

透明かつ検証可能な手法による吸収源の評価に関する研究

(3) 長期にわたり計測された林分のバイオマス量の変動予測モデルに関する研究

独立行政法人森林総合研究所

森林植生研究領域

同

北海道支所

植生管理研究室

森林育成研究グループ

清野嘉之

九島宏道・田内裕之

宇都木 玄

平成13～15年度合計予算額 10,754千円
(うち、平成15年度当初予算額 3,492千円)

[要旨] 温暖化ガス吸収量の評価に際し、炭素蓄積変化に及ぼす1990年以降の直接的人為影響とそれ以外の影響との切り分けの可能性が強く示されている。そこで森林バイオマスの変化に及ぼす気象影響と間伐影響を切り分けるための重回帰モデルによる手法を提案するとともに、成果のクロスチェックのため、茨城県のヒノキ林等のデータを用いてプロセスモデルを構築し、林冠の葉の炭素収支を解析した。重回帰モデルの作成には3つのスギ試験地(茨城県、静岡県、山口県)で長期にわたり計測された幹成長データを用い、幹材積変化を推定する重回帰モデルとして下記の重回帰式を作成した。

$$RGR\ stem = 1.84 - 0.0000194 * Stem - 0.0670 * MAT - 7.06 / MAT - 0.266 * Ry - 0.199 / Ry + 0.00248 * SI40 \\ \dots (R^2=0.640)$$

ただし、 $RGR\ Stem$: $\sum D^2H$ の相対成長率 ($m^3 m^{-3} ha^{-1} y^{-1}$)、 $Stem$: 期首 $\sum D^2H$ ($m^3 ha^{-1}$)、 MAT : 年平均気温 ()、 Ry : 収量比数、 $SI40$: 40年生時上層樹高 (m)

この式を用いて、林分幹材積成長に及ぼす気温影響を分離(ファクタリングアウト)する手順を示した。また、同じ手順を間伐林分のモデルに適用したところ、気温の年変化の影響は、 Ry を0.9から0.75に減らすという平凡な間伐が材積成長に及ぼす影響をマスクする可能性があることが分かった。プロセスモデルによる解析では、葉の生産量に対する間伐効果が間伐前の葉量(LAI)や間伐率、気温によって異なることが分かった。この結果は上記の重回帰モデルの結果と矛盾しなかった。今後、データやパラメータを増やし、モデルの普遍性を高めるとともに、拡大係数を導入するなどして炭素量を試算する必要がある。

[キーワード] ファクタリングアウト、多変量解析、プロセスモデル、間伐、長期モニタリング

1 研究の背景と目的

温暖化ガス吸収量の評価に際し、1990年以降の直接的人為影響とそれ以外(自然影響及び間接的人為影響、1990年以前の直接的人為影響等)の分離(ファクタリングアウト)の可能性が強く示されている(COP7¹⁾)。わが国は温暖化ガス吸収の増強を目的とする森林整備を行っているが、

要因は多く、特定の管理の効果を評価するには他の要因の影響とのファクタリングアウトが必要である。しかし、確立した手法はなく、ファクタリングアウトを2008～2012年の第一約束期間の吸収量報告で義務づけるべきという意見もあったが、現状では実現の可能性は低い。しかし、2013年以降に導入される可能性はあり、合理的な手法の開発が必要である。例えば直接的人為影響の一つとして間伐によるCO₂吸収量増大を立案する場合は、間伐と他の影響を切り分ける必要がある。

著者らは先(平成13年度)に、京都、大津、奈良のスギ林を例に、林分のバイオマス成長の指標となる幹断面積成長の年次変化が狭い地域間では比較的よく同調し(図-1)特定のいくつかの気象条件が成長に有意な影響を及ぼしていること、主要な5つの気象条件(前年8月の平均気温、降水量、日照時間、当年3月、8月の平均気温)を説明変数とする重回帰式をモデルとして用いたときのモデルの予測値は実測値を比較的よく追従する(図-2)ことを明らかにした(清野ほか、114回日本林学会大会 口頭発表 2003)。また、こうした解析結果は毎年のデータを用いたときは比較的明瞭で、数年ごとにまとめた平均値を用いる場合は、まとめる期間が3～4年以上に長くなるにしたがい徐々に不明瞭になるが(図-3)傾向自体はあまり変わらず、データ数が多ければ同じ傾向が得られることが分かった。

以上の成果を踏まえ、平成14年度以降は、間伐を行いながら森林の成長が長期に亘って隔年計測されている収穫試験地(森林総合研究所)のデータを用い、森林の蓄積変化に及ぼす気象の影響と間伐の影響を重回帰モデルによって切り分ける手法の開発に取り組んだ。また、その結果の検証を目的に、異なるデータを用いて、プロセスモデルによる解析を行った。すなわち、間伐や気温の変化に対する林分の成長反応は生物の生産過程の一つとして捉えられるので、間伐に関する環境条件をパラメータに持つ簡単なプロセスモデルを作成し、林冠葉群の生産量に対する間伐効果と温度効果を検討した。

