

収量一密度図の理論と応用

菊 沢 喜八郎*

1

駆けだしの研究者であった頃、僕は大学の演習林で虫の数をしらべていた。もっとも、大学院に入ったばかりの僕を、たとえどんな形容詞をつけたにせよ「研究者」と呼べたかどうか怪しいものだったし、さらに言えば、今でも駆けだしなのだから、その頃ならばよちよち歩きとでも形容するのがふさわしかったかもしれない。とにかく、林にいる虫を皆つかまえてやろうというので、殺虫剤をいぶし、林床に白布を敷きつめて、落下してくるやつをかたっぱしから採ってしまおうという大作戦であったのだ。

今の僕なら「そんな阿呆なことはやめとけ」と止めるにちがいないのだが、指導教官は、その頃はやった怪獣映画の主人公のあだ名を持つ怪人物で（主人公なら怪獣そのものか）、怪しの煙を吐き出して、虫を皆殺しにするというアイディアはそのあたりから出てきたものに相異なく、止めるどころかさかんに僕達をけしかけた。それで僕達は、重い殺虫剤の缶をかついで、今ほど便利ではなかった演習林の山道を、よろよろと歩きつづけることとなる。

捕らえてきた虫共をながめているうちに、ある傾向に気づいた。大きい虫は少なく、小さな虫はやたらと多いのだ（あたりまえのことか）。これを使って何か法則性を見つけてやろうと、大きいことを考えた。あれこれとデータをいじくり回していたこの期間は、「よちよち」は「よちよち」なりに、自分で歩きはじめた時であったにちがいない。個体重の方を10 i ごとのクラスにとり、各クラスごとの個体数との関連をしらべると、両対数直線関係とでもいうべきものが成り立ちそうであった。これを使ってモデル化を試みた(4)。

この話は生態学会で発表した。僕にとっては初舞台である。もっとも、以前に林学会で発表したことはあったが、その時のなんとはなしの沈滞した空気に比べて、生態学会は解放されていて明るく、なにより沢山の質問がとびだし、僕の意気は昂揚する。先達というのは、若いやつが発表した時は、なんでもよいから質問してやるべきなんだ。それが彼らへのもっとも大きな励ましになる。質問の中味はそれこそなんでもよいんで、たとえばその時の吉良先生の質問は、「今の話はおもしろそうなんだが、数式のところがよく理解できなかったから、もう一度説明してくれ」というものだったりした。

僕の論文が印刷されたとはほぼ前後して、当時大阪市立大学の穂積和夫先生の「MNY法」に関する第1論文が、日本生態学会誌に掲載された(5)。この論文は、森林内での樹木個体の大きさの分布を扱ったものである。だから僕が虫でやってきたと同じようなことを樹木を相手にしてやると、強引に言えば言えぬこともない（いくら強引でも言わない方がよいか）が、内容は当然異なっている。特に、

* 北海道林業試験場

数式の取り扱いにおいて洗練されている、という趣きがありました。

森林を構成する木を、大きい木から順に積算していく。この取り扱いからしてなんとも小癪であった。もっともこれは、「密度管理図」の〈等平均樹高線〉すなわち〈Y-D効果〉あたりに鍵がある。小さい木から間伐すると、〈等平均樹高線〉上を、右から左へ移動するという、只木良也さんの「発見」が、機縁となっているらしい。道理でこの第1論文には、篠崎吉郎さんとともに只木さんも共著者として名を連らねていた。

大きい木から積算された材積 Y と、積算された本数 N 、そして平均材積 M の関係をしらべる。この過程で、積算 Σ は、積分 \int に変えられる。このあたりの操作が、僕なんかから見るとなんとも粋ですわねえ。 Σ は僕だって使ったが、これはなんとも野暮ったい。これに対して \int は、こいつを微分してやることによって、分布密度関数という本質の関係をとりだすことができる。つまり、 M 、 N 、 Y 間の現象的関係と、本質との間をつなぐ実体的関係を、このミミズのような記号が担っているんだと、武谷流⁽⁸⁾に言えば言えますね。また、分布密度関数を、ヒストグラムから直接検討しようとするれば、大標本が必要なうえに、クラス分けをどうするかといった点にも頭を悩ませなければならない。こういった問題も積分型ではきれいに解消されてしまうのだ。

