

# 多摩川上流域における水源林の 理想的あり方についての調査研究

——主として、森林調査の立場から——

1 9 7 8 年

西 沢 正 久  
九 州 大 学 教 授

# 多摩川上流域における水源林の 理想的あり方についての調査研究

## 目 次

|                                      | 頁       |
|--------------------------------------|---------|
| 1 緒言および調査の概要 .....                   | 1 ~ 4   |
| 2 林地の構成と水源かん養機能 .....                | 5 ~ 18  |
| 3 流域河川の流出と林地の水源かん養機能 .....           | 19 ~ 38 |
| 4 多摩川上流域における林分構造と水土保<br>全機能の解析 ..... | 39 ~ 55 |
| 5 多摩川上流域における森林の取扱い方に<br>関する一指針 ..... | 56 ~ 63 |
| 6 空中写真による林分構造と水土保全機能<br>の推定 .....    | 64 ~ 88 |

# 多摩川上流域における水源林の理想的あり方についての調査研究

九州大学農学部      西 沢 正 久  
同 上                    竹 下 敬 司  
林野庁林道課        渡 辺 定 元

## 1 緒言および調査の概要

### 1.1 調査対象と研究の目的

多摩川の上流域は、多摩川本流とその南部を流れる秋川流域とによって構成されているが、従来、水源開発の主要対象流域としては、流域面積の広い前者の多摩川本流域が問題視されている場合が多いようである。そこで、本調査も、前者の流域を選び、その中でも、特に、水源地帯としての比重が大きい鳩の巣、氷川よりも上流の流域を対象として実施することにした。

この上流域は、面積が400km<sup>2</sup>であり、そのうちの過半数、約216km<sup>2</sup>が、東京都水道局の管理する水源林となっており、次の諸項目を基本方針として経営が行われている。この方針は、その他の所有の経営に対しても適合する面が大きく、本研究の目的も、これに関連した問題点の解決にしばられることになる。

- (1) 水源かん養機能をよりよく発揮させるための森林施業を行う。
- (2) 特に小河内ダムの保全を考慮し、土砂流出防備を積極的に実施する。
- (3) 地元市町村、地域産業との関係を考慮して副次的林木収穫を行う。
- (4) 秩父多摩国立公園内であることにかんがみ、自然保護を重視する。

これらの基本方針のうち、民有林においては、林木収穫、土地の経済的利用(転用)等が重要となり、他の方針が副次的なものとなる可能性が大きい。その具体的な対処において、技術的には、共通する面が大きいと考えることができる。

東京都の水源林は、上記の方針の通り、昔から積極的に木材生産を行うというよりは、むしろ、水源かん養、土砂流出防止、自然保護などを重視した経営が行われてきている。近年、社会的な要求により、すべての森林に対して、そのもつ公益的機能が重視されるようになり、機能の計量評価や、それに適した森林施業のあり方などが重視されてきているのであるが、このような問題の解決に対して、昔から上記の目的に沿った経営を行ってきた水源林の状況は、非常に参考になる実態を示していると考えられる。東京都の水源林は、人工林は長伐期施業、天然林は無施業を主体にした林分が多く、森林のもつ本質的な水土保全機能を評価する対象としては非常に好適な場所

と考えられるわけである。

したがって、本研究は、多摩川上流域に位置する東京都の水源林を調査林分とし、その森林のもつ水土保全機能の解析を主要課題として実施することにした。

本研究は昭和51年度より、3ヶ年間にわたって求めた土地構造と林分構造のデータをもとにして水土保全機能の解析を行い、これらの解析結果をもとにして水源林の理想的あり方について検討を加えたもので、今後同様な目的をもつ調査研究に対して一つの指針を与えるべく取りまとめを行った。なお空中写真による林分構造と水土保全機能の推定についても検討を行ったのでこの概要も紹介してある。

本調査、研究に必要なデータの収集にあたって、東京都水道局水源林事務所長、島嘉寿男氏、前所長、田中文次氏、同計画課長、吉野昭二氏、前課長、山下進氏、清水係長始め、落合、小管、丹波、日原、氷川各出張所長と出張所の職員の方々には非常にお世話になった。また現地調査およびそのとりまとめとしては、九州大学農学部の高正道氏、太田和夫、黒木康司両氏（当時学生）、吉田茂二郎、山崎英祐両氏（大学院学生）および、福岡県林業試験場研究員、高木潤治、猪上信義、田形正茂、大島保輔、金子周平の諸氏、木下富美子嬢に負うところが大きい。

また、石勝エクステリア社長、涌井雅之社長から貴重な御助言を戴いた。なお本研究の一部は、とうきゅう環境浄化財団（会長、五島昇氏）の助成金によった。ここに関係各位に対し厚く謝意を表する次第である。

## 1.2 多摩川上流域の概要

多摩川は、その源を山梨県の東北部に発して東流して東京都に入り、中流地帯からは東南に向きを変えて東京湾に流入している。その上流域は、山梨県塩山市一の瀬高橋、同北都留郡丹波山村、同小管村ならびに東京都西多摩郡奥多摩町に属する約400km<sup>2</sup>の地域となっている。

地形は萩原山地域（塩山市）の花崗岩地帯に相対的に緩い斜面をみる他は、全般的には、中生層（一部古生層）の砂頁岩よりなる急峻な個所が多く、海拔1,200m以上の高所が過半部を占めている。

落合、丹波山、小管、日原、氷川の各観測所で観測された年降水量は1600～1800mm、平均気温は10°～13°C、湿度は73～78%を示し、降水量は全国的にみて、やゝ少く、稜線に近い高標高個所は、亜高山帯に属する流域となっている。

森林植物帯上では、水平的には温帯南部に属するが、標高が高いため、垂直的には温帯から亜寒帯にわたっている。

林況を東京都水源林についてみると、人工林が29%、天然林が68%を占め、生育は、おむね良好である。人工林はスギ、ヒノキ、カラマツ、ヒノキ・カラマツが大部分を占め、これらの純林の他に、カラマツ、ヒノキの混交林も多い。林齢構成上で30年生前後の林分が少なく、その齢級分布は幼齢および高

齢に偏した凹形を示している。天然林は老齢過熟な択伐ずみの林分が多く、主要樹種は広葉樹ではブナ、ナラ、クリ、シオジ、カエデ類、カンバ類、カツラ、トチ、サクラなどで、針葉樹ではツガ、コメツガ、ウラジロモミ、シラベなどがある。これらの森林はその89%が水源かん養林であり、98%が秩父多摩国立公園区域に指定されている。図1.1に調査対象区域が示してあり、その中に青梅市にある水源林事務所が管理する水源林の区域を示しているが、この区域を一経営区として、その内部を5つの管理分区、すなわち、山梨県では萩原山(落合、26%)、丹波山(丹波山、31%)、小管(小管、6%)、東京都では日原(日原、24%)、氷川(氷川、12%)にわけて、事業の計画および実施にあたっている。括弧内に示した数字はそれらを管理する出張所名および面積割合である。(末尾図1.1参照)

### 1.3 調査概要

森林および林地の水源かん養機能と土壌保全機能の評価とそのあり方を検討する目的で、次の諸事項に対して調査を実施した。

#### (1) 広域調査

地形調査……2.5万分の1地形図により、傾斜度、起伏量、露出度等を計測

地質調査……既存の地質図を利用すると共に、風化状況、破碎帯の分布状況等について現地調査

降水量調査…流域内および周辺の観測所のデータにより、流域内山地の降水量分布を推定、年降水量(平均値)分布図を作成

林相および生育状況…空中写真および現地踏査により、その状況を調査

林分構造……空中写真により樹冠の状況を判読、計測

流況調査……水道局観測のデータを用いて指数化

#### (2) 土地条件現地調査

土壌調査……土壌断面調査、硬度調査、孔隙組成調査

浸透能調査…簡易な円筒を用い、45mm高の水の浸透時間を計測。各調査林分毎に3ヶ所あて1回目および30秒をおいて2回目の計測

地形調査……傾斜、方位、有効起伏量、露出度、堆積区分、斜面形区分

地質調査……基岩名、土層、および風化層の厚さ、岩礫の形状

#### (3) 林分構造調査

ライン調査 …プロットおよびポイント調査とライン調査の効率を検討して、主としてライン調査を行なった。地形の広がりに対してそれに応ずる長さのラインを設定してラインの上を歩きながら、ラインに直角な方向の林木を断面積定数2または4でカウントされる林木の胸高直径および樹高を測定して林分構造を推定、ラインの

両側で測定するベアラインサンプリングと呼ぶ。片側の樹冠長および樹冠幅を  
カウント木について測定して仮想樹冠量およびうっぺい度を測定。

(4) 下層植生及び落葉層調査

低木、灌木層調査…胸高直径4 cm以下の低木、灌木、大型ササ類について高さ、径(一部)、  
被覆率、優占度を測定

草本階、地表階植生調査

高さ1 m以下の草本、灌木、稚樹について、夫々、被覆率、優占度、重量を測定、蘇苔につい  
ても被覆率、重量を測定

落葉層調査

落葉層を、落枝、落葉、同腐朽層に区分し、それぞれの、地表被覆率、厚さ、重量を測定

(5) 調査データの解析・検討

現地調査林分数は106個所であるが、これだけでは、解析、検討に不足し、また、その他  
広域調査資料についても不足が感じられるので、筆者が別途に行った九州地方を主体とした  
西日本地域の調査資料をも参考にしながら、解析、検討を行った。

## 2 林地の構成と水源かん養機能

地表に降った雨は、その大部分が河川へ流出することになるが、その流出の経過は、その水がどこを流れるかによって異ってくる。まず、もっとも早く河川へ流れ出るのは、地面に浸みこまずに、土壌表面を流れ出る水であり、つぎに、土壌中の孔隙網を伝って流れ出す水、最後に、ゆっくりと出てくるのが、基岩中の地下水路網を伝ってくる水となっている。そして、表面を流れ出す水は、降雨後直ちに涸れてしまうのに対して、地下水からの流出水は、降雨後も、長時日にわたって、流れ出るのが特徴である。

即ち、降雨が、若し、地面に浸みこまずに全部地表を流れるものとする、河川水は降雨時とその直後に、どっと流出して、すぐに涸れてしまうことになるが、反対に、その全部が浸みこんで、地下水として流出するのであれば、短時間に降った雨が、長時日にわたって均等に小分けにされ、河川水は、降雨時にも、降雨後にも、あまり変らぬ流量を見せながら流下することになる。

人間の生活にとって有利なのは、勿論、後者の方である。生活用水をはじめとする、各種の水利用にとっても、水生の動植物の生活にとっても、均等化された水は便利であり、また、降雨が一度に流出しないことは、洪水等の災害も発生しないことになり安全である。

このように、短時間に供給される降水量を、長時間にわたって小刻みに、しかも、出来るだけ均等に流出させる仕組みを、土地の水源かん養機能と呼んでいる。そして、この機能が、森林と、森林土壌、地質基岩の三者によって、実に巧みに有機的に果されているのである。

この、水源かん養機能に着目すれば、降水を全て地面に滲みこませて、土壌表面流を発生させぬこと、また、土壌中を流下する中間流出水をも抑止して、全てを、更に深層に誘導して地下水にしてしまうこと等が、理想と考えられる。しかしながら、急斜面の多い山岳地の水源地帯では、土壌表面流を抑止することは必要であるが、中間流をも抑止してしまうと、大雨時に土壌層が水で飽和されて崩壊する危険性が高く、水源かん養上で最も大切な貯留媒体である土壌層、そのものを喪失してしまうという矛盾の大きい結果を発生してしまうことになる。

つまり、中間流は、水源かん養上は、一種の無効流出としての性格が強いが、その機能発揮に必要な、土地構成を守るための安全排水となっているわけである。

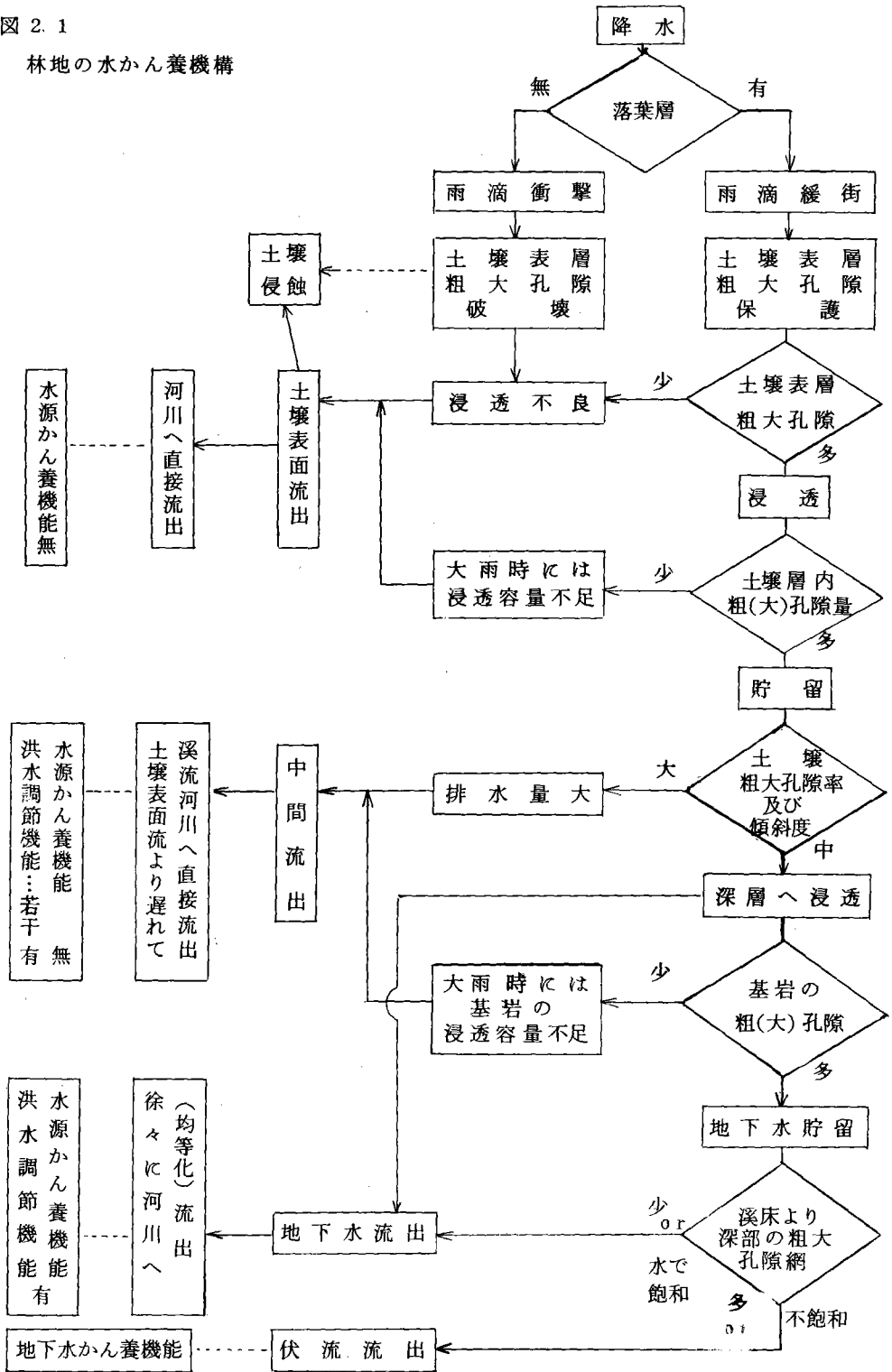
この中間流のように、水の動向を、単に現在の水資源の増量目的で追いかけると、長期的には、矛盾のある結果をもたらすことの例であるが、このような、複雑な構成を背景にしながら有機的な機能を発揮している水源かん養（水土保持）問題について、具体的な検討を加えて、それを組織的に把握したいものである。

### 2.1 土地の水源かん養機能に関する構成概念

水源かん養機能に関する土地の構成を概念的に示すと2.1図のとおりである。

図 2. 1

林地の水かん養機構





水源かん養機能の最終的な役割は、地質基岩内に貯留され、それから徐々に流出する地下水であり、この意味での主役は、基岩とその地質的構成と考えられる。

基岩中の孔隙が、余りに少いと、土壌中の貯留水は、基岩内に浸透せず、やむを得ず、土壌中の中間流として、無効流出する分が多くなるが、これとは反対に、孔隙が余りの過多であり、河床より深部までが飽和されていない状態になると、水は、河床よりも深部を伏流して、地表の河川水量を減じる結果となる。伏流水は、いずれは、下流で河川水に合流するか、地下水資源対象となる利用可能水であるが、上流地帯では、一種の無効水となる。結局、地下水流出に必要なことは、深部が適度に飽和された基岩中の多孔隙構造となってくる。

このように、地下水の貯留、流出を行っているのは、基岩内の粗孔隙網であるが、これらの孔隙の分布は構造的に局部に偏している上、また、全般的な孔隙率は、いずれにしても高くないので、もし、基岩が、そのまま地表に露出していたとしても、降水が、直接、基岩内に浸透することは、不可能な構造のものとなっている。従って、基岩内に水を浸透させるためには、降水を、一旦、貯留した上で、降水よりも、ゆっくりとしたテンポで、徐々に水を再供給する媒体が必要となってくる。

基岩への浸透をスムーズに行うための、貯留と再配分媒体の役割を果しているのが、基岩上を覆う森林土壌である。

森林土壌の表層は、40%以上の粗大孔隙と粗孔隙を保有して、集中豪雨と呼ばれるほどの強雨をも浸透させる能力をもっており、また、土層内にも、一度に400mm以上の降雨を貯留しうるほどの粗大孔隙と粗孔隙を多量に保有している。そして、これらの粗孔隙量は、下層に移行するほど、徐々に減少して風化層、更には、基岩内への浸透を徐々に、しかも、スムーズに行う構造となっているのである。

粗大孔隙は、相互に連絡して、貯留に必要な導水網と、過飽和防止のための排水網を形成し、粗孔隙は、水の貯留と、地下水帯への誘導網を形成して、貯留、誘導、排水の機能を果している。

ところが、この森林土壌も、この表層が直接地表に露出していると、忽ち、浸透能が低下する構造となっており、この表層の浸透構造を保護する材料が必要とされている。そしてこの場合の保護機能が、森林から供給される落葉層と、森林下に生育する下草や小灌木によってなされている。

森林土壌の孔隙構造は、団粒構造と呼ばれる細土のかたまりで形成されているのであるが、この構造は、雨滴や、樹冠からの水滴を直接受けると、衝撃によって破壊して、折角の孔隙も目詰り状態となり、降雨を浸透させなくなる。その上浸透不良となれば、地表流を発生し、地表流は土壌侵蝕をひきおこして、目詰りを助長し、貯留媒体である土層をも失わせるという悪循環を発生させることになる。

落葉層は、地面を一面に被覆して、雨滴、水滴に対する緩衝を行う。下草や灌木は、この落葉層の移動を防止すると共に、緩衝作用を発揮しているのである。

以上を総括すると、地下水流出、ひいては水源かん養に関する最終的な主役は地質基岩であるが、その基岩に水を浸透させるためには、森林土壌が必要であり、更に森林土壌への浸透能を維持するためには、落葉層と下草が必要であることが理解されよう。

## 2.2 土壌の水源かん養機能に対する森林の影響概念

古くから、森林の水源かん養機能と云う言葉が知られているが、前節で述べた機構では、基岩、森林土壌、落葉層がとりあげられ、森林との直接的結びつきは、僅かに落葉層の供給源としての印象が得られるにすぎない。前述のように落葉層の存在は重要であるが、森林の効果が、この点にだけ結びついているのでは、物足りないように感じられるにちがいない。

この間の仕組みを詳細に検討してみると、現時点での森林の効果は、確かに落葉層を中心にした問題が主体となるが、この他に、森林土壌の粗孔隙構造が、過去から現在に至る森林の影響の産物であること、また、この構造を保有する土壌層自体を、急斜面上にあっても、よく支持していることが重要な森林の機能としてとりあげることが出来る。

森林下には、豊かな生物相の生活圏となっており、森林土壌は、強大な林木の根系と小動物の活動によって深く耕運されて、多量の粗(大)孔隙網を発達させている。他方、落葉、落枝の分解によって生じた腐植は、土壌に混入して、細土の結びつきを安定させ、この孔隙構造を永く保続させる効果をも発揮している。腐植の混入は、動植物の耕運活動に伴って行われ、その腐植が孔隙構造を保っていることになっているのである。従って、土壌層内における粗(大)孔隙率の分布は、土壌層内の腐植の含有率と密接な正相関を示しており、腐植含量の多い表層部が最も多孔隙となり、腐植含量の多い表層部が最も多孔隙となり、腐植に乏しい下層土(心土)で少孔隙となっている。

表層部で降水を速やかに浸透させ、土壌層内でこれを貯留し、その後、除々に地下水帯へと誘導するという構造が、森林によって構築された産物であることが、以上の事からよく了解されえよう。

ただ、ここで明確にしておきたいとは、このような森林土壌の構造は、決して短年月で形成されたものではないということである。この構造は土層が厚い程、大きな機能を発揮するものであり、他方現存の健全な森林土壌は、少くとも1 m以上の土層厚を有しているのであるが、このように厚く、しかも多孔隙な土壌は、おそらくは、数100年の歴史を経て、徐々に形成されたものと想像されている。つまり、森林土壌のもつ水土保持機能は、たしかに、森林の効果の蓄積であると考えてよいが、その殆んどが過去の森林の効果によるものであり、現在の森林の効果は、その一部を占めているに過ぎないと云うことが出来る。

このように長年月の産物である森林土壌も、この構造を破壊し、侵蝕するとなると、ごく短時間で機能を喪失する脆さをもっているのが特徴である。従って、現在の森林の効果は、この土壌を形成し、改良することについては微力であり、またその影響も表層付近に限られるとみなされるのであるが、この森林土壌を守ることに関しては、非常に大きな力を発揮していると考えてよい。

さきにも述べた、落葉、落枝層による雨滴侵蝕の防止、浸透能の保護、土壌表面流の防止、ひいては土壌侵蝕流の防止等が、表層における保全活動としてあげられるが、更に大きなものとして、強大な根系のネットワークと杭作用によって、土壌層全体の崩壊侵蝕を防止していることがあげられる。

表面的な保全活動だけであれば、場合によっては草地や、灌木原野でも、森林と同様な機能を期待出来るのであるが、土層全体の保続、土壌深部の構造改善等については、深く、強大な根を持つ森林でないと期待しえない機能となっている。

### 2.3 多摩川上流域の地質基岩

多摩川の上流地域では、最上流部の萩原山から、大菩薩付近にかけて花崗岩類が出現する他は、広く、中生層の砂岩、頁岩層によって占められている。本流の北側、日原川、後山川の流域には局部的に古生層のチャート、石灰岩、変成岩類が帯状分布している(北西から東南方向への帯状分布)。

基岩内での地下水流の動向は、基岩の風化状態や、堆積構造、断層、破碎帯の分布等に支配されるが、その概況を列記すると次のとおりである。

1. 源頭部の花崗岩分布区は、上流地域では、最も緩傾斜地形を示し、比較的厚い火山灰におおわれている。一方、花崗岩は、深層風化によって土質化した厚い風化層を頂いており、火山灰と花崗岩風化土を母材とする厚い土層と、深い風化基岩層を保有する地域を形成している。花崗岩の深層風化部分は、粗大孔隙の量は余り多くないが、細小な粗孔隙に富み、水源かん養機能としては高い地質区と考えられる。

2. 多摩川の本流沿いと、その南側の山地、小菅川流域の山地は、風化が深く、高密度の破碎帯を保有する中生層の砂～頁岩によって構成されている。このため、基岩は割目が多く、小礫化しやすい性格をもち、礫質粗造な粗大孔隙をもつ土壌によっておおわれている。土壌は礫質に過ぎ、やや排水性が良すぎる嫌いがあるが、基岩の孔隙率が大きく、水源かん養に関しては、機能の高い地域となっている。

3. 多摩川本流の北側、日原川、後山川等の流域は、堅硬な古生層が、諸々に介在し、また、谷開析が深く、谷斜面に新鮮な基岩を露頭させているためか、上流域では最も硬質基岩が見出される流域となっている。

複雑な断層、褶曲構造をもつ地質区であるため、破碎帯の分布が広く、割目の多い基岩区となっているが、本流の南側のように、風化していないためか、やゝ大きな岩礫となることが多い。このため斜面をおよぼす土壌は、粗造な大礫層によって構成されていることが多く、粗大孔隙網には富むが、反面、粗孔隙に乏しく、貯留性に関しては、必ずしも良好でない土壌が多々見受けられる。

基岩としては、適当な割目と破碎帯を保有しており、水源かん養に関しては、良好な構造を形成しているのであるが、流域の地形が急峻であり、また、土壌の排水性が大きいため、流域としての

水源かん養機能は、特にすぐれているとは云えない面がある。

4. 各谷線は、断層線に沿って発達していることが多く、このため、谷に沿って、伏流水路が形成されている確率が大きい。上流流域では伏流流出が多いため、地表水の流出係数が低くなり、下流では、伏流水が、河川水に合流するため、上流より流出係数が高くなる可能性が高い。

5. 上流流域の拡がりに対して、多摩川本流は南側に偏って流路を形成しており、本流よりも北西側の支流の規模が長大であるのに対して、南側の支流の規模は短少である。これは北西側の分水線の標高が、2000 mと高く、南側が1400~1600 mと低いことにも起因するとも考えられるが、地質的な地下水路の形成が南東向(北側斜面)に順層、北東向(南側斜面)に逆層である可能性を示唆しているものと考えることが出来る。場合によっては、秩父側の北向斜面に供給された水が、尾根をくぐって日原川、後山川に流入していることや、多摩川本流の南側に供給された水が、秋川流域に流出している可能性が推定されることになる。

