 総 説

森林計画学の道標（二）＊

甲斐原 一朗**

前報（森林計画誌16：125～134, 1991）の内容

- A. 昨日来た道
- B. 経理学の軌み
- C. アナログからデジタル思考へ

D. Jukohscope の発想

第二の道標を少し行った所に Jukohscope 法があるが、その発想は実は立木からではない。当時いわゆる洞爺丸台風で北海道国有林ではベター面の風倒木が生じたが、その材積測定に妙案はないか。林野庁調査課の宿題であった。議論は灰皿に一杯の吸い殻をテーブルにばらまいたとき、吸い殻の長さを測定するという興味にまで発展した。その少し前に印度の統計学者マハラノビスは綿花の栽培面積の推定に、現地に標本線を引いて耕地との交点数から面積を推定している。彼は‘積分幾何学’は知らなかったが、実験物理学者として実験を通じて積分幾何学の公式に到達していたのである。散乱した風倒木や吸い殻の長さの推定にも、その上に一定長の標本線を落として、吸い殻・倒木との交点数を数えて、積分幾何学の公式を適用すればよい。それは後に述べる。

次に倒木ではなく立木の樹高推定を問題とした。丁度その頃平田種男氏は、ビッターリッヒのレラスコープにかわる‘コノメーター (conometer)’を考案していた。簡単にいえばレラスコープを立てたもので、それを覗いたときの視線は、底角がたとえば β で軸を鉛直にした倒立円錐の側面の線を表すことになっている。ついでこの円錐を正しく樹幹に冠ぶせると、円錐と林地が交って地上に樹高に比例した円が描かれる。

標本点に立ってコノメーターを覗き、視線が樹幹を切る立木をカウントする。その後はビッターリッヒ法に従って円面積（樹高の平方に比例）の合計が推計され、さらに樹高に換算される。しかしバイアスはさけられないだろう。

直接に円周（樹高に比例する）を推計するのが Jukohscope 法である。その基本的な考え方は図-1のごとくである。

 ＊Ichiro KAIBARA: Guidepost for forest planning technology (2)

**第一経済大学: Daiichi College of Commerce and Industry, Dazaifu 818-01

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

図1 Jukoscope の考え方

えるわけにはいかない。レンズを覗いた視野の中の映像で処理するはかない。そのための器具が Jukoscope である。器具の考案には幾何学は全く無力で、苦心の末の accidental な成果であった。

Jukoscope は‘樹高-Scope’を含意した測定器具の商品名で、林野共済会が製作・販売した。調査課苦心の accidental な成果であったが、製作に高度の精密さが要求され、操作にも熟練を要することもあるが、やがて製作を中止した。短命な過去の遺物であるが、この路線では重要な意味をもつものとして、黒川忠雄氏（元林野庁指導部長）の解説を紹介することとする。（黒川忠雄「Jukoscope」林野共済会発行による）

Jukoscope は左右に二つのフォーカス・グラスをもち、それぞれ図-2 bのごとく直線と円

図2 Jukoscope

が刻まれている。

- ① 対象林地内に標本点を無作為にとり、図-2 aのごとく標本点から水平方向に平均樹高にはほぼ等しい距離に第一のポールを垂直に立てる（標本点～ポールは標本線OPである）。ついで標本点0から標本線に30°の線を引き、第一ポールからの垂線との交点に第二ポールを垂直に立てる。

標本点に機械を目の高さに支え、右側レンズで第一ポールを覗き、ポールの像をGP 20°の線

に合わせ、機械高と同じ高さの像をその線の十字に合わせる。これで機械の設置は終わる。

- ② 機械をその位置に保持して左側のガラスを覗く。二本の横線は視線の垂直線に対する角度 (α) を定めるもので、上が $\alpha = 15^\circ$ 、下が 20° となっている。測定の際には適当に一本を予め決めておくのだが、一般には 20° 、平均樹高が大きい場合には 15° を使用する。縦 2 本の斜線は視角を定める線で 50° を挟むように設計されている。左右が逆に映像されるので、右側の縦線を見ればその視線が O P に直角の方向 O X' になり、左側の縦線が第二ポールを見通す方向になっている。