この第1論文は僕には大きな刺激であり、むさぼるように読みふけた。この論文で用いられているのは、 $M \sim N$ 間に成り立つ逆数式を基にした分布密度関数であった。これは僕達が篠崎先生の特別講義で習った、C-D定規を使えばよかったから、なじみのものといえた。第1論文を勉強する過程で、 $M \sim N$ 間の逆数関係が、森林の階層間の密度効果という概念で説明できることを「発見」したりもした。

ところで僕の論文の方はといえば、小野勇一さんが面白がって何度か引用してくれた⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾以外は、人目に触れずにいたのだが、なぜか最近、名古屋大学の穂積研究室の若い人達が、また似たようなことをやりはじめた⁽²⁰⁾⁽²⁸⁾。この当りの因果関係というものは……、いやこのあたりでウロウロしていると、いつまでも話が進まない。話は数年先にすつと、僕はどういうわけか北海道に上陸している。

2

北海道の広葉樹は、きわめて優秀な材として世に知られており、化粧板、フローリング、家具、器具など利用範囲も幅広い。また、木材の輸入国である日本から、外国へ輸出もされているという、特異な存在でもある⁽²⁹⁾。ところがこのような優良大径の広葉樹資源は、年々減少の一途をたどっており、資源の保続ということが、大きな課題となっている。

一方北海道には、山火事の跡に再生した林、以前薪炭林として利用されていた林など、二次林が数多くある。このような二次林は、今までは「雑木林」として省りみられることがないか、「低質」の形容詞が冠せられて、皆伐され、針葉樹に改植されるのが常であった。ところが近年ようやく、こうした二次林を保育して、優れた広葉樹材を生産しようという機運が高まってきた。

運よくその頃、北海道林業試験場に就職した僕は、まず最初のテーマとして、このような「広葉樹

二次林の保育」にとり組むことになった。

最初の年は、いろいろな二次林に試験地を設定し、立木にナンバーテープをつけ、胸高位置に赤ラッカーで印をし、胸高直径を測定してまわった。

いくらかずデータが増えていった。またこの他にも、道有林や国有林でとられている試験地の資料を見せてもらった。こうしたデータから、まず、林分本数と林分材積の関係を、両対数軸上にプロットした。ところがこれが、予期したほどにはきれいに並ばないんだなあ。今思ってみると、この種のデータが例えば $3/2$ 乗線とか、 $Y-D$ 曲線のようにきれいに並んだら、かえって不思議なようなものだが、その時はまだ経験が浅く、そうは考えなかった。

これはデータの方がおかしいのではないか。考えてみるに本数というのが、人工林のように人手で植えたのではないから、ばらばらなのである。たとえば壮令林だと、直径10cm以上の木というふうになり、かなり大きい木にかぎってデータがとられるのがふつうだ。じゃそれ以下の木はないのか、ということはない。より小さい木までも考慮に入れると、「本数」がどんどん増えてしまう。それではどの林でも10cm以上ということで統一しようとする、これまたおかしいことになる。非常に若い林のデータまでいれると、10cm以上の木などはごくわずかしなくて、大部分の木はそれ以下というような例がでてくるからである。10cm以上の木の本数を結ぶと、左下から右上へと点がならんでしまう。実はこれ、後に明らかになる「等限界直径線」にはかならないのだが、その時にはまだ概念化していない。

この時ふと、穂積さんのMNY法のうち、 Y と N の関係を使ってみようと考えた。大きい木から積算した材積と本数の関係である。これは飽和型の曲線になる。大きい木から順に、たとえば10cmの木まで積算すると、1つの曲線を描くことができる。さらに細い木まで含めると、この曲線がさらに延長されることになる。逆に、これより大きいところ、たとえば20cm以上の木に着目するという場合は、曲線の右側部分（つまり尻尾の部分）が、20cmの木のところまで消えていくだけ、ということになる。つまりこの曲線は、大きい木から積算してあるために、ある直径階以上の木に限定しようとするればそこで切れればよい、ということになる。尻尾の部分が切れたり伸びたりするだけで、本体には影響しないんだ。