#### 2.4 多摩川上流域における土壌の粗孔隙組成

土壌中には大小多数の孔隙があるが、その大きさによって、水の動向が大きく規制されている。概略の区分と特性とを列記すると次のとおりである。

粗大孔隙 = 直径が2~3 mm以上の、大きな孔隙で、水は、その中を自由に流動することが出来る。降水の滲透、中間流に関する、通導組織を形成している。

粗孔隙 =  $pF$  2.7以下の、比較的弱い力で孔壁から吸引されながらも、重力の影響を受けて、水が徐々に流動しうる孔隙である。粗大孔隙が導排水路としての役割を果しているのに対して、粗孔隙は貯留機能を発揮しているものと考えられる。

細孔隙 = 土との結びつきが強く、重力的には水の流動が困難な孔隙である。専ら、植物の吸水に対する貯蔵機能を果し、水源かん養に関しては、直接的に無関係な孔隙と考えられる。

ここでは、粗大孔隙と粗孔隙をとりあげて、土壌の組成状況を検討することにする。

森林土壌は、腐植の含有率の大小によって次のように層位区分がなされる。

A層 = 腐植混入率の高い層、特に最表層で、腐植量の多い層をA<sub>1</sub>層として区分する。

B層 = 腐植を若干含む層

C層 = 腐植を含まぬ層

さきにも述べたように、粗大孔隙と粗孔隙率は、腐植含有率と正相関を示すことから、腐植含量の多いA<sub>1</sub>層で、孔隙率が最も高く、A、B、C層の順で減少する。

表2-1は、多摩川の最上流部、萩原山周辺で調査した土壌の粗(大)孔隙組成を、地形、土壌的に類似した九州地方の圃行土のそれと対比して掲げたものであるが、粗大孔隙率、粗孔隙率共にA<sub>1</sub> > A > B<sub>1</sub> > B<sub>2</sub> > Cの傾向にあることが読みとられる。

たゞ、ここで、気付かれることは、萩原山の粗(大)孔隙量が、九州地方の数値よりも上回って

いることである。

この間の数値差が出る理由を更に検討する意味で、多摩川上流域を基岩の種類と風化状態に着目し区分し、その地域毎の孔隙組成値を対比してみた。これを表2-2に掲げる。

表2-1と表2-2を対比しながら、検討を加えると、おおよそ次のようなことが云える。

① 火山灰混りの花崗岩地帯である萩原山周辺は、上流地帯では、もっとも、粘土、シルト等の細土含量の高い土壌が分布しており、これに対して、他の地域は、礫質の風化土が多く、礫の粗造堆積に伴う、粗(大)孔隙構造が発達して、萩原山地帯よりも高い孔隙率を示している。特に硬岩礫の多い日原川、後山川流域の土壌は、この傾向が強く、風化の程度の進んだ基岩区ほど粗大孔隙率が少くなっている傾向がうかがわれる。九州地方は、多摩川上流域にくらべて高温多雨であり、風化の進んだ(細土が多い)基岩区が多いので、少い孔隙値を示しているのであろう。なお、この地域は九州地方の流域にくらべて、40度以上の急峻斜面の占める面積が広く、この地形の差が礫質、多孔隙土壌を出現させる原因ともなっている。

② 萩原山や、風化の進んだ基岩区の粗孔隙率は、九州地方の数値を上回ってはいるが、その差は、特に、A<sub>1</sub>層、A層等の表層部で目立っている。これは、前記の風化の程度の差の他に、森林の状況の差が影響しているものと考えられる。多摩川流域は、天然林が多く、人工林であっても長伐期の放置林が多いのに対して、九州地方では短伐期の人工林が多く、人為的な影響による表層粗孔隙率の低下が行われているものと推察される。

九州地方の匍行土区などの、やや安定した土壌の堆積個所では、A層下部からB層上部にかけて相対的に堅密な土層が出現することが多いが、多摩川流域では、それが認められなかった。多摩川上流のA層付近の粗(大)孔隙率が九州地方のそれを上回っている理由の一つとなっていると考えられる。

③ 多摩川上流域の多孔隙性が、一つには多量の礫の堆積構造に由来しており、細土の含量が相対的に少いためか、粗大孔隙量は多いが、その割には、粗孔隙量が多くなっていない。表2-3は、開析斜面中の匍行土面、急峻匍行土面と緩傾斜地形面の土壌の1m深の粗大孔隙量、粗孔隙量、全粗孔隙量について、多摩川上流域と九州地方との平均値を対比し、併せて、その比率を求めたものであるが、粗大孔隙率は多摩川上流が明かに九州のそれを上回っているのに対して、粗孔隙率は、むしろ逆の傾向を示していることがうかがわれる。

土壌中における水の貯留は、粗孔隙によってなされ、粗大孔隙は、中間流的な排水を容易にし、実質的な貯留量を減じるので、この点、多摩川上流域の土壌は九州地方の土壌に比較して過大な粗大孔隙量を持っていることになる。水源かん養機能に関しては、必ずしも有利とはなっていない。

多摩川流域でも、稜線の標高が1000m以下の低山地帯に移行すると、土壌中の細土の量がふえ、開析斜面内の貯留性も良くなっているようである。

表2-1 土壤層位区分と孔隙組成

| 地方<br>項目<br>層位 | 萩原山付近 25点平均  |             |            |             | 九州地方 匍行土平均   |             |            |             |
|----------------|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|
|                | 層<br>深<br>cm | 粗大孔隙<br>率 % | 粗孔隙<br>率 % | 全粗孔<br>隙率 % | 層<br>深<br>cm | 粗大孔隙<br>率 % | 粗孔隙<br>率 % | 全粗孔<br>隙率 % |
| A <sub>1</sub> | 6            | 19.7        | 31.2       | 50.9        | 3.5          | 17.3        | 24.4       | 41.7        |
| A <sub>2</sub> | 32           | 11.0        | 25.6       | 36.6        | 34           | 8.2         | 22.2       | 30.4        |
| B <sub>1</sub> | 65           | 6.4         | 21.5       | 27.9        | 136          | 5.3         | 20.7       | 26.0        |
| B <sub>2</sub> | 135          | 5.5         | 20.0       | 25.5        |              |             |            |             |
| C              | 150+         | 4.1         | 16.3       | 20.5        | 150+         | 2.1         | 12.6       | 14.7        |

④ 多摩川上流域の土壤は、粗大孔隙に富み、排水性が良好であるので、集中豪雨に際しても、土層が、水で飽和されにくい性質をもっていることになる。この事は、急峻な地形の多い開析斜面にあっても、山崩れ等が発生しにくく、崩壊に対しては、抵抗性の強い斜面環境を形成しているものと考えられる。

以上は、地質及び地域的な土壤の粗孔隙特性の概況であるが、この性質を、もっと局所的な微地形区分によって整理してみよう。

多摩川上流域の地形は、最上流部にある高原状の萩原山をはじめ、稜斜面が遺存しているのとは対照的に、主要な渓谷沿いには、急峻な開析斜面が発達しているのが特色であり、上流域全体としては後者の開析斜面の占有率が高い。緩傾斜面は更に残積性土の分布する凸性斜面と堆積性匍行土の分布する直凹性斜面とに2分される。開析斜面は、39度以上の急峻斜面と、38度以下の崩積土斜面（凹斜面）、匍行土斜面（直斜面と26度以上の凸斜面）、残積土斜面（25度以下の凸斜面）とに細区分される。表2-3は、これらの区分毎に、1m深単位の土壤の粗（大）孔隙量と基岩までの全土層の粗（大）孔隙量を示したものである。

土壤は、これらの微地形的堆積区分に対応して、量的にも質的にも異った様相を示している。1m深の粗大孔隙量は「崩積>急峻匍行>匍行>残積>緩堆積匍行>緩残積性」の順番を示し緩傾斜地形よりも急な開析斜面地形の土壤で大きな値を示しているが、1m深の粗孔隙量は、細土含量の多い緩傾斜地形の土壤の量が相対的に多くなり、開析斜面との差がなくなっている。

全土層の粗（大）粗孔隙量は、土層の厚さと粗（大）孔隙率との積によって性格づけられるため、土層の厚い緩傾斜地形面（凹>凸）や崩積土面、ついで匍行土面の量が大きく土層の厚さのうすい、急峻匍行土面や、残積土面で少量となっている。その結果、開析斜面の全土層の粗（大）孔隙量は「崩積土>匍行土>急峻匍行土≒残積土」の順序が明瞭となっている。残積土は水の拡散地

表2-2 層深別の粗(大)孔隙率(地質・地域別)

| 区分                         | 層深<br>cm | 地質       | 中生層<br>硬岩<br>(チャート)<br>(変成岩) | 中生層<br>風化破<br>砕地帯           | 中生層<br>風化岩                | 火山灰混<br>花崗岩<br>(中生層)       | 古三紀<br>低山<br>(健全地)       | 匍行土<br>(火山灰混)            |
|----------------------------|----------|----------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                            |          | 標高<br>地域 | 900<br>~2000<br>日原川<br>後山川   | 600<br>~1000<br>貯水池<br>周辺南部 | 1000<br>1900<br>大菩薩<br>周辺 | 1200<br>~2000<br>萩原山<br>付近 | 400<br>~600<br>高尾山<br>周辺 | 400~<br>1500<br>九州<br>地方 |
| 粗<br>大<br>孔<br>隙<br>率<br>% | 5        | 18.1     | 19.9                         | 18.9                        | 19.7                      | 16.4                       | 17.3                     |                          |
|                            | 10       | 14.8     | 13.7                         | 13.3                        | 11.0                      | 13.4                       | 8.2                      |                          |
|                            | 20       | 12.7     | 9.6                          | 9.2                         |                           | 11.7                       |                          |                          |
|                            | 30       | 12.1     | 7.7                          | 9.3                         |                           | 11.4                       |                          |                          |
|                            | 40       | 11.8     | 7.2                          | 9.1                         | 6.4                       | 9.8                        | 5.3                      |                          |
|                            | 50       | 11.5     | 6.6                          | 8.2                         |                           | 9.7                        |                          |                          |
|                            | 60       | 11.4     | 6.0                          | 8.0                         | 5.5                       | 10.0                       |                          |                          |
|                            | 70       | 11.3     | 6.8                          | 7.8                         |                           | 8.9                        |                          |                          |
|                            | 80       | 11.3     | 6.0                          | 7.5                         |                           | 8.2                        |                          |                          |
|                            | 90       | 11.0     | 5.9                          | 6.9                         | 4.0                       |                            |                          |                          |
| 100                        | 10.1     | 5.5      | 6.2                          | 3.1                         |                           |                            |                          |                          |
| 粗<br>孔<br>隙<br>率<br>%      | 5        | 31.9     | 32.6                         | 30.4                        | 31.2                      | 30.7                       | 24.4                     |                          |
|                            | 10       | 28.5     | 28.8                         | 28.8                        | 25.6                      | 28.7                       | 22.2                     |                          |
|                            | 20       | 26.0     | 23.8                         | 23.1                        |                           | 27.1                       |                          |                          |
|                            | 30       | 25.5     | 22.0                         | 22.9                        |                           | 26.7                       |                          |                          |
|                            | 40       | 23.3     | 21.4                         | 22.7                        | 21.5                      | 24.9                       | 20.7                     |                          |
|                            | 50       | 21.6     | 20.4                         | 22.4                        |                           | 24.5                       |                          |                          |
|                            | 60       | 21.0     | 19.8                         | 22.1                        | 20.0                      | 21.5                       |                          |                          |
|                            | 70       | 20.7     | 20.5                         | 21.8                        |                           | 20.9                       |                          |                          |
|                            | 80       | 20.5     | 19.8                         | 21.4                        |                           | 21.5                       |                          |                          |
|                            | 90       | 20.5     | 19.7                         | 20.1                        | 15.5                      |                            |                          |                          |
| 100                        | 20.1     | 19.2     | 19.8                         | 14.0                        |                           |                            |                          |                          |
| 資料数                        |          | 36       | 16                           | 20                          | 23                        | 7                          | 80                       |                          |

表2-3

| 地方       | 孔隙区分  | 微地形区分 | 開析斜面 |       | 緩傾斜地<br>の土壌 |
|----------|-------|-------|------|-------|-------------|
|          |       |       | 匍行土  | 急峻匍行土 |             |
| 多摩川流域    | 粗大孔隙量 | a mm  | 96   | 99    | 78          |
|          | 粗孔隙量  | b mm  | 210  | 226   | 217         |
|          | 全粗孔隙量 | c mm  | 306  | 325   | 295         |
| 九州地方     | 粗大孔隙量 | a' mm | 70   | 78    | 54          |
|          | 粗孔隙量  | b' mm | 228  | 246   | 191         |
|          | 全粗孔隙量 | c' mm | 298  | 324   | 246         |
| 多摩<br>九州 | 粗大孔隙量 | a/a'  | 1.37 | 1.27  | 1.44        |
|          | 粗孔隙量  | b/b'  | 0.92 | 0.92  | 1.14        |
|          | 全粗孔隙量 | c/c'  | 1.02 | 1.00  | 1.20        |

表2-4 1m深の土壌及び全土層の粗大孔隙量、粗孔隙量

| 項目        | 微地形<br>土壌区分 | 開析斜面 |      |       |      |      | 緩傾斜地形  |      |      |
|-----------|-------------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|
|           |             | 崩積土  | 匍行土  | 急峻匍行土 | 残積土  | 平均   | 堆積性匍行土 | 残積性土 | 平均   |
| 一土米壤深層    | 粗大孔隙量 mm    | 102  | 96   | 99    | 85   | 98   | 81     | 75   | 78   |
|           | 粗孔隙量 mm     | 229  | 210  | 226   | 195  | 220  | 223    | 211  | 217  |
|           | 全粗孔隙量 mm    | 331  | 306  | 325   | 280  | 318  | 304    | 286  | 295  |
| 基岩全土層までの層 | 深さ cm       | 240  | 170  | 95    | 115  | 161  | 300    | 270  | 285  |
|           | 粗大孔隙量 mm    | 159  | 129  | 98    | 89   | 125  | 157    | 121  | 139  |
|           | 粗孔隙量 mm     | 401  | 324  | 226   | 203  | 307  | 441    | 363  | 402  |
|           | 全粗孔隙量 mm    | 560  | 453  | 324   | 292  | 432  | 598    | 484  | 541  |
|           | 粗大孔隙率 %     | 6.63 | 7.59 | 10.32 | 7.74 | 7.76 | 5.23   | 4.48 | 4.88 |
|           | 地形別の面積比率    | 0.26 | 0.37 | 0.34  | 0.03 | 1.00 | 0.50   | 0.50 | 1.00 |



形、急峻匍行土は水の通過地形であるため、粗孔隙量は、それほど大量でなくてもよく、逆に崩積土面は集水地形区であるため、水の貯留に対して他よりも多量の粗(大)孔隙量を必要とする。これに対し、匍行土面は拡散地形と集水地形との中間に当り、しかも、開析斜面中、最も大きな拡りをもっている。この点匍行土面を以て開析斜面の土壌の粗孔隙特性を代表する微地形面と考えてよい。また、現実に開析斜面の平均値を求めてみると匍行土面のそれと近似する場合が多い。

一般的にみて、高原ないしは準平原状の緩斜面は土層が最も厚く、このため全土層の粗(大)孔隙量は、開析斜面よりもかなり大きなものとなっている。

全土層内に包含される全粗孔隙量は、浸透能さえ充分であれば、一度に300 mm から400 mm の降水を受入れる容量を示しており、多摩上流域における過去の降雨確率からみて、まず、集中豪雨と呼ばれる全ての大雨に対しても、浸透貯留を行いうるものと考えられる。

## 2.5 多摩川上流域における土壌表層の落葉層と浸透性

落葉層の機能はさきにも述べたように、①地表を覆い、現在土壌表面に発達している多粗孔隙構造を雨滴侵蝕から保護すること。②分解して腐植となり表層土に混入して、多孔隙構造を発達させ浸透能を増大させること。……の2点に区別出来る。

地表保護に関しては、落葉層の地表被覆率とその厚さが、主要な要因となる。今回の調査では、ヒノキ林以外の森林(広葉樹天然林、針葉樹天然林、カラマツ人工林、カラマツ、ヒノキ混交人工林、スギ人工林等)や、クマザサ、カヤ 草地では、いずれも70%以上の被覆率を示して、よく地面を覆い、広く緩衝機能を果していることが認められた。

たゞ、ヒノキ林は、落葉が直ちに小粒の鱗片状に分解するため地表を被覆することが困難であり特に25度以上の急斜面になると、この片が雨洗により消失して、その量も少くなっていること等の欠点が認められた。また、広葉樹林は、落葉が風で離散するためか、堆積にムラがあり、裸出地や落葉層の薄い個所が点在する確率が高く、また、軟質な葉は、分解が早く1年を通じての被覆機能に乏しいことが認められた。スギ林についても、針葉が、小片に分解するため、被覆率に、かなりムラが生じている。総合的には、カラマツ林や、針葉樹天然林、クマザサ叢生地の被覆率が最も高い調査結果となっている。

落葉の被覆率と厚さとは、落葉層の重量(1 m<sup>2</sup>当り)とほぼ比例するものと考えてよいが、その量と林種・林令との関係は後掲の表4-10に示すとおりである。なお、この表は落葉と落枝重量との合計値を示しているが、落葉量はおよそ500~800 gであるので、落葉層のみの重量はこの値を控除して考えればよいことになる。

落葉層による表層浸透能の改善作用は、その量の多少と分解して腐植化しやすいか否かによって定まってくる。

量的には先述(表4-10参照)のように、ヒノキが問題になるが、ヒノキの鱗片は小粒である

ため、土粒に混入しやすく、この点では却って有利なように観察された。とくに25度以下の緩斜面では、流亡が少く、膨軟な表層土壌を発達させている個所が多い。

針葉樹の天然林下には多量の腐植層が見出され地表をよく覆っているが、この腐植は高冷地のせいもあって、分解状態が悪く、その量の割には土壌改善への寄与率は低いように思われた。

高令のスギ林や、落葉広葉樹林は、若干落葉量を減じていることが欠点として見受けられ、これに反してササ、ススキの叢生地は落葉層にも富み改善効果も大きいように観察された。

うっ閉が進んだ森林下に生育している通常の下草や灌木類は、それら自体から供給される落葉層は、ごく少量であり、直接的には表土の孔隙構造改善には役立っておらず、専ら葉面による雨滴の緩衝と茎によって主林木から供給された落葉層の移動を防止していることに重要な役割を發揮している。

これに対してクマザサやカヤ類（ウラジロ、コンダ等も）のように密生して地表を覆う草本類は、それら自体から供給される落葉層が非常に多量であり、特に大型のササ類では、枯茎も加わり深根性でもあって土壌の孔隙増大に対して直接寄与している面が大きい。

現実に主林木から供給される落葉層と、クマザサ類から供給されるものとを対比検討したところササ類の生育密度との相関性が、林木のうっ閉度等の相関性を上回っており、その影響力が林木に優っている面があることがうかがわれた。

現実に問題になるのは、このように多様な状況下にある浸透量の大小である。

浸透能の測定は、蔽密にはかなり煩雑であるので、この調査では携帯と設定に便利な円筒を用い45mm水高の水の浸透時間を測定して浸透量を求めた（30秒間隔をおいて2回測定したが2回目の測定値について検討を加える。調査林分は約70ヶ所である）。

浸透能は、ヒノキ林や人畜による踏み付け頻度の高い林地で低く問題があると思われるが、その他の森林やササ叢生地等では、いずれも高い浸透結果が得られた。大部分の森林やササ地では45mm水高の水が10数秒から長くとも80秒以内には浸透し、100mm以上の降水が数分を要せずに浸透しうる事が推定された。現在、1時間当り100mm程度の降水が最大強度の豪雨と考えられているので、この地域の森林は、すべての雨を土壌中に浸透させ、土壌表面流が発生することは、非常に稀な現象と考えて良いようである。

ヒノキ林、特に25度以上の急斜地のヒノキ林は、さきにも述べたように落葉による緩衝機能が小さいため、雨滴侵蝕により浸透能を低下させている可能性が大きく、45mm高の水の浸透時間が10分以上に達する例が、多々見受けられた。即ち、ヒノキ林では豪雨強度の如何によっては降雨量が浸透量を上回り表面流を発生する可能性が大きいものと推定された。たゞ多摩上流域の土壌は石礫含量が高いため地表の細土が雨衝や雨洗によって流亡しても後に石礫が残り、この石礫層が地表を覆って、雨滴に対する緩衝作用を及している例が多く認められた。従って石礫土壌の個所ではヒノキ林のように落葉層を欠くような森林であっても、浸透能の低下を来していない個所が多くな

っている。

石礫質の土壌は排水性がよく崩壊に対する抵抗性が大きいことを先述したが、土壌侵蝕や表面流の発生についても抵抗性が大きいことが指摘出来そうである。

しかしながら上流地域や、低山地帯には火山灰をまじえた細土土壌の分布が広いので、このような個所では、ヒノキ林下の浸透能の低下は問題である。

上流地域では、人畜による踏付け頻度の高い森林は少ないが、レクリエーション、場合によっては、撫育作業等によって人が入る森林や草地は踏み固めによって浸透能が低下し、明かに地表流を発生しやすい状況を呈している。現在の林況では問題はないが、将来において懸念される要因であろう。

## 2.6 崩壊防止機能と森林の現況

森林の崩壊防止機能は、根系が深く強大であり、また側方にもよく拡り、隣接木の根系と互いからみあって、強大なネットワークを発揮することにあると考えられている。

深い根系には、樹高の高い壮老令木が、側方に拡がる根系には樹冠径の大きな壮老令木が、また、側方根系とのからみ合いには、隣接木の樹冠との触れ合い、即ち、森林としてのうっ閉が必要であり、従って理想的な林形としては、単木としても樹冠が発達し、しかも森林としてもうっ閉をなしている、高木の壮老令木が望ましいことになる。この点健全な天然林はよくこの構造に適合したものが多く、人工林にあっては間伐が行われなため過密にすぎ、森林としてのうっ閉度は保たれていても、単木的な樹冠の発達にとぼしいもの、また、逆に不成績のため疎開しすぎている林分が多々見受けられて、必ずしも満足な林況を呈していない。

これまで述べてきた土壌の孔隙構造の増大や表面の保護等に関しては、必ずしも単木樹冠の発達等、林分構造問題を重視する必要はなく、また、考え方によっては、クマザサ等の森林以外の植相の方が、その機能の発揮に役立っているとも考えられたのであるが、急斜面上での土層の維持と、土層深部の孔隙構造の増大を計るとなると、どうしても適度な密度で単木的にも強大な、高木林のうっ閉を重視する必要がある。

土壌の厚さと、その中に包含されている孔隙構造とは過去、数世代(天然林)かの森林によって形成された財産であり、しかも、この土層が林地の水源かん養機能上の重要な要素である。いままで述べてきた現在の林況、落葉層、浸透能等の問題は、この財産を有効に利用するための論議であり、崩壊防止の問題は、この財産を守るための論議である。

多摩川上流地帯の開析斜面の土壌は、排水性がよく崩壊に対しては抵抗の強いものが多いのであるが、開析斜面の頭部には、相対的に緩斜面が遺存しており、そこには火山灰と風化細土をまじえた土壌が温存されている。この細土土壌は開析斜面よりも粗大孔隙が少く、それだけに水で飽和され易く、崩壊しやすい性質をもっている。一方開析斜面の頭部は侵蝕前線と呼ばれ、崩壊の最多発地

点として知られているが、この地点に細土土壌が分布して、崩壊の危険性を高めているわけである。

この個所は標高も高く、風衝地にも当る個所が多いため、森林の生育、とくに人工林の生育不良環境が多いので問題である。即ちこの個所に強大なうっ閉林が望ましいのであるが、天然林でも疎開林が往々みうけられ、とくに人工林では更に不成績が目立っている。少なくとも現存しているうっ閉天然林がある場合これを保存することを考えたいものである。

現在、このような地点で森林が成立していない場合はそれに代ってクマザサが密生していることが多い。先述のようにササ類は土壌の孔隙構造の改善には役立っているのであるが、崩壊防止に対しても、ネットワークによって、かなりの機能を発揮している可能性があり、この点については別に調査を行う必要が感じられる。

### 3 流域河川の流出と林地の水源かん養機能

われわれが、水源地帯にのぞむものは、河川の流量が大きくしかもそれが洪水性の流出ではなく利用しやすい均等流に近いことと考えてよい。

流域への水の第一の供給源は降水であるが、降水時間は断片的であり、その強度も区々である。その降水が土中に浸透し、地下水となって再び河川へ流出する過程において、流量が連続的になり均等化に近づくわけである。この間の変換機能が、水源かん養機能と呼ばれるものである。

たゞこの場合問題になるのは、この水源かん養機能の過程において、かなりの損失が発生し、それが水源地帯へのもう一つの願望である総量の維持を損うものでないかと懸念されることである。

多摩川上流域は、東京都の水源地帯であり、これらの事柄についても、かなりの関心がもたれていると伝えられているが、以下、具体的な数値をもとにして若干の検討を加えてみたい。

#### 3.1 多摩川上流域の降水量分布

降水は水源地帯への第一の供給源であるので、まず、その量を出来るだけ高精度に把握しておくことが必要である。

多摩川上流域内においては、青梅、氷川、日原、落合、丹波山、小菅の6ヶ所で雨量観測がなれており、また、周辺では五日市、小沢、浅川、与瀬、上野原、大月、笹子、勝沼、三富、三峰、秩父、名栗、飯能の各個所の観測値が利用出来る。