図3 Jukoscopeの立木像

- ③ 機械をその位置に保持して、フォーカス・グラスを覗くと、映像図-3が現れる。横線 BB' は予め選定していた横線 15° 、 20° のうちのひとつであるが、それが樹幹を切る立木の本数を野帖 [A] 欄に記入する。図-3において (イ) 立木 a, f は BB' 点の外側にあるから数えない。(ロ) b, e は BB' 線が樹幹を切らないから数えない。(ハ) 立木 c, d は樹幹を切るから数える。ただし B 点付近で切られる立木については

はレンズを根元までおろし、第一および第二ポールを結ぶ直線の外側、または標本点と第二ポールを結ぶ直線より手前にあれば数えない。

- ④ 再び右側のガラスを覗いて、第一ポールを G P 90° に合わせる (左側のレンズは真上に向けられる)。左側のガラスの二つの円はそれぞれ鉛直線に対して 15° 、 20° の視線を決定する線である (内側の円が 15° 、外側の円が 20°)。前に選定した α 度と同じ角度の円を選び、その円が樹幹を切る立木の本数を中心線の左右別々に数える。左側の本数を [B] 欄、右側の本数を [C] 欄に記入する。
- ⑤ 標本点→第一ポール→第二ポールを結ぶ三角形内の各立木については、各立木から標本線 OP に下ろした垂線の足で、前の方法でレンズを真上に向けて、当該円が樹幹を切る本数を数えて [D] 欄に記入する。
- ⑥ 三角形内の全本数を [E] 欄に記入する。

各標本点の交点数は

$$A \times 2 - B + C + D \times 2$$

で計算される。ただし林地が傾斜している場合、標本線は水平にとったからこれに直角の方向の傾斜角を測定し、所定の係数を求め (係数表は省略) 修正交点数 = 交点数 $\times$ 係数を求める。第二の発想はこれで終わり、第一の発想である積分幾何学適用の準備は完了し

$$\text{平均樹高} = \frac{(\text{平均修正交点数}) \times (\text{第一} \sim \text{第二ポール間距離})}{E \text{ の平均}}$$

が計算される。

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

E. 積分幾何学の周辺

いま行く道の路盤は積分幾何学で固められている。Jukonscope もその堅さに支えられて滑らかに走れたし、さらにいろいろなアイディアを走らす可能性も多い。奥行きも深いこの道を展望するため、ここで積分幾何学を概観したいところである。しかしそれは極めて抽象的であり、数学者にも余り知られていない分野である。その頃数理統計学者の会団があって、ある日の例会で増山元三郎氏が積分幾何学の講演をすることになったが、司会者も‘積分’ではなく、‘微分’幾何学と紹介してしまったし、参会者の殆どが増山氏が何を言ったか全く理解できなかったことがある。

文献も少なく、九大の学生のととき測樹学長沢助教授の書架で、W.Blaschkeの‘Vorlesungen über Integral-Geometrie’を見て頁をめくった記憶はあるが、その後接したことはない。ただその後二十数頁の小冊子“Integralgeometrie von W.Blaschke” (Publie surs la direction de Blaschke) のコピーを入手できた。これで積分幾何学の概要を紹介すべきであろうが、コンパクトであるだけに極めて難解であり、厳密な紹介は後の機会に譲り、ここではその周辺を手探りするに留めたい。

積分幾何学はいわゆる“Buffonの針”問題に始まり、W.Blaschkeにより完成された。それはまた‘幾何学的確率論’ (Geometrische Wahrscheinlichkeiten) ともいわれるように、たとえば Jukonscope のような図形の標本調査のための基礎理論だといってもよいだろう。Blaschke の理論は次のように展開される。