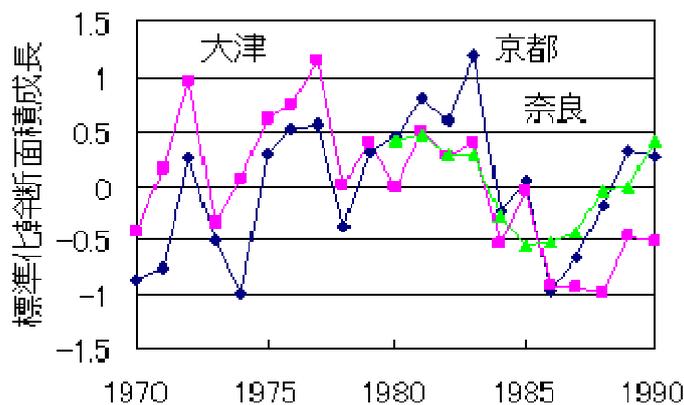


図-1 林分の断面積成長の年次変化

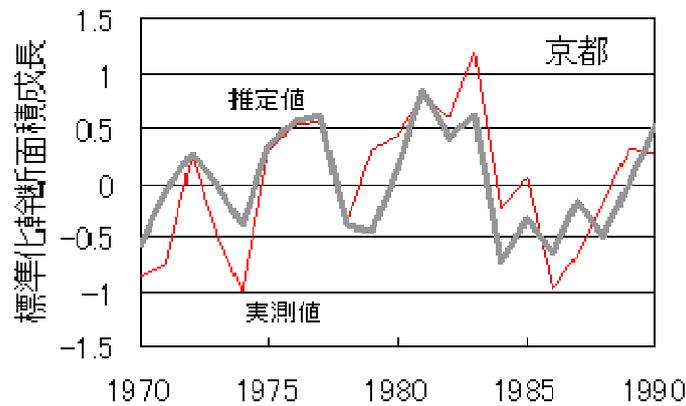


図-2 年成長量の実測値と予測値

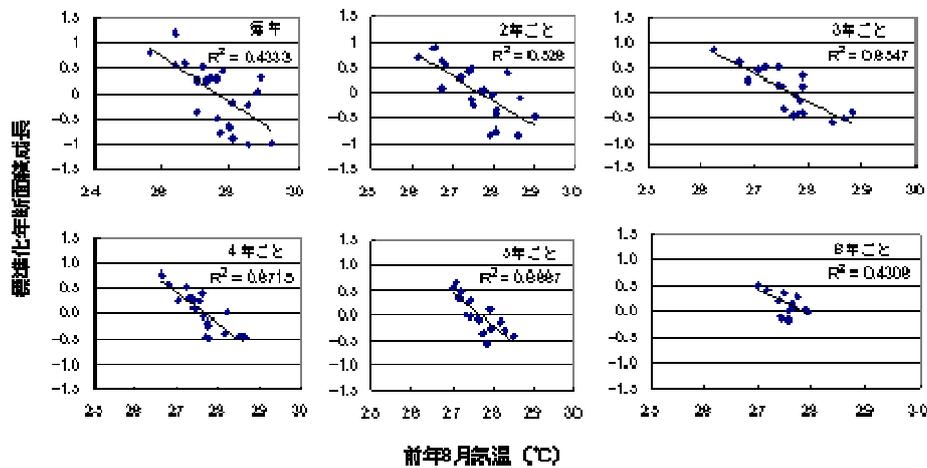


図-3 計測間隔とデータ数、範囲(京都)

表-1 データを得た収穫試験地⁹⁾

試験地	所在地	海拔高 (m)	優占種	植栽年	測定期間 (年)		林齢(年)		処理区	気温データを得 た気象観測所*
					開始時	最新時	開始時	最新時		
横山	茨城県高萩市	620	スギ	1910	42	49	49	91	無間伐	水戸
					62	29	29	91	B種間伐	
杖の入	静岡県河津町	690	スギ	1920	51	30	30	61	無間伐	銚子
									B種間伐	
滑山	山口県徳地村	630	スギ	1909	63	29	29	92	無間伐	浜田
									弱度間伐 強度間伐	

*都市化影響が少なく、均質なデータが長期間ある気象観測所(気象庁 1999)。

2 研究方法

(1) 重回帰モデル

3つのスギ収穫試験地(表-1)の調査データを用いた。どの試験地にも間伐区と対照区があり、数10年に亘って約5年ごとに胸高直径の毎木調査や樹高調査が行われ、間伐木や自然枯死木も記