これらは、かなり山間部にも位置しているものも多いのであるが、いずれにしても、周囲の高い山地からみれば、盆地状の谷底部の観測所であり、必ずしも山地の雨量を代表しうる観測値となっていない。山地では地形（山脈）の凹凸に対応して地形性の上昇気流、下降気流が発生しており、前者では相対的に多雨地が、後者では少雨地が出現していることが知られている。そしてこの場合盆地状の谷間は、下降気流の範囲内に入ることが多く、相対的に少雨を表示することになり、当然周囲の山地、ひいては流域全体の降雨は、観測所の降雨よりも、かなり大巾に増大するのが普通と考えられる。

こゝでは雨量の推定に関する具体的な論議は避けるが、筆者等が以前に行った福岡県周辺の年降水量推定方法（福岡県林業試験場時報No 18.1966）に準じて、本流域における山地雨量の推定を行った。方法の概略は、本流域とその周辺部の地形図を利用して、5 km 巾の埋積接峯面図（100 m等高線図）を作成し、これに対して雨をもたらず主風が、東南方向から吹くものとして地形性上昇気流、下降気流を考慮したものである。（但し主風の方向は年によって異なるが、平年値の場合は東南を考慮）

附図3-1に、昭和34年から昭和49年までの間の平均年降水量分布図を掲げる。また、同様な手法で、その期間内の毎年の年降水量分布図を作成し、これによって上流域全域及び、任意の小

流域、地点の年降水量を推定することにした。(末尾図3-1参照)

多摩流域の山地は上流域の入口附近を占める高尾山、御岳山、川苔山を結ぶ線で、関東平野から急聳しており、その後は徐々に高度をまして、2000m級の源頭部の山地へと移行しているが、降水は最初にこの入口付近の急聳ライン付近で、比較的多量に供給されてしまい、上流地帯の源頭部は、丹沢、箱根山地の背後にあることにもよって、高標高の割には、余り降水量が多くなっていない。

上流域全体の年平均降水量は観測所の雨量よりは10~15%程度は高く、平均で1800mmを上回る値となっているが、2000m級の山地流域の降水量としては全国的にも、やや低い値となっている。

降雨の年による変動の巾は大きく最近20ヶ年間で1400mm以下から2500mm以上に及ぶ値をみせている。

参考資料として、表3-1に流域内の観測所で得られた昭和34年から昭和49年までの間の年降水量値を掲げる。

表3-1 多摩上流域の年降水量観測値

|       | 氷川     | 日原     | 小菅     | 丹波山    | 落合     | 青梅     |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 昭和34年 | 2244.3 | 2400.3 | 2109.2 | 2073.9 | 2394.2 | —      |
| 35    | 1455.6 | 1450.3 | 1396.1 | 1339.1 | 1563.3 | 1351.4 |
| 36    | 1750.4 | 1745.7 | 1499.3 | 1447.5 | 1767.6 | 1757.6 |
| 37    | 1403.1 | 1504.3 | 1359.5 | 1336.0 | 1455.1 | 1381.8 |
| 38    | 1223.3 | 1232.9 | 1281.4 | 1226.3 | 1324.4 | 1179.1 |
| 39    | 1244.6 | 1273.6 | 1198.0 | 1104.1 | 1370.5 | 1467.6 |
| 40    | 1690.4 | 1738.4 | 1583.5 | 1538.7 | 1723.1 | 1698.7 |
| 41    | 2019.1 | 1878.9 | 1746.1 | 1735.6 | 1929.6 | 1953.4 |
| 42    | 1302.7 | 1381.5 | 1481.9 | 1425.8 | 1526.5 | 1250.5 |
| 43    | 1979.9 | 1911.3 | 1661.8 | 1620.3 | 2029.6 | 1563.3 |
| 44    | 1333.3 | 1384.6 | 1456.3 | 1359.5 | 1621.6 | 1472.0 |
| 45    | 1351.1 | 1355.4 | 1336.5 | 1205.7 | 1433.1 | 1642.6 |
| 46    | 1352.1 | 1459.5 | 1335.4 | 1282.7 | 1342.2 | 1430.3 |
| 47    | 2027.6 | 1994.9 | 1846.8 | 1772.8 | 1910.3 | 1757.7 |
| 48    | 1182.7 | 1303.3 | 1244.5 | 1129.5 | 1234.9 | 1164.6 |
| 49    | 2108.6 | 2013.7 | 1966.8 | 1997.4 | 2245.3 | 1999.9 |
| 平均    | 1604.3 | 1626.8 | 1531.4 | 1474.7 | 1679.5 | 1538.0 |

### 3.2 多摩川上流域の地況の計量化

#### (1) 土壌の貯留機能の評価と地形

土壌中に浸透した水は、一旦、土壌の粗孔隙内に貯留されるが、粗大孔隙網を伝って一部は中間流として早期に流出し(24時間以内)、残部は徐々に深部へと移動して地下水化する。この場合の中間流量は近似的には勾配と粗大孔隙率に比例するものと考え、土壌層内の粗孔隙量と同値の降水が浸透した場合の貯留容量を算出し、これを最大有効貯留量と考えた。

$$\text{最大排水率 } a_x = 0.13 r \sin \alpha$$

$$\text{最小貯留率 } b_i = 1 - 0.13 r \sin \alpha$$

但し  $r$  = 粗大孔隙率     $\alpha$  = 傾斜度

係数 = 0.13 は九州地方の例による。

現実の日降水量値等は、こゝで仮定した降水量よりも少ないので、

$$\text{現実の排水率は } 0 < a < a_x$$

$$\text{〃 貯留率は } b_i < b < 10$$

従って有効貯留量  $S$ 、同最大値  $S_x$

$$S = \text{粗孔隙量} \times b$$

$$S_x = \text{粗孔隙量} \times b_i$$

有効浸透容量  $I_x$  は

$$I_x = \text{全粗孔隙量} + \text{排水量}$$

$$= \text{全粗孔隙量} + \text{粗孔隙量} \times b_x$$

以上の条件下で、地形別、土壌堆積区別の数値を算出したものを表3-2に掲げる。

表3-2 多摩川上流域の土壌の水源かん養機能と洪水調節機能の評価

| 項                       | 地形<br>土壌堆積<br>目          | 開析斜面 |           | 緩起伏<br>面の<br>土壌 | 九州地方<br>匍行土 |
|-------------------------|--------------------------|------|-----------|-----------------|-------------|
|                         |                          | 匍行土  | 急峻<br>匍行土 |                 |             |
| 水源<br>かん<br>養<br>機<br>能 | 傾斜度 $\alpha$             | 33°  | 43°       | 20°             | 35°         |
|                         | $\sin \alpha$            | 0.55 | 0.68      | 0.34            | 0.57        |
|                         | 粗大孔隙率 $r$                | 7.59 | 9.9       | 4.86            | 5.16        |
|                         | $0.13 r \sin \alpha$     | 0.54 | 0.88      | 0.22            | 0.38        |
|                         | $1 - 0.13 r \sin \alpha$ | 0.46 | 0.12      | 0.78            | 0.62        |
|                         | 粗孔隙量 $mm$                | 314  | 213       | 4.02            | 334         |
|                         | 最大有効貯留量 $mm$             | 145  | 25        | 315             | 207         |
| 洪水<br>調節<br>機能          | 全粗孔隙量 $mm$               | 443  | 311       | 542             | 423         |
|                         | 最大排水量 $mm$               | 169  | 188       | 88              | 127         |
|                         | 有効浸透容量 $mm$              | 619  | 499       | 628             | 550         |

表の値を検討すると、まず、多摩川上流域の土壌が、九州地方の土壌にくらべて、排水率が高く、貯留率が低いことに気付かれる。これは、多摩川上流域の土壌が、急峻地と高冷地に分布するため石礫質であるが、現実の降水強度は、九州地方の  $2/3$  から  $1/2$  に近い値であるので、実際の排水率や、貯留率は九州地方にくらべて大差はないものと想像される。

貯留率は地形と土壌の堆積区分別に夫々特徴づけられ、次の順序となっている。

緩傾斜面 ( $1 > I_g > 0.78$ )、匍行土 ( $1 > I_c > 0.46$ )、急峻匍行土 ( $1 > I_s > 0.12$ )

ここで、匍行土の値は、急峻面を除く開析斜面の代表値と考えられるので、流域の地形を傾斜度階によって区分すると、それぞれ

$0 \sim 25^\circ \rightarrow$  緩傾斜面  $I_g$  ,  $26^\circ \sim 39^\circ \rightarrow$  匍行土  $I_c$  ,  $40^\circ$  以上  $\rightarrow$  急峻匍行土  $I_s$

のように、堆積区分値で代表されることになる。ここで近似的に  $I_c \div 2 I_s$  と考えると、流域の全体の土壌の貯留機能の大小は、おおよそ次の地形指数：緩傾斜面積指数で指標されうものと考えることが出来る。

緩傾斜面積指数 = 緩傾斜面積率  $\times$  (  $1 - 0.5 \times$  急峻面積率 )

この報告では、この緩傾斜面積指数を用いて流況との対比を行い、検討を加えることにした。

## (2) 地質基岩の区分

地質基岩を岩種と風化、破碎の状況により区分した。

花崗岩類 中生層(風化破碎)、中古生層(硬質破碎)、中古生層

## (3) 林況

植生図及び空中写真を利用して植相別の面積を求め、それをもとに高木林、低木林、草地、その他の区分を行い、流域の森林率を求めることにした。

森林率 = 高木林面積率 +  $0.5 \times$  低木林面積率

## (4) 流域小分区別の地況、林況

多摩川上流域を、 $5 \text{ km}^2$  から  $20 \text{ km}^2$  程度の小流域にわけ傾斜度階(緩  $< 25^\circ$  ,  $26^\circ <$  急  $< 39^\circ$  ,  $40^\circ <$  急峻)別の面積率、林相別の植生面積率を計測し、併せて起伏量、年降水量、緩傾斜面積指数、150年確率での崩壊危険面積率を計量した流域小分区は図3-2(末尾)に、流域小分区別の地況、林況は、表3-3に掲げている。

## (5) 主要な合流点に対する流域内の地況と林況

河川の任意の地点の流域の地況、林況とを対比出来るように、主要な合流点に測点を付し、その測点から上流の流域の地況と林況とを総括した合流点ごとの測点を、図3-2に併記し、各測定に対する流域の地況と林況とを表3-4に掲げている。

# 3.4 多摩川上流域の流域と地況との対比

## (1) 流況値の指標化



多摩川上流では、東京都水道局により、小河内ダム地点をはじめ、計10ヶ所で流量観測がなされている。これらの観測値は非公開資料であるため、具体的な流量値について検討をさけるが、水源かん養機能を代弁すると考えられる指標値を考案し、これを利用して検討を行うことにした。

35日流量 = 年間を通じて、35日間はこれを下らぬ流量

豊水流量 = 年間を通じて、95日間はこれを下らぬ流量

渇水流量 = 年間を通じて、355日間はこれを下らぬ流量

「豊水/渇水」比 = 豊水流量  
÷ 渇水流量(平年値)

「豊水-渇水」差 = 豊水比流量  
= 渇水比流量(平年値)

流出係数 = 年流出量 ÷ 年降水量

これらの流況値と地況とを各小流域別にまとめたものを表3-5に示す。

なお、流況指標値は、年降水量階別に示しているが、これは、同一降雨条件下での検討が行い易いように、あらかじめ年降水量と各流量値との関係をグラフにしておき、丁度1500, 2000, 2500 mm に相当する値を推定して算出したものである。

## (2) 地況と流況との関係

多摩川上流域の流況と地況との関係を表3-5により検討を加えることにする。なお、参考のために九州地方における本流域との類似地形固所の例を表3-5に併記しているので、比較を行いたい。

### ○ 「豊水/渇水」比、「豊水-渇水」差

豊水比流量と渇水比流量との比值、あるいは差値は、水源かん養機能の高い流域ほど、低値をとることが知られており、これらを夫々縦軸にとり、緩傾斜面積率を横軸にとって相関図を作成すると、図3-3に示すように、地質基岩別に明瞭な負の相関を示すことが認められる。(九州地方のデータと併記している)即ち、厚い土層の緩傾斜面が広いほど、その流域の流量均等化機能が高いことを示していることになる。

しかしながら多摩上流域の場合は、丹波川上流域を除くとも、いずれの流域も、緩傾斜面積率が低く、そのため比率や差値は高値を示して実質的な流量均等化機能は、余り高いとは云えない状況を示している。各流域とも地形的な差が少ないため、豊水と渇水との比值や差値は、地質基岩の性状によって、より大きく支配されており、火山灰に厚くおおわれる花崗岩地が最も低く、ついで風化基岩の破碎帯地帯となり、硬質基岩の破碎帯は、これらよりも高く、硬岩流域がもっとも高い値を示している。流量の均等化機能は風化が進んだ基岩ほど、また破碎の著しい基岩ほど高くなっていることを示している。

本流域は、地形的には急峻で土壌の貯留機能面でやや不利な状況を示しているが、小菅川、丹波

表3-3 流域小分区別の地況、林況

|      | 面積<br>km <sup>2</sup> | 地 形      |    |    |     |                  | 植              |             |               |
|------|-----------------------|----------|----|----|-----|------------------|----------------|-------------|---------------|
|      |                       | 傾斜面別面積率% |    |    | 起伏量 | 崩壊危険<br>面積率<br>% | スギ<br>ヒノキ<br>林 | カラマツ<br>マツ林 | モミ・ツガ<br>トウヒ林 |
|      |                       | 緩        | 中  | 急  |     |                  |                |             |               |
| 日原 1 | 6.03                  | 9        | 50 | 41 | 221 | 4.8              | 53.8           | 1.7         | —             |
| 2    | 0.72                  | 9        | 35 | 56 | 240 | 4.6              | 41.5           | —           | —             |
| 3    | 9.42                  | 7        | 45 | 48 | 226 | 4.9              | 15.5           | 6.0         | 5.1           |
| 4    | 0.95                  | 3        | 59 | 38 | 249 | 5.5              | 13.0           | 3.3         | —             |
| 5    | 7.25                  | 10       | 49 | 41 | 216 | 4.7              | 11.4           | 2.3         | 16.8          |
| 6    | 18.69                 | 10       | 53 | 37 | 201 | 4.7              | 5.0            | 10.2        | 21.4          |
| 7    | 2.60                  | 7        | 48 | 45 | 244 | 5.0              | 25.8           | —           | 1.2           |
| 8    | 6.80                  | 7        | 58 | 35 | 222 | 5.1              | 15.9           | 2.1         | 22.0          |
| 9    | 1.70                  | 6        | 52 | 42 | 224 | 5.0              | 32.7           | —           | —             |
| 10   | 16.48                 | 8        | 54 | 38 | 212 | 4.9              | 15.4           | 6.2         | 19.4          |
| 11   | 2.69                  | 7        | 61 | 32 | 230 | 5.2              | 32.8           | 1.1         | 0.4           |
| 12   | 7.80                  | 5        | 52 | 43 | 223 | 5.1              | 33.6           | 2.9         | 2.6           |
| 13   | 1.10                  | 3        | 50 | 47 | 247 | 5.3              | 60.8           | —           | 0.9           |
| 14   | 10.09                 | 8        | 47 | 45 | 217 | 4.8              | 51.7           | 7.7         | 2.6           |
| 15   | 4.31                  | 7        | 38 | 55 | 237 | 4.8              | 48.7           | —           | —             |
| ダム 1 | 7.94                  | 8        | 57 | 35 | 207 | 4.9              | 56.0           | 10.5        | 1.6           |
| 周辺 2 | 3.22                  | 4        | 49 | 47 | 245 | 5.2              | 32.7           | 1.6         | 1.0           |
| 3    | 7.54                  | 6        | 48 | 46 | 214 | 4.9              | 47.0           | 5.2         | 1.1           |
| 4    | 8.97                  | 6        | 48 | 46 | 195 | 4.7              | 45.8           | —           | —             |
| 5    | 1.57                  | 8        | 39 | 53 | 206 | 4.5              | 38.8           | —           | —             |
| 6    | 0.63                  | 5        | 42 | 53 | 247 | 5.0              | 23.8           | —           | —             |
| 7    | 0.75                  | 6        | 47 | 47 | 218 | 4.9              | 75.0           | 2.8         | —             |
| 8    | 18.19                 | 8        | 46 | 46 | 231 | 4.9              | 35.2           | 5.1         | 1.9           |
| 9    | 0.71                  | 8        | 40 | 52 | 255 | 4.9              | 47.1           | —           | —             |
| 10   | 2.61                  | 9        | 42 | 49 | 225 | 4.7              | 45.4           | 3.2         | —             |
| 11   | 7.25                  | 7        | 46 | 47 | 217 | 4.8              | 28.1           | 2.0         | 0.4           |
| 12   | 2.90                  | 4        | 51 | 45 | 246 | 5.2              | 46.6           | +           | 0.7           |
| 13   | 5.16                  | 8        | 56 | 36 | 215 | 5.0              | 69.8           | 5.9         | —             |

| 生 産 地            |      |      |      |            |     | 地 況                |                   |                 |
|------------------|------|------|------|------------|-----|--------------------|-------------------|-----------------|
| ブ ナ<br>ミズ<br>ナラ林 | 低木林  | 高茎草地 | 低茎草地 | 裸 地<br>市街地 | 水 系 | 年降水<br>量(平年)<br>mm | 緩傾斜<br>面 積<br>指数% | 森 林<br>面積率<br>% |
| 27.7             | 10.3 | 0.2  | 4.1  | 1.2        | 1.0 | 1790               | 7.2               | 93.5            |
| 12.3             | 44.7 | —    | —    | —          | 1.5 | 1660               | 6.5               | 98.5            |
| 61.0             | 11.7 | 0.3  | —    | 0.4        | —   | 1780               | 5.3               | 99.3            |
| 70.7             | 13.0 | —    | —    | —          | —   | 1700               | 2.4               | 100.0           |
| 66.9             | 1.5  | 1.1  | —    | —          | —   | 1800               | 8.0               | 89.9            |
| 52.6             | 2.2  | 8.5  | —    | 0.1        | —   | 1930               | 8.2               | 91.4            |
| 66.2             | 2.4  | 4.0  | —    | 0.4        | —   | 1780               | 5.4               | 95.6            |
| 53.8             | 2.1  | 1.2  | —    | 2.9        | —   | 1900               | 5.8               | 95.9            |
| 57.0             | 6.7  | —    | —    | 3.6        | —   | 1780               | 4.7               | 96.4            |
| 47.7             | 2.7  | 7.9  | —    | 0.7        | —   | 1880               | 6.5               | 91.4            |
| 20.0             | 19.6 | —    | 5.7  | 20.4       | —   | 1680               | 5.9               | 73.9            |
| 54.0             | 6.0  | 0.4  | 0.4  | 0.1        | —   | 1870               | 3.9               | 99.1            |
| 19.6             | 17.8 | —    | —    | 0.9        | —   | 1670               | 2.3               | 99.1            |
| 28.3             | 9.0  | 0.7  | —    | —          | —   | 1950               | 6.2               | 99.3            |
| 12.4             | 22.0 | 11.1 | 2.1  | 2.1        | 1.7 | 1750               | 5.1               | 83.1            |
| 14.7             | 10.0 | 4.0  | 1.0  | 1.7        | 0.5 | 1730               | 6.6               | 92.8            |
| 5.3              | 25.6 | —    | —    | 1.9        | 1.9 | 1680               | 3.1               | 96.2            |
| 27.9             | 17.3 | —    | 0.8  | 0.7        | —   | 1750               | 4.6               | 98.5            |
| 40.3             | 9.1  | 0.3  | 1.7  | 2.8        | —   | 1800               | 4.6               | 95.2            |
| 38.2             | 23.0 | —    | —    | —          | —   | 1610               | 5.9               | 100.0           |
| 3.2              | 63.5 | 9.5  | —    | —          | —   | 1490               | 3.7               | 90.5            |
| 6.9              | 11.1 | —    | 4.2  | —          | —   | 1570               | 4.6               | 95.8            |
| 44.6             | 7.4  | 2.7  | 2.9  | 0.2        | —   | 1930               | 6.2               | 94.2            |
| 25.5             | 25.5 | —    | —    | 1.9        | —   | 1560               | 5.9               | 98.1            |
| 8.7              | 33.2 | 1.6  | 0.8  | 7.1        | —   | 1600               | 6.8               | 90.5            |
| 57.0             | 9.8  | 1.7  | 0.6  | 0.4        | —   | 1920               | 5.4               | 97.3            |
| 13.2             | 33.1 | —    | 1.8  | 2.5        | 2.1 | 1660               | 3.1               | 93.6            |
| 8.6              | 7.3  | 4.8  | 1.6  | 1.3        | 0.7 | 1790               | 6.6               | 91.6            |

|      | 面積<br>km <sup>2</sup> | 地 形      |    |    |     |                  | 植              |             |               |
|------|-----------------------|----------|----|----|-----|------------------|----------------|-------------|---------------|
|      |                       | 傾斜面別面積率% |    |    | 起伏量 | 崩壊危険<br>面積率<br>% | スギ<br>ヒノキ<br>林 | カラマツ<br>マツ林 | モミ・ツガ<br>トウヒ林 |
|      |                       | 緩        | 中  | 急  |     |                  |                |             |               |
| 丹波 1 | 0.67                  | 6        | 59 | 35 | 237 | 5.3              | 57.3           | —           | +             |
| 2    | 2.77                  | 6        | 53 | 41 | 221 | 5.0              | 17.5           | 2.6         | —             |
| 2'   | 0.42                  | 3        | 53 | 44 | 230 | 5.2              | 36.1           | —           | —             |
| 3    | 3.77                  | 5        | 47 | 48 | 243 | 5.1              | 10.7           | 4.9         | —             |
| 4    | 5.21                  | 9        | 49 | 42 | 201 | 4.7              | 22.5           | 7.7         | 1.2           |
| 5    | 5.16                  | 12       | 33 | 55 | 226 | 4.4              | 13.6           | 1.4         | 4.8           |
| 6    | 3.20                  | 8        | 33 | 59 | 213 | 4.5              | 10.0           | —           | 5.1           |
| 7    | 0.80                  | 8        | 37 | 55 | 208 | 4.5              | 28.4           | —           | 13.6          |
| 8    | 9.13                  | 7        | 46 | 47 | 202 | 4.7              | —              | 0.7         | 18.4          |
| 9    | 13.53                 | 15       | 54 | 31 | 188 | 4.4              | 5.6            | 21.3        | 13.6          |
| 10   | 0.93                  | 5        | 55 | 40 | 225 | 5.1              | —              | —           | 11.2          |
| 11   | 2.90                  | 4        | 55 | 41 | 225 | 5.2              | 1.1            | —           | 16.7          |
| 12   | 2.70                  | 11       | 57 | 32 | 203 | 4.8              | 1.0            | 11.3        | 10.4          |
| 13   | 14.85                 | 39       | 49 | 12 | 144 | 2.9              | 2.0            | 52.6        | 2.9           |
| 14   | 11.11                 | 34       | 51 | 15 | 131 | 2.9              | 3.6            | 47.7        | —             |
| 15   | 1.80                  | 7        | 63 | 30 | 190 | 4.9              | 24.8           | 6.4         | 4.0           |
| 16   | 1.16                  | 6        | 58 | 36 | 207 | 5.0              | —              | —           | 5.4           |
| 17   | 1.59                  | 11       | 65 | 24 | 183 | 4.7              | —              | —           | 3.2           |
| 18   | 18.80                 | 25       | 58 | 17 | 135 | 3.4              | —              | 27.1        | 12.6          |
| 19   | 6.20                  | 14       | 61 | 25 | 181 | 4.5              | —              | 15.3        | 12.6          |
| 20   | 0.55                  | 4        | 43 | 53 | 253 | 5.1              | —              | —           | 11.3          |
| 21   | 6.55                  | 8        | 50 | 42 | 227 | 4.9              | —              | —           | 39.8          |
| 22   | 0.49                  | 3        | 41 | 56 | 250 | 5.1              | —              | —           | 29.8          |
| 23   | 1.18                  | 3        | 50 | 47 | 277 | 5.4              | —              | —           | 33.9          |
| 24   | 1.49                  | 2        | 58 | 40 | 261 | 5.5              | —              | —           | 33.8          |
| 25   | 7.32                  | 4        | 46 | 50 | 249 | 5.1              | 2.7            | 8.0         | 9.4           |
| 26   | 5.69                  | 12       | 49 | 39 | 211 | 4.6              | 26.1           | 0.7         | 2.7           |
| 27   | 2.70                  | 4        | 58 | 38 | 237 | 5.3              | 37.8           | 1.5         | 0.8           |
| 28   | 2.35                  | 11       | 50 | 39 | 199 | 4.6              | 26.8           | 3.9         | 0.4           |
| 29   | 18.59                 | 6        | 50 | 44 | 231 | 5.0              | 2.7            | 8.3         | 18.8          |
| 30   | 5.89                  | 7        | 50 | 43 | 245 | 5.1              | 4.2            | 12.9        | 11.4          |

