

論文の内容の要旨

森林科学専攻

平成10年度 博士課程 進学

氏名 笹川 裕史

指導教官 箕輪 光博

論文題目 人工二段林を対象とした距離従属型成長モデルの開発

国民の森林に対する要求が変化する中で、二段林はこれからの森林の一形態として注目されている。しかし、一斉林と比べて二段林の成長は十分に把握されていない。そのような状況から、二段林施業を確立するために必要な二段林成長モデルが求められている。そこで、本研究では長期の予測が行え、成長のメカニズムにのっとった、二段林を対象とした距離従属型成長モデルの開発を目的とした。本モデルは上木および下木の材積連年成長量を予測する。自然界のメカニズムの部分部分に関しては様々なモデルが報告されている。しかし、それらのモデルの多くは対象としている事象を説明することのみ用いられており、相互関連性が希薄であるといえよう。本研究では手法として、各分野において一般的とされる既往のモデルを最大限に利用して、有機的に統合するというアプローチを採用した。ある林木の成長は競争状態など、その林木を取り巻く環境およびその林木の個体維持特性によって決定される。また、両者は相互に関連しあっていると考えられる。本モデルの特徴は、一つの成長モデルの中に3つのサブモデルをもち、そのサブモデルが相互に関連し合うということで、樹木の成長メカニズムを表現する点にある。

第1章では人工二段林がおかれている背景および研究の目的を明らかにしながら、

二段林を対象とした成長モデルの既往の研究について整理し、手法およびモデルの特徴を述べている。

第2章では中部森林管理局管内のヒノキ・ヒノキ人工二段林の資料を用いて樹冠モデルを構築した。樹冠モデルは隣接樹冠と接触した高さ（樹冠接触高）以上を陽樹冠として、樹冠に関するアロメトリー式 $cw = \alpha * cd^\beta$ (1) で囲まれた放物線体の表面積から樹冠接触高以下の隣接樹冠に食い込んでいる対象木樹冠の表面積をひくことで導いた。ただし、 cd : 梢端からの長さ、 cw : その位置の樹冠半径である。 cd を樹冠長 cl とすることで、 cw は基底樹冠半径 cr となり、その値を放物線体の表面積を計算する式にあてはめることで、全樹冠表面積が計算される。 cl は CCR から求めた。ここで、 CCR とはパイプモデル理論から導かれたモデルで、枝下部分では高さに関わらず断面積成長量が一定となるという理論を応用した、幹材積成長量を断面積成長量で割った値（樹冠重心）と樹高の比率である。一方、(1) 式の α は $\alpha = \sqrt{APA/\pi cl^{2\beta}}$ (2) と導くことを考案した。ここで、 APA とは対象木と周囲木を結んだ線を2等分、もしくは特性値の比によって分割する垂線で囲まれた面積である。ただし、(2) 式は閉鎖林を対象としている。一方、二段林上木および幼齢の下木は疎開状態にある場合がある。(2) 式を閉鎖していない林分にあてはめる場合には cl ではなく、閉鎖林における樹冠長 cl_c を推定して変数としなければならないと考えた。閉鎖林の樹冠長は本数密度が高くなるに連れて短くなると考えたので、閉鎖林の樹冠長率は対象木の周囲密度に応じて対象木が到達するであろう最大樹高の40~60%とした。 β は樹高が10mになるまで1から0.5に0.05/mで減少するとした。以上のことから単木陽樹冠表面積 sc を推定した。推定された sc は次章、材積成長モデルの入力値となる。

CCR を求めたところ試料木の中には1.0を越えたり、0.5を下回る林木が存在した。 CCR が1.0を越えるという状態は理論的には樹冠が存在していない状態ということになる。逆に CCR が0.5を下回るという状態は樹高よりも樹冠長が大きくなる状態を示すことになる。これは幹材積成長量の垂直的配分が偏った林木が存在している結果で、実際の樹幹形はパイプモデル理論では説明しきれないと考えた。そこで cl は実測値とした。推定 cr は実測 cr に比べて過大であったが、推定 cr から求めた sc は実測 cr から計算された sc の値にとっても近いという結果になった。以上の結果より、樹冠モデルは妥当なものだと考えた。また、競争状態におかれている林木の樹冠形は競争がない状態であれば拡張しているであろうと考えた。

第3章では前章で構築した樹冠モデルから出力された陽樹冠表面積を用いて幹材積連年成長量を求める材積成長モデルを構築した。材積成長モデルで出力された結果は樹冠モデルにフィードバックするか、もしくは次章、光環境モデルに与えられるとし