いろいろな林分資料で、片っぱしから $Y-N$ の関係を描き、これにC-D定規で $Y-N$ 曲線を当てはめてみた。ぴたりとってよいほど、よくあてはまる林分資料もあるし、かなり適合の悪い例もある。さまざまなのだ（あたりまえのことか）。もともと大きい木から積算したんだから、かならず似たような飽和型の曲線にはなる。したがって、当然ずといえども遠からず程度に当てはまること、間違いない。この程度で満足して次に進むことにした。

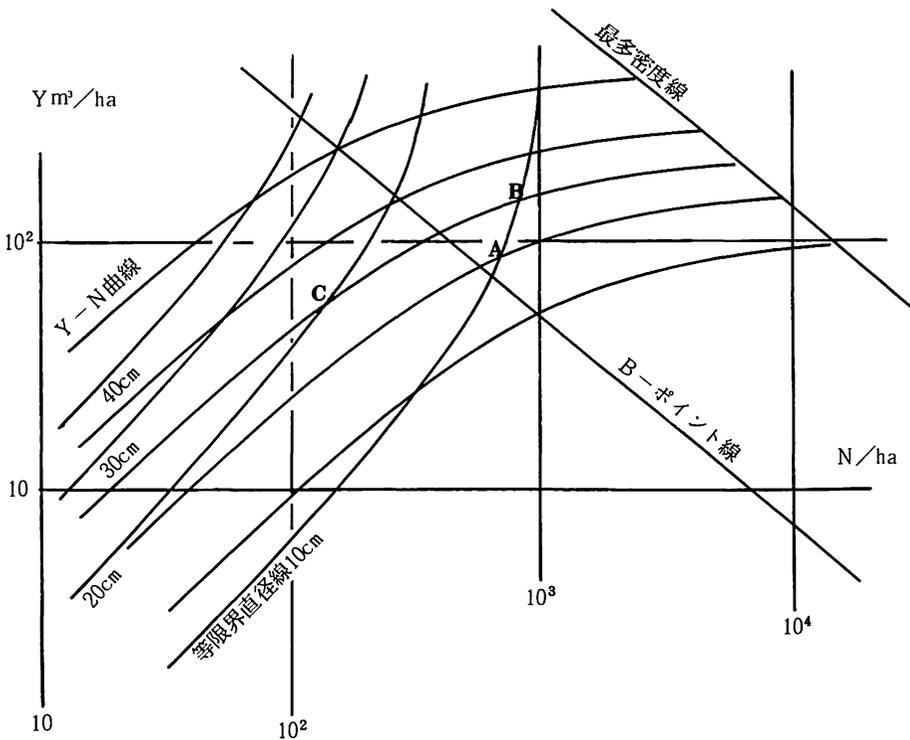
ところで、これらさまざまな林分における $Y-N$ 曲線、これは林分によってさまざまな位置にくるから、一緒にすると錯綜してしまって、とてもひとつの図に表わすことができない。そこでモデル化を試みることにした。まず、 $Y-N$ 曲線をあてはめる際の、C-D定規のB-ポイント(2)に着目した。先程、 $Y-N$ 曲線の本体とか尻尾とかいう表現を用いたが、これは曲線の「へそ」みたいなものさ。

さまざまなY-N曲線のB-ポイントの位置は、もちろんさまざまな位置にくるが、最も外側（右側）に来る点を結んで直線を引いた。これは、林分本数-材積に関する「最最多密度線」からの類推で、「B-ポイントに関する最最多密度線」といったものになる。

このB-ポイント線に、C-D定規のB-ポイントを沿わせて、何本かのY-N曲線を描く。これは、かなり密な林分におけるY-N関係の推移を示すモデルを与える。それぞれのY-N曲線上で、最大個体からたとえば直径30cmの大きさの木までを積算した場合の点、20cmまでを積算した点、10cmまでを積算した点、といったものを計算によって求めることができる。各Y-N曲線上の等しい直径の点を結んだものが、等限界直径線である。この用語は、僕の1978年の論文ではじめて使った(6)。この等限界直径線を、穂積先生の論文から「引用」している人がいるが(17)、これはもちろん誤り。（書かれていないものを引用するとは、器用な奴じゃ）。語感の悪さ丸出しのこの語は、僕の造語なんだ。もっとも、後にオランダから出ている雑誌に載せたときは、「限界」をはずして「等直径線」とよぶことにした(11)。

以上のようにして、でき上がったのが、「収量・密度図」なのである。(図-1)