① n 次元空間 E_n 内に球

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = 1$$

と、座標 a_k^i をもつ r ($r < n$) 個の単位ベクトル a^i をとる。 ($i = 1, \dots, r; k = 1, \dots, n$)
ベクトル a_k^i は $n - r = s$ 個の他のベクトル b^i と合わせて正規直交系 (orthogonalen n -Bein des E_n) を作り、 a_k^i と b_k^i とは ± 1 の直交行列式を作る。

a^i と原点とは線形空間 E_r を張り、 E_n から球 K_r を切り取るが、 K_r に対するある ‘Mass’ を問題とする。 K_r は $r(n - r) = rs$ 個のパラメーター $u_1, u_2, \dots, u_{rs}$ によって E_n と関係するが、それを f として積分

$$M_r = \int f du_1 du_2 \dots du_{rs}$$

が、積分領域 G が変化しても不変であることが主張される。

② ベクトル a^i と b^k が直交することから

$$\sum_{t=1}^n a_t^i b_t^k = 0$$

が成立し、両辺を微分して

$$\sum_t \dot{a}_t^i b_t^k + \sum_t a_t^i \dot{b}_t^k = 0$$

$$p^{ik} = + \sum_t \dot{a}_t^i b_t^k = - \sum_t a_t^i \dot{b}_t^k$$

がえられ、その累積

$$\prod_{\substack{i=1 \sim r \\ k=1 \sim s}} p^{ik} = F_r$$

において、 F_r を‘Dichte’と定義する。

ついでDichte F_r がいくつかの操作において不変であることが証明される。

イ) 可変のパラメーター u_i を任意の他の変数 V_i に函数行列式

$$\frac{\delta(u_1, u_2, \dots, u_{rs})}{\delta(v_1, v_2, \dots, v_{rs})}$$

が正なる条件の下で置換する。(Parameterinvarianz)

ロ) K_n の回転すなわち x_i の直交交換(Drehinvarianz)

③ 上述の球面幾何学からユークリッド幾何学に移る。

E_n 空間における線形空間(linearer Raum) E_r ($0 \leq r < n$)は、座標 x_i をもつその一つの点 x と、座標 a_t^i をもつ E_r 内のベクトル a^i ($i=1, 2, \dots, r$)の正規直交系によって決定される。さらにこの直交系と、 $n-r$ 個のそれに直交するベクトル b^i により、 E_n の正規直交系(n -Bein)が作られ、前と同じく

$$p_{ik} = + \sum_t \dot{a}_t^i b_t^k = - \sum_t a_t^i \dot{b}_t^k$$

がえられ、さらに

$$\nu^i = \sum_t b_t^i \dot{x}_t$$

を導入して、 E_n 内の E_r の Dichte

$$G_r = \prod_{i=1 \sim r} \nu^i \cdot \prod_{\substack{i=1 \sim r \\ k=1 \sim s}} p^{ik} = \prod \nu^i \cdot F_r$$

が定義される。ここでも Dichte は E_n のユークリッド的運動に対し不変であることが証明される。

④ つぎに座標 a_k^i をもつ E_n 内の Vektor a^i (それらは直交行列をつくる)の直交 n -Beinをとる。ここでも

$$p^{ik} = + \sum_t \dot{a}_t^i a_t^k = - \sum_t a_t^i \dot{a}_t^k$$

$$p^{ik} + p^{ki} = 0$$

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

がえられ、累積

$$\Pi p_{ik} = S$$

を求める。Sは球体運動 (sphärischen Kinematik) の Mass に対する Dichte であり、ここでも前述の不変性が成立する。

- ⑤ E_n の n -Beinはその原点 (Ursprung) の座標 x_i と Bein a^k の直交行列 a_i^k により決定される。

$$\Pi_{i=1}^n x_i = G_0 \text{ および } \Pi_{i,j,k} \sum_t a_i^t a_j^k = \Pi_{i,j,k} p^{ik} = S \text{ とし}$$

$$T = G_0 S$$

を 'kinematisches Dichte' と定義する。この Bein と固定的 (starr) に結ばれた新しい n -Bein をいれても T は不変であることが証明される。(Wahlinvarianz)

ところでここで確認された不変性は kinematisch の概念にいかなる意味をもつか。第一に、固定的な座標 δ_{ik} をもつ n -Bein から可變的 (beweglich) な n -Bein を見ることであり、第二には、動く観察者 (点) (mitbewegten Beobachterposten) から見ることである。それはまた、運動論において運動過程の転換 (Umkehrung) といわれる置換を扱うものである。なお、Euklid 空間の kinematisch Mass も同様な性質をもっている。