た。資料には千葉演習林内スギスギ二段林試験区において行った樹幹解析データを用いた。この試験区は同一林分で間伐率を変えることにより上木の密度が異なる林分を作り、これらの林分内に樹下植栽を試みたもので、上木の密度が ha 当たり 150 本、100 本、50 本の区画と皆伐地の 4 区画となっている。解析木は下木について優勢木から劣性木までの各胸高直径階から 1 本ずつ、合計 10 本を選出し、4 プロットで 40 本を伐採した。梶原は単木における各部分でのエネルギー収支について仮定をおき、 $\Delta v = a \cdot sc - b \cdot ss$ (3) で表される幹材積成長モデルを報告している。ただし、 ss : 幹表面積である。本研究では幹材積の $2/3$ 乗をもって ss とした。パラメータの推定は 1. 収穫表に基づくモデル林分の設定、2. パラメータ b の算定、3. パラメータ a の追跡の手順で行うことにした。モデル林分は収穫表の主林木の胸高直径、樹高、本数の各時点の値を使用する。立木位置は本数の変化に合わせて碁盤目上に等間隔と設定した。モデル林分設定の際に使用した収穫表は木曽地方ヒノキ、千葉演習林スギ、茨城地方スギの各収穫表である。千葉演習林の収穫表に関しては幼齢の値が記載されていないので、皆伐区の樹幹解析資料から各時点における平均値を利用してモデル林分の設定を行った（以降、千葉データと記す）。各収穫表から sc を計算した。仮定から閉鎖林分では

(3) 式から $\frac{dV}{dt} = A - bS$ (4) が導かれる。ただし、 A : 定数、 $S = \sum ss$ である。樹冠閉鎖

が始まる時点からの幹表面積の合計および材積連年成長量から各モデル林分における b を求めた。次に、求められた b と sc 、 ss から各時点の a を求めた。収穫表の値は様々な同齢林分の平均値であり、一つの林分の成長を追った値ではない。本来ならば、実測値と収穫表の比較は無意味なものであるが、パラメータ a は具体的な数値ではなく、抽象化された値なので、実測値と収穫表で比較を試みたところ、類似の変化過程をたどるということがわかった。そこで、本研究では現実から求められた a と収穫表から求められた a は類似の変化過程をすると仮定した。個々の単木の a の変化は実測値から求められた a と収穫表から求められた a の差を ra として、収穫表から求められた a の変化に ra をたして求めると仮定した。以上で、材積成長モデルを構築した。

第 4 章光環境モデルでは立木位置と太陽軌道からフーリエ型減衰式を用いて局所相対照度を導くサブモデルを考案した。フーリエ型減衰式は $F(\omega) = u \cdot \frac{\sin \theta}{\theta} = u\phi$ (5) で

表され、変数 $\theta = \frac{u\pi}{T}$ (6) は周期 T および区間 u で求められる。 $\phi = \frac{\sin \theta}{\theta}$ (7) を相

対照度と考えると、一般に相対照度を求めるのに用いられている門司一佐伯の指数型減衰式とは対照をなす。本研究では 1 日を区間、太陽光線が樹冠内を通過する距離の

合計を周期と考え、局所相対照度を求めたところ、門司-佐伯式から求められる局所相対照度と近い値が得られた。フーリエ型減衰式は太陽の動きと上木位置の関係を連続的に捉えられ、1カ所の局所相対照度がわかっており、周期、期間、 θ を適切に設定すれば門司-佐伯式よりも簡便に林分全体の局所相対照度が求められるので、相対照度推定の一つの新しい方法として提案できると考えた。局所相対照度が求められたところで、1.太陽軌道から林外全天日射量 R を求め、2. R から林外照度 I_0 を求め、3.先に求めた局所相対照度と I_0 から局所林内照度 I を求めた。以上のことにより、光-光合成曲線から光合成量 (P) が求められる。一般に、 I と光合成量の関係は $P = \frac{bI}{1+aI}$

(8) の双曲線で表される。ただし、 a および b はパラメータである。林外照度と林内照度から求められるそれぞれの光合成量の比は (8) 式から $\frac{P'}{P_0} = \frac{I' 1+aI_0}{I_0 1+aI'}$ (9) と表

導かれる。本研究では (9) 式をもって成長割合とし、成長割合を材積成長モデルから求められた材積連年成長量にかけることによって、下木の材積連年成長量となると考案した。

第5章では樹冠モデル、材積成長モデル、光環境モデルを統合した「統合モデル」によってシミュレーションを行い、樹幹解析データと比較して、モデルの妥当性について考察を行った。千葉演習林二段林試験地の過去の状態を推定して、その値を初期値とし、統合モデルで現在までシミュレーションを行った。樹高成長推定値は樹幹解析から得られた樹高の値と相関が高く、樹高を変数とする回帰式で求められる各種必要変数およびその初期値の値は妥当であると考えた。シミュレーションの結果、林分レベルでは上木の平均樹高、材積合計、平均胸高直径の成長予測値はおおむね良好であった。下木の平均樹高、平均胸高直径の成長予測値はおおむね良好であったが、材積合計では枯死木と考えられる状態の林木が発生したために林分総材積が減少した。しかし、単木レベルにおいて樹幹解析から得られた材積および胸高直径の値と成長予測値を比較したところ、相関が高かった。

このことから、材積成長モデルにおけるパラメータ a は今回あてはめたパターンに類似しないものが存在することが明らかになった。しかし、統合モデルと樹幹解析から得られた材積の相関は高いものであったので、統合モデルは妥当なものであることが明らかになった。

第6章では第5章までの成果を整理し、さらに今後の課題や応用化への展望について述べ、本研究のまとめとした。