録されている。このデータから計測時ごとの林分幹材積 ($Stem$, ΣD^2H で代用) 上層樹高 (直径の大きい方から 10% の個体の平均樹高) 林木の相対的な混み具合を表す収量比数 ($Ry:0-1$ の値をとり、1 は経験的に最も混んだ状態、0 は木がない状態を表す)⁹⁾、また、計測間について、林分幹材積の相対成長率 ($RGR\ Stem$ 、以下 RGR) 枯死率を計算した。また、林齢と上層樹高との関係から求めた 40 年生時の上層樹高を地位の指数 ($SI40$) とした。気象データには年平均気温 (MAT : mean annual temperature,) を用いた。都市化影響の少ない均質データが長期に亘って観測されている気象観測所⁵⁾の値⁶⁾と試験地の標高、また、標高遞減率を 0.61 /100m として試験地の年平均気温を推定した。なお、降水量や日照時間については、気象観測所の値のまま説明変数に加えても蓄積変化を予測する重回帰モデル (後記) の説明力は高まらず、また、試験地における値の推定は今のところ困難であるため、用いなかった。

(2) プロセスモデル

プロセスモデルの概要

林冠葉群全体の光合成生産量を決める上で重要なプロセスは 2 つある。単葉の光合成能力と、林冠葉群の分布構造及びそれに規定される林冠内光分布である。これらの測定は茨城県にある森林総合研究所天岳良ヒノキ実験林 (約 50 年生。北緯 36 度 19 分東経 140 度 9.5 分) で行った。表層地質は花崗岩、土壌は適潤性黒色土 (BID(d)) である。測定時点では林冠は十分に閉鎖し、林内下層の相対照度は 5% 未満であった。以下にモデルの概要を示す。

a 単葉の光合成速度: 単葉の光合成速度および呼吸速度の垂直的变化は、比葉面積重 (LMA ; gm^{-2}) の関数として扱った。重量ベースの最大光合成速度は 23 度で最大値をとる凸の温度依存性を与え、葉呼吸速度の Q_{10} は 1.9 とした。また光-光合成曲線の量子収率およびコンベキシティーは、各月ごとに実験結果の平均値を用いた。 LMA の垂直変化は高さに対するアロメトリー関係で近似でき、そのパラメータの季節変化は DOY (day of year) に対するサイン関数で表現した。

b 林冠葉群の分布と閉鎖時の光減衰率: 十分に閉鎖した葉群分布の仮定は、以下のようにした。葉量の垂直分布は高さの関数として修正ワイブル分布¹⁴⁾で表し、その分布形状は季節で変化しないと仮定した。葉面積指数 (LAI) の季節変化は DOY に関するサイン関数で与え、実測値より最大 LAI は 5.15 とした^{10, 11)} 林冠を 8 つの階層に分離し、葉仰角¹³⁾を与えて各層毎の散乱光に対する吸光係数 $K(i)$ を決定した。各層内の葉面積密度 $FD(i)$ と $K(i)$ から各層内での光減衰率⁸⁾を決定した。

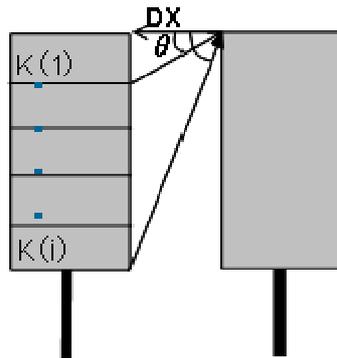


図-4 θ の定義

c 林分の仮定：林分内の各個体は単位土地面積に等間隔に配置されていると仮定し、また個体サイズは同一とした。林冠が十分に閉鎖した条件では、林冠構造が水平方向に一様であると仮定した。

d 間伐による林冠孔がある場合の光減衰率：間伐による林冠孔がある場合の吸光係数を、神田-花井²⁾による採光係数 $CK(i)$ で与えた。林分に個体が均等に配置していると考え、任意の強度の間伐をおこなった時の各個体間距離を DX とした。隣接個体梢端から対象個体の i 層までを斜距離として持つ直角三角形の頂点角度を θ とした時(図-4) $CK(i) = K(i) \cdot (1 - \cos \theta)$ と表現した。個体間隔が広がるにつれ、採光係数 $CK(i)$ は小さくなり、林冠下部ほどその影響が小さくなるモデルである。

以上のようなコンパートメントモデルを設定し、天岳良試験地で得られた気温、光合成有効放射束密度(PPFD; $\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)を環境条件として与えて10分間隔で林冠葉群生産量を推定するモデルを開発した。ここで林冠葉群生産量(P_n, CO_2 換算)とは、ある単位時間当たりの林冠葉群の光合成量の積算値から、葉群の呼吸量の積算値を減じた値である。