図-1 ミズナラ林の収量-密度図



3

「収量-密度図」は、最最多密度に達したような密な林分が、最最多密度を保ったまま推移するような場合に、林分全体の本数・材積のみならず、林分内の各直径階以上の木の本数・材積が、どのように推移するかを示すひとつのモデルである。

今までの「密度管理図」が、林分全体というレベルの問題を扱っていたのに対して、これは、林分内のある直径階以上の木という、部分集団レベルを扱えるようになったものといっただろう。

例えば、ある時点でのY-N曲線と、等限界直径線の交点(図1のA)を読みとる。この林分では、10cm以上の木が約600本存在している、と見ることができる。次の時点でのY-N曲線との交点(B)をみると、10cm以上の木は約800本へと増加する。また、20cm以上の木が約120本(C)、新たに生じたこともわかる。Y-N曲線の移動量そのものは、林分生長量によってきまるから、何年間でY-N曲線がどこまで移動するかを決めるためには、林分生長量に関する情報が必要であること、いうまでもない。

逆に、生長量に関する情報を盛りこむことができれば、図-1を利用して新しい収穫表を作ることが可能になる(8)。従来の収穫表では、林分全体の量に関する情報しか得られないのに対し、新しい収穫表では林分のなかみ(各径級ごとの本数配分)に関する情報が得られるところに特色がある。特に我々の最初の目的が、優良大径材を生産しようというところにあったから、その為には林分の平均直径がわかったとしても役には立たない。太い木がどれだけできるかが知りたいのである。新しい収穫表は、この要請に応えるものといえる。

時を同じくして、直径分布に分布関数をあてはめ、同様の収穫表を作ろうとする試みもなされはじめた(1)。基本的に同じような方式で同じ方向を目指したものであり、どちらが優るといった類の問題ではないようだ。ただ、こうした方式で短期間にパラメーターの推定をくり返し、できるだけ現実に合わせていこうとするいき方には疑問がある。こういう考え方も実践上は必要だろうが、それで事足りるのであれば問題であろう。たとえばこのやり方は、地球の周囲を短い間隔で精度良く測っていこうというのに似てはいないか。これでは相手が丸いものか平べったいものか、わからないのではないだろうか。研究対象の構造が見えてこなければ、研究が面白くならんのではないかね。

それでは僕の方式ではどんなことが見えてきたか。たとえば等限界直径線である。これは、図-1では飽和曲線のように見えるが、右側に凸の双曲線状となる。すなわち、ある直径階以上の本数には極大値(最大値)があるということを示している。たとえば、直径10cm以上の木の本数は、ha当り1,000本でこれが最大で、これを2,000本も3,000本も立てるといっただけにはいかない(あたりまえのことか)。20cmなら500本、30cmなら250本、40cmなら150本でいどになる。これは、仕立て目標に応じた立て木本数をきめる場合の目安になる。40cm以上の大径材生産を目指すなら、立て木の本数は200本もあれば充分である、というふうに。

等限界直径線が、図-1のモデルに似たような軌跡を描くことは、ひとつの林分での追跡調査によっても確認されている(7)(15)。

また、地位のちがいや、保育間伐などによっても、この線じしんは変わらない、ということもわかってきた(9)。これはおそらくある直径階以上の本数といったものが、空間(およびそれによって規定される陽光量)によって制限されており、他の要因を変化させても増加し得ないという、最小養分律を示すものといっただけかもしれない。その意味では、最多密度曲線と同じような性格をもつものとい

えるのではなからうか。すなわち等限界直径線は、直径階ごとの最多密度曲線であるといえよう。

同じような考えで直径階ごとの収量比数曲線というものも作れるはずである。これを僕は、林分の「緊密度」(Compactness) (12)(13) という概念を導入することによって導いた。林分のこみあいかたを表現するのに、普通は、本数と材積が用いられるが、2章でも述べたように広葉樹林の場合は「本数」概念が明らかでない。そこでB-ポイントの位置に着目して、こみあいかたをあらわすことにする。Y-N曲線のB-ポイントがB-ポイント線上にくるような場合を、緊密度1.0と定義する。これを基準に緊密度0.8、0.5等を定める。それぞれの場合について、等限界直径線を計算して描く。これらは、緊密度1.0の等限界直径線の内側に、あい似た形の曲線群となる(図-2)。