| 生 産 地           |      |      |      |           |     | 地 況                  |                  |                |
|-----------------|------|------|------|-----------|-----|----------------------|------------------|----------------|
| ブナ<br>ミズ<br>ナラ林 | 低木林  | 高茎草地 | 低茎草地 | 裸地<br>市街地 | 水系  | 年降水量<br>( 平年 )<br>mm | 緩傾斜<br>面積指数<br>% | 森林<br>面積率<br>% |
| 10.3            | 30.9 | 1.5  | —    | —         | —   | 1480                 | 5.0              | 98.5           |
| 45.0            | 19.3 | 14.1 | 0.4  | —         | 1.1 | 1570                 | 4.8              | 84.4           |
| 11.1            | 50.0 | +    | —    | —         | 2.8 | 1530                 | 2.3              | 97.2           |
| 47.6            | 22.1 | 13.1 | 0.5  | —         | 1.1 | 1610                 | 3.8              | 85.3           |
| 51.2            | 5.7  | 10.7 | 0.4  | 0.6       | —   | 1680                 | 7.1              | 88.3           |
| 66.6            | 7.8  | 0.2  | 4.0  | +         | 1.6 | 1690                 | 8.7              | 94.2           |
| 74.0            | 4.5  | 6.4  | —    | —         | —   | 1630                 | 5.6              | 93.6           |
| 45.7            | —    | 11.1 | —    | 1.2       | —   | 1600                 | 5.8              | 87.7           |
| 73.7            | 1.0  | 5.5  | —    | 0.7       | —   | 1910                 | 5.4              | 93.8           |
| 44.0            | 1.2  | 14.0 | —    | 0.3       | —   | 1870                 | 12.7             | 85.7           |
| 2.2             | —    | —    | —    | 86.7      | —   | 1620                 | 4.0              | 13.3           |
| 77.2            | —    | 5.0  | —    | —         | —   | 1700                 | 3.2              | 95.0           |
| 75.7            | —    | 0.6  | 1.0  | —         | —   | 1700                 | 9.2              | 98.4           |
| 26.4            | 0.1  | 15.3 | 0.6  | 0.1       | —   | 1810                 | 36.7             | 84.0           |
| 30.7            | 0.1  | 17.5 | 0.4  | —         | —   | 1900                 | 31.5             | 82.1           |
| 53.2            | —    | 10.4 | 1.2  | —         | —   | 1700                 | 6.0              | 88.4           |
| 92.8            | —    | —    | —    | 1.8       | —   | 1720                 | 4.9              | 98.2           |
| 92.9            | —    | 3.9  | —    | —         | —   | 1800                 | 9.7              | 96.1           |
| 49.5            | 1.1  | 7.9  | 1.7  | 0.1       | —   | 2000                 | 22.9             | 90.3           |
| 63.8            | 1.2  | 7.1  | —    | —         | —   | 1990                 | 12.3             | 92.9           |
| 88.7            | —    | —    | —    | —         | —   | 1800                 | 2.9              | 100.0          |
| 55.9            | 1.9  | 1.9  | —    | 0.5       | —   | 1900                 | 6.3              | 97.6           |
| 70.2            | —    | —    | —    | —         | —   | 1680                 | 2.2              | 100.0          |
| 66.1            | —    | —    | —    | —         | —   | 1620                 | 2.3              | 100.0          |
| 66.2            | —    | —    | —    | —         | —   | 1590                 | 1.6              | 100.0          |
| 78.9            | —    | 0.7  | —    | 0.3       | —   | 1820                 | 3.0              | 99.0           |
| 42.9            | 4.5  | 15.0 | 3.6  | 2.9       | 1.6 | 1600                 | 9.7              | 76.9           |
| 16.0            | 18.3 | 17.6 | 5.0  | 1.1       | 1.9 | 1520                 | 3.2              | 74.4           |
| 34.3            | 16.2 | 14.9 | 1.3  | —         | 2.2 | 1670                 | 8.9              | 81.6           |
| 55.5            | 1.1  | 13.4 | —    | 0.1       | 0.1 | 1970                 | 4.7              | 86.4           |
| 64.0            | 0.9  | 6.6  | —    | —         | —   | 1920                 | 5.5              | 93.4           |

|      | 面積<br>km <sup>2</sup> | 地 形      |    |    | 植   |                  |                |             |               |
|------|-----------------------|----------|----|----|-----|------------------|----------------|-------------|---------------|
|      |                       | 傾斜面別面積率% |    |    | 起伏量 | 崩壊危険<br>面積率<br>% | スギ<br>ヒノキ<br>林 | カラマツ<br>マツ林 | モミ・ツガ<br>トウヒ林 |
|      |                       | 緩        | 中  | 急  |     |                  |                |             |               |
| C 31 | 5.16                  | 6        | 46 | 48 | 261 | 5.1              | 17.1           | 10.0        | 8.0           |
| 32   | 0.34                  | 1        | 67 | 32 | 250 | 5.7              | 26.5           | —           | —             |
| 32'  | 0.56                  | 2        | 71 | 27 | 223 | 5.6              | 18.8           | —           | 1.9           |
| 33   | 6.50                  | 7        | 55 | 38 | 225 | 5.1              | 41.8           | 4.8         | 1.7           |
| 34   | 1.58                  | 6        | 45 | 49 | 242 | 5.0              | 48.1           | 2.6         | —             |
| 小菅 1 | 2.08                  | 6        | 47 | 47 | 227 | 5.0              | 41.6           | —           | 2.5           |
| 2    | 4.69                  | 11       | 50 | 39 | 201 | 4.6              | 27.7           | 1.8         | 1.3           |
| 3    | 9.40                  | 11       | 57 | 32 | 193 | 4.7              | 24.2           | 1.2         | 1.2           |
| 4    | 5.82                  | 16       | 46 | 38 | 185 | 4.2              | 25.1           | 3.7         | 2.7           |
| 5    | 18.61                 | 9        | 50 | 41 | 202 | 4.7              | 15.9           | 6.9         | 6.9           |
| 6    | 5.19                  | 13       | 52 | 35 | 190 | 4.4              | 34.9           | 22.0        | 0.4           |
| 7    | 2.26                  | 8        | 59 | 33 | 235 | 5.2              | 33.9           | 9.2         | —             |
| 8    | 0.72                  | 6        | 51 | 43 | 238 | 5.1              | 52.9           | —           | —             |

| ブ<br>ミ<br>ナ<br>ラ<br>林 | 生 産 地 |      |      |           |     | 地 況                |                  |                |
|-----------------------|-------|------|------|-----------|-----|--------------------|------------------|----------------|
|                       | 低木林   | 高茎草地 | 低茎草地 | 裸地<br>市街地 | 水系  | 年降水量<br>(平年)<br>mm | 緩傾斜<br>面積指数<br>% | 森林<br>面積率<br>% |
| 53.5                  | 6.4   | 3.4  | 0.6  | —         | 1.0 | 1870               | 4.6              | 95.0           |
| 2.9                   | 41.3  | 2.9  | 23.5 | —         | 2.9 | 1570               | 0.8              | 70.7           |
| —                     | 30.2  | 13.2 | 24.5 | 5.7       | 5.7 | 1540               | 1.7              | 50.9           |
| 40.3                  | 6.8   | 3.3  | 1.1  | 0.2       | —   | 1800               | 5.7              | 95.4           |
| 7.1                   | 35.1  | 1.3  | 3.9  | 1.9       | —   | 1510               | 4.5              | 92.9           |
| 34.1                  | 21.8  | —    | +    | —         | —   | 1660               | 4.6              | 100.0          |
| 54.3                  | 10.8  | 1.3  | 2.8  | —         | —   | 1750               | 8.9              | 95.9           |
| 44.9                  | 10.7  | 14.3 | 3.0  | 0.5       | —   | 1810               | 9.2              | 82.2           |
| 51.0                  | 6.0   | 6.5  | 5.0  | —         | —   | 1730               | 13.0             | 88.5           |
| 56.4                  | 2.2   | 9.7  | 1.5  | 0.3       | 0.2 | 1870               | 7.2              | 88.3           |
| 18.6                  | 4.8   | 12.7 | 4.4  | 1.4       | 0.8 | 1620               | 10.7             | 80.7           |
| 11.3                  | 18.4  | 19.3 | 7.9  | —         | —   | 1570               | 6.7              | 72.8           |
| 7.1                   | 35.7  | 4.3  | —    | +         | —   | 1490               | 4.7              | 95.7           |

表 3-4 主要な合流点(測定)に対する流域内の地況と林況

|        | 面積<br>km <sup>2</sup> | 地 形       |    |    | スギ・ヒノキ<br>林 | カラマツ<br>マツ林 |
|--------|-----------------------|-----------|----|----|-------------|-------------|
|        |                       | 傾斜面別面積率 % |    |    |             |             |
|        |                       | 緩         | 中  | 急  |             |             |
| A ①    | 18.69                 | 10        | 54 | 36 | 5.0         | 10.2        |
| 日原 ②   | 28.54                 | 10        | 52 | 38 | 8.5         | 7.3         |
| ② a    | 6.80                  | 8         | 58 | 34 | 15.9        | 2.1         |
| ③      | 35.34                 | 9         | 53 | 38 | 9.9         | 6.3         |
| ④      | 37.99                 | 9         | 53 | 38 | 11.0        | 5.9         |
| ④ a    | 16.48                 | 8         | 54 | 38 | 15.4        | 6.2         |
| ⑤      | 54.47                 | 9         | 53 | 38 | 12.3        | 6.0         |
| ⑥      | 66.58                 | 8         | 53 | 39 | 13.6        | 5.8         |
| ⑥ a    | 7.80                  | 5         | 52 | 43 | 33.6        | 2.9         |
| ⑦      | 74.38                 | 8         | 52 | 40 | 15.7        | 5.5         |
| ⑧      | 76.20                 | 8         | 52 | 40 | 16.6        | 5.4         |
| ⑧      | 10.09                 | 8         | 47 | 45 | 51.7        | 7.7         |
| ⑨      | 86.29                 | 8         | 52 | 40 | 20.7        | 5.6         |
| ⑩      | 96.63                 | 8         | 51 | 41 | 24.0        | 5.1         |
| B ①    | 18.19                 | 8         | 47 | 45 | 35.2        | 5.1         |
| ダム ②   | 19.65                 | 8         | 46 | 46 | 37.2        | 4.8         |
| 付近 ③   | 7.25                  | 8         | 46 | 46 | 28.1        | 2.0         |
| C ①    | 14.85                 | 38        | 49 | 13 | 2.0         | 52.6        |
| 丹波 ① a | 11.11                 | 34        | 51 | 15 | 3.6         | 47.7        |
| ②      | 25.96                 | 37        | 50 | 13 | 2.7         | 50.5        |
| ③      | 30.46                 | 33        | 51 | 16 | 3.9         | 44.4        |
| ③ a    | 18.80                 | 25        | 58 | 17 | —           | 27.1        |
| ③ a'   | 6.20                  | 14        | 61 | 25 | —           | 15.3        |
| ③ b    | 25.00                 | 22        | 59 | 19 | —           | 24.1        |
| ③ c    | 27.14                 | 21        | 59 | 20 | —           | 22.2        |
| ③ c'   | 6.55                  | 8         | 50 | 42 | —           | —           |
| ③ d    | 33.69                 | 19        | 57 | 24 | —           | 17.9        |
| ③ e    | 35.34                 | 18        | 57 | 25 | —           | 17.1        |
| ④      | 65.80                 | 25        | 54 | 21 | 1.8         | 29.7        |



| 植              |               | 生     |         |         | %            |     |
|----------------|---------------|-------|---------|---------|--------------|-----|
| モミ・ツガ<br>トウヒ 林 | ブナ・<br>ミズナラ 林 | 低 木 林 | 高 茎 草 地 | 低 茎 草 地 | 裸 地<br>市 街 地 | 水 系 |
| 21.4           | 52.6          | 2.2   | 8.5     | —       | 0.1          | —   |
| 18.4           | 57.5          | 2.0   | 6.2     | —       | 0.1          | —   |
| 22.0           | 53.8          | 2.1   | 1.2     | —       | 2.9          | —   |
| 19.1           | 56.8          | 2.0   | 5.2     | —       | 0.7          | —   |
| 17.7           | 57.2          | 2.5   | 4.9     | —       | 0.8          | —   |
| 19.4           | 47.7          | 2.7   | 7.9     | —       | 0.7          | —   |
| 18.2           | 54.3          | 2.6   | 5.8     | —       | 0.8          | —   |
| 15.7           | 53.9          | 4.5   | 4.8     | 0.2     | 1.5          | —   |
| 2.6            | 54.0          | 6.0   | 0.4     | 0.4     | 0.1          | —   |
| 14.3           | 53.9          | 4.7   | 4.3     | 0.2     | 1.4          | —   |
| 14.0           | 53.0          | 5.3   | 4.2     | 0.2     | 1.3          | +   |
| 2.6            | 28.3          | 9.0   | 0.7     | —       | —            | —   |
| 12.6           | 50.2          | 5.7   | 3.8     | 0.2     | 1.2          | +   |
| 11.3           | 47.1          | 6.7   | 3.9     | 0.5     | 1.2          | 0.2 |
| 1.9            | 44.6          | 7.4   | 2.7     | 2.9     | 0.2          | —   |
| 1.7            | 42.5          | 8.2   | 2.5     | 2.8     | 0.3          | —   |
| 0.4            | 57.0          | 9.8   | 1.7     | 0.6     | 0.4          | —   |
| 2.9            | 26.4          | 0.1   | 15.3    | 0.6     | 0.1          | —   |
| —              | 30.7          | 0.1   | 17.5    | 0.4     | —            | —   |
| 1.7            | 28.2          | 0.1   | 16.3    | 0.5     | +            | —   |
| 2.5            | 33.9          | 0.1   | 14.6    | 0.6     | +            | —   |
| 12.6           | 49.5          | 1.1   | 7.9     | 1.7     | 0.1          | —   |
| 12.6           | 63.8          | 1.2   | 7.1     | —       | —            | —   |
| 12.6           | 53.1          | 1.1   | 7.7     | 1.3     | 0.1          | —   |
| 12.0           | 56.2          | 1.0   | 7.3     | 1.2     | 0.1          | —   |
| 39.8           | 55.9          | 1.9   | 1.9     | —       | 0.5          | —   |
| 17.4           | 56.1          | 1.2   | 6.2     | 1.0     | 0.2          | —   |
| 17.2           | 57.5          | 1.1   | 5.9     | 9.0     | 0.2          | —   |
| 10.4           | 46.7          | 0.6   | 9.9     | 0.8     | 0.1          | —   |

|      | 面積<br>km <sup>2</sup> | 地形       |    |    | スギ・ヒノキ<br>林 | カラマツ<br>マツ林 |
|------|-----------------------|----------|----|----|-------------|-------------|
|      |                       | 傾斜面別面積率% |    |    |             |             |
|      |                       | 緩        | 中  | 急  |             |             |
| C ⑤  | 69.88                 | 24       | 54 | 22 | 1.7         | 28.0        |
| ⑤ a  | 9.13                  | 8        | 45 | 47 | —           | 0.7         |
| ⑤ a' | 13.53                 | 15       | 54 | 31 | 5.6         | 21.3        |
| ⑤ b  | 22.66                 | 12       | 50 | 38 | 3.4         | 13.0        |
| ⑤ c  | 24.39                 | 12       | 50 | 38 | 4.1         | 12.0        |
| ⑥    | 94.27                 | 21       | 53 | 26 | 2.3         | 23.9        |
| ⑦    | 98.96                 | 20       | 52 | 28 | 2.5         | 22.7        |
| ⑦ a  | 7.32                  | 4        | 46 | 50 | 2.7         | 8.0         |
| ⑧    | 106.28                | 19       | 52 | 29 | 2.5         | 21.7        |
| ⑨    | 117.13                | 18       | 51 | 31 | 4.2         | 19.8        |
| ⑨ a  | 5.21                  | 9        | 49 | 42 | 22.5        | 7.7         |
| ⑩    | 122.34                | 18       | 51 | 31 | 5.0         | 19.3        |
| ⑪    | 128.81                | 17       | 51 | 32 | 5.8         | 18.5        |
| ⑪ a  | 18.59                 | 6        | 50 | 44 | 2.7         | 8.3         |
| ⑪ a' | 5.89                  | 7        | 50 | 43 | 4.2         | 12.9        |
| ⑪ b  | 24.48                 | 6        | 50 | 44 | 3.1         | 9.4         |
| ⑪ c  | 31.99                 | 7        | 49 | 44 | 7.1         | 9.1         |
| ⑫    | 160.80                | 15       | 51 | 34 | 6.1         | 16.6        |
| ⑬    | 161.56                | 15       | 51 | 34 | 6.2         | 16.6        |
| ⑭    | 164.89                | 15       | 51 | 34 | 6.4         | 16.3        |
| ⑭ a  | 6.50                  | 7        | 55 | 38 | 41.8        | 4.8         |
| ⑮    | 171.39                | 14       | 51 | 35 | 7.8         | 15.8        |
| ⑯    | 173.64                | 14       | 51 | 35 | 8.3         | 15.6        |
| D ①  | 18.61                 | 8        | 50 | 41 | 15.9        | 6.9         |
| 小菅 ② | 29.62                 | 11       | 49 | 40 | 21.0        | 8.9         |
| ② a  | 9.40                  | 11       | 57 | 32 | 24.2        | 1.2         |
| ③    | 39.02                 | 11       | 51 | 38 | 21.8        | 7.0         |
| ④    | 45.97                 | 11       | 51 | 38 | 23.0        | 6.6         |
| ⑤    | 48.77                 | 11       | 51 | 38 | 24.2        | 6.2         |

| 植             |              | 生    |      |      | %         |     |
|---------------|--------------|------|------|------|-----------|-----|
| モミ・ツガ<br>トウヒ林 | ブナ・ミズ<br>ナラ林 | 低木林  | 高茎草地 | 低茎草地 | 裸地<br>市街地 | 水系  |
| 11.1          | 48.2         | 0.6  | 9.6  | 0.7  | 0.1       | —   |
| 18.4          | 73.7         | 1.0  | 5.5  | —    | 0.7       | —   |
| 13.6          | 44.0         | 1.2  | 14.0 | —    | 0.3       | —   |
| 15.5          | 56.0         | 1.1  | 10.6 | —    | 0.4       | —   |
| 15.3          | 53.6         | 1.0  | 10.2 | —    | 3.8       | —   |
| 12.2          | 49.6         | 0.7  | 9.7  | 0.5  | 1.1       | —   |
| 12.3          | 50.7         | 0.8  | 9.5  | 0.5  | 1.0       | —   |
| 9.4           | 78.9         | —    | 0.7  | —    | 0.3       | —   |
| 12.1          | 52.6         | 0.8  | 8.9  | 0.5  | 0.9       | —   |
| 11.3          | 52.7         | 1.3  | 8.8  | 0.8  | 1.0       | 0.1 |
| 1.2           | 51.2         | 5.7  | 10.7 | 0.4  | 0.6       | —   |
| 10.8          | 52.7         | 1.4  | 8.9  | 0.8  | 1.0       | 0.1 |
| 10.3          | 51.8         | 2.4  | 9.2  | 0.8  | 1.0       | 0.2 |
| 18.8          | 55.5         | 1.1  | 13.4 | —    | 0.1       | 0.1 |
| 11.4          | 64.0         | 0.9  | 6.6  | —    | —         | —   |
| 17.0          | 57.5         | 1.0  | 11.8 | —    | 0.1       | 0.1 |
| 14.3          | 55.2         | 3.0  | 10.6 | 0.2  | 0.1       | 0.4 |
| 11.1          | 52.5         | 2.5  | 9.5  | 0.7  | 0.8       | 0.2 |
| 11.1          | 52.2         | 2.7  | 9.4  | 0.8  | 0.8       | 0.2 |
| 10.9          | 51.9         | 3.1  | 9.5  | 0.8  | 0.8       | 0.3 |
| 1.7           | 40.3         | 6.8  | 3.3  | 1.1  | 0.2       | —   |
| 10.5          | 51.5         | 3.2  | 9.3  | 0.8  | 0.8       | 0.3 |
| 10.4          | 50.9         | 3.6  | 9.2  | 0.9  | 0.8       | 0.3 |
| 6.9           | 56.4         | 2.2  | 9.7  | 1.5  | 0.3       | 0.2 |
| 4.9           | 48.8         | 3.4  | 9.6  | 2.7  | 0.4       | 0.3 |
| 1.2           | 44.9         | 10.7 | 14.3 | 3.0  | 0.5       | —   |
| 4.0           | 47.8         | 5.2  | 10.7 | 2.8  | 0.5       | 0.2 |
| 3.5           | 46.7         | 6.4  | 10.2 | 3.0  | 0.4       | 0.2 |
| 3.4           | 45.6         | 7.5  | 9.6  | 2.9  | 0.4       | 0.2 |

表 3-5 多摩川上流域における小流域別の流況と地況

| 流域名            | 流域面積            | 起伏量   | 標高           | 緩傾斜面積率 | 地質基岩区分                  | 森林面積率 |
|----------------|-----------------|-------|--------------|--------|-------------------------|-------|
|                | km <sup>2</sup> | m/300 | m            | %      |                         | %     |
| 日原川(上流)        | 60.3            | 214   | 500<br>~2000 | 8      | 中古生層(破碎)                | 96    |
| 日原川            | 94.5            | 227   | 400<br>~2000 | 7      | 中生層(破碎)                 | 94    |
| 水根沢            | 6.8             | 217   | 600<br>~1500 | 6      | 中生層(破碎)                 | 94    |
| 峰谷川            | 15.5            | 231   | 600<br>~1700 | 5      | 中生層(風化破碎)               | 93    |
| 小袖川            | 5.9             | 225   | 600<br>~1750 | 6      | 中生層(破碎)                 | 94    |
| 後山川            | 30.9            | 236   | 550<br>~2050 | 5      | 中古生層、石灰岩                | 93    |
| 丹波川(上流)        | 65.8            | 181   | 900<br>~2100 | 25     | 花崗岩 火山灰<br>中生層          | 94    |
| 丹波川            | 127.3           | 228   | 550<br>~2100 | 16     | 中生層(風化破碎)<br>(火山灰)(花崗岩) | 93    |
| 小菅川            | 42.3            | 194   | 600<br>~1950 | 9      | 中生層(風化破碎)<br>(花崗岩)      | 90    |
| 丹波川(熱海)<br>小菅川 | 262.9           | 218   | 500<br>~2100 | 11     | 中生層(破)(火山灰)<br>(花崗岩)    | 92    |
| 九州河川例          | 50程度            |       |              | 8      | 中古生層                    | 92    |
| 〃              | 〃               |       |              | 10     | 中古生層(破碎)                | 92    |
| 〃              | 〃               |       |              | 25     | 火山灰地                    | 85    |

| 「豊水/渇水(平年)」比 |      |      | 「豊水-渇水(平年)」差 |      |      | 流出系数         |              |              | 35日<br>比流量<br>(平年)<br>$m^3/s$ | 流域の<br>年降水量<br>(平年)<br>mm |
|--------------|------|------|--------------|------|------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|
| 年降水量区分 mm    |      |      | 年降水量区分 mm    |      |      | 年降水量区分 mm    |              |              |                               |                           |
| 1500         | 2000 | 2500 | 1500         | 2000 | 2500 | 1500         | 2000         | 2500         |                               |                           |
| 3.0          | 4.3  | 5.6  | 2.2          | 3.4  | 4.7  | 0.49         | 0.64         | 0.74         | 6.70                          | 1905                      |
| 2.5          | 3.5  | 4.6  | 2.1          | 3.7  | 5.4  | 0.61         | 0.73         | 0.81         | 7.77                          | 1840                      |
| 2.6          | 4.3  | 6.4  | 1.7          | 3.8  | 6.1  | 0.59         | 0.74         | 0.80         | 7.00                          | 1810                      |
| 2.6          | 4.0  | 5.8  | 1.8          | 3.6  | 5.6  | 0.57         | 0.69         | 0.80         | 6.45                          | 1820                      |
| 2.8          | 4.4  | 7.7  | 1.8          | 4.8  | 7.4  | 0.61         | 0.72         | 0.82         | 7.02                          | 1810                      |
| 4.1          | 5.3  | 7.0  | 2.7          | 3.8  | 5.5  | 0.63         | 0.74         | 0.84         | 7.74                          | 1820                      |
| 1.8          | 2.4  | 3.8  | 1.2          | 2.7  | 4.2  | 0.63         | 0.76         | 0.81         | 7.94                          | 1870                      |
| 2.0          | 3.0  | 4.4  | 1.5          | 3.2  | 4.9  | 0.59         | 0.71         | 0.83         | 6.92                          | 1820                      |
| 2.6          | 3.8  | 5.7  | 2.0          | 3.5  | 5.9  | 0.65         | 0.78         | 0.86         | 8.23                          | 1875                      |
| 2.4          | 3.1  | 4.3  | 1.7          | 2.9  | 4.2  | 0.52<br>0.62 | 0.61<br>0.75 | 0.66<br>0.83 | 5.66<br>—                     | 1780                      |
| —            | 5.7  | 6.4  | —            | 4.1  | 5.4  | —            | 0.70         | 0.78         | 10以上                          | 2500<br>以上                |
| —            | 4.8  | 5.4  | —            | 3.5  | 4.6  | —            | 0.68         | 0.73         | ”                             | ”                         |
| —            | 2.3  | 2.7  | —            | 2.7  | 3.5  | —            | 0.74         | 0.83         | ”                             | ”                         |