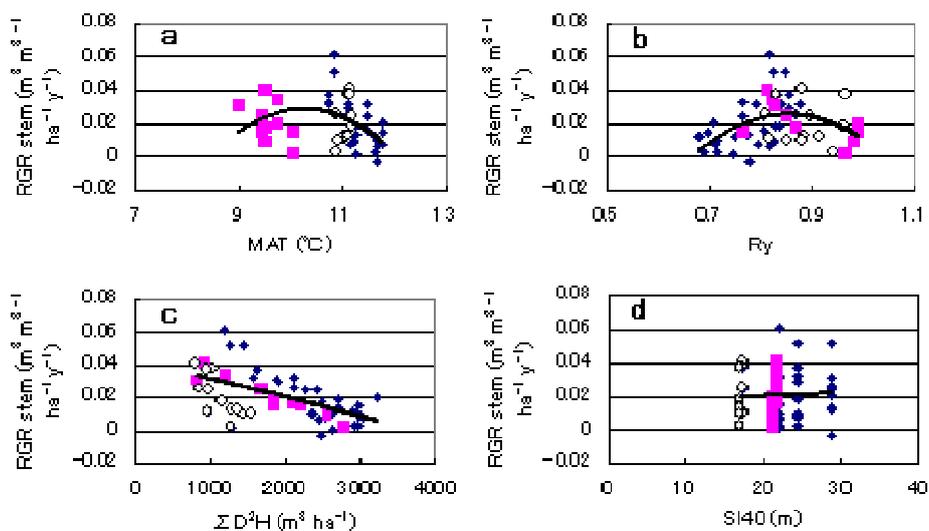


図-5 林分幹材積成長率と諸条件⁹⁾

3 結果と考察

(1) 重回帰モデル

バイオマス変化を推定するモデル

3 試験地のデータを合わせて解析すると、*RGR* は年平均気温に対して上に凸の曲線で近似される関係にあり、*RGR* を最大にする年平均気温が存在するようであった(図-5a)。同様に、*Ry* にも *RGR* を最大にする値が存在するようであった(図-5b)。一方、林分幹材積 (*Stem*) は *RGR* に対して負の正比例関係にあり(図-5c)、地位は *RGR* と殆ど関係がないようであった(図-5d)。 *RGR* 以外の 4 者の相関関係を求めたところ、林分幹材積と地位との間に比較的強い相関関係($r=0.613$)があった。これは林分幹材積と *RGR*、地位と *RGR* の関係が互いに独立ではなく、図-5c、dに見られる傾向を鵜呑みにはできないことを示唆している。一方、気温や *Ry* については、その影響が他からある程度独立しており、*RGR* との関係はおおよそ図-5a、b に示された通りであることを示唆している。スギの生育適温は年平均気温では 12~14 といわれているが、生育地によってかなり異なる³⁾ ので適温範囲の絶対値の当否は言えない。しかし、スギの生育が適温範囲を中心に図-5aのような関係で近似できる傾向を持つことは十分に予想できる。また、*Ry* についても、強く混んだ林分では枯死木の増加で現存量の増加が停滞すること、強く疎開された林分では個体の成長が停滞する可能性があることから図-5bに見られるような関係があると考えことは合理性に適っている。そこで、この 2 要因については上に凸の関係を近似できるように逆数項を加え、他の 2 要因(林分幹材積と地位)についてはそうした処理は行わずに年平均気温、*Ry*、林分幹材積、地位の 4 つを独立変数とし、*RGR* を従属変数とする重回帰式を作成したところ下式が得られた。式の傾向は有意 ($p<0.000001$) で説明力は 64% と比較的高かった。

$$RGR\ stem = 1.84 - 0.0000194*Stem - 0.0670*MAT - 7.06/MAT - 0.266*Ry - 0.199/Ry + 0.00248*SI40 \\ \dots\dots(R^2=0.640)$$

ただし、*RGR Stem*: $\sum D^2H$ の相対成長率 ($m^3 m^{-3} ha^{-1} y^{-1}$)、*Stem*:期首 $\sum D^2H$ ($m^3 ha^{-1}$)、*MAT*:年平均気温 ()、*Ry*:収量比数、*SI40*:40年生時上層樹高 (m)

この式をバイオマスの指標となる幹材積の時系列に沿った変化を推定する重回帰モデルとして用い、気温と密度管理の影響の切り分けを試みた。ただし、本モデルはデータの制約から年平均気温 9.0~11.5、*Ry* 0.75~1.0、林分 $\sum D^2H$ 800~3,000 m^3 、40年生時上層樹高 17~28m の林分に適用する。