- ⑥ ついで具体的な応用を目的とした展開が Blaschke の聴講者によって行われた。その一人 O.Vargas は 'Integralinvariantender projectiven Geometrie' を提起した。そのなかで投影面 P_2 に対する例題として kinematisches Mass の解説が行われた。

$x^j(0, 1, 2, 3)$ を P^2 の 4 点 ($j = 0, 1, 2, 3$)、その座標を x_i^j ($i = 0, 1, 2$) とし、どの 3 点も一つの直線上にはないものとする。さらに u^j は座標 u_i^j をもつ x^j 、 x^{j+1} をもつ連結線 (Verbindungsgerade) とする。

$$\prod_{j=0}^3 \frac{(\dot{x}^j u^{j-1}) (\dot{x}^j u^j)}{(\dot{x}^j u^{j-2}) (\dot{x}^j u^{j+1})}$$

が kinematische Dichte に該当することが証明される。さらに Euklid 幾何学にかえて L.A.Santalóにより、 E_2 および E_3 に対し '注目すべき' kinematische Dicht の利用が見いだされた。

E^2 内に限定された konvex Gebiet K_1 および K_2 をとり、 K_1 を固定、 K_2 を可動とする。 T を K_2 の kinematische Dichte、 $K = K_1 \cdot K_2$ を K_1 、 K_2 の交叉面 (Durchschnitt)、 f を K の面積、 u をその周囲、そして n を K_1 、 K_2 の周辺 (Ränder) の交点数とすれば、次の公式が成立する。(ただし積分は K_2 の全域とする)

$$(a) \int f T = 2 \pi f_1 f_2$$

$$(b) \int n T = 2 \pi (f_1 u_2 + f_2 u_1)$$

$$(c) \int n T = 4 u_1 u_2$$

(ここで, u_1 , f_1 は K_1 の周囲と面積を示す)

とくに (c) 式に対応する Poincare の公式がある。

投影面 (ここでは林地) に x , y 座標をおき

$$\int n d k = 4 u_1 u_2$$

$$\text{where } d k = (d x, d y, d \theta)$$

とくに k_2 を直線とし, 投影面の各点で回転させて, K_1 , K_2 の交点数 n を数える。この直線の位置の総数は

$$\int d k = \int d x \int d y \int d \theta = 2 \pi F \quad (F: \text{林地の面積})$$

交点数の平均 (期待値) は $\int n d k / \int d k$ となる。

標本点の位置 (x, y) とその点での直線の方角をそれぞれランダム化したのが Jukohscope の考え方である。

F. 写真映像の解析

ここらで 'あずまや' に通ずる道標を置こう。ただしそれは休憩の場所ではなく, たとえば Jukohscope 法の第二の発想を実現するために汗を流した場所である。

積分幾何学適用の前提は画像の作成にあり, とくに複雑な三次元構造の森林の場合, 大きな課題であるが, まず思い付くのは写真の利用である。

Jukohscope に関連して, 旧林試九州支場も若干の実験を行っているが, とくに高田和彦氏は早くから写真に注目し, 三十数年も前のことだが, 写真を利用した '自働林分材積測定機' を提案している ('山林' 962号)。定角測定法以来写真上で胸高直径を測定し, これが基準長より長いか短いかを判断するだけでよく, これまでの写真利用で必要だった被写体までの距離測定が省ける。基準長との対比の場合, 写真上での樹木は他の部分と写真の濃度が異なるので見分けがつく。そのため濃度測定には光電子濃度測定機があり, これを使って胸高部位の写真の濃度を連続する線で表せる。機械の写真上を移動する速度を一定にしておくと (定角に相当する), 一定時間より長い時間線が現れたときは, 胸高が定角より大きいことがわかる。問題は写真の光軸により基準長が変わることで, その調整にはコンピューターとの結合を考えればよいということであった。

その後の写真機とコンピューターの発達著しい。あずまやには最新の機器が準備されねばならない。スキャナーで写真の映像をコンピューターにインプットし, あとコンピューターに計算させればよい。勿論レンズの焦点距離の選定も必要だし, 樹幹の線を際立たせるためにはフィルターも選ばねばならない。これも古い話だが, トドマツの老木の古い円盤の年輪撮影を東大小穴教授にお願いしたところ, フィルターの選定だけで, 白地に黒い年齢がクッキリと写しだされたことを記憶している。スキャナーの精度は勿論, イメージ機能が高くドット数の大きいコンピュー