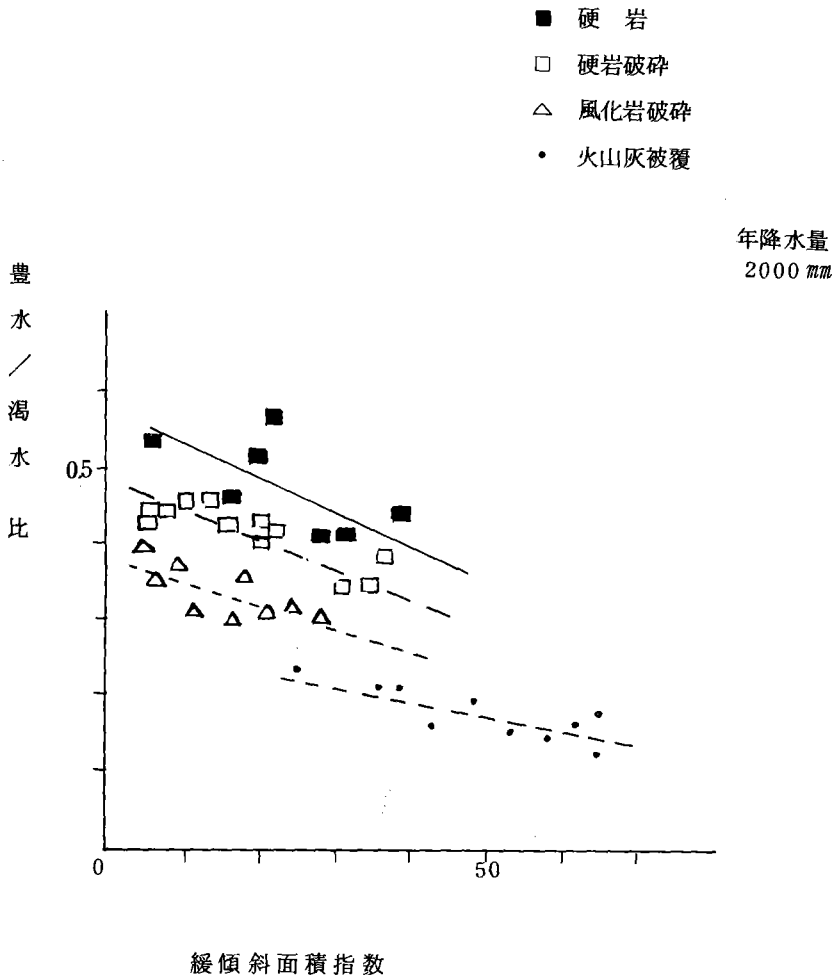


図3-3 「豊水/渴水」比と緩傾斜地形指数との関係

川等の主要流域は、地質的には非常に恵まれた状況下にあると云えよう。

また、逆説的に云えば、地質的には、水源かん養機能が高いために基岩浸透への媒介者である土壌への役割は、より重要であるとも云えよう。

### ○ 流出係数

降水が流出するまでの損失量としては、森林の蒸散量、地面からの蒸発量があげられ、更に実質的な河川流量に対しては伏流流出量も損失として考慮される。

通常、森林の蒸散量は、年間で700 mmといわれている。本流域は高標高であるため風が強く、それに伴う蒸発量が少くとも250 mm程度はあるものと考えてよい。いま、仮に伏流量はないものとしても、合計損失量は950 mmとなり、その結果、流出係数は年降水量1500 mmの場合で0.36、2000 mmの場合で0.53、2500 mmの場合で0.62と推算されるのであるが、実際の流出係数は1500 mmの場合で0.6、損失量は約600 mm、2000 mmの場合は0.7で同じく600 mm、2500 mmの場合は0.8で500 mmとなっており、この間の数値が大巾に喰違っている。このような傾向は、多摩川流域以外でも良く認められ、その原因として山地降水量の推定の不足があげられるが、筆者等の検討は、従来の山地雨量よりも15%程度以上も多い推定量量を使っており、この点、原因を降水量だけに求めるのは無理なように感じられる。結論としては従来伝えられている森林の蒸散量の中には土地的な蒸発量をも含んでおり、土地的な蒸発量が250 mm以上となり、森林独自の蒸散量は400 mmを下回るのではないかと感じられるのである。従来、流出係数低下の原因が、殆ど森林の消費によるものとされ、時々森林無用論の議論までなされているのであるが、その消費はこれよりも少く、また別に森林の増雨効果（高山地では多い）をも考慮すると、流出係数の低下に対する悪影響よりも、水源かん養機能に果している好影響の方が、遙かに大きいのではないかと想定される。

また、さきに伏流量はないものと仮定したのであるが、上流の支流流域では、かなりの伏流量があるものと考えてよい。地下水の伏流方向、地形と谷の分布から推定すると上～北西向斜面が逆層、南～南東斜面が順層構造となっており、地下水は北～北西から南～南東へ流出する確率が高いと考えられる。このため、小菅川、小河内ダムから氷川にかけては、この流域から南の秋川流域への伏流水も多いのではないかと想像される。小河内ダムの場合上流河川の流量観測値から推算した流入量よりも、ダム水位から推算した流入量の方がかなり下回っているが、この原因の一つに、ダム水の秋川流域への伏流が考えられるようである。

### ○ 35日流量

現在ダム開発は、比流量で $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下に相当する分を利用対象としているものが多く、またこの流量は一般の河川では35日流量もしくは、これを下回るものに相当していることが多いようである。しかしながら多摩川の35日流量は $6.5 \sim 8 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と、 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ を大巾に下回っており、この点貯水流入量に不足を来す可能性が大きいことが感じられる。

### ○ 渴 水 流 量

九州諸河川の流況のなかで渴水流量は年度毎の変動が最も少い流量階であったが、多摩川流域の場合は大巾な変動が認められた少雨年の翌年は多雨年であっても渴水～低水流量が低く、反対に多雨年の翌年は、少雨年であってもかなり高い渴水～低水流量が見られるのである。基岩の貯留容量に対して年間の降水量が不足しているか地下水の伏流ないしは排水率が高過ぎる基岩構造となっているためであろう。

### ○ 洪 水 性 流 出

多摩川上流域の土壌は全粗孔隙量が多く加えて土中排水量も多いため、一度に500mm以上の雨量を浸透させる容量をもっていると考えてよい。従ってよほどの豪雨でもない限りはすべてを浸透させることになり、早期の流出量のうち地表流出は水みち等の局部的なもの以外は殆どが中間流出となる。中間流出の速度は少くとも表面流出より遅いはずであるので、この間については流出の遅れと非集中をもたらして洪水調節機能に役立っているとみてよい。しかしながら、この流域の現在の土壌は石礫質で粗大孔隙率が高いため中間流出も、一般の細土土壌区にくらべて早く、集中的であり、しかも流出係数も高い傾向をもつものと想像され、洪水調節に対する寄与率は余り高くはないはずである。

石礫質土壌も永年森林土壌として保持されれば、次第に細土量を増しその結果、粗大孔隙率(中間流出率)を減じて粗孔隙率(貯留率)を増すはずであるので、この点将来を見越しての土壌管理が必要となってくる。

#### (3) 崩壊危険量の予測

筆者等が北九州地方等において行った予測法によって、崩壊危険量を予測した。推定方法等は省略し、その結果のみを表3-3にかかげている。数値は150年豪雨確率での崩壊面積率を示したものであるが、山容が急峻であるだけにその値は大きなものとなっている。



## 4 多摩川上流域における林分構造と水土保持機能の解析

### 4.1 調査方法

前述の森林の水土保持機能の基本としての土壌特性と林分構造を解析するための資料は次のような方法で収集した。

東京都水源林 21,577 ha を対象として、1/50,000 の地形図に 250 m × 250 m の格子線を画き、これによって作られた方形 (6.25 ha) の中心点で標高、起伏量、谷密度、山ひだ密度、斜面型、傾斜度などを測定し、この中心点を空中写真に移写して森林調査簿および林相図を参考にして、地形判読の広がりに対応した広がりに対して樹種、林齢、平均樹高、樹冠直径などを判読する。また植生図をもとにして中心点付近の植生を推定し、これらすべて項目の一覧表を作製する。この一覧表をもとにして林相および地形などの環境因子の両方を考慮して調査点を抽出し、調査地点では地形解析により分類された地形をよく表わすような広がりに対して林分調査および土壌調査を行なった。昭和50年度から3ヶ年にわたって行なわれたこのような調査は現実には抽出された調査点を現場で見出すことは費用および労力の両面から非常に困難であったので、主として森林調査簿をもとにして、できるだけ前記の趣旨が満足されるような調査点を抽出し、その場所を空中写真に指針して、写真判読と地上調査の情報が対応できるようにした。

このようにして抽出された調査地点での林分調査は地形解析により分類された地形をよく表わすような広がりに対して行なわれなければならない。このような広がりに対してプロットを設定することは周囲測量を必要とするため非効率である。したがって調査地点の地形に対応した林分構造および土壌特性をよく表わすような簡単な林分調査法を検討する必要がある。1948年、オーストリア国有林の営林署長であった W. Bitterlich が角度算定標準地法 (Winkelzählprobe) を発表して以来、理論面や利用面に多くの研究が行なわれてきた。これは従来のプロット法と異なり、標本点を中心として、その周囲の立木の胸高直径を水平の定角で検視して、その視角よりはみ出す立木本数を数えて、その総本数を標本点数で割った平均1点当りの数えられた本数にその定角に応ずる一定の定数 (断面積定数と呼ぶ) を掛けて、単位面積当りの胸高断面積合計を推定する方法で、ポイントサンプリング、可変半径プロット法、角度通算法、定角測定法、ビッターリッヒ法などといわれている。1955年わが国の平田種男が Bitterlich の考え方を平均樹高の推定に拡張して、一定の視覚で樹幹をのぞいて梢頭がはみ出す立木の本数を数えて、その本数と ha 当り立木本数から林分平均樹高を推定する方法を定角測高法として発表した。Bitterlich は自分の水平定角測定法にこの定角測高法を組合せて林分区分求積法 (B-H Messung) により林分材積を直接推定する方法を提案した。1957年には Strand が長さ 15.7 (5π) m の直線を林内に設定し、その直線上を歩いて平田法および Bitterlich 法でその線に直角な方向で定角からはみ出す林木の直径測定のみから ha 当り材積および断面積を推定する可変矩形プロット法を

発表した。

このように従来の一定の面積をもつプロット法に対し、林木の直径や樹高の大きさによって円形プロットの直径や矩形プロットの一辺の長さが変わるプロットレス法の研究がここ数年来測樹界で関心もたれ、数多くのテストや研究が行なわれているが、まだ積極的には実用に供せられていない段階である。しかしこのポイントサンプリングによる立木の胸高直径の大きさに応ずる可変半径をもつ円の広がりや、ラインサンプリングによる可変矩形の広がり、地形やその中の土壌特性と密接な関係をもつ林分構造を表わすものと考えられる。すなわち大きな直径をもつ立木はポイントやラインから遠くに離れていても標本点付近の土壌特性と関係が深く、小さな直径をもつ立木は遠くにあればあまり影響がないと考えられ、プロットレス法は定角で立木の胸高直径を検視して、その角度よりはみ出した立木のみを測定するので自然と土壌特性と関係の深い立木を測定していることになる。しかも検視木の直径と樹高を測定することによって林分構造を簡単に推定できるのでこのような調査にはすぐれた方法であるといえよう。まずポイントサンプリングの理論を簡単に説明しよう。

直径  $d_i$  (cm) の林木が直径の  $p$  倍の円 (拡大円と呼ぶ) の中に 1 本あるとすると、ha 当り断面積  $k$  は

$$k = \left( \frac{\pi}{4} d_i^2 / 100^2 \right) / \left( \frac{\pi}{4} p^2 d_i^2 / 100^4 \right) \\ = (100/p)^2 \quad (4.1)$$

すなわち  $P=100$  なら  $k=1$ ,  $p=50\sqrt{2}$  なら  $k=2$ ,  $p=50$  なら  $k=4$  であり、 $k$  を断面積定数という。たとえば林木の直径の 100 倍の拡大円を仮定すると、どの木も拡大円をもととした ha 当り断面積は  $1 m^2$  であるということである。したがって一般に標本点が直径  $d_i$  (cm) なる林木の拡大円の中に入る限界、すなわちポイントから立木までの理論的水平距離  $R_i$  (m) は次式で与えられる。

$$R_i = p d_i / 2 \times 100 \\ d_i / 2 \times \left( \frac{100}{p} \right) \\ d_i / 2\sqrt{k} \quad (4.2)$$

断面積定数  $k$  をきめておくと  $d_i$  に応じてポイントから林木までの距離が  $R_i$  より小さければポイントはその木の拡大円の中に入っており、その木は 1 本として数え、ポイントの周囲の林木についてこの方法を繰り返してポイントの周囲で何本数えられるかを求めれば、その数が拡大円の重なりの数であり、それに  $k$  を乗ずればその点での ha 当り断面積の推定値となる。ランダムにおとした各ポイントでこの方法を用いて ha 当り断面積を推定し、ポイント数で割って 1 点当り平均の ha 当り断面積が林分の ha 当り断面積の推定値となる。簡単には各ポイントで数えられる本数を平均し

て1ポイント当り平均本数を求め、それに断面積定数  $k = (100/p)^2$  倍すれば ha 当り断面積の推定値となる。土壌と結びついたポイントサンプリングはポイントを中心にして  $k$  に応じた  $d_i$  に応ずる理論的水平距離を (4.2) 式から求め、 $d_i$  の林木が  $R_i$  以内なら1本として数え、 $R_i$  以上のところにあれば数えない。断面積定数 1, 2, 4 がわが国では多く用いられ、若い密な林分では1または2、直径の大きな中庸または疎な林分では4を用いる。 $k=1$  なら理論的水平距離は直径を2で割った数字であり、2の場合は直径を0.3536倍した数字であり、4の場合は直径を4で割った数字であるから、現場で簡単にチェックできる。たとえば24cmの木は  $k=1$  なら標本点から12m以内、 $k=2$  なら8.5m以内、4なら6m以内にあればカウントされる。これに用いる測定器機は胸高断面積測定器、シュビーゲルレラスコープ、テレレラスコープなどがあり自動的に水平距離に補正できるようになっている。理論的水平距離またはこのような器機を用いてカウントされる林木の胸高直径を  $d_i$ 、樹高を  $h_i$ 、材積を  $v_i$  とすればすべての林分構造は次の公式を用いて推定することができる。ここに  $n$  はポイントのまわりでカウントされた本数であり、 $g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 / 100^2$  で断面積である。

$$\text{平均直径} : \bar{d} = \frac{\sum (d_i / g_i)}{\sum (1 / g_i)} \quad (4.3)$$

$$\text{平均樹高} : \bar{h} = \frac{\sum (h_i / g_i)}{\sum (1 / g_i)} \quad (4.4)$$

$$\text{ha 当り本数} : N = k \sum (1 / g_i) \quad (4.5)$$

$$\text{ha 当り断面積} : B = kn \quad (4.6)$$

$$\text{ha 当り材積} : V = k \sum (v_i / g_i) \quad (4.7)$$

$k$  ほどの  $d_i$  に応ずる  $k/g_i$  はその直径の木の ha 当り本数を表わし、 $d_i$  に応ずる本数表が用意されているのでこれを用いれば便利である。また YHP モデル 67 型のミニコンピューターを用いると現場で  $\sum (d_i / g_i)$ 、 $\sum (1 / g_i)$ 、 $\sum (h_i / g_i)$ 、 $\sum (v_i / g_i)$  を直ちに求めることができる。

Strand が考案したラインサンプリングの原理は、矩形プロットの一辺を木の大きさによって変える方法で、これには垂直直角測定法を用いて ha 当り材種を推定する方法と、水平直角測定法を用いて ha 当り断面積を推定する方法がある。前者は林内に  $5\pi$  (15.7)m のラインを設け、その線上を歩きながら垂直直角測定法で  $\beta$  が  $63^\circ 26'$  ( $\tan \beta = 2$ ) 以上の林木をカウントする。これにはレラスコープを用いるとよい。このようにすると一辺が  $5\pi$  で他の一辺が林木の樹高によって変化する  $h/2$  である矩形標準地がとられたことになる。このようにして数えられた  $Z$  本の林木の直径を測定して、これを  $d_i$  とすると ha 当り材積  $V$  は次式で求められる。

$$V = (F/10) \sum d_i^2 \quad (4.8)$$

ここに  $F$  は林分形数である。

後者は  $5\pi$  m のライン上を歩いて理論的水平距離  $R_i = d_i/2$  すなわち  $k=1$  の器械でラインに直角方向の林木をカウントして、カウントされる林木の直径を  $d_i$  とすると、ha 当り断面積  $B$  は

次式で求められる。

$$B = \frac{1}{10} \sum d_i \quad (4.9)$$

$$k=4 \text{ を用いると } B = \frac{1}{5} \sum d_i$$

となる。これが Strand が提案したラインサンプリングであるが、一般に  $Lm$  の長さのラインを林内に設定して、ライン上を歩きながらラインに直角方向の林木を断面積定数  $k$  でカウントし、カウントされた林木の胸高直径  $d_i$  と樹高  $h_i$  を測定し、材積を  $v_i$  とすると林分構造は次式によって求められる。ここに  $n$  はカウント本数である。

$$\text{平均直径} : \bar{d} = n / \sum (1/d_i) \quad (4.10)$$

$$\text{平均樹高} : \bar{h} = \sum (h_i/d_i) / \sum (1/d_i) \quad (4.11)$$

$$\text{ha 当り本数} : N = \left\{ (2\sqrt{k} \cdot 100^2) / L \right\} \sum (1/d_i) \quad (4.12)$$

$$\text{ha 当り断面積} : B = (\pi \sqrt{k} / 2L) \sum d_i \quad (4.13)$$

$$\text{ha 当り材積} : V = \left\{ (2\sqrt{k} \cdot 100^2 / L) \right\} \sum (v_i/d_i) \quad (4.14)$$

(4.13) で  $L=5\pi$ ,  $k=1$  とおけば  $B=1/10 \sum d_i$ ,  $k=4$  とおけば  $B=1/5 \sum d_i$  となり (4.9) と一致する。ミニコンピューターを用いると現場で  $\sum d_i$ ,  $\sum 1/d_i$ ,  $\sum h_i/d_i$ ,  $\sum v_i/d_i$  を求めることができ非常に便利である。

大分県湯布院にある九州林産株式会社々有林で  $L=3\pi$  または  $5\pi$  (m) のラインを設定し、ラインの両側でカウントされた林木から林分構造を推定した値と、同じ場所でポイントを数個設定し、ポイントサンプリングにより推定した値および地形の広がりに対して適当な大きさのプロットを設定して推定した値を比較したものを表 4-1 に示す。

表 4-1 ポイント、ラインおよびプロット調査の比較 (九州林産社有林)

| 林種<br>(林齢) | 調査別         | サンプル数と<br>面積 (ha) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) | N<br>(本) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) |
|------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|------------------|
| 広<br>(82)  | 5 $\pi$ ライン | 2                 | 31.8              | 224.9             | 209      | 4.24              | 15.9             |
|            | ポイント        | 2                 | 30.0              | 213.6             | 192      | 4.30              | 15.9             |
|            | プロット        | 0.0520            | 44.1              | 269.0             | 312      | 4.36              | 15.9             |
| スギ<br>(44) | 3 $\pi$ ライン | 6                 | 63.2              | 622.4             | 1115     | 26.6              | 21.3             |
|            | 5 $\pi$ ライン | 4                 | 65.1              | 640.6             | 1145     | 26.7              | 21.1             |
|            | ポイント        | 3                 | 68.0              | 644.4             | 1159     | 26.7              | 21.1             |
|            | プロット        | 0.0628            | 63.5              | 644.6             | 1115     | 26.8              | 21.2             |
| スギ<br>(48) | 3 $\pi$ ライン | 6                 | 54.9              | 523.5             | 808      | 28.9              | 20.6             |
|            | 5 $\pi$ ライン | 4                 | 52.7              | 497.9             | 766      | 29.1              | 20.4             |
|            | ポイント        | 2                 | 46.7              | 447.2             | 699      | 28.6              | 20.5             |
|            | プロット        | 0.0360            | 57.9              | 550.6             | 833      | 29.3              | 20.5             |
| スギ<br>(51) | 3 $\pi$ ライン | 6                 | 57.1              | 692.8             | 780      | 30.1              | 25.6             |
|            | 5 $\pi$ ライン | 4                 | 58.5              | 690.5             | 781      | 29.8              | 25.7             |
|            | ポイント        | 3                 | 60.7              | 738.1             | 867      | 28.5              | 25.8             |
|            | プロット        | 0.0628            | 57.0              | 688.7             | 780      | 30.0              | 25.9             |

また東京都多摩川水源林および九州林産株式会社々有林でプロット調査とポイント調査の比較を行なった結果を表4-2に示す。

表4-2 プロット調査とポイント調査の比較

| 樹種         |      | ポイント |                   |                   |          |                   | プロット             |            |                   |                   |          |                   |                  |
|------------|------|------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|------------------|------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|------------------|
|            |      | 数    | V<br>( $m^3/ha$ ) | B<br>( $m^3/ha$ ) | N<br>(本) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | 面積<br>(ha) | V<br>( $m^3/ha$ ) | B<br>( $m^3/ha$ ) | N<br>(本) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) |
| 水源林<br>混交林 | スギ   | 5    | 568.5             | 59.2              | 1712     | 20.1              | 17.4             | 0.029      | 637.8             | 67.8              | 1806     | 20.8              | 17.4             |
|            | ヒノキ  | 3    | 404.7             | 48.0              | 1272     | 21.4              | 16.0             | 0.029      | 396.5             | 50.0              | 1406     | 20.8              | 15.6             |
|            | カラマツ | 3    | 337.5             | 40.0              | 1346     | 18.4              | 13.8             | 0.056      | 348.7             | 37.6              | 1168     | 18.6              | 14.7             |
|            | カラマツ | 4    | 267.8             | 36.0              | 1559     | 16.1              | 12.1             | 0.030      | 282.3             | 36.1              | 1865     | 14.9              | 11.2             |
| 九州<br>純林   | 広葉樹  | 3    | 236.8             | 38.7              | 1324     | 19.3              | 11.1             | 0.031      | 236.8             | 39.4              | 1323     | 18.3              | 11.3             |
|            | マツ   | 3    | 225.0             | 32.0              | 784      | 23.2              | 14.6             | 0.033      | 224.5             | 32.4              | 818      | 22.0              | 14.2             |
|            | ヒノキ  | 3    | 592.7             | 57.3              | 1313     | 23.0              | 20.6             | 0.053      | 605.8             | 58.8              | 1340     | 23.5              | 20.2             |
|            | スギ   | 3    | 644.4             | 68.0              | 1159     | 26.7              | 21.1             | 0.063      | 644.4             | 63.5              | 1115     | 26.8              | 21.2             |

いづれもよく近似した値が得られていることがわかる。

したがって土壌因子や環境因子と関連したポイントおよびライン調査は地形の広がり考えた周囲測量によるプロット調査の労力を大いに軽減して林分構造をよく表わす資料が収集できることが明らかとなり、ポイント調査の場合はポイントの集落をどこにいくつとったらよいかということは現場で場所に応じて検討を必要とするが、ライン調査は地形の主方向に対してその広がりに応じた長さのラインを設け、カウント木の調査を行なえばよいので非常に簡単である。またラインの両側でカウント木の調査を行なえば同時に独立な標本が2個とれたことになり、これを平均した値で林分構造を表わすとこれは地形の広がりに対して水土保持機能と密接な関係をもつであろう。したがって昭和51年度から2ケ年間は主としてライン調査により資料を収集した。また土壌試孔の調査を行なったラインの片側で、カウントされた林木の樹冠直径(CD)、および樹冠長( $\ell$ )を測定して同筒体積で表わした仮想樹冠量(CV)および樹冠うっぺい度(CC)を次式によって求めた。

$$CV = \left\{ 2\sqrt{k} \cdot 100^2/L \right\} \Sigma (CD^2/d) \quad (4.15)$$

$$CC = \left\{ 2\sqrt{k} \cdot 100^4/L \right\} \Sigma (CD^2 \times \ell/d) \quad (4.16)$$

これらも現場でミニコンピューターを用いて計算を行なった。ライン調査による以上の計算のプログラムはすべて磁気カードにとってあり、現場でこの磁気カードを用いて直ちに必要な林分構造の

計算結果を得ることができ非常に効率的であった。

#### 4.2 林分構造の解析

萩原山、小菅、氷川、丹波山、日原の各分区から3ヶ年にわたってとられた資料はスギ22、ヒノキ30、スギ・ヒノキ混交林4、カラマツ5、カラマツ・ヒノキ混交林13、モミ・コメツガ・トウヒ・広葉樹混交林5、天然生広葉樹林22、合計101であった。これらの林種ごとに林齢を29年以下、30～49年、50年以上の3つのグループにわけ、平均直径( $\bar{d}$ )、平均樹高( $\bar{h}$ ) ha 当り本数(N)、ha 当り断面積(B)、ha 当り材積(V)、およびha 当り仮想樹冠量(CV)をとりまとめたのが表4-3である。