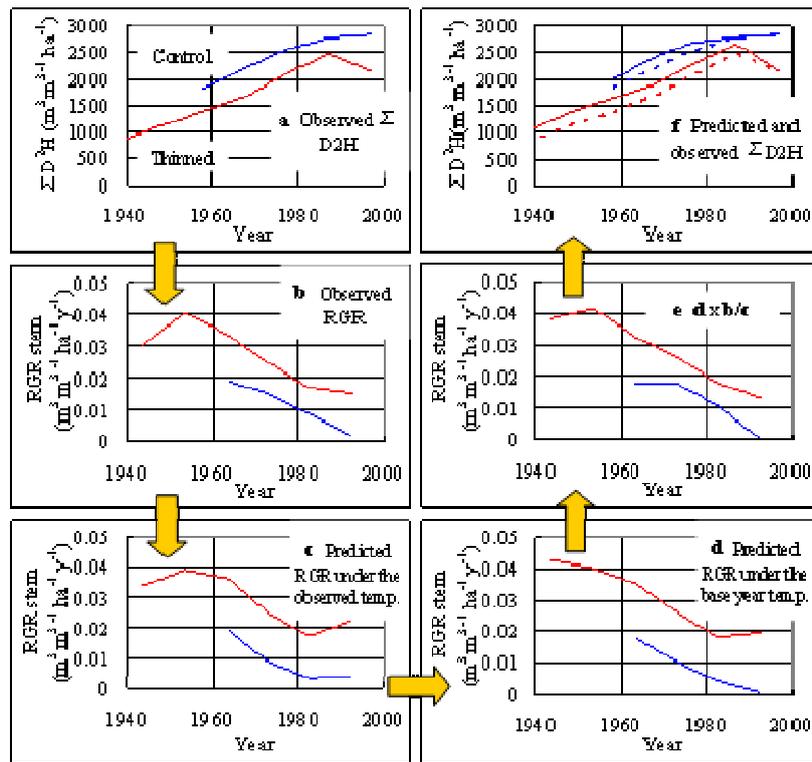


図-6 林分幹材積成長に及ぼす気温影響のファクタリングアウト手順

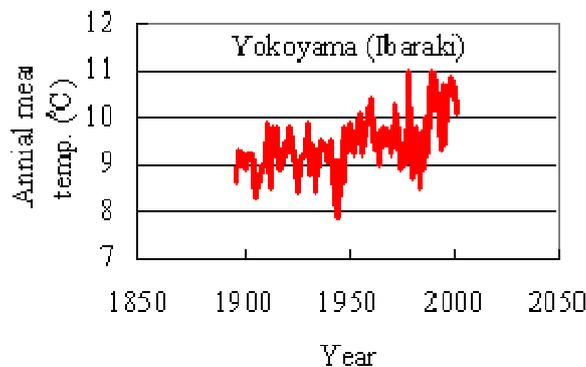


図-7 横山試験地の年平均気温の経年変化（水戸気象台の値⁹⁾から推定）

気温と間伐の影響の推定

図-2 は横山試験地の時系列に沿った間伐区、対照区の各材積の観測値(a)、RGRに直した値(b)、その重回帰モデルによる予測値(c)、同モデルで年平均気温を基準年(仮に1990年とした)の値で一定させたときの予測値(d)、これにRGRの観測値とモデル予測値の比をかけた修正値(e)、材積に戻したときの値(fの実線。破線はaと同じもの)を示している。RGRの観測値(b)は1950年代にピークを持ち、徐々に低下している。対照区でやや乖離する時期があるが、予測値(c)は実測値をおおむね追従しており、このモデルは実用になる可能性がある。修正値(e)は気温変化

の影響を除去したときの RGR で、観測値 (b) とあまり差はないことが分かる。これは横山試験地の時系列に沿った RGR 変化には年平均気温以外の要因 (例えば、林分幹材積) の影響が大きく効いており、気温の影響はそれほどではないことを示している。ただ、細かく見れば、実測値に比べて 1940 年代はより大きく、1990 年頃はより小さい。これは 1940 年代の低温傾向、1990 年頃の高温傾向と対応しており、1940 年代は低温のため成長が悪く、1990 年頃は高温のため成長が良かったことを反映していると考えられる。なお、横山試験地の年平均気温 (水戸気象観測所の値⁹⁾ から推定) は 1900 年以降、上下しながら全体として上昇傾向にあり、100 年で約 9 から 10.5 に上昇している (図-7)。本モデルによれば気温上昇は約 10.5 以下では RGR を高める方向に働くが、より高温域では RGR の低下をもたらすことから、今後のいっそうの温暖化は横山試験地のスギの成長を低下させると予想される。

図-8 は、間伐で R_y が 0.9 から 0.75 に減り、5 年で 0.9 に回復することを仮定し、その間の年平均気温が観測値通り (横山試験地の値を用いた) の場合 (細線) と、基準年 (仮に 1990 年とした) と同じのまま変わらない場合 (太線) についてそれぞれ RGR を求め、林分幹材積成長を算出したものである。気温の年変化の影響は、(R_y を 0.9 から 0.75 に減らすという平凡な) 間伐が材積成長に及ぼす影響を相当にマスクする可能性があると考えられる。

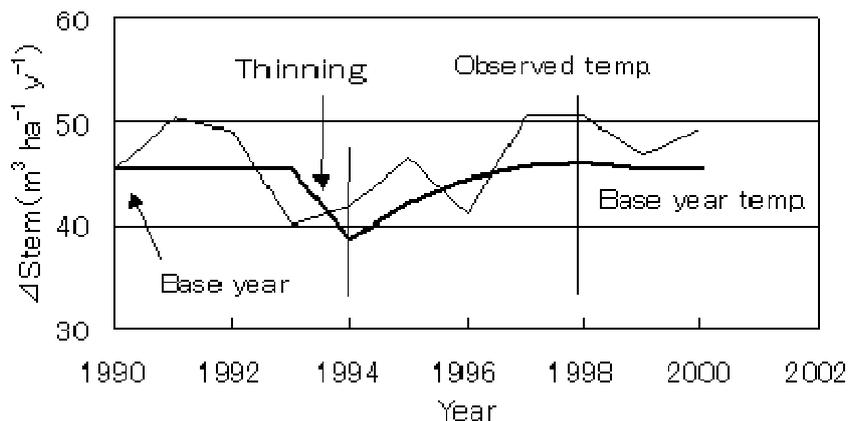


図-8 間伐林分モデルにおける気温影響の除去例⁷⁾

1993 年に間伐を行い、5 年後に再閉鎖することを想定したときの林分幹材積成長量。細線は気温を観測値通りとした場合、太線は気温を基準年と同じのまま変らないとした場合の予測値。