図4 写真映像の基本

ター、さらに正確な頑丈な三脚も必要であろうし、現像にも工夫が要ろう。映像を読むためには、まず図-4の実物と映像の関係を知ることが重要である。さらに解析の目的に適応するスケールを作成する後述の作業もある。

写真映像の解析の実際として、次のような方法が考えられる。

① ビッターリッヒ法への適用を考える。

標本点上に機械を正確に胸高の高さに水平に（傾斜地の場合は傾斜に沿って）セットし、予め定めておいた条件（これは変更してはならない）で撮影する（写真（A）とする）。写真を中心がCRT（陰極線管：ブラウン管）の中心に来るようにスキャナーを使ってCRTの中心と写真の中心が一致するようにコンピューターにインプットする。さらに同じくCRTの中心を通る水平線を引く。CRTの中心を原点として、立木の根際の縦座標Yを読ませる。 $y = -1.2\text{m}$ とし、後に示す公式から z を計算させ、それをを用いて、立木の横座標 x が計算される。標本点と立木との距離は $(z^2 + x^2)$ の平方根であり、これからビッターリッヒ法の定角に対応する胸高直径の基準長が定まる。さらに映像から立木の胸高直径を読ませれば、ビッターリッヒ法が適用できる。

② 写真（A）はJukohscope法にも適用できる。

梢頭にかぶせた円錐体と林地が作る円・楕円と標本線の関係には図-1でみるように、イ。交わらない ロ。一点で交わる ハ。二点で交わるの3つのケースがあるが、これを区別するためのスケールを作らねばならない。

イ) 広いグラウンドに直線OP（標本線に該当）とこれに直交する直線OQ, PQ'を引き、 $QQ = x$ とする。（図5-a）（ x の値は実験の結果から最適値を選定する。）

ロ) Q点にポールを立て、点Oから仰角 $R - \alpha$ の点Yにマークする（ α は円錐体の頂角の

図5 写真判定のためのスケール

1/2)。さらに点 x_1 , x_2 をとってポールをたて, Y_1 , Y_2 を決定する。

ハ) X_1 の少し左にポールを立て点 Y_5 を決める。右側についても同じ操作を行って点 Y' , Y_3 , Y_4 , Y_6 を決める。

ニ) Y_1-Y_4 , Y_1-Y_5 , Y_4-Y_6 にテープを張り, 点 Y , Y_2 , Y_3 , Y' にマークする。

写真機を OP の中点に胸高の位置に据えて撮影すれば, 図5-b がえられる。(ポールの像は消してある) 点 O を求め, Y_2-O , Y_3-O 線を追加すれば, 求めるスケールがえられる。

写真(A) とスケールの像の中心を, それぞれコンピューターの中央にインプットすれば, 図-6 がえられる。

ところで並んでいる立木の樹幹を任意の傾斜角の平面で切れば(図-7), $y_1 z_1 : y_2 z_2 = o z_1 : o z_2$ であるから, それぞれの映像は, $Y_1 = y_1 z_1 / o z_1$, $Y_2 = y_2 z_2 / o z_2$ 従って $Y_1 = Y_2$ であり, 切断面は水平線となる。また円錐体と林地がつくる円の半径についても同様なことがいえる。従って $Y-Y'$ 線は全立木の樹幹を傾斜角 $\angle R - \alpha$ の平面で切ることとなる。

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

図6 判定基準の考え方

図7 スケール利用の考え方

従ってコンピューターの画面から次のように判定することができる。

イ) 梢頭が直線 Y_5-Y_1 , Y_1-Y_4 , Y_4-Y_6 に達しない立木は数えない。

ロ) 梢頭が三角形 $Y_2 \rightarrow Y_3 \rightarrow D$ の内側にある立木は 2 と数える。

ハ) その他の立木は 1 と数える。

これで積分幾何学のためのデータは完備される。

しかしここではこの判定条件を確認するため、特に林地上の円を描いてみることにする。

イ) 図 6 で立木 A は標本線からある水平距離のところにあるとする。(スケールは距離に対応して拡大されている)。

ロ) 立木 A に冠せた円錐体は林地上で標本線に接する。このことは、A よりも少しでも低い立木の円は接せず、従って標本線と交わらない。逆に A よりも少しでも高い、たとえば立木 A' は大きな円 A' を描き、標本線と二点で交わる。