表4-3 多摩川水源林における林分構造の推定

| 樹種  | 年齢区分      | 項目   | 林齢<br>(year) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | N<br>(本) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) | CV<br>( $m^3/ha$ ) |
|-----|-----------|------|--------------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|--------------------|
| スギ  | ～29       | 平均値  | 24.0         | 15.9              | 14.2             | 2174.9   | 46.2              | 3528              | 478338             |
|     |           | 標準偏差 | 2.4          | 1.6               | 1.8              | 545.4    | 8.3               | 76.4              | 12362.0            |
|     |           | 変動係数 | 0.1000       | 0.1006            | 0.1268           | 0.2508   | 0.1797            | 0.2166            | 0.2584             |
|     |           | 資料数  | 9            | 9                 | 9                | 9        | 9                 | 9                 | 9                  |
|     | 30<br>～49 | 平均値  | 30.7         | 17.7              | 17.0             | 2122.0   | 55.9              | 522.3             | 75610.0            |
|     |           | 標準偏差 | 1.0          | 2.0               | 1.3              | 731.7    | 7.5               | 56.7              | 13775.6            |
|     |           | 変動係数 | 0.0326       | 0.1130            | 0.0765           | 0.3448   | 0.1342            | 0.1086            | 0.1822             |
|     |           | 資料数  | 3            | 3                 | 3                | 3        | 3                 | 3                 | 3                  |
|     | 50<br>～74 | 平均値  | 59.0         | 23.4              | 19.9             | 1489.8   | 70.2              | 765.5             | 95438.0            |
|     |           | 標準偏差 | 6.5          | 3.2               | 1.7              | 412.5    | 12.3              | 193.8             | 28475.4            |
|     |           | 変動係数 | 0.1102       | 0.1368            | 0.0854           | 0.2769   | 0.1752            | 0.2532            | 0.2984             |
|     |           | 資料数  | 10           | 10                | 10               | 10       | 10                | 10                | 4                  |
| ヒノキ | ～29       | 平均値  | 21.0         | 10.8              | 6.8              | 4068.3   | 39.3              | 145.6             | 37902.1            |
|     |           | 標準偏差 | 1.6          | 0.9               | 1.0              | 1089.8   | 6.4               | 19.4              | 6816.0             |
|     |           | 変動係数 | 0.0762       | 0.0833            | 0.1471           | 0.2769   | 0.1628            | 0.1332            | 0.1798             |
|     |           | 資料数  | 8            | 8                 | 8                | 8        | 8                 | 8                 | 8                  |
|     | 30<br>～49 | 平均値  | 43.0         | 17.9              | 15.5             | 2052.0   | 53.5              | 430.2             | 44782.0            |
|     |           | 標準偏差 | 0            | 0                 | 0                | 0        | 0                 | 0                 | 0                  |
|     |           | 変動係数 | 0            | 0                 | 0                | 0        | 0                 | 0                 | 0                  |
|     |           | 資料数  | 1            | 1                 | 1                | 1        | 1                 | 1                 | 1                  |

| 樹種                          | 齡級区分<br>および<br>管理分区 | 項目   | 林齡<br>(year) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | N<br>(本) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) | CV<br>( $m^3/ha$ ) |
|-----------------------------|---------------------|------|--------------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|--------------------|
| ヒノキ                         | 50<br>~74           | 平均値  | 61.0         | 20.3              | 17.4             | 1814.3   | 62.3              | 561.3             | 57782.7            |
|                             |                     | 標準偏差 | 4.4          | 2.4               | 1.9              | 380.8    | 9.8               | 123.6             | 19919.4            |
|                             |                     | 変動係数 | 0.0721       | 0.1182            | 0.1092           | 0.2099   | 0.1573            | 0.2202            | 0.3447             |
|                             |                     | 資料数  | 21           | 21                | 21               | 21       | 21                | 21                | 15                 |
| スギ                          | ~29                 | 平均値  | 24.0         | 13.1              | 12.0             | 3113.5   | 48.6              | 361.5             | 66376.5            |
|                             |                     | 標準偏差 | 0            | 2.3               | 1.9              | 444.7    | 17.7              | 212.2             | 30527.0            |
|                             |                     | 変動係数 | 0            | 0.1756            | 0.1583           | 0.1428   | 0.3642            | 0.5870            | 0.4599             |
|                             |                     | 資料数  | 2            | 2                 | 2                | 2        | 2                 | 2                 | 2                  |
| ヒノキ                         | 50<br>~74           | 平均値  | 54.0         | 20.7              | 16.8             | 1492.0   | 53.6              | 486.6             | —                  |
|                             |                     | 標準偏差 | 0            | 0.6               | 0.7              | 295.1    | 7.5               | 109.9             | —                  |
|                             |                     | 変動係数 | 0            | 0.0290            | 0.0417           | 0.1978   | 0.1399            | 0.2259            | —                  |
|                             |                     | 資料数  | 2            | 2                 | 2                | 2        | 2                 | 2                 | —                  |
| カラマツ                        | 30<br>~49           | 平均値  | 48.0         | 18.0              | 11.8             | 1007.0   | 27.3              | 174.5             | 77330.0            |
|                             |                     | 標準偏差 | 0            | 0.8               | 2.2              | 428.0    | 10.0              | 35.1              | 36086.0            |
|                             |                     | 変動係数 | 0            | 0.0444            | 0.1864           | 0.4250   | 0.3663            | 0.2011            | 0.4667             |
|                             |                     | 資料数  | 2            | 2                 | 2                | 2        | 2                 | 2                 | 2                  |
| カラマツ                        | 50<br>~74           | 平均値  | 55.3         | 17.2              | 12.1             | 1603.0   | 40.2              | 278.1             | 87380.0            |
|                             |                     | 標準偏差 | 1.9          | 2.6               | 2.2              | 753.1    | 11.9              | 65.6              | 0                  |
|                             |                     | 変動係数 | 0.0344       | 0.1512            | 0.1818           | 0.4698   | 0.2960            | 0.2359            | 0                  |
|                             |                     | 資料数  | 3            | 3                 | 3                | 3        | 3                 | 3                 | 1                  |
| カラマツ<br>ヒノキ                 | 50<br>~74           | 平均値  | 57.5         | 17.8              | 13.3             | 1491.7   | 43.2              | 346.6             | 93346.0            |
|                             |                     | 標準偏差 | 5.8          | 2.4               | 2.2              | 431.6    | 12.7              | 109.4             | 21575.4            |
|                             |                     | 変動係数 | 0.1009       | 0.1348            | 0.1654           | 0.2893   | 0.2940            | 0.3156            | 0.2311             |
|                             |                     | 資料数  | 13           | 13                | 13               | 13       | 13                | 13                | 13                 |
| モミ・コ<br>メツガ・<br>トウヒ・<br>広葉樹 | 萩原山<br>管理区分         | 平均値  | —            | 21.9              | 11.9             | 858.0    | 36.4              | 271.1             | —                  |
|                             |                     | 標準偏差 | —            | 3.4               | 1.7              | 78.1     | 9.2               | 67.9              | —                  |
|                             |                     | 変動係数 | —            | 0.1553            | 0.1429           | 0.0910   | 0.2527            | 0.2497            | —                  |
|                             |                     | 資料数  | —            | 3                 | 3                | 3        | 3                 | 3                 | —                  |

| 樹種                      | 齡級区分<br>および<br>管理分区 | 項目   | 林齡<br>(year) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | N<br>(本) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) | CV<br>(%) |
|-------------------------|---------------------|------|--------------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|-----------|
| モミ・コメ<br>ツガ・トウ<br>ヒ・広葉樹 | 丹波山<br>管理分区         | 平均値  | —            | 10.1              | 7.2              | 4477.0   | 52.5              | 276.8             | 171553.5  |
|                         |                     | 標準偏差 | —            | 4.8               | 1.2              | 3323.0   | 1.6               | 27.1              | 273.5     |
|                         |                     | 変動係数 | —            | 0.4752            | 0.1667           | 0.7422   | 0.0305            | 0.0979            | 0.0016    |
|                         |                     | 資料数  | —            | 2                 | 2                | 2        | 2                 | 2                 | 2         |
| 天然林                     | 萩原山<br>管理分区         | 平均値  | —            | 15.2              | 12.8             | 1043.5   | 29.0              | 241.1             | —         |
|                         |                     | 標準偏差 | —            | 0.2               | 1.0              | 212.5    | 5.0               | 21.9              | —         |
|                         |                     | 変動係数 | —            | 0.0132            | 0.0781           | 0.2036   | 0.1724            | 0.0908            | —         |
|                         |                     | 資料数  | —            | 2                 | 2                | 2        | 2                 | 2                 | —         |
|                         | 小菅<br>管理分区          | 平均値  | —            | 18.3              | 12.3             | 1251.8   | 45.0              | 332.9             | 208750.7  |
|                         |                     | 標準偏差 | —            | 2.8               | 1.2              | 282.1    | 8.5               | 81.1              | 64412.9   |
|                         |                     | 変動係数 | —            | 0.1530            | 0.0976           | 0.2254   | 0.1889            | 0.2436            | 0.3086    |
|                         |                     | 資料数  | —            | 4                 | 4                | 4        | 4                 | 4                 | 3         |
|                         | 氷川<br>管理分区          | 平均値  | —            | 16.8              | 11.0             | 1199.0   | 29.6              | 168.1             | 122350.0  |
|                         |                     | 標準偏差 | —            | 0                 | 0                | 0        | 0                 | 0                 | 0         |
|                         |                     | 変動係数 | —            | 0                 | 0                | 0        | 0                 | 0                 | 0         |
|                         |                     | 資料数  | —            | 1                 | 1                | 1        | 1                 | 1                 | 1         |
|                         | 丹波山<br>管理分区         | 平均値  | —            | 16.0              | 9.6              | 1328.1   | 44.0              | 329.2             | 150785.6  |
|                         |                     | 標準偏差 | —            | 5.4               | 2.5              | 665.3    | 12.6              | 119.0             | 58172.5   |
|                         |                     | 変動係数 | —            | 0.3375            | 0.2604           | 0.5609   | 0.2864            | 0.3615            | 0.3858    |
|                         |                     | 資料数  | —            | 15                | 15               | 15       | 15                | 15                | 15        |
|                         | 全体                  | 平均値  | —            | 16.3              | 10.4             | 1282.5   | 42.2              | 314.5             | 158441.4  |
|                         |                     | 標準偏差 | —            | 4.8               | 2.5              | 572.2    | 15.4              | 127.6             | 61977.3   |
|                         |                     | 変動係数 | —            | 0.2945            | 0.2404           | 0.4462   | 0.3649            | 0.4057            | 0.3912    |
|                         |                     | 資料数  | —            | 22                | 22               | 22       | 22                | 22                | 19        |

表にはそれぞれ齡級ごとの標準偏差および変動係数が示してある。

スギ林分については北関東阿武隈地方国有林のスギ収穫表の値と比較すると表4-4の通りである。



表4-4 スギ林分

|        | 林 齢<br>(year) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | N<br>(本) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) |
|--------|---------------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|
| 収穫表2等地 | 25            | 17.3              | 13.4             | 1698     | 33.2              | 267.9             |
| 水 源 林  | 24            | 15.9              | 14.2             | 2175     | 46.2              | 352.8             |
| 収穫表1等地 | 30            | 23.4              | 18.2             | 1207     | 44.0              | 454.3             |
| 水 源 林  | 31            | 17.7              | 17.0             | 2122     | 55.9              | 522.3             |
| 収穫表3等地 | 60            | 28.8              | 19.6             | 662      | 40.8              | 419.1             |
| 水 源 林  | 59            | 23.4              | 19.9             | 1490     | 70.2              | 765.5             |

このように林齢と平均樹高をもとにして収穫表と同じ地位の本数と比較すると、水源林の本数は倍近くの値を示していて、あまり間伐が行なわれていない直径が小さい林木が多い林分であるということがいえる。

ヒノキ林分については関東地方国有林ヒノキ林分収穫表と比較すると表4-5の通りである。

表4-5 ヒノキ林分

|        | 年 齢<br>(year) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | N<br>(本) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) |
|--------|---------------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|
| 収穫表3等地 | 20            | 8.7               | 6.6              | 3249     | 18.7              | 76.7              |
| 水 源 林  | 21            | 10.8              | 6.8              | 4068     | 39.3              | 145.6             |
| 収穫表2等地 | 45            | 19.7              | 14.2             | 1251     | 37.8              | 268.5             |
| 水 源 林  | 43            | 17.9              | 15.5             | 2052     | 53.5              | 470.2             |
| 収穫表2等地 | 60            | 24.9              | 17.0             | 806      | 39.4              | 310.4             |
| 水 源 林  | 61            | 20.3              | 17.4             | 1814     | 62.2              | 561.3             |

ヒノキ林分もスギ林分と同様に収穫表の値と比較して本数は多く、殊に40年生以上の林分については収穫表の本数のほぼ2倍の本数が成立していることがわかる。

次にカラマツ林分について信州地方カラマツ林分収穫表の値と比較すると表4-6の通りである。

表4-6 カラマツ林分

|        | 林 齢<br>(year) | $\bar{d}$<br>(cm) | $\bar{h}$<br>(m) | N<br>(本) | B<br>( $m^2/ha$ ) | V<br>( $m^3/ha$ ) |
|--------|---------------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|
| 収穫表4等地 | 50            | 20.2              | 14.8             | 738      | 21.6              | 168.4             |
| 水 源 林  | 48            | 12.9              | 11.8             | 1007     | 27.3              | 174.5             |
| 収穫表4等地 | 55            | 21.5              | 15.5             | 659      | 22.0              | 177.0             |
| 水 源 林  | 55            | 17.2              | 12.1             | 1603     | 40.2              | 278.1             |

収穫表は地位4等地までしかないが、水源林のカラマツはこれよりまだ悪い地位を示している。これは標高の高い良好でない林地に植栽されていることにもよるが、成立本数はスギ、ヒノキと同様収穫表に比べて非常に多いことがわかる。

このようなカラマツの純林に比べてカラマツ、ヒノキの混交林は平均林齢58年、 $\bar{d}=17.8\text{ cm}$ 、 $\bar{h}=13.3\text{ m}$ 、 $N=1492\text{ 本/ha}$ 、 $B=43.2\text{ m}^2/\text{ha}$ 、 $V=346.6\text{ m}^3/\text{ha}$ の値を示しており、本数は多いが、より健全な林分であるといえるが、スギ、ヒノキの混交林はそれぞれの純林よりは良好であるとはいえない。

#### 4.3 全粗孔隙量の解析

水土保全機能の基本としての土壌の性質について検討を加えてみよう。地表に近い土壌層の中に含まれる粗孔隙は地質、地形的な立地要因よりも森林の樹木活動の影響を強くうけて形成されたものと考えられ、特に地表30cm程度の性質は現存の森林の影響を最も強く反映しているものではないかと考えられる。水源林および九州地方の林種別、齢級別の地表30cmの全粗孔隙量の平均と標準偏差および変動係数を示したのが表4-7である。

これによると水源林はデータ数が少ないことにもよるが、一般に九州地方に比べて変動係数は小さく、いづれの樹種も齢級内において水源林の方が九州地方より全粗孔隙量大きいことが認められる。またスギは九州地方は75年までは上昇しているが、75年以降では低下し、水源林は50年以上になると低下の傾向がみられる。しかし29年以下の平均の値は、1246、変動係数は0.1356であり、標準偏差は169.0、30~49年は平均の値は1431で変動係数は0.0661であり、標準偏差は94.6であるので、平均値間の有意差検定を行なったらその間には有意差は認められなかった。ヒノキおよびカラマツについても水源林は同様な傾向がみられ、データ数は少ないが、カラマツ、ヒノキの混交林は同齢のカラマツおよびヒノキの純林のそれよりわずかに大きい値を示している。これを更に詳細に検討するため、林齢(A)と表層30cmの全粗孔隙量( $P_{30}$ )の関係を求めたら次の通りであった。

表4-7 水源林および九州地方の林種および齡級別の表層(30cm)の全粗孔隙量の比較

| 齡級区分        |      | 29年以下  |        | 30~49年 |        | 50~74年 |        | 75年以上 |        |
|-------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 林種          | 項目   | 水源林    | 九州     | 水源林    | 九州     | 水源林    | 九州     | 水源林   | 九州     |
| スギ          | 平均値  | 1246   | 965    | 1431   | 991    | 1045   | 1003   | —     | 953    |
|             | 標準偏差 | 169.0  | 210.0  | 94.6   | 219.6  | 30.5   | 157.0  | —     | 146.0  |
|             | 変動係数 | 0.1356 | 0.2176 | 0.0661 | 0.2216 | 0.0292 | 0.1565 | —     | 0.1532 |
|             | 資料数  | 9      | 15     | 3      | 39     | 10     | 24     | —     | 6      |
| ヒノキ         | 平均値  | 1217   | 855    | 1136   | 947    | 1090   | 976    | —     | —      |
|             | 標準偏差 | 97.4   | 151.0  | 0      | 156.0  | 114.1  | 154.0  | —     | —      |
|             | 変動係数 | 0.0800 | 0.1766 | 0      | 0.1647 | 0.1047 | 0.1578 | —     | —      |
|             | 資料数  | 8      | 22     | 1      | 39     | 21     | 16     | —     | —      |
| カラマツ        | 平均値  | —      | —      | 1200   | —      | 1020   | —      | —     | —      |
|             | 標準偏差 | —      | —      | 48.0   | —      | 89.6   | —      | —     | —      |
|             | 変動係数 | —      | —      | 0.0400 | —      | 0.0878 | —      | —     | —      |
|             | 資料数  | —      | —      | 2      | —      | 3      | —      | —     | —      |
| 広葉樹         | 平均値  | —      | 761    | 1222   | 899    | —      | 1056   | —     | 1103   |
|             | 標準偏差 | —      | 180.0  | 228.3  | 188.0  | —      | 191.0  | —     | 177.0  |
|             | 変動係数 | —      | 0.2365 | 0.1868 | 0.2091 | —      | 0.1809 | —     | 0.1605 |
|             | 資料数  | —      | 18     | 22     | 18     | —      | 14     | —     | 39     |
| スギ・ヒノキ混交林   | 平均値  | 1240   | —      | —      | —      | 977    | —      | —     | —      |
|             | 標準偏差 | 36.8   | —      | —      | —      | 105.0  | —      | —     | —      |
|             | 変動係数 | 0.0297 | —      | —      | —      | 0.1075 | —      | —     | —      |
|             | 資料数  | 2      | —      | —      | —      | 2      | —      | —     | —      |
| カラマツ・ヒノキ混交林 | 平均値  | —      | —      | —      | —      | 1161   | —      | —     | —      |
|             | 標準偏差 | —      | —      | —      | —      | 97.9   | —      | —     | —      |
|             | 変動係数 | —      | —      | —      | —      | 0.0843 | —      | —     | —      |
|             | 資料数  | —      | —      | —      | —      | 13     | —      | —     | —      |
| モミ・ツガ天然林    | 平均値  | —      | —      | 1187   | —      | —      | —      | —     | —      |
|             | 標準偏差 | —      | —      | 140.2  | —      | —      | —      | —     | —      |
|             | 変動係数 | —      | —      | 0.1181 | —      | —      | —      | —     | —      |
|             | 資料数  | —      | —      | 5      | —      | —      | —      | —     | —      |
| マツ          | 平均値  | —      | 647    | —      | 910    | —      | 984    | —     | 1115   |
|             | 標準偏差 | —      | 147.0  | —      | 226.0  | —      | 254.0  | —     | 165.0  |
|             | 変動係数 | —      | 0.2272 | —      | 0.2484 | —      | 0.2581 | —     | 0.1480 |
|             | 資料数  | —      | 8      | —      | 9      | —      | 9      | —     | 3      |

$$\text{スギ} : P_{30} = 1373.6 - 5.0412A \quad (r = -0.4984)$$

$$\text{ヒノキ} : P_{30} = 1258.1 - 2.6685A \quad (r = -0.3961)$$

$$\text{スギ・ヒノキ混交林} : P_{30} = 1242.6 - 3.6567A \quad (r = -0.7576)$$

いづれも相関係数 $r$ は5%で有意である。これから林齢に応ずる $P_{30}$ を推定したら表4-8のようになった。

表4-8 水源林の樹種および林齢別の表層(30cm)の全粗孔隙量の推定

| 林齢 | 林種 | スギ     | ヒノキ    | スギ・ヒノキ混交林 |
|----|----|--------|--------|-----------|
| 20 |    | 1272.8 | 1204.7 | 1169.4    |
| 30 |    | 1222.4 | 1178.1 | 1132.9    |
| 40 |    | 1171.9 | 1151.4 | 1096.3    |
| 50 |    | 1121.5 | 1124.7 | 1059.7    |
| 60 |    | 1071.1 | 1098.0 | 1023.2    |
| 70 |    | 1020.7 | 1071.3 | 986.6     |

またカラマツはデータ数は少なく、カラマツ・ヒノキ混交林は林齢が50~70年に集中しているため、平均林齢に応ずる平均の $P_{30}$ を求めたら、それぞれカラマツは52年で1092.0、カラマツ・ヒノキ混交林は57年で1161.2であった。表4-8によればいづれの林種も年齢が増すにつれて表層30cmの全粗孔隙量は減少する傾向にあり、スギは幼齢時は他よりも大きい(造林立地的な理由によるであろう)が、50年以降にヒノキよりも小さくなっている。スギ・ヒノキ混交林はそれぞれの純林よりも劣っているが、カラマツ・ヒノキ混交林は他林種より大きな値を示している。広葉樹林は林齢が不明であるので、全体の平均を計算すると1222.0であり、それはスギ・ヒノキ混交林の20年生の値より大きく、スギの30年生、ヒノキの20年生の値とほぼ同じであり、22の標本資料から $1222 \pm (2.080)(228) = 1222 \pm 475 = 747 \sim 1697$ の範囲の値を示すであろうことが95%信頼度でいえる。とられたデータでは460~1530であったが、天然林を伐採して人工林に仕立てられた立地は現在の天然林に比較して良好であることから、人工林の表層30cmの全粗孔隙量は天然林の示す大きな値から、林齢が増すにつれて減少してゆくであろうことが考えられよう。

次に地表下1mの土壤層の全粗孔隙量 $P_{100}$ は長年月にわたって形成されたもので、年降水量、地質基岩、堆積区分、林相などと関係が深い。また地表下30cmの土壤層の全粗孔隙量 $P_{30}$ は $P_{100}$ に対して比較的新しく形成され、現在の林分構造と $P_{100}$ よりは関係が深いと考えられる。ここではこのような水土保持機能と密接な関係があると考えられる $P_{100}$ と $P_{30}$ との間の関係を解析する。この間の関係が深ければ、比較的人手によって荒されていない林分であり、あまり関係がなければ

人為的に荒された林分であることが推察されよう。

$P_{100}$  に関係ある因子として  $P_{30}$  以外に落葉落枝重量 ( $W$ ) を加え、次の重回帰モデルを仮定した。

$$P_{100} = \beta_0 + \beta_1 P_{30} + \beta_2 W \quad (4.17)$$

最初に  $\beta_2 = 0$  の仮説の検定を行ない、この仮説が認められたら、ついで  $\beta_1 = 0$  の仮説の検定を行なった。

スギの 22 個のデータ行列は次の通りであった。

|           | 1  | $P_{30}$    | $W$        | $P_{100}$   |
|-----------|----|-------------|------------|-------------|
| 1         | 22 | 25954.1     | 80479      | 72645.7     |
| $P_{30}$  |    | 31382550.51 | 95946274.8 | 88338099.39 |
| $W$       |    |             | 37286625   | 266420354.1 |
| $P_{100}$ |    |             |            | 251581195   |

この  $3 \times 3$  マトリクスを解いて最大モデルの回帰係数を求めると、次のようであった。

$$\beta_0 = -693.31, \quad \beta_2 = 3.4987, \quad \beta_3 = -0.03613$$

データ行列から

$$\begin{aligned} S_{x_1 y} &= \Sigma (P_{30} - \bar{P}_{30})(P_{100} - \bar{P}_{100}) \\ &= \Sigma P_{30} P_{100} - (\Sigma P_{30})(\Sigma P_{100}) / n \\ &= 88338099.39 - (25954.1)(72645.7) / 22 \\ &= 2635655.646 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{x_2 y} &= \Sigma (W - \bar{W})(P_{100} - \bar{P}_{100}) \\ &= \Sigma W P_{100} - (\Sigma W)(\Sigma P_{100}) / n \\ &= 266420354.1 - (80479)(72645.7) / 22 \\ &= 672473.2682 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_y^2 &= \Sigma (P_{100} - \bar{P}_{100})^2 \\ &= \Sigma P_{100}^2 - (\Sigma P_{100})^2 / n \\ &= 251581195 - (72645.7)^2 / 22 \\ &= 11699480.07 \end{aligned}$$

を得るので、最大モデルでは

$$\begin{aligned} \text{回帰平方和} &= (3.4987)(2635655.646) + (-0.03613)(672473.2682) \\ &= 9197130.814 \end{aligned}$$

を得る。

次に  $\beta_2 = 0$  という仮説の下に導かれる仮説モデルは  $P_{100} = \beta_0 + \beta_1 P_{30}$  であり、前掲のデータ行列の 1,  $P_{30}$ ,  $P_{100}$  の  $2 \times 2$  マトリクスを解いて

$$\beta_0 = -769.52, \quad \beta_1 = 3.4513$$

を得る。したがって仮説モデルの回帰平方和は

$$\begin{aligned} \text{回帰平方和} &= (3.4513)(2635655.646) \\ &= 9096408.203 \end{aligned}$$

を得る。したがって次のような仮説の検定のための分散分析表を得る。

| 要因         | 平方和         | 自由度 | 平均平方        |
|------------|-------------|-----|-------------|
| 最大モデルの回帰   | 9197130.814 | 2   |             |
| 仮説モデルの回帰   | 9096408.203 | 1   |             |
| 仮説の検定のための差 | 100722.611  | 1   | 100722.611  |
| 最大モデルの残差   | 2502349.255 | 19  | 131702.5924 |
| 全体         | 11699480.07 | 21  |             |

上表より

$$F_{1/19} df = 100722.611 / 131702.5924 = 0.764$$

$F_{1/19} df(0.05) = 4.381$  であるので有意の差は認められず、 $\beta_2 = 0$  とみなしてよく、 $W$  は  $P_{100}$  には有意に関係があるとは認められない。したがって  $\beta_1 = 0$  の分散分析を行なうと次の通りである。

| 要因       | 平方和         | 自由度 | 平均平方        |
|----------|-------------|-----|-------------|
| 最大モデルの回帰 | 9096408.203 | 1   | 9096408.203 |
| 残差       | 2603071.867 | 20  | 130153.5934 |
| 全体       | 11699480.07 | 21  |             |

$$F_{1/20} df = 9096408.203 / 130153.5934 = 69.890$$

$F_{1/20} df(0.01) = 8.096$ 、 $F_{1/20} df(0.05) = 4.351$  であるので著しく有意であり、 $\beta_1 = 0$  という仮説は棄却され、 $P_{30}$  と  $P_{100}$  は密接な関係があり

$$P_{100} = -769.52 + 3.4513 P_{30}$$

によって  $P_{30}$  から  $P_{100}$  が推定され、寄与率は

$$\begin{aligned} R^2 &= 9096408.203 / 11699480.07 \\ &= 0.7775053377 \end{aligned}$$