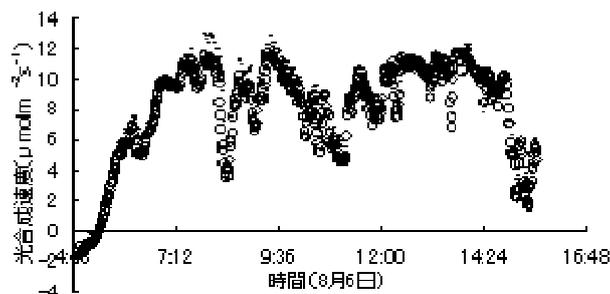


図-9 単葉光合成速度の日変化の再現性 (夏の上層の葉)

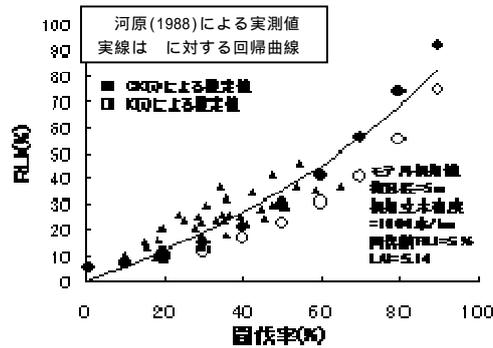


図-10 間伐率と林床での RLI の関係および CK(i)を用いた時の RLI の再現性

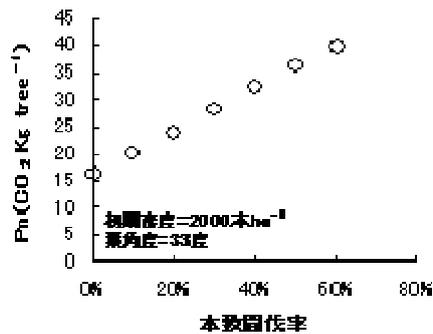


図-11 間伐率の変化に伴う個体林冠葉群生産量の変化

(2) プロセスモデル

単葉光合成モデル

図-9 に単葉光合成モデルによって再現された光合成速度の日変化を、林冠最上層の葉について示した。この時最大光合成速度と暗呼吸速度を表すパラメータは DOY、LMA 及び温度の関数となっている。簡単なモデルであるが、気温と PPFD で概ね光合成の日変化を表すことができた。また林冠最下層の葉についても同様に再現することができた。

林冠光透過モデルの検証

図-10 に河原⁴⁾の調査した本数間伐率と林床での相対光強度 (RLI, %) の関係を示し、さらに CK(i)または K(i) (間伐した時も林冠閉鎖時と同じ K(i)) を用いて推定した RLI を併記した。計算に用いた林分初期条件を図中に示すが、これは無間伐のときに河原のデータに合う常識的な設定である。CK(i)から計算した RLI は K(i)からの計算結果よりも高く、間伐率が高くなるほど両者の差は広がる。K(i)を用いた場合、間伐による光環境条件の変化を過小評価する事がわかり、CK(i)の導入は間伐後の光環境条件をより精度良く表現できると考えられた。

間伐強度の林冠葉群生産量に及ぼす影響

立木密度 2000 本を初期値とし、本数間伐率を増大させた場合、個体の林冠葉群生産量は間伐率の増加に伴い増大した(図-11)。一方初期の LAI を 5.15、その時の立木密度を 1000 本、2000 本、3000 本と設定し、本数間伐率に伴う林分の林冠葉群生産量を計算したところ、3 者間には大きな差は認められなかった(図-12)。間伐強度と林冠葉群生産量のシミュレーション結果は、京都の間伐林分の胸高断面積成長の変化パターン(図-13)と似ていた。胸高断面積合計の成長と葉群生産量との関係を確認する必要があるが、シミュレーションの結果は間伐率と生産量の関係を概ね表していると考えられる。