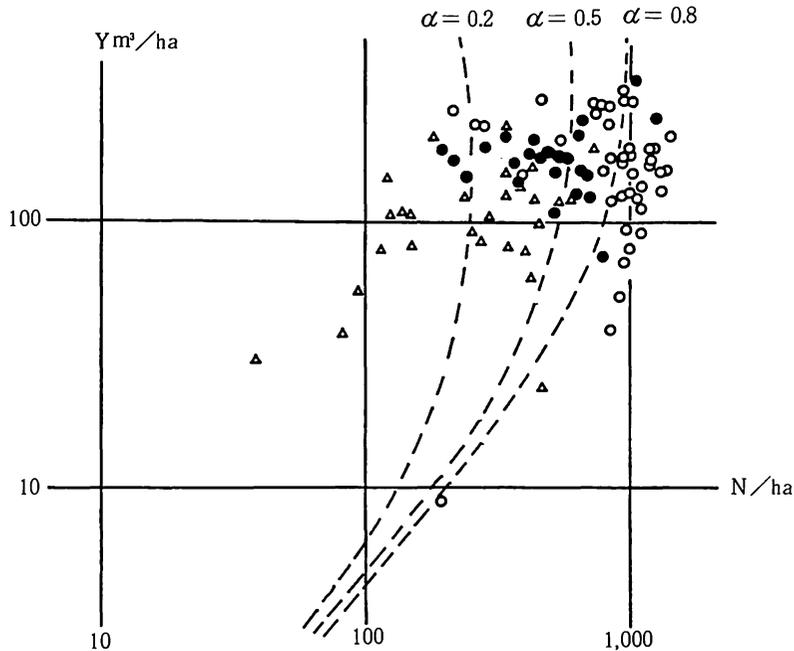


図-2 林分の緊密度に応じた等限界直径線 (α の値は緊密度を示す)

○ : $0.6 < \alpha$

● : $0.4 < \alpha \leq 0.6$

△ : $\alpha \leq 0.4$

限界直径点のちらばりのかなりの部分は、緊密度のちがいで説明できる。

ところで上に述べたように、保育間伐によっては直径階ごとの最多密度曲線(すなわち緊密度1.0の等限界直径線)を越え得ないということであるならば、間伐というものを行なってなんの効果があるのか。そもそも間伐とは何の為にやるのか。

4

1961年、坂口勝美は「間伐の本質に関する研究」という、大変な題名の大論文を発表し(24)、そのなかで、従来の樹型級に基礎をおいた間伐を定性的間伐とよび、これに対し量的側面を考慮にいたした間伐を定量的間伐とよんで区別した。彼は間伐の目的を「残存個樹の量、質を高めること」と規定し、

定性的方法のみでは丸太の量的・質的側面を高めることは困難であるから、定量的間伐へ進むべき必然性があることを述べ、定量的研究への途を開くことによってこの方面の研究に一時期を画した（ということになっている）。

坂口はまた、従来の間伐に関する知見を整理し何個かの要件にとりまとめている。そのうちのもっとも重要と思われるのは、「単位面積当りの材積総収穫量は、密度の増すにしたがって増加し、ある密度以上においては恒量に達する」というものであり、これは吉良らの密度効果の理論の「収量—密度効果」（Y—D効果）の表現に他ならない。（最近の研究では、非常な高密度では林分材積が低下するという例も見つかっているが(3)、これは一応特殊な例と考え、この要件にしたがって論を進めよう。）これと関連した他の要件は、「間伐の強弱によって、単位面積から得られる総収穫は、一般に施業せられる間伐の強さの範囲では、差があるとはいえない」というものである。これは、Möller (16)、Baker (4)らの経験則に、前記の要件をも考慮して得られたものであるらしい。

間伐の目的は、坂口のいうように「残存個樹の量・質を高めること」としておいてなんら問題はない。この場合、量的側面に関してだけ言えば、林分全体の量を高めることはできないのだから、結局は「太い木を作る」ということに帰着する。（別に太い木でなくとも、目的に合った径級のものということでもよい）とりあえずここでは、目標径級以上の太い木を何本作れるかを問題とする。これは、林分内でのある直径階以上の木の数という、部分個体群レベルの問題であって、林分全体とか平均値とかいったものとは、レベルの異なる問題なのである。

