積量を隈無く調査するのが本道であるが、それには大変な労力がかかる。サンプル調査では、サンプルの抽出方法に手抜きや不正が入り込む余地がある。したがって、カメラルタキセ法では、伐採時に確認できる材積と年輪数から簡便に法正蓄積を推定する方法を採用した。具体的に言えば、三角形の面積の公式を応用して、 $\text{年輪数} \times h \times a$ 当たり伐採材積 $\div 2$ を算定の根拠にした。この方法は大雑把なように見えるが、不正がおきにくい確実な方法であった。

◇ 照査法

針葉樹の用材生産では、1種類の目的樹種からなる人工林を大面積に造林することが多かった。しかし、森林生態系の中に同じものが多くあれば病虫害が発生しやすい。その反省から、ドイツでは1878年にガイヤーが「自然に帰れ」と唱え、1920年にはメーラーが恒続林思想を発表した。スイスでは1920年にビヨレイが照査法を発表した。これらの天然林施業に共通するのは、森の仕組みや動態をよく観察し、その結果に基づいて森林を経営しようとする考え方である。特に、照査法においては、森林資源量調査に際して全立木の直径を計測し、現実の成長実績のみに基づいて伐採許容量を算定している。

照査法の考え方は、現代のアダプティブ・マネジメント（順応的管理）と共通するところがある。すなわち、モニタリングの結果に基づいてPDCAサイクルを回していくとする考え方である。しかし、その後の第二次世界大戦や戦後の経済発展の中で、森林生態系に即した、自然と共生する天然林施業は、集約な林業経営であることから、林業の現場では、ほとんど顧みられなかった。

II-3 統計とコンピュータの時代の森林計画

◇ OR (Operations Research) の応用

第二次世界大戦中に英米でORの研究が進んだことにより、戦後は、統計学とコンピュータを応用した科学技術が花を開いた。森林計測の分野では、森林調査に標本調査法が応用され、サンプリング理論が発展した。また、ビッターリッヒ法を始めとする定角測定法に基づく森林調査法が提案された。森林計画については、線形計画法(LP)や目標計画法(GP)を応用した数理計画法が導入された。

◇ 森林簿の電算化

森林計画において基盤となる森林情報は森林計画図と森林簿である。森林簿には一筆毎の森林情報が

記載されており、都道府県が管理している。戦後しばらくまでは、現地確認に基づいて森林簿が修正されていたが、森林簿の電算化、すなわち、コンピュータが導入されると、電算化したことで省力化できたという理由で人員が削減されるようになり、やがて、現地確認が滞るようになった。コンピュータの中の森林簿では成長モデルの予測にしたがって森林が順調に成長し続けたが、現実には、風害や雪害、そして竹林による占有もあったので、やがて、現実林との間に乖離が生じた。

II-4 リモートセンシングとGISの時代の森林計画

1972年にランドサット1号が打ち上げられて以来、人工衛星が捉えた画像は森林モニタリングにも使われている。空間分解能、時間分解能、波長分解能の3つの分解能は格段に向上し、現在に至っている。GIS(地理情報システム)の森林管理への応用は、1966年にR.F.トムリンソンによって開発されたCGIS(Canada Geographic Information System)が最初である。1980年代には汎用ソフトウェアが商品化され、日本では1980年代後半から森林管理に応用されるようになった。当初は、森林GISはデータベースとの認識であったが、今日では空間解析のツールとして、立地環境の解析等にも使われている。

森林GISには現在までのところ5つの発展段階がある。第1世代は森林計画図をポリゴン(多角形)にしたもの、第2世代は既存の紙地図をポリゴンにしたものである。既に地図化されている過去の情報はポリゴンで表現される。第3世代はリモートセンシングが捉えた森林現況のモニタリング画像であって、これはラスタで表現される。第4世代はGNSS(GPS)データを伴う現地調査結果であって、これはポイントで表現される。第5世代は国交省や環境省等の外部データも活用して、多種多様なデータを取り扱ってシナリオ分析をし、その結果に基づいて意思決定や政策立案をするGISである。

III. これからの森林計画学

◇ 航空レーザー測量

近年、航空機から近赤外波長のレーザー光を地表に向かって連続照射して地物の表面の高さと位置座標を計測する航空レーザー測量が実用化され、徐々に普及しつつある。ライダー(LiDAR: Light Detection And Ranging)とも呼ばれている。森林の場合は樹冠表面や地表を計測することになる。

航空レーザー測量に関する研究は1980年代にアメリカやカナダにおいて開始され、1990年代に入ると、計測にレーザースキャナー(LS)が用いられるようになり、森林計測は3次元計測の時代を迎えた。1990年代の終わり以降、LSの性能が飛躍的に向上したことにより、1本1本の立木の抽出技術が開発された。日本では、1990年代後半から応用研究が開始され、2006年に松山市で開催された国際研究集会「Silvilaser 2006」が契機となって、LiDAR技術が森林計画の分野に定着した。