であり、相関係数は  $R = 0.8818$  である。

他の林種についてもスギと同様な検定を行ない最終的に得られた回帰方程式および相関係数は表4-9の通りであった。

表4-9  $P_{30}$ のみまたは $P_{30}$ と $W$ から $P_{100}$ を求める回帰式と相関係数

| 林種             | 回帰式  | 相関係数   |
|----------------|--|--------|
| スギ             | $P_{100} = -769.52 + 3.4513 P_{30}$            | 0.8818 |
| ヒノキ            | $P_{100} = -415.61 + 3.1415 P_{30}$            | 0.6965 |
| カラマツ           | $P_{100} = 771.00 + 1.9800 P_{30}$             | 0.7175 |
| スギ・ヒノキ混交林      | $P_{100} = 140.82 + 2.8085 P_{30}$             | 0.8581 |
| カラマツ・ヒノキ混交林    | $P_{100} = 1359.34 + 1.7266 P_{30} - 0.08483W$ | 0.7544 |
| モミ・コメツガ・トウヒ混交林 | $P_{100} = -975.91 + 3.5143 P_{30}$            | 0.8480 |
| 広葉樹天然林         | $P_{100} = 530.76 + 2.4081 P_{30}$             | 0.6943 |

表4-9によれば、カラマツ・ヒノキ混交林のみが落葉落枝重量 $W$ が有意であり、他の林種はすべて $P_{30}$ のみで $P_{100}$ が推定できる。このように水源林は $P_{30}$ と $P_{100}$ との間の関係は深く、あまり人手によって荒されていない林分であるということが推察される。このことは林分構造の解析の項で述べたように水源林の人工林の $ha$ 当り本数は収穫表のそれに比べてほとんど倍の値を示し、無間伐に近い林分が多いということからも明らかであろう。表4-9に示す式によって推定された地表下1mの土壌の全粗孔隙量 $\hat{P}_{100}$ と現実の値 $P_{100}$ とをグラフに表わしたものが図4-1であり、点は45°線のまわりに分布しており、推定が正しく行なわれていることがわかる。(末尾図4-1参照)

次に表4-9からわかるように $P_{100}$ の推定に対してカラマツ・ヒノキ混交林以外は $W$ が有意でないということは $P_{30}$ と $W$ との関係が深いことを意味する。また仮想樹冠量( $CV$ )と $W$ の関係についても検討の必要があろう。林種および年齢ごとの平均仮想樹冠量( $CV$ )、地表下30cmの全粗孔隙量( $P_{30}$ )および落葉落枝重量( $U$ )の平均を示したものが表4-10である。

これによると、いずれの林種も林齢が多くなるにつれて $CV$ は多くなり、前述のように $P_{30}$ は減少し、 $W$ もまた減少の傾向がみられる。しかし、 $P_{30}$ と $W$ の関係は $W$ が増せば $P_{30}$ も増す傾向を示し、人工林について次の関係があることがわかった。

$$\begin{aligned} \text{スギ人工林} & : \hat{P}_{30} = 523.5 + 0.1923W \quad (r=0.6681) \\ \text{ヒノキ人工林} & : \hat{P}_{30} = 789.7 + 0.2318W \quad (r=0.9736) \\ \text{カラマツおよび} & : \hat{P}_{30} = 1020.8 + 0.1696W \quad (r=0.5227) \\ \text{カラマツ・ヒノキ人工林} & \end{aligned}$$

相関係数 $r$ はいずれも有意である。 $W$ を用いて $\hat{P}_{30}$ を上式を用いて推定したものが表4-10に $P_{30}$ と並べて示してあり、推定が良好なことがわかる。他の林種については年齢の幅が少ないため $W$ の変化も少なく平均値のみを示しておいた。次に $W$ と $CV$ との関係を検討すると次のようになった。

表4-10 林種, 齢級別の仮想樹冠量(CV), 表層(30cm)の全粗孔隙量(P<sub>30</sub>)  
および落葉落枝重量(W)の関係および推定値( $\hat{P}_{30}, \hat{W}$ )

| 林種                | 齢級              | CV       | P <sub>30</sub> | $\hat{P}_{30}$ | W                | $\hat{W}$ |
|-------------------|-----------------|----------|-----------------|----------------|------------------|-----------|
| スギ                | 29年以下           | 47833.8  | 1245.9          | 1354.7         | 4319.0           | 4393.1    |
|                   | 30~49年          | 75610.0  | 1431.0          | 1267.9         | 3872.0           | 3746.0    |
|                   | 50~74年          | 95438.0  | 1044.8          | 1100.1         | 2999.2           | 3284.1    |
| ヒノキ               | 29年以下           | 37902.1  | 1217.0          | 1207.5         | 1802.6           | 1781.8    |
|                   | 30~49年          | 44782.0  | 1136.0          | 1152.9         | 1567.0           | 1598.8    |
|                   | 50~74年          | 57782.7  | 1090.0          | 1082.6         | 1263.8           | 1252.8    |
| スギ<br>ヒノキ         | 29年以下<br>50~74年 | 66376.5  | 1209.5<br>977.0 |                | 3211.5<br>2143.5 |           |
| カラマツ              | 30~49年          | 77330.0  | 1200.2          | 1183.4         | 9585.0           | 9341.5    |
|                   | 50~74年          | 87380.0  | 1019.8          | 1107.8         | 5127.0           | 5780.6    |
| カラマツ・ヒノキ          | 50~74年          | 93346.0  | 1161.2          | 1090.0         | 4076.8           | 3666.7    |
| モミ・ツガ・<br>トウヒ・広葉樹 |                 | 171553.5 | 1186.8          |                | 6990.8           |           |
| 天然林               |                 | 158441.4 | 1222.1          |                | 3215.5           |           |

すなわち

$$\text{スギ} : \hat{W} = 5507.5 - 0.0233CV \quad (r = -0.8722)$$

$$\text{ヒノキ} : \hat{W} = 2790.4 - 0.0266CV \quad (r = -0.9946)$$

$$\text{カラマツおよびカラマツ・ヒノキ人工林} : \hat{W} = 3674.14 - 0.3543CV \quad (r = -0.9807)$$

相関係数  $r$  はいづれも有意であり、高い相関を示している。上式からの  $\hat{W}$  の値を  $W$  と対比して表4-10に示してある。これによると樹冠量が多いと落葉落枝重量が減少する傾向を示しており、林齢が増すと樹冠量が増し、落葉落枝重量が減少し、地表下30cmの全粗孔隙量が減少してゆくことが予想される。これは樹冠量が多いと落葉落枝重量は多くなり、全粗孔隙量が増すであろうというようなわれわれの一般的常識と矛盾しているようであるが、データは前述のように無間伐に近いうっべい林からとられたものであり、樹冠量が多くなると下層植生殊にクマザサが進入しなくなり、土地改良の要因が少なくなることと、幼齢期においては樹冠量は少ないが、その中味は充実し、したがって新陳代謝が活発であり、老齢になるにつれて樹冠量は多くなるが、その中味は少なくなり、しかも落葉落枝は腐植したり流亡したりしてその量が減少してくるためであろうと考えられる。こ



のような問題をもっと明らかにするためには同齡林分での樹冠量、落葉落枝重量および地表下30 cmの全粗孔隙量の関係を解析し、また疎開林におけるこれらの関係を解析する必要がある。

以上のことから適度な疎開による下層植生の侵入を考慮した落葉落枝重量の増大とそれに伴う全粗孔隙量の増大および健全な樹冠量をもたせて崩壊防止機能を増大させるという水土保全機能とのバランスを考慮する必要がある。表4-10によればCVは広葉樹、モミ・ツガ・トウヒ・広葉樹の混交林、カラマツとヒノキの混交林、スギ、ヒノキの順に大きいが、落葉落枝重量は広葉樹天然林は意外に少なく、モミ・ツガ・トウヒ・広葉樹の混交林やカラマツ林、スギ林が多く、ヒノキ林が一番少ない値を示しているが、 $P_{30}$ はそれほど差が認められない。このことは量的な見地からばかりでなく、落葉落枝の質的な見地から今後検討してゆく必要があることを暗示している。

## 5 多摩川上流域における森林の取扱い方に関する一指針

森林の取扱いについては森林自体の成立環境(立地)の問題と、ここで目的としている水土保全環境機能を発揮させるための在り方の問題とが考えられる。後者についてはこれまで種々の見地から検討を加えてきたが、前者については記載していなかったため、ここでやや詳細な記述を行い、これに対して後者については要約と総合的見解とを述べるにとどめた。

### 5.1 上流域の環境の特殊性と森林の在り方

多摩川上流域は標高が高く、亜寒帯にも属する寒冷地を包含する上、2000m内外の主稜線部は周辺山地より比高が高いため風が強く、また流域内の開析斜面内には40度を越す急峻斜面が多い等、森林の生育に関しては厳しい内容の要因が多い。従って森林の成立、あり方についても立地上の問題点が多くなっている。

例を自然の林相景観の特殊性やカラマツの不成績林にとって、この間の検討を加え、立地環境に関しての施業のあり方等について言及してみたい。

#### (1) 多摩川上流域の自然植相と立地

多摩川流域においては、最近植生図が作成されており、それと地形図との対比によって、景観の特性概況を求めることが出来るが、ここでは更に空中写真を用いて植相と地形、標高との結びつきを考えた。

多摩川上流域では、最高峯の唐松尾山(2109m)をはじめとし、雲取山(2018m)、飛竜山(2069m)、大菩薩嶺(2057m)等、1900m以上の主稜がつながっており、稜線付近には相対的に緩い中～急傾斜面が遺存しているのに対して、その直下には急な開析斜面が広がっている。

高稜線の相対的な緩斜面(おおよそ1900m以上)にはシラビソ、ウラジロモミ等を主林木とする天然針葉樹林が、どの方向の斜面にも存在するが、1900m～1800m以下の開析斜面になると斜面の方位によって異った植相景観を示している。即ち、北ないし北東向斜面では1600m付近から1900mの間の尾根型～直型斜面にシラビソ等の針葉樹林が見出されるのに対して、南向斜面では、1400mから1900mの尾根型～直型斜面にかけてカンバ類を主体とした落葉天然林が出現する。そしてこの高度間での谷型斜面は、一部の崩積土斜面を除くと、砂礫の移動が激しく、ナダレ道、ガレ場となって森林植生はみられない。つまり、針葉樹の天然林は北向斜面で粗密度が最も大きく、ついで東斜面、西斜面となり、南向斜面での粗密度が最も小さくなっており、斜面方位との対応がかなり明瞭となっているわけである。

上記以下の標高になると、方位による植相の差違は、それほど明瞭ではなくなるが、北向斜面では、900m～1600mの間でブナ、イヌブナが優先するのに対して南向斜面では800m～

1400 mの間にクリ、ミズナラ等の比較的樹冠の小さい森林が優占して、矢張り対照的な分布をみせている。この程度の標高になると砂礫の移動がかなり穏かとなるためか、谷型斜面にも森林が成立するようになり、崩積礫層の上にシオジに代表される森林が見出される。また、1400~900 mの山頂状尾根型斜面にはツガの天然針葉樹林が見出される。

800(900) m以下の標高になると、斜面の方位による樹種の差は目立たなくなり、南北両者面とも尾根筋付近でミズナラ、クリ、その他では、クヌギ、クリが優先するようになる。ただ、北向斜面の樹冠の方が南向斜面のそれよりも大きい傾向にあり、この点で方位の差が認められた。

以上のように、上流域の自然植相は、標高と方位、斜面形と砂礫の移動・安定性によって、夫々特徴のある分布を示していることがうかがわれる。

## (2) カラマツの不成績造林地

現在、多摩川上流域では、かなりの範囲にわたってカラマツの人工林が存在し、その分布は標高で2000 mを越える尾根筋にまで及んでいる。しかしながら、この地域のカラマツ人工林の成林状況を見ると、明らかな不成績地が見出されて問題である。

カラマツの造林地は、1800 m以上の稜線部付近では、細土層の厚い中傾斜の遺存斜面内に造林され、その面積は広くないが、1800 m以下では40度未満で、砂礫の移動がない斜面であれば、斜面形の相違にかかわらず、大面積に造林されている。これらの造林地内に不成績地が散在するわけであるが、この不成績率が造林地内の裸地率(ササ生育地)で指標されているものと仮定して、空中写真によるカラマツ不成績地の判読を行い、この結果を地形図と現地観察事項と対比しながら検討を行った。

まず、単純に標高と裸地率(不成績率)との関係を見ると、1900 m以上では裸地率20%、1800~1900 mでは10%、1700~1800 mでは0~5%、1700 m以下では0%(健全)という結果が得られ、おおよそ1700 m~1800 mの個所に境界があることが認められる。しかしながら、1700 m以上の高標高であっても、裸地率にはかなり大巾のバラツキがあり、この不成績の理由を標高のみに求めるのは無理なように思われる。

そこで、標高にかわる要因として、風の影響をとりあげることとし、次の検討を行った。風速とその頻度は地形的な因子に大きく制約され、露出度、前面起伏量、標高等と正の係数に背後起伏量に負の係数を示すことが知られているが、ここでは簡略化して露出度によって風衝が指標されるものとして(標高は前出)裸地率との対比を試みた。なお露出度とは、約3度の仰角で周囲を見廻した場合に、山で遮えざられずに空の見える水平度であり、いわゆる、眺望視界の広さに比例する。

標高が1700 m以上で、不成績な個所の分布を調べてみると、これらがいずれも露出度の高い尾根筋周辺であり、露出度が小さい谷型の中~緩斜面であれば、1800 m以上の標高であっても健全な林分を認めることが出来た。因みに1700 m以下でも、高露出度の個所は分布するものであるが、これらの多くは背後起伏量が大きく前面起伏量が小さい上、標高も低いので風衝地とはな

っていない。たゞし、相対的な生長は劣ることが多い。結局、単純に考えた場合カラマツの造林可能地は、1700m以下では、土壤の良否のみを考えればよく、それ以上になると露出度等の風に関する要素の方が重要になってくると云えよう。

カラマツは、礫土には適さず、ある程度は細土に富む土壤が適地と考えられる樹種である。この点、稜線周辺の遺存緩斜面には腐植に富み一見良好とも見える細土土壤が厚く分布するところから、適地と判断されて、造林が行われたのかも知れない。しかし、結果は失敗に終わっているのである。土壤という一部の環境要因の良否にのみ着目して適地が判断された場合、時に思わぬ別の要因が障害となって不成績な結果に終ることを物語っている一例であろう。

### (3) 総括

一般に腐植層が厚いかどうか、孔隙性は良いかどうかといった土壤の良否に着目した適地適木概念は経験的にもよく浸透した技術となっており土壤を基準とした林木の生長の良否判断と、それに対応した施業とは一応大過なく実行されていることが多い。しかし、これに土壤以外の環境要因たとえば風衝要因等が、制限要因として加わってくると問題が複雑となって判断と対応を誤ることも多々出てくるのである。多摩川上流域は、他にくらべて気候的、地形的環境が厳しい地域であるだけにこのような特殊な障害要因も決して少なくなく問題は重要である。

従ってここでは土壤的な見地からの適地適木関係については一応記載を省略しその他の特殊な環境についてのみ検討を加えることにした。なお、専門的な環境要因別の検討は避け一般にも判断しやすい地形要因、あるいは区分を用いて記載を行うことにする。

#### ○ 標高（気候的特殊性）

標高の増加と気温低減とが密接な比例関係にあるところから通常標高は気温の指標因子と考えられていることが多い。いま、気温因子だけを考えると低温が生理的に樹木の凍害をひきおこす等の事が考えられて問題ではあるが、よほど極端に郷土を異にする樹種でない限りは、この問題は発生しない。即ち、人工林を造成する場合、その樹種の自然生育限界を多少越えるような寒冷環境であっても成林可能な場合が多い。前記の検討例でブナの生育は1600m以下の場合が多いことを紹介したのであるが、こと気温に関する限りは、これを1800mに植栽しても、問題はないと云えるのである。

しかしながら標高に伴って風衝、土砂礫の移動、積雪量等、樹体に対して物理的な障害を及ぼす因子が増大する場合は別である。このような外部からの物理的阻害要因や水分的な阻害要因が強い環境においては、樹木が一代の生育期間でこれを克服し、成林に向うことは非常に稀れであり、草本→灌木→森林樹木（樹種別）等、幾世代からの植相階梯を経るうちに植物自体が、徐々に環境を改良して、現在の森林を形成するに到った場合が多いのである。このような場合天然林を伐採して、人工植栽を意図しても、環境は数世代前の悪環境に逆行してしまっており、植栽木の力だけで成林するのは非常に困難となっている場合が多い。即ち、人工林の成立はたとえ前生林と同一樹種であっ

ても、前生の天然林に劣る生長しか期待出来なくなっている。

多摩川上流域では、スギ林の成立は密度管理によって、単木的にもよほど強大な林木を作らぬ限りは、まず、積雪標高(雪害)に制限されて1200m程度が限界になり、また耐雪性の大きいヒノキやカラマツにしても風衝害の少ない1700~1800mが限界となるものと考えられる。

標高は、これらの他に降水量と比例関係を示して立地の良否に影響していることが多いが、本流域の場合は大きな影響はないようであり、むしろ冬季の降水である積雪の影響が阻害要因として重要となっている。なお、さきにも述べたようにこのような限界標高以上でも、高度の技術を以てすれば、適地が見出され、また施業的に限界を引上げることも可能である。しかし、それほどの技術に自信がないのであれば限界以上では人工林の造成ひいては前生林の伐採をあきらめるべきであろう。

#### ○ 高原状の緩地形と稜線付近の緩斜面

丹波川の源流部である萩原山周辺と主稜線附近には谷の開析が及ばず相対的に緩起伏の中~緩斜面が遺存し腐植に富む厚い細土質土壌が分布する。しかしこれらの個所はいずれも高標高地帯であり、土壌的には恵まれていながらも気候的には厳しい環境下にある個所が多い。特に1800m以上になると冬季の土壌凍結、場所によっては、融雪氷時(春季)のソリフラクション(表層土壌の移動)現象が顕著となり加えて風衝地も広くなって、森林の成立に対しては極めて不利な条件個所が多くなっている。従ってこの地域の1800m(~1700m)以下ではカラマツあるいはカラマツとヒノキの人工造林の可能個所が広いが、それよりも高標高個所では、気候的な要因を配慮した適地と施業方法の選定を行わないと人工林の成立は困難であり、大部分の個所では天然林の存在を尊重し人工林の造成、人為的な干渉等は極力避けるのが良策と考えられる。

#### ○ 開析急斜面

多摩川上流域の大部分は傾斜の急な開析斜面であり40度を越す急峻斜面の占有面積が30%から40%以上に達する小流域(1000ha内外の規模)も多々見受けられる。

急峻斜面は開析斜面の頭部附近と、本流河川沿いの谷斜面に出現しているが、いずれも林木の根系の緊縛がない限りは、土砂礫堆積の安定勾配を越す不安定個所となっている。森林の取扱いについては、それを破壊しないような格別の留意が必要であり、原則的には人工林の対象とはならぬ斜面である。

標高が1600m(~1400m)以上の急峻斜面や稜線部周辺は凍結→融雪季の岩礫の崩落と豪雨時の土砂崩壊の確率が高く、急峻斜面の直下や砂礫が集中して流下する谷状の凹形斜面部では森林の成立が困難となっている。このような個所でも、よく天然林が成立している場合があるが、伐採行為を行わぬように留意したいものである。

開析斜面内には40度未満の傾斜面が広く分布しているがその大部分はいわゆる常識的な適地適木概念で対応出来る森林の取扱い個所となっている。急峻斜面とその周辺(特に急峻斜面の直下、

1600 m以上のガレ場)を除くと場合によっては人工林の造成も可能なわけである。

天然林の伐採収穫更には更新を行う時、作業の能率化のためか局部的な更新不能箇所をも無視して往々大面積皆伐が行われることがある。この点キメの細かい方法が是非とも行われて欲しいものである。

## 5.2 水土保全機能と森林のあり方

水源かん養機能の最終的な調節は地下水であり、この意味での土地的な主役は地質基岩であるが、この基岩構造には、森林の影響は及んでいない。しかしながら基岩内に直接降水が浸入するのは困難であるため、その浸透をスムーズに行うためにはどうしても媒介者が必要である。この媒介機能を果たしているのが土壌であり、そして、この土壌の機能は森林の影響を強くうけているのである。

これらの事柄については既に詳述したとおりであるが結局森林の水源かん養機能とは土壌中の降水貯留機能を高めることと、これを守ることにあると考えてよい。

### (1) 土壌の貯留機能の改善と森林のあり方

土壌中の貯留機能は土層を構成する細土の粗孔隙量によって果されており、この粗孔隙量は、根系と森林下の小動物の活動により増加し、落葉層や腐根の分解によって生じた腐植の混入によってその孔隙構造が保たれている。そして土壌の深層部においては、深根性の大型林木の活動による面が大きい。この意味で森林は全面的に土壌の粗孔隙改善に役立っているのであるが、この効果は一代の森林によってなされたものではなく、過去数世代数百年間の植生の効果として形成されたものであることに特色がある。つまり現在の森林～植生も間違いなく土壌の粗孔隙量の変化に加担しているのであるがその影響は小さく計量しがたい程のものであるということが出来る。このように記載すると現在の森林の在り方を軽視してよい様にも考えられ勝ちであるが、過去、数百年間、森林の祖先が築いてきた土壌構造の改善作業を現在の森林だけが休んでも良いという理由はなく、最善の森林の在り方を考究すべきものと考えられる。

土壌深層に及ぶ孔隙改善のためには、深根の大型林木、豊かな腐植供給、豊かな微生物、小動物の生活圏を保持することが必要であり、その帰結として高令の高木林、出来うれば樹種が豊かな多層多段林が望ましいことになろう。

### (2) 土壌表層の孔隙構造の改善・保護(落葉落枝層)と森林のあり方

土壌全体、特に深層部ほど過去の森林の影響が強いのに対して土壌表層の孔隙構造は、最近、落葉落枝から分解した腐植や現存の植生の根の影響を強く受けているものであり、いわば、現存の森林との相関が最も高い層と考えられる。

他方、落葉層は土壌表面を良く被覆して土壌の粗孔隙構造が、雨滴から破壊されるのを防いでいる。

土壌の表層は腐植含量が最も大きく、これに伴って粗大孔隙量が増大し降水の浸透を助けている

のであるが、落葉層がこれに必要な腐植の供給者であり、また、その構造を被覆する保護者でもあるわけである。

従って、端的に考えると落葉層の量が現在の森林ないしは植生の水源かん養機能の大小を指標していると考えてよい。

そこで、各種の林分について落葉量、落枝量、更に表層下30cm層の全粗孔隙量、表層浸透能を計量し、林種、林令別に検討を加えたところ、次のような結果を得た。

#### 落葉量と林種

天然針葉樹林、クマザサ草地 > カラマツ林、カラマツ・ヒノキ混交林 ≧ 落葉広葉樹林、スギ林 > ヒノキ林

但し、天然針葉樹林は厚い未分解腐植層を保有することがあり、あまり良好ではない。

#### 落葉量と林令

早壮令林 > 壮令林 > 老令林

#### 落枝量

早壮令林 < 壮令林 ≦ 老令林

#### 30cm層の全粗孔隙量

細土土壌の場合：天然林、カラマツ林、スギ林 ≧ ヒノキ林 > 踏入り林、

壮令林 > 老令林 > 九州の森林

石礫土壌の場合：林種、林令差なし

#### 浸透速度

落葉被覆個所 > 裸出土

天然林、カラマツ林、スギ林、クマザサ草地 > ヒノキ林 ≧ 裸出地、踏入り林

但し、石礫土壌では差なし

以上の結果を総合すると、落葉層、表層土壌の全粗孔隙、浸透能に対して、明らかに劣った傾向を示した森林はヒノキ林であり、他の林種間、林令間には差がないか、差があっても実質的な機能には差がないような結果となった。この流域は寒冷、急峻で石礫の土壌が多いが、この土壌区ではヒノキ林でも孔隙低下があらわれていなかった。なお、人為的な踏み入れ林や、裸地が全ての森林におとることは勿論である。

多摩川上流域では林冠が疎開した場所には、よくクマザサが侵入し、旺盛な生育をとげていることが多いが、クマザサは、落葉層が豊かであり、この点森林の生育が不完全であっても、表層土壌の機能に関する限りはクマザサがこれを補い、それ以上の効果が発揮していることが認められた。

従って、この流域の森林の管理については、ヒノキ林のうっ閉林以外はそれほど神経を使う必要はないが出来うれば全ての林種においても過うっ閉をさげ多くの下層植生を導入するようにしたいものである。

### (3) 急斜面上の土壌層の維持に必要な森林の在り方

山岳地の流域においては基岩を覆う厚い土壌層の存在が、水源かん養機能の発揮上最も重要な財産であるが、急斜面上の土壌層は土壌侵蝕、あるいは崩壊によって流失しやすく、これを保持するための森林の在り方が重要となってくる。

土壌侵蝕は降雨が浸透せずに表面流を生じることによって発生するものであるので表面流の防止、見方を変えれば浸透能の増大化を計ることが要因となる。浸透能の増大は落葉落枝層の存在と結びつき結局は先述の土壌表層の孔隙性に関する施業のあり方がそのまま土壌侵蝕防止に必要な森林の在り方となる。