ハ) 立木が水平に左側に動くとする。A' の場合 Y_2D 線に、A の場合 Y に達するまでは同じ状態が続く。しかしそれを越えると、円の左側の一部は標本線 OP の外に出て、円は標本線と一点でしか交わらない。

ニ) さらに左に移動すれば、しばらくは同じ状態が続くが、 Y_1 点に達すると、円の右側も標本線から離れることとなる。

ホ) それ以後は Y_1-Y_5 線について、同じくその下にある立木の円は交わらず、少しでも越える立木の円は一点で交わることになって、判定条件の正当性が確認される。右側についても同様。(しかし実際の測定の場合には上記の操作は一切不要である。)

- ③ 樹冠はシステムの重要な要素であるが、その解析も可能である。標本点に写真機を据えレンズを真上に向けて撮影する(写真(B)とする)。次に写真機を距離 D だけ垂直に上げて撮影し(写真(C)とする)、写真(B), (C)をコンピューターにインプットする。

写真(B)上の一点を選定し、この映像を座標 X_b , Y_b を読ませる。ついで写真(C)上で上の点に該当する点を確定し、同じく映像の座標 X_c , Y_c を読ませる。

この点の写真機の位置を原点とする三次元座標を x , y , z とすれば

$$X_a = h x / z, \quad X_b = h x / (z - D)$$

が成立し、 z が確定される。(たしかに同一点を写真 B, C 上で確定することは難しいかもしれない。しかしたとえばある枝の付け根と枝先、さらにそれに近い葉は容易に対応できるだろうし、続いてその中点、さらに中点を選ぶ作業を続ければ、かなりの対応点を確定できるだろう)

しかしこれに成功すれば、複雑な樹冠の構造を x , y , z の三次元行列として表現できることとなる。まず積分幾何学導入の門戸が格段に拡大されることはいうまでもなく、議論もアナログからデジタルの方向に変わるだろう。その他次のようなことが考えられる。

イ) ある z について、それに対応する x , y を投影すれば、樹冠の層別構造が分かるであろう。葉の重なり具合も推定できるであろう。

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

ロ) 樹冠の映像を幾つかに区分して、その境界線の略図をCRTに入れ、その面積を積分幾何学で計算する。ついでその中の点灯しているドット数を数えさせ、面積との比率を求めれば、樹冠の疎密度を推定できるであろう。

ハ) さらに樹幹についても同じ方法を行えば、樹形曲線を描かせることも不可能ではあるまい。

写真A, B, Cとこれらの推定値をあわせて、林分構造の詳細なデジタル的な分析も可能ではあるまいか。

G. 明日行く道

“森林計画学の構想はそのようなことではない!” とくに林業・林学の危機がいわれる今日、強い批判があることを承知して、敢えて思い付きに近い道標をおいてみた。

その背景には、まず森林・立木は生産物であるよりもむしろ資源とみるべきだという考え方がある。資源が価値をもつかどうかは、その資源がその時点での産業連関表のなかにどう組み込まれているか、いかに評価されているかにかかっている。経済・技術の発展とともに、木材の産業連関表での評価が急速に低下していることは否定できない。だからといって木材が連関表を変えろには行かない。勿論木材の利用技術を発展させ、それによって連関表での評価をたかめることは重要である。さらに森林資源は治水効果・環境保全といった価値をもち、それを実現するための政策的手段の模索も重要である。しかし森林計画学はここでは主役ではない。工学や政策論は、立木が価値ある資源であるため必要な形質を提示するであろうが、それをどう実現するかが計画学の役割である。主役・脇役の分担を守らなければ、計画学はいわゆる雑学に終わることとなる。

ところで立木は資源であるというとき、それは‘絶えず変化・成長する特別な資源’を意味している。ある時点でそれは無価値かも知れないが、そのときは伐らずにおけばよい。その後成長して価値をもつようになるという期待をもって待ち、期待が実現した時伐ればよい。適正伐期令という概念は否定される。