◇ LiDARデータがもたらす変革

LiDARが登場するまでは、森林モニタリング調査や森林資源量調査を行う場合には、プロット調査区を設定し、プロット内の全立木の胸高直径を調査するのが主流であった。ところが、LiDARデータが活用できるようになると、森林の状態にもよるが、1本1本の樹高が計測でき、しかも、レーザー計測した範囲にもよるが、森林全域の全立木のデータが入手できるようになった。従来の森林調査では、標本データを取り扱っていたが、LiDARデータを用いる場合は、少なくとも樹高については母集団のデータが取り扱えるようになった。これは、森林管理の基本データが胸高直径から樹高へ切り替わることを意味しているだけでなく、取り扱うデータも、標本ではなく、母集団そのものになるという質的な転換が生じることを意味している。このことは、森林管理のあり方を大きく変えることになる。たとえば、LiDARデータを用いることにより、樹高を基準にした照査法の展開が考えられ、森林が有する二酸化炭素の吸収・固定量の推定等に応用できる。

樹高は地位（土地の肥沃度）の指標として使われるので、LiDAR データの活用により、土地生産力の局所的な分布が把握できるようになる。また、局所的な立木本数密度情報を用いた、よりきめ細かな森林管理が可能になる。樹高と立木本数密度がわかれば林分密度管理図を用いることで材積量も推定できる。現代は、車両系の高性能林業機械を用いた道端林業が主流である。道端林業では、一つの森林内を、路網からの距離や傾斜に応じて、さらに、細かく区分することが求められるが、LiDAR データを GIS で空間解析することにより、森林資源量の局所的な分布状況を評価することができる。

LiDAR データを用いると、メッシュデータの DSM（数値表層モデル）や DEM（数値標高モデル）を作成することができる。DEM があれば、傾斜、方位、集水域積算、日照解析等の地形に関する様々な解析ができるようになるので、森林管理だけでなく、土地利用管理へと応用範囲を広げることができる。土地利用管理の場合は、森林の区画に縛られる必要性はないので、逆に、森林管理そのものもメッシュで管理することが考えられる。いわゆるタイルポリゴンによる森林管理である。タイルポリゴンで表現される森林情報は解析が容易であり、他の GIS 情報との組み合わせにも便利である。地球温暖化の時代、山地災害等の増加が懸念されているが、他の研究領域との学際的な研究を進めていく上で、タイルポリゴンによる森林情報のオープンデータ化が必要である。これが第6世代の GIS になる。

IV. 今後の課題と方向性

地球温暖化の時代、国土の3分の2を占める森林の適切な管理は、温暖化の「緩和」策、「適応」策の両面から必要である。加えて、カーボンニュートラルな木質資源を有効利用する持続可能な循環型社会を構築することは人類の課題でもある。森林計画学は、エネルギー政策として始まったが、木材生産だけでなく、生物多様性の保全に至るまで総合的に捉える必要がある。その場合に必要となるのが、より正確な森林モニタリングに基づく、より正確な森林評価である。LiDAR データの活用により、その理想に一步近づくことができた。

森林評価は、現状評価が基本であるが、動向予測ならびにシナリオ分析も必要である。その場合に、不正や世論の煽動を防ぐために、常に複数案を提示することとし、その解析プロセスの開示も必要である。これまでの森林計画学と同様、如何にして不正を防止するのも重要なポイントであるからである。

地球温暖化問題が深刻化している一方で、経済ファーストの政策も続けられており、世界情勢は先行きが不透明な状況になってきている。環境問題を直視し、省エネ化、低炭素型社会を推進しなければならない。その場合に、LiDAR データを活用することによって、森林経営や森林保全活動の成果をより解り易く伝えるのが KPI (Key Performance Indicator) の役割である。我々は、地球規模の環境保全という観点から、ESG (Environment, Social, Governance) 投資を通して環境に配慮している企業等を選別したり、そうした企業等を支援する消費行動が必要である。森林に関して、より正確な環境モニタリングに基づいて、より正確な評価を行い、消費者がより賢明に行動できるための指標を開発して、情報発信を続けることが、21世紀における森林計画学の使命の一つである。

..... 著者略歴

田中和博（たなかかずひろ）専門は、森林計画学、森林評価学、森林の成長モデル、バイオリージョン GIS。

名古屋大学大学院農学研究科林学専攻満了、農学博士。

東京大学助手、三重大学講師、助教授を経て、平成10年（1998）より京都府立大学教授

日本学術会議連携会員（環境学）、森林 GIS フォーラム元会長、森林計画学会元会長、

京都モデルフォレスト協会副理事長、京都伝統文化の森推進協議会理事などを歴任。

代表的な著書は、「森林計画学入門」森林計画学会出版局、1996、

「古都の森を守り活かす」京都大学学術出版会、2008