ところが、坂口さんの論文で実際に分析用具として用いられているのは、主として平均直径なのである。平均直径をもってしては、実際に太い木ができたかどうか判断しえないこと、明らかであろう。木が太らなくとも、細い木を伐るだけでも平均直径は増加するからである。坂口さんは、間伐について本質的な問題提起を為したが、分析用具の不十分さとレベルの混用によって、本質には迫り得なかったのである。

四手井は1963年に「アカマツ林の造成」(2)という、題名は1樹種に偏っているかのようだが内容的には当時までの森林生態学の成果を集大成した本を著わし、その中で、坂口の「定量的間伐」に対応する概念として、「林分間伐」という用語を新たに提唱している。（なにを隠そう、いや隠すこともないか、この人こそ第1章冒頭で紹介した僕の指導教授そのものである）。「林分間伐」とは、四手井によれば、「林分材積を最多にするような間伐」と定義されている。

ところで坂口の要件によれば、林分材積は密度が大なるほど大、つまり無間伐区で最大ということになるから、「林分材積を最大にする」「間伐」とは、形容矛盾ということにならんかね。そこで四手井さんは具体的な間伐方法として、「放置すれば枯死のおそれのある木を小径木から順に伐ればよい」（小径木間伐）という。なるほどこれなら矛盾はありません。しかし、放っておけば枯れるような木を伐るだけでは、残った木になにか効果をおよぼすようなことはあり得ないこと、これまた明らかだろう。四手井は、坂口のようにレベルを混同して矛盾を招くようなことはなかったけれど、それだけに、そのいうところの「間伐」は坂口よりも一歩後退したものになってしまったのである。

吉良竜夫を中心とした大阪市立大学の人達による、C-D則、Y-D則、3/2乗則などを主とする、植物の平均個体重と本数密度との間をよくととのった理論体系は、わが国生態学の世界に誇るべき成果であった。これが草本の実験個体群のみならず、樹木集団についても成り立つこと、おそらくこのことは、今まで単なる経験則の積み重ねでしかなかった林学に、理論の清新な息吹きをもちこんであらうし、それを知った人達に大きな感激を与えたものと思われる。このことは当時の人々、たとえば只木さん(4)たちの論文がきまって、「近年、吉良らによれば云々」と書き出されていることからもうかがえる。この理論をもって林学における密度管理—間伐—の問題を斬ることができる、と彼らは思ったにちがいない。しかしこの理論は平均値レベル、全林分レベルのもの、間伐は部分個体群レベルの問題。レベルがちがうのである。レベルのちがう問題を無理に斬ろうとすれば、理論は諸刃の剣となって喉元につきつけられる。「林分材積ハ無間伐が最大ナノダ」

このあたりの歴史的過程を大先生に確かめておきたいと思いつつ、まだ果せずにいる。その代り、といつてはなんだが、只木さんに尋ねてみたことはある。横浜の大学から懇親会場へ向うバスの中で、釣り皮につかまりながら「小径木間伐なんかやっても意味がないと、気づかなかったんですか」ときいてみた。もう5年以上も前のことだ。「うすうすとは気がついたらけどな」と独得の丸味のある京都弁でかわされて、それ以上は追及できなかった。(気づかなければ〇〇だぜ)。

「林分密度管理図」も、小径木間伐を前提にしているから、上と同じ問題をもつ。つまり、間伐してやってもなんの効果もでてこない。安藤さんは「管理図上」でのいろんな間伐経路を想定したモデル計算を行ない、主間伐合計量に大差がでなかったと結論している(2) (計算などしなくとも、管理図を一目にらめばわかることだ)。