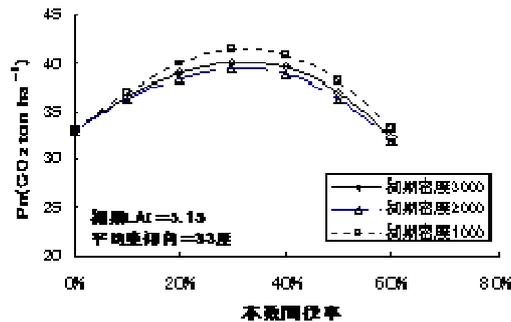


図-12 初期立木密度の違いによる本数間伐率と林冠葉群生産量の関係

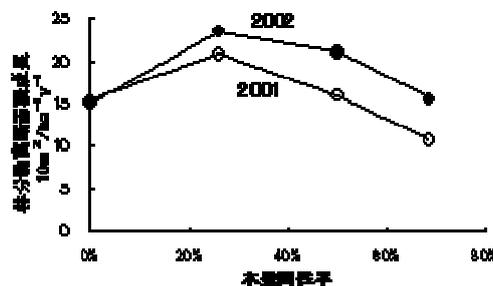


図-13 京都間伐試験地での本数間伐率と林分胸高断面積成長量の関係

次に初期 LAI が異なる場合の林冠葉群生産量に対する本数間伐率の影響を調べた(図-14)。初期密度は 1000 本 ha^{-1} とした。その結果、間伐前の LAI が大きいほど間伐による林冠葉群生産量への効果が顕著に現れ、最大の林冠葉群生産量を示す本数間伐率は変化することが分かった。

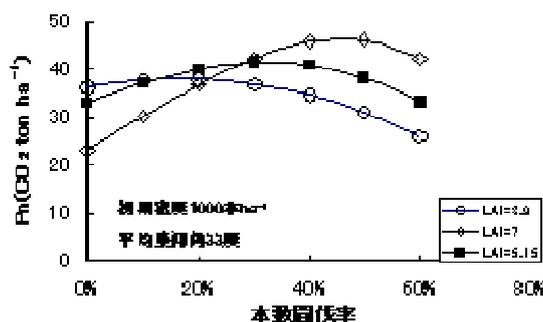


図-14 初期LAIの違いによる、本数間伐率と林冠葉群生産量の関係

(3) 気温(温度)が林冠葉群生産量に及ぼす影響

こうした間伐率に伴う林冠葉群生産量の変化を検出できるシミュレーションモデルを用いて、気温を変化させた場合の葉群生産量の変化を計算した。なお、気温は、光合成の酵素反応に影響するだけでなく、葉-大気水蒸気圧欠差(VPDL)を媒介として気孔コンダクタンスにも影響する(水ストレス)が、温帯である日本での強い乾燥は夏季の一時期に限られ、年間の葉群生産量に及ぼすストレスの影響は小さいと考えられる¹²⁾ので、今回の計算では、気温は最大光合成速度と呼吸速度にのみ影響を与えると仮定した。試験地で得られている10分間隔の気温データに対して ± 2 の変化を与え、年間の林冠葉群生産量を推定するシミュレーションをおこなった(図-15)。計算の初期値としてLAI=5.15、立木密度1000本を与えた。平均気温の増加に対して間伐率が弱いほど林冠葉群生産量は減少し、逆に強い間伐率では増大した。従って異なった間伐率に対して、温度変化に対する林冠葉群生産量の変化を表す曲線が交差する現象が示された。例えば無間伐区と60%間伐区を比較すると、無間伐区で気温が1度下がった時の林冠葉群生産量と、60%間伐区で気温が1度上がった時の林冠葉群生産量がほぼ等しくなる。このことから間伐によって変化する林冠葉群生産量は、環境条件である温度によってマスキングされてしまう可能性が示唆される。また無間伐での林冠葉群生産量に対する、各間伐区のエリクソン生産量の差分を比較すると(図-16)、気温の増減によって間伐の効果が大きく異なることが示唆された。

以上、森林バイオマスの時系列に沿った変化に及ぼす気温や間伐影響を、重回帰モデルを用いてファクタリングアウトする手法を示した。また、要因の効果についてプロセスモデルによる検証を行った。今後、データやパラメータを増やし、モデルの普遍性を高めるとともに、拡大係数を導入するなどして炭素量を算定する必要がある。

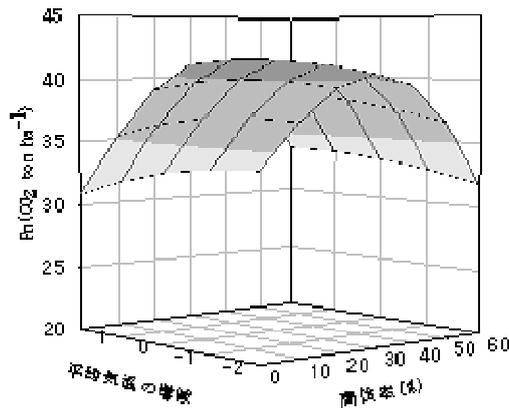


図-15 間伐率と林冠葉群生産量に対する気温変化の影響

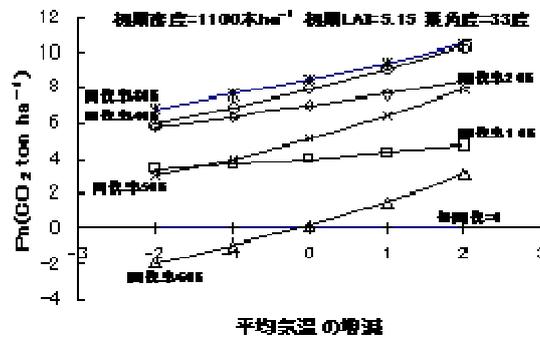


図-16 気温変化を想定した場合の、無間伐区に対する各間伐区の林冠用言生産量の差の変化

4 本研究により得られた成果

森林バイオマスの時系列に沿った変化に及ぼす各種要因効果のファクタリングアウト手法の開発に取り組み、気温や間伐が及ぼす影響について、重回帰モデルを用いる手法を示した。また、プロセスモデルを構築し、結果のクロスチェックを行った。