ただし、立木資源の成長経路は二つに区分しなければなるまい。林令20年前後を境として、複雑な要因に支配されて不安定な前期と、その林分の独自性を比較的強く出せる後期との区分である。たとえばある所・時点で極めて優良な資質をもった精英樹から採った挿穂で造林しても、いつでも、どこでも優良な立木がえられるとはかぎらず、実際には数種の精英樹を混合して植えるをえない。

計画学は当然後半の経路を対象とし、しかもそれをデジタルに処理しなければならない。成長の経路はいくつかの要素、たとえば本数、樹高、直径、樹冠等により決定される。各要素間には安定的な相互関係(回帰式)があり、さらにそれぞれの回帰式がまた相互に関連している。それを集約・平均化したのが前掲の連立方程式型のシステムであった。さらにある時点で造林手段、たとえば間伐を行う。それはその時点での立木・資源を‘原材料’とする一つの生産過程の出発

だと考えてよいだろう。いかなる間伐を行うかは自由だし、その結果ある要素の状態が自由に選べる。それを‘自由に行える’という意味で‘外生変数’として導入し、それが徐々に他の要素に波及していく過程が動的システムであった。間伐の程度を変える、あるいは他の方法をとることでいくつかのシステム（生産過程）が考えられ、それぞれ収穫物（製品）は変わる。経営者の懐勘定（期待利益、時間選好、投資額等）から最適の形質が期待できるシステムを選べばよい。それが森林計画学の中心的な課題だといってよいだろう。

このとき各種の要素を正確に数量化しなければならないが、ビッターリッヒ法はそれに大きく貢献した。津村善郎氏は「標本調査法」（岩波全書1956）の末尾で、増山元三郎氏の‘Application of integral geometry to areal sampling’（Sankya 12-15）をあげて“これはビッターリッヒの森林調査（幾何学的抽出法による機械使用の実測調査）を拡張した、極めて特殊な形の調査に応用できるものであるが、理論的に興味あるばかりか特殊な場合に有用となる”といっている。また器具使用・幾何学的抽出によるこの種の調査では“他にアメリカの自動車による作付面積調査で非常な効果をあげているのみである”といい、林学の片すみでいろいろと試みられていることに期待している。器具と数学の連携（Jukohscope の二つの発想もそれだが）は現実にはそれほど簡単ではない。とくに森林のような三次元の測定には写真機の選定と使用法、それとコンピューターの連結等困難な問題も多いであろう。あずまやを設けて道標を置いた所以である。ともかく研究者の間に見られた‘定角測定と積分幾何学’という考え方は積分幾何学を矮小化するものであったと思う。

ところでこのような森林計画学は、林学一般にどう組み込まれるのだろうか。ここで大学病院の内部を想定しよう。

一人の患者（ある林分）が訪れると、写真A, B, Cをとり、基礎的データを測定して、基準システムと対比するだろう。ある異常をみつけ、その理解いかんによっては、困難な手術を必要とするかも知れなかったとする。各専門家による検討会が開かれるだろう。

イ）森林計画学からは写真、三次元行列さらにはその林分のシステムが提示される。とくに各要素の係数の基準値との整合・不整合、彼が重視または疑問視するデータが指摘される。

ロ）生理・生態・造林学から意見、疑問が提起され、ときには基準システム自体についての異義もあろうし、新たなデータが求められることもあろう。計画学は宿題を抱かえ込むことになる。

ハ）今後の処置（間伐・保育等）、期待する形質についても議論が行われようが、外生変数の選定等動的システムについても議論されよう。

ニ）工学、政策論からは、製品の形質について意見がだされよう。多様な二人三脚が組まれて、そのなかで難しい宿題も解決されるだろう。

つづいて森林経営者との協議が行われる。ここでも写真や多数のデータを示しつつ、森林の現況が説明され、問題点が指摘される。

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

イ) 現況を出発点として、幾つかの方法（生産過程）が示めされ、それぞれについてどのような形質の、どのような価格の立木（製品）が期待されるかが説明される。

ロ) 経営者側からは懐勘定、期待利益、時間選好等具体的な条件が持ち出されるだろう。

ハ) 両者の親密な二人三脚の中で最適生産計画（手入れや伐採時期等）が決定されるだろう。

二つの二人三脚に支えられた森林計画学の発展は十分期待できようが、それにしても道標に従って踏み出した道は以外に草深く、ときに落とし穴に阻まれることもあろう。あずまやにこもることも多かろうし、機械・器具の専門家との第三の二人三脚も欠かせないだろう。