密度管理図にこのような問題があるということに気づいたのは、小林正吾(5)であつたらしい。(うすうすなら、皆気づいていたらしいから、上の文には「発言の記録が残っているのは」という句を挿入した方がよい)。「管理図」上で、間伐をしても、無間伐のまま推移してきた林分と同じところに来てしまう、これについて小林さんは考えた。ゴムまりは指で押えている間はへこんでいるが、離すとすぐに元に戻ってしまう。間伐区もこれと同じで、間伐後すぐに元に(無間伐で推移してきたものと同じに)戻ってしまう不自然なモデルじゃないか。これは、「管理図」が自分のデータに合わないといった低次元の批判が多かった(6)なかでは、おもしろい指摘といえた。が、実のところは、「管理図」がほぼ正しいんだ。ただし、小径木間伐をすれば等平均樹高線上を推移するという近似が成りたつのは、間伐率が低い場合だけなのである。間伐率が高いとこの線からはずれてくる。(このことは安藤さんの論文に実例を挙げてははっきりと記載されている。失礼いたしました)。「管理図」が間伐問題を扱えるのは、「間伐をしてもなくても同じでいどの低い間伐率で小径木から伐る」場合だけ(放っておけば枯れる木を伐る場合だけ)なのだ。

要するに間伐の問題は、平均値レベルの法則性をもってしては斬れない、林分内の部分集団に関する理論を武器にしてはじめて扱える問題なのだ。間伐—この古くて新しいテーマは、いまからようやく研究をはじめなければならない、という段階にある(林業の実践にくらべてなんと遅れていること

か)。

それでは最後に、僕の方式では間伐効果はどのように表わされるかを説明しておこう(10)。小径木だけを伐って効果はないから、太い木も伐る全層間伐をする。図-3のように、Y-N曲線は45°線に沿って左下方向に移動する。何年間かすると、その間の林分生長量だけ、間伐区も無間伐区も上方に移動する。(ま上に上がるとはかぎらないが、第1近似として、もっとも簡単な例を示しておく)。この際、林分生長量は、間伐率がある限度までは低下しないという林分レベルの法則性が役に立つ(坂口の要件)。

何年間か経った後の、間伐区と無間伐区の2つのY-N曲線を比較してみる(図-3)。林分全体を示す点では、無間伐区が、本数・材積ともに間伐区よりも大である。しかし2つのY-N曲線は途中で交差し、左側部分(大きい木の部分)では、間伐区の方が上にくる。つまり間伐によって太い木ができたといえる。林分全体では無間伐区が大である(林分レベルに関する生態学の法則)が、間伐した方が太い木ができる(古くからの林業常識)という、一見矛盾する現象を、無理なく統一して理解できる。

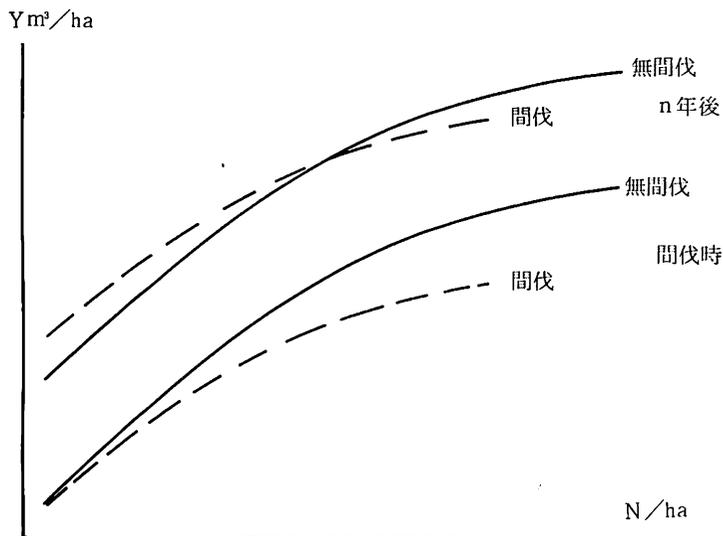


図-3 間伐効果を示す模式図

要するに間伐効果とは、間伐区のY-N曲線を無間伐区のそれよりも上にもってくることである。この場合、林分全体の量に関する生態学の法則(坂口の要件)の制約により、Y-N曲線を丸々上にもってくることはできない。そこで間伐によってY-N曲線を左にずらし、左側部分だけでも上にくるようにする。小径木間伐ではY-N曲線の尻尾が切れるだけで、左側に移動はしない。移動させるには太い木も伐る必要がある。太い木を伐ることによってのみ太い木を作れるんだ(常識的なことか)。

色々やってきたけれど、わかったのは、結局は、常識的なことだった(オソマツ)。

この報文は、第27回林業統計研究会(1985年4月:札幌)の、講演予稿である(このとおりしゃべるかどうかはわからないが)。機会を与えていただいた阿部信行さんに感謝いたします。