5 引用文献

- 1) COP7 (2001) Marrakesh accords, Seventh session of the conference of the parties and the fifteenth sessions of the subsidiary bodies, 29 October–9 November 2001, Marrakesh, Morocco, <http://unfccc.int/cop7/>
- 2) 神田学、花井洋子(1998)森林成長モデルとその性能評価．水文・水資源学会誌 11:472-481
- 3) 勝田 柁(2001)森林・林業百科事典．丸善，534-536
- 4) 河原輝彦(1988)複層林誘導のための林内照度のコントロール．森林立地 :10-13
- 5) 気象庁(1999)異常気象レポート'99 近年における世界の異常気象と気候変動<各論>．大蔵省印刷局
- 6) 気象庁(2002)気象庁年報(平成13年)2001年．(財)気象業務支援センター

- 7) 清野嘉之、九島宏道、細田和男、家原敏郎 (2004) 森林の蓄積変化に及ぼす気温と密度管理の影響のファクタリングアウト。日本林学会関東支部論文集, 55, 127-128
- 8) Monsi, S., Saeki, T. (1953) Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. Jpn. J. Bot. 14:22-52
- 9) 日林協(1999)人工林林分密度管理図 全 22 図 (復刻), 解説書付き。日林協
- 10) 宇都木玄、荒木眞岳、川崎達郎、石塚森吉 (2001^a) ヒノキ人工林における葉面積指数の季節変化の推定.日林誌 83:359-362
- 11) 宇都木玄、荒木眞岳、川崎達郎、石塚森吉 (2001^b) 林冠 GAP の修復速度-ヒノキ林を用いて-。日本林学会北海道支部論文集 49:9-11
- 12) 宇都木玄、斉藤哲(1996)ヒノキ陽樹冠の当年葉における夏の光合成の日変化. 日本林学会論文集 107:183-184
- 13) Utsugi, H. (1999) Angle distribution of foliage in individual *Chamaecyparis obtusa* canopies and effect of angle on diffuse light penetration. Trees **14**:1-9
- 14) Yang, X., Miller, D.R., Montgomery, M.E. (1993) Vertical distribution of the canopy foliage and biologically active radiation in a defoliated/refoliated hardwood forest. Agric. For. Meteorol. 67: 129-146

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

- 宇都木 玄、荒木眞岳、川崎達郎、石塚森吉 (2001) 日本林学会北海道支部論文集, 49, 9-11
- 「林冠 GAP の修復速度-ヒノキ林を用いて-」
宇都木 玄、荒木眞岳、川崎達郎、石塚森吉 (2001) 日本林学会誌, 83, 359-362
- 「ヒノキ人工林における葉面積指数の季節変化の推定」
清野嘉之、阿部和時、遠藤日雄、大住克博、柴田順一、外崎真理雄 (2002) 日林協、東京
「早わかり 循環型社会の森林と林業」
Y. Kiyono, Hastaniah, K. Miyakuni (2003) Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute, 386, 43-51
- "Height growth relationships in secondary plant communities in Kalimantan for forestry projects under the Clean Development Mechanism of COP7".
清野嘉之、奥田史郎、竹内郁雄、石田清、野田巖、近藤洋史 (2003) 日本林学会誌, 85(3), 237-240
- 「強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる」
長尾精文、清野嘉之、九島宏道、奥田史郎 (2004) 日本林学会関東支部論文集, 55, 109-112
- 「スギの花芽形成と成長量におよぼす夜温の影響」
清野嘉之、九島宏道、細田和男、家原敏郎 (2004) 日本林学会関東支部論文集, 55, 127-128
- 「森林の蓄積変化に及ぼす気温と密度管理の影響のファクタリングアウト」

(2) 口頭発表

- 宇都木 玄、清野嘉之：第 114 回日本林学会大会 (2003)

「間伐後の林冠葉群における生産量の推定」

清野嘉之、九島宏道、伊東宏樹：第114回日本林学会大会（2003）

「スギ林分の幹断面積成長に及ぼす気象因子の影響」

（3）出願特許

なし

（4）受賞等

なし

（5）一般への公表・報道等

NHK 10 Min Box (2001年6月21日放送) ヒノキ林の樹冠構造と光合成について番組作成

（6）その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

平成16年秋の森林吸収源に関する国際シンポジウムで研究成果を発表する予定。