あとがき

編集委員会から幾つかのご指摘があったが、十分対応できず恐縮している。

‘総説’を私は誤解していたのかもしれない。研究者は意識していないだろうが、その分野のいわば伝統のなかで、（支配されてとはいわないまでも）それを前提として研究を進める。それが‘論説’だと思う。総説の一つは、伝統の側から諸論説を検討し整理・解説して、伝統の意義を明らかにする。いわば大家がものするテキストであるが、小論は勿論それではない。総説のも一つの型として、伝統自体を論議の対象とするものがあるだろう。これにも大家による主張があるが、それでもない。“伝統のあそこはどうか”“こういう路線も可能ではないか”といったことを、しかも議論というよりも、むしろ‘話題提供’の形で展開したい。小論はこれを意図したのであり、その意味での‘道標’であった。ずっと以前に東京理大奥野忠一教授と‘森林の伐採’について雑談したことがある。数学者である彼とは、林学の伝統にこだわることなく、意外に有用な議論を楽しく展開できた記憶がある。20年以上も林学にご無沙汰していた私にご指名があって戸惑ったが、このことを思い出して、今度は林学者に話題提供してはと思ったのが、小論の出発であった。

林学がドイツ官房学の伝統に従って発展してきたことは確かであり、それはそれとしても、資本主義経済に巻き込まれた林業にとって、長い伝統ではあるが少し窮屈になって来たことは否定できない。

たとえば前述の伐‘期’令から伐‘採’令への変換、融通性作業級の出現等は、伝統の中でのむしろ苦闘の結果といわねばなるまい。しかも伝統の制約の下ではその前進は難しかろう。林業は農業その他諸産業のように一定の生産期間をもたない。“いつでも伐れるし”，資本主義の発展はその結果の多様な材質を吸収し、消化できる。“この林分をいま伐るか、延ばすか”は、所有者個人の懐勘定とその林分のリスクを含んだ将来性を考えて自由に決定できるし、それはまた苦しい決断でもある。いま発足する森林計画学はその決定理論を提供するものでなければならないだろうし、その前提として新しい伝統を構想しなければなるまい。そのための‘道標’であった。しかし道標は‘住宅案内板’ほど精緻なものではなく、この先どんな景色が展開するだろうかを示すものに過ぎない。それが住宅案内板になり新しい伝統となるには、その下での論説の集積を

まっはかない。いまは予想される風景についてまず話し合ってみることだろう。そのための話題を提供するのが、小論の趣旨であった。

話題とはいえ、“Jukohscope も簡単化すれば Conometer になるだろう”という発言や、“定角測定と積分幾何学”といった二つを混同した理解では、新しい伝統の芽もあえなく潰え去るほかあるまい。それを防ぐには若干強引とも見える発言も必要だと思う。ただしその精緻化は十分可能だと信じている。

ところで“この林分を…”ということになれば、その林分の将来、材価変動、個人的時間選好を総合した苦しい決断となるが、ここでの計画学の主要な貢献は林分の将来性についてであろう。それも“この林分の将来”となれば、従来の収穫表ではあまり意味がなく、権威主義の遺物といえるかも知れない。それに代わるものとして、小論ではいくつかの思い付くままの要素から成る連立方程式モデルを提起した。モデルの精緻化のためには、たとえば方位、地域をダミー変数として加え、あるいは樹冠のある要素を加えることも当然の課題である。

モデルの精緻化のためには、諸要素を数量的に捕えねばならない。そのため積分幾何学を導入し、その実用化のため写真映像の解析を提起した。やや強引であり、これまで安価なスキャナーとコンピューターばかりを使った経験からは若干の不安はあるが、技術進歩を考えれば可能性は大きいと思う。

ともかく小論が、林学者たちのなにかの機会での話題の一つともなれば幸甚である。

(1991年6月3日受理)