文 献

- 1) 阿部信行。トドマツ人工林の施業法に関する研究Ⅱ道有林におけるトドマツ人工林の収穫表の作成。北林試報18:71—93, 1980.
- 2) 安藤貴。同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究。林試研報 210:1—153, 1968.
- 3) 浅井達弘。高密度に植栽したトドマツ模型林分の解析——密度効果の機構とその原因について——北林試報22:33—42, 1984.
- 4) Baker, F.S. Principles of Silviculture. McGraw-Hill, New York, 414 pp, 1950.
- 5) Hozumi, K., Shinozak, K. & Tadaki, Y. Studies on the frequency distribution of the weight of individual trees in a forest stand. I. A new approach toward the analysis of the distribution function and the $-3/2$ th power distributio. Jap. J. Ecol. 18:10—20, 1968.
- 6) 菊沢喜八郎。北海道における天然生広葉樹林の収量—密度図。日林誌60:56—63, 1978.
- 7) 菊沢喜八郎。トドマツ人工林における限界直径点の動き。日林誌60:313—314, 1978.
- 8) ————— 収量—密度図を利用した収穫予測の試み。日林誌61:429—436, 1979.
- 9) ————— 秋田スギ人工林における等限界直径線の二, 三の性質 日林誌 62, 234—237, 1980.
- 10) ————— 間伐効果に関する定量的研究Ⅰ収量—密度図を用いた分析。日林誌63:51—59, 1981.
- 11) ————— (Kikuzawa, K.) Yield-density diagram for natural deciduous broad-leaved forest stands. Forest Ecol. Manage., 4:341—358, 1982.
- 12) ————— Yield-density diagram: compactness index for stands and stand component. Forest Ecol Manage. 7:1—10, 1983.
- 13) ————— (菊沢喜八郎) 林分の緊密度とそれを応用した収量—密度図の改良。北林試報 21:1—7, 1983.
- 14) ————— ・四手井綱英。京都付近のアカマツ林における節足動物の現存量について。京大農演報39:1—8, 1967.
- 15) 菊沢喜八郎・水井憲雄・福地稔。山火事跡再生林の10年間の動き。日林北支講32:43—44, 1984.
- 16) Moeller, C.M. Untersuchungen ueber Laubmenge Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes. Det forstlige Forsogsvasen i Danmark 17:1—287, 1944.
- 17) 南雲秀次郎・白石則彦・田中万里子。スギ林分収穫表調製法のシステム化に関する研究——東京大学千葉演習林スギ林を対象として——。東大農演報71:269—330, 1981.
- 18) 小野勇一。動物の個体数調査法。「生態学実習指導書」(生態学実習懇談会編。朝倉書店。東京 87—107), 1977.

- 19) 小野勇一。群集の生態——動物を中心として——。「集団と生態」(大沢文夫他編。朝倉書店。東京。105—178), 1977.
- 20) 大沢直樹・寺川直也。名大稲武演習林における樹上節足動物相について(I)——群集構成の季節変化——。92日林論34—348, 1981.
- 21) 坂口勝美。間伐の本質に関する研究。林試研報 **131** : 1—95, 1961.
- 22) 四手井綱英。アカマツ林の造成。地球出版, 東京。pp. 326, 1963.
- 23) Shinozaki, K. & Kira, T. The C-D rule, its theory and practical uses. Jour. Biol. Osaka City Univ. **12** : 69—82, 1961.
- 24) 只木良也。競争密度効果式を用いて検討した間伐と幹材積収穫との関係——アカマツの場合——。林試研報 **166** : 1—22, 1964.
- 25) 高橋文敏・内藤健司。第17回林業統計研究会シンポジウム。日林誌**58** : 424—428, 1976.
- 26) 武谷三男。弁証法の諸問題。勁草書房。東京。1968.
- 27) 竹内公男。第16回森林経理研究会・第19回林業統計研究会合同シンポジウム“森林経営計画の方法”日林誌**60** : 349—352, 1978.
- 28) 寺川直也・大沢直樹。名大稲武演習林における樹上節足動物相について(II)——体長—個体数関係について——。92日林論 : 349—350, 1981.
- 29) 渡辺啓吾。環孔材考。北方林業**27** : 249—251, 1975.