急斜面上での土層の保持は強大な深根による杭作用と同じく側方に張った根系のからみ合い（ネットワーク）によって果されるので、このためには樹冠の発達した高令高木のうっ閉林が有効と考えられる。しかし過密な高木材は単木毎の根系の拡がりが貧弱であるので適度に疎開し個々の林木が夫々たくましい形態をとりうるような施業をとることが必要であろう。

厚い土層と其中に含まれる粗孔隙構造とは、数100年以上の森林の効果の蓄積であるのに対して、これを流失し去る崩壊現象は短時間内に発生するものである。一度、失われた貯留機能の回復は困難であるだけに、土層の維持には入念な森林の取扱いが必要となる。また斜面上の土砂の流失は土石流となって下流部を破壊し、ダムを埋没するなどの被害を及ぼすのでその保全は特に有意義であると考えられる。

表層の浸透能の維持だけを考えた場合、その機能は幼壮令林でもよく、また草地でも果しうるものと考えられたのであるが、土層の崩壊を防止するとすると適正密度の高令の高木林が必要となりその高令林においても、表層土壌の改善が出来るよう下層植生の導入が計られなければならないことになる。

従来、社会的にも重視されている森林の崩壊防止機能が、水源かん養機能の発揮に対しても最も重要であり森林の取扱いに関しても共通の考え方を持つことが出来そうである。

### (4) 流域の地理的条件と森林の取扱い方

水源かん養機能や、崩壊防止機能の問題は流域内の部分的な点の問題ではなく、空間的にかなり大きな拡がりをもった流域内の問題である。従って、これに対応すべき計画やその実施はその流域内の土地条件要素の地理的分布と量とに立脚したものでなくてはならない。土地的条件要素としてはこれまで述べてきたように傾斜度、起伏量、海拔高、斜面形区分（堆積区分）等いずれも地形図、空中写真によって計量～図化が可能のものであり、更に降水量、地質基岩とは、別に分布図化がなされている。これらの要素を小流域毎に、更には大流域について把握しその上で具体的な検討を行うべきものと考えられる。

森林の取扱いについては更に植相の現況を知った上で、流域内の検討が行われなければならないが、これに対しては植生図が既刊され、森林簿、施業図、空中写真の利用等によって、より精細な



地理的情報が把握出来るはずである。

今回の報告では流域内の土地条件図の作成を行う余裕がなかったが上流域内の小分区毎（図3-2参照）の土地条件の計量を行っているので（表3-3・表3-4）それらを利用しても空間的な検討が可能と考えられる。表中には崩壊予測危険率も併記しているので、土砂防止計画に対しても参考指数となり得よう。

## 6 空中写真による林分構造と水土保持機能の推定

前節までは地上調査により得られた資料をもとにして林分構造と水土保持機能の関係を明らかにし、水源林の理想的あり方について一つの指針を与えたが、本節では空中写真による林分構造の効率的推定方法を明らかにし、これから水土保持機能を推定する方法を検討し、将来、このような調査方法を行なう場合の参考に供したい。

空中写真によって森林調査（林分構造の推定）を行なう場合は、空中写真上に撮影・記録された被写体つまり森林または林分における像の形状、大きさ、色調、構成、陰影、配列、その他の各種現象因子、ならびに対象地域における現地（地上）調査および既知のデータがプラスされた総合的な判読測定によって行なわれることになる。そしてそれに用いられる空中写真は、一般には標準縮尺つまり高度4,000～5,000mの上空から撮影された、縮尺（撮影縮尺） $1/10,000 \sim 1/20,000$ のものが精度とコストの両面から最も効率的といえる。そしてこの標準縮尺の空中写真は、現在、建設省国土地理院、農林省林野庁、ならびに都道府県等の地方公共機関によって5年ないし10年の間隔で撮影が実施されており、それらの写真によって日本全土が完全にカバーされている。本節でも、上記の空中写真の中から、対象地域の奥多摩水源林をカバーする空中写真を選んで使用した。

なお、空中写真によって林分構造の推定を行なう場合、その撮影年度は新しいもの、つまり調査（推定）時点と同一年度またはそれに近いものが望ましい。しかし、実際にはそのような空中写真が入手できるとは限らない。だからといってそのために推定対象地域の撮影を別個に実施することも、コストその他の面から必ずしも事情が許さないことが多いであろう。したがって、多くの場合は既存の空中写真を利用するケースが多い。この場合、使用しようとする空中写真の経年数（撮影後の経過年数）と現在林分とのズレ、つまり密度（本数）の増減や樹高・樹冠直径・材積その他の生長量の変化、天然林における樹種の遷移、等の問題が生じる。したがって空中写真による林分構造の推定に先だち、経年空中写真の現在林分への利用の可否ならびに利用可能の場合の適用法について、事例にもとづく検討結果により説明を試みる。

### 6.1 経年空中写真の適用法に対する検討

検討の資料として使用した空中写真は1977年8月に現地調査を実施した日原、丹波山の両管理分区の一部および奥多摩水源林との比較検討のため行った東京営林局管内高尾山国有林をカバーする

- A 日原地区：チブ・ミツミネ、山-470（タマガワ）、C2/7~14、C3/5~9、計13枚、  
1967年10月東京都撮影、普通角写真
- B 丹波山地区：ミツミネ・タバ、山-625（第2エンザン）、C4/15~18、C6/24~25、  
計6枚、1972年5月山梨県撮影、普通角写真

C 高尾山国有林：KT-71-1X, C8A/1~3, 3枚、1971年建設省国土地理院撮影、広角写真

の計22枚を対象とした。すなわち現地調査時点の1977年に対し、A日原地区は10年、B丹波山地区5年、C高尾山国有林6年、のそれぞれの経年写真となっている。つまりA, B, C各地区の空中写真の判読測定値は現地実測データに対しては何れも10年ないし5年以前の状態を測定していることになる。したがって検討の方法は、1977年現地実測データと対応するA, B, C各空中写真の判読結果との有意性の検定を行ない、もし有意差、つまり空中写真の経年数に起因するズレがある場合は、実測データと写真判読との回帰関係(回帰式)を求め、この回帰式により写真判読値から現在林分の数値に転換するという方法をとった。その具体的計算方法は次のとおりである。

(1) 空中写真の判読

1977年8月に実施された現地調査は、日原地区16、丹波山地区20、高尾山国有林5、計41ライン(うち天然林14)である。写真判読はこの41ラインに対して前記A, B, Cの各空中写真により、樹冠直径CD, 樹高H, 本数N, および樹冠疎密度CCの主要判読要因について行った。なお、判読は2.5倍(普通角写真)および2.0倍(広角写真)の各引伸写真によった。また、それぞれについて標高 $H_G$ と写真縮尺Sの関係を一一次式により次のとおり計算した。

A 日原地区

$$S = 10596408 - 2130 H_G \quad (r = -0.972)$$

B 丹波山地区

$$S = 10943340 - 1964 H_G \quad (r = -0.994)$$

C 高尾山国有林

$$S = 9956208 - 3012 H_G \quad (r = -0.996)$$

41ラインにおける現地実測データと対応する写真判読の結果は表6-1に示すとおりである。ただし、写真判読は空中写真上可視木、つまり上層木に限られるため、実測データもこれに対応させて上層木のみについて $CD_M$ ,  $H_M$ は平均値を、 $N_M$ はha当りの値をとった。

表 6-1 実測データと写真判読結果一覧

| No | 地 区     | 樹 種 (林 齢) | 実 測 値 (M)   |            |       | 判 読 値 (P)   |            |       |       |
|----|---------|-----------|-------------|------------|-------|-------------|------------|-------|-------|
|    |         |           | $\bar{C}DM$ | $\bar{H}M$ | $N_M$ | $\bar{C}DP$ | $\bar{H}P$ | $N_P$ | $CCP$ |
| 1  | 日原 - 1  | スギ (26)   | m           | m          | 本     | m           | m          | 本     | %     |
| 2  | " - 2   | "         | 2.9         | 15.2       | 1328  | 2.3         | 11.4       | 1195  | 55    |
| 3  | " - 3   | "         | 2.6         | 12.5       | 1750  | 2.2         | 9.4        | 1567  | 65    |
| 4  | " - 4   | ヒノキ (21)  | 2.3         | 14.4       | 2267  | 1.8         | 11.4       | 2088  | 75    |
| 5  | " - 5   | "         | 2.1         | 7.0        | 2880  | 1.9         | 6.8        | 2259  | 85    |
| 6  | " - 6   | スギ混交 (24) | 2.1         | 6.4        | 2981  | 1.9         | 5.3        | 2875  | 85    |
| 7  | " - 7   | スギ (24)   | 1.8         | 10.0       | 3140  | 1.7         | 6.8        | 2351  | 75    |
| 8  | " - 8   | "         | 2.2         | 14.0       | 2782  | 1.9         | 9.9        | 1800  | 65    |
| 9  | " - 9   | "         | 2.0         | 16.3       | 2919  | 1.7         | 13.1       | 2366  | 65    |
| 10 | " - 10  | "         | 2.0         | 12.1       | 2054  | 1.9         | 9.7        | 1479  | 55    |
| 11 | " - 11  | ヒノキ (20)  | 2.3         | 13.5       | 2699  | 2.0         | 9.6        | 2049  | 75    |
| 12 | " - 12  | "         | 2.5         | 10.0       | 2614  | 2.2         | 6.4        | 2290  | 75    |
| 13 | " - 13  | "         | 1.9         | 6.3        | 4922  | 1.6         | 3.0        | 3377  | 75    |
| 14 | " - 14  | "         | 1.9         | 6.5        | 3413  | 1.7         | 3.6        | 3029  | 75    |
| 15 | " - 15  | "         | 1.8         | 6.1        | 4012  | 1.8         | 3.0        | 2997  | 85    |
| 16 | " - 16  | スギ (20)   | 1.8         | 6.5        | 3996  | 1.6         | 4.6        | 2630  | 85    |
| 17 | 丹波山 - 1 | 天然林       | 1.9         | 12.0       | 2759  | 1.8         | 6.4        | 2398  | 65    |
| 18 | " - 2   | "         | 10.5        | 18.2       | 206   | 8.2         | 16.7       | 66    | 45    |
| 19 | " - 3   | スギ (32)   | 13.6        | 20.8       | 103   | 8.1         | 18.8       | 80    | 35    |
|    |         |           | 3.0         | 18.8       | 1313  | 2.0         | 16.4       | 1213  | 65    |

|    |    |   |    |      |      |       |      |      |       |     |      |      |    |
|----|----|---|----|------|------|-------|------|------|-------|-----|------|------|----|
| 20 | "  | — | 4  | "    | (30) | 2.9   | 15.8 | 2012 | 97.3  | 2.0 | 14.1 | 1903 | 85 |
| 21 | "  | — | 5  | "    | ("   | 2.8   | 17.4 | 1640 | 92.1  | 2.0 | 14.7 | 1109 | 65 |
| 22 | "  | — | 6  | ヒノキ  | (63) | 3.1   | 19.1 | 1451 | 137.7 | 2.2 | 15.7 | 1318 | 65 |
| 23 | "  | — | 7  | "    | ("   | 2.4   | 18.8 | 2009 | 89.1  | 2.3 | 16.6 | 1133 | 75 |
| 24 | "  | — | 8  | "    | ("   | 2.9   | 19.0 | 1752 | 134.8 | 2.8 | 16.3 | 1160 | 65 |
| 25 | "  | — | 9  | 天然林  |      | 1.0.2 | 20.7 | 2519 | 317.5 | 6.3 | 16.2 | 1846 | 35 |
| 26 | "  | — | 10 | カラマツ | (48) | 2.3   | 15.4 | 579  | 34.8  | 1.4 | 7.6  | 560  | 35 |
| 27 | "  | — | 11 | 天然林  |      | 4.7   | 10.2 | 1154 | 266.2 | 3.0 | 9.2  | 806  | 75 |
| 28 | "  | — | 12 | カラマツ | (48) | 3.8   | 10.3 | 1435 | 129.4 | 2.6 | 8.3  | 1196 | 55 |
| 29 | "  | — | 13 | 天然林  |      | 4.4   | 11.6 | 2502 | 210.6 | 3.4 | 9.9  | 2370 | 65 |
| 30 | "  | — | 14 | "    |      | 9.8   | 19.4 | 146  | 76.7  | 9.7 | 16.8 | 108  | 35 |
| 31 | "  | — | 15 | "    |      | 9.6   | 18.3 | 366  | 148.9 | 8.7 | 16.2 | 82   | 35 |
| 32 | "  | — | 16 | 再生林  |      | 9.7   | 16.7 | 939  | 230.0 | 9.4 | 15.7 | 417  | 45 |
| 33 | "  | — | 17 | 天然林  |      | 7.9   | 19.6 | 365  | 87.0  | 7.5 | 16.6 | 112  | 35 |
| 34 | "  | — | 18 | "    |      | 1.0.2 | 21.8 | 165  | 89.5  | 8.1 | 17.8 | 70   | 35 |
| 35 | "  | — | 19 | "    |      | 8.8   | 15.8 | 266  | 125.4 | 8.7 | 13.8 | 113  | 35 |
| 36 | "  | — | 20 | "    |      | 9.0   | 16.8 | 305  | 210.4 | 8.8 | 13.8 | 135  | 45 |
| 37 | 高尾 | — | 1  | 天然林  |      | 8.0   | 18.8 | 388  | 153.2 | 7.8 | 17.0 | 248  | 35 |
| 38 | "  | — | 2  | "    |      | 7.2   | 19.6 | 388  | 75.9  | 6.2 | 18.0 | 298  | 35 |
| 39 | "  | — | 3  | ヒノキ  | (54) | 4.2   | 21.8 | 641  | 90.7  | 2.7 | 18.3 | 627  | 75 |
| 40 | "  | — | 4  | "    | ("   | 3.9   | 22.3 | 857  | 94.5  | 2.7 | 19.9 | 734  | 75 |
| 41 | "  | — | 5  | スギ   | (62) | 4.6   | 23.1 | 695  | 100.6 | 3.5 | 20.5 | 610  | 75 |

(2) 写真判読結果の有意差検定

表6-1の写真判読値は前述のごとく日原地区10年前(1967年)、丹波山地区5年前(1972年)、高尾山国有林6年前(1971年)に撮影された経年空中写真である。したがってその間には林分の各要因は何れも生長、枯損、進階等の変化を伴っているものと思われる。しかしその度合は樹種や林齢、その他地形や各種の環境条件によってそれぞれに異なるであろう。そこで、樹種をスギ、ヒノキ、カラマツの人工林とその他天然林の2つのグループに分ち、空中写真の経年数はこみにして、実測データと写真判読値との間の有意差をt-検定により検定した。なお、二重抽出による帰帰推定の場合には一般に写真判読値をxにおき、対応する実測データをyとおくが、両者の差異の度合をチェックのためのt-検定の場合にはこれとは逆に実測データをx、判読値をyとおくことになる。これから $y = a + bx$ を計算し、aとbを求め、検定はまず①a-dの絶対値  $|a-d|$  において $d=0$ とおき、aが0と有意差があるか否か、すなわち原点を通る直線であるかどうかを

$$t = |a - 0| / \sqrt{V(a)}$$

により、また②  $b - \beta$  の絶対値  $|b - \beta|$  において  $\beta = 1$  とおきbが1(45度に対応)と有意差があるかどうかを

$$t = |b - 1| / \sqrt{V(b)}$$

により、それぞれ自由度DF = n - 2におけるtの値によって検定を行なった。なお、②、③におけるV(a), V(b)はそれぞれ

$$V(a) = s_{y \cdot x}^2 \Sigma x^2 / n \Sigma (x - \bar{x})^2$$

$$V(b) = s_{y \cdot x}^2 / \Sigma (x - \bar{x})^2$$

ただし

$$s_{y \cdot x}^2 = \frac{1}{n-2} \left\{ \Sigma (y^2) - \frac{1}{n} (\Sigma y)^2 \right\} - b \left\{ \Sigma (xy) - \frac{1}{n} (\Sigma x)(\Sigma y) \right\} \\ = SSR / n - 2$$

により計算した。表6-2は以上の方法によって行なった検定結果を一覧表に示したものである。

表6-2 写真判読値のt-検定結果一覧

| 検定要因                              | 人工林 (n = 27)     |                  | 天然林 (n = 14)     |                  |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                   | 検定 ①             | 検定 ②             | 検定 ①             | 検定 ②             |
| CD <sub>M</sub> : CD <sub>p</sub> | 3.997**          | 7.679**          | not sig<br>1.366 | not sig<br>2.127 |
| H <sub>M</sub> : H <sub>p</sub>   | 3.228**          | not sig<br>0.795 | not sig<br>0.744 | *<br>2.512       |
| N <sub>M</sub> : N <sub>p</sub>   | 9.460**          | 6.520**          | *<br>2.228       | *<br>2.637       |
| CC <sub>M</sub> : CC <sub>p</sub> | not sig<br>0.651 | *<br>2.248       | not sig<br>0.389 | **<br>3.500      |
| N <sub>M</sub> : CC <sub>p</sub>  | **<br>13.534     | **<br>536.781    | **<br>9.806      | **<br>210.328    |

(注)\*\*は  $t_{.01}$ , \*は  $t_{.05}$  で有意差ありを示す。ただしDF = n - 2

(3) 実測データと写真判読値の回帰式の計算

t-検定の結果は人工林のHの検定(b), CCの検定(a), 天然林のCDの検定(a), (b), Hの検定(a), CCの検定(a)を除き、他はすべて有意差を示した。すなわち、経年空中写真はそのままでは適用できないことを検定結果は示している。ただし天然林のCDはこの程度の経年ではさほどの変化は認められないのであろう。したがって、これを現在林分に適用する場合は写真判読値に対し何らかの修正を行なう必要がある。ここで、もし両者の間、つまり実測データと写真判読値の間に一定の傾向があれば修正を行なうことなく回帰式による推定が可能となる。そこで各判読要因に対する実測データをyとおき、対応する空中写真判読値をxとして、それぞれについて回帰計算を試みた結果は何れの場合も1次による回帰式が成立し、表6-3に示すとおり高い相関係数rがえられた。したがって、とくに修正係数の計算等による修正は行なうことなく、必要とする測定(推定)要因は写真判読値からの回帰によって現在林分への転換を図る方法をとることとした。これによって、本例の場合はいかなる経年空中写真を用いても現在林分への転換による測定要因の推定が可能となり、また回帰による推定法の適用により修正係数等の複雑な手数が省かれることになる。

表6-3 実測データと写真判読値の回帰式

| 推定要因 | 樹種  | 回帰式                              | r    |
|------|-----|----------------------------------|------|
| CD   | 人工林 | $CD_M = -.7289 + 1.5178CD_p$     | .900 |
|      | 天然林 | $CD_M = 2.4574 + .8585CD_p$      | .744 |
| H    | 人工林 | $H_M = 3.3500 + .9711H_p$        | .965 |
|      | 天然林 | $H_M = .4456 + 1.1181H_p$        | .956 |
| N    | 人工林 | $N_M = -52.1256 + 1.2897N_p$     | .951 |
|      | 天然林 | $N_M = 165.4386 + 1.1103N_p$     | .979 |
| CC   | 人工林 | $CC_M = 18.9808 + .9562CC_p$     | .842 |
|      | 天然林 | $CC_M = 27.5325 + 1.5675CC_p$    | .753 |
| N    | 人工林 | $N_M = -1467.9520 + 50.1529CC_p$ | .559 |
|      | 天然林 | $N_M = -753.3733 + 29.8377CC_p$  | .618 |

(4) この項に対する考察

現地実測データと対応する空中写真判読値に対する上記のt-検定ならびに回帰式の計算は、ここでは何れも上層木のみを対象としてこれを行なった。しかし実際の現地調査では胸高直径6cm以上の立木はすべて計測されている。空中写真での判読測定は空中写真上可視木、つまり上層木のみしか判読されないため、中層木や下層木等、空中写真で可視されないものについては一応ここではネグレクトした。しかし材積や全本数等の林分構成要因を必要とする場合にはこれらの中層木および下層木についても当然計測(推定)の対象とされなければならない。その場合は、たとえば上層木の判読測定値の中に中・下層木その他判読不可能の要因を包含させて推定するという方法がとられることになる。また、回帰式の中でCCp, すなわち樹冠疎密度と本数N<sub>M</sub>の場合の相関が若干劣

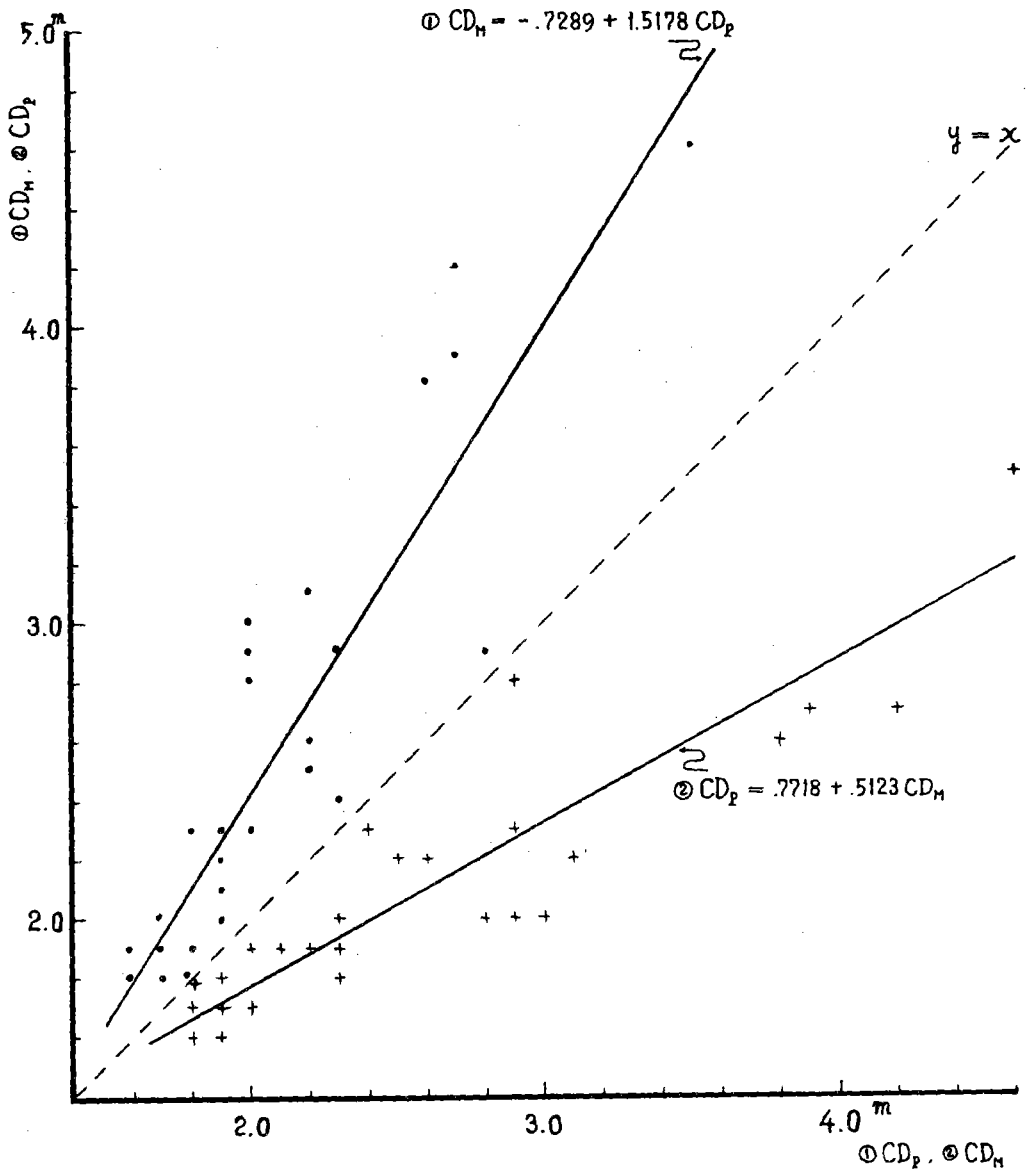


図6-1  $CD_M$  と  $CD_P$  の回帰グラフ

- ① 回帰推定のための回帰グラフ ( $x$ : 判読値  $CD_P$ ,  $y$ : 実測値  $CD_M$ )
- ②  $t$ -検定のための回帰グラフ ( $x$ : 実測値  $CD_M$ ,  $y$ : 判読値  $CD_P$ )



っている。しかしこれは写真判読本数 $N_p$ と実測本数 $N_M$ の関係式の相関が高いので、これによって本数の推定は十分に可能であると考ええる。なお、写真判読は傾斜度についても実施したが、その結果は現地調査値ときわめてよく対応した。図6-1は以上の検定ならびに推定の各要因のうち、人工林における実測樹冠直径 $CD_M$ と写真判読樹冠直径 $CD_p$ の関係を①回帰推定のための回帰グラフ、② $t$ -検定のための回帰グラフ、として同一図上に示したものである。

以上に示した結果から、いかなる経年空中写真の場合も上述の検定と計算方法により現在林分への適用が可能といえるが、林相の変化の修正については別途サンプリングにより行なうことが必要であろう。

## 6.2 空中写真による林分構造の推定

森林の水土保持機能を推定するためには、そこに成立し構成する森林の状態、つまり林分構造を把握することがきわめて重要な基礎要因となる。しかし森林は一般に広大な面積とあわせ、複雑多岐な地形、多種多様な樹種や林齢、疎密度、蓄積度等よりなり、加えて近年とみにその傾向を強めつつある山林労務事情の窮迫化のため、適切かつ迅速な森林調査——林分構造の計測はきわめて困難な状態となってきている。このためこの種の調査に対し空中写真を利用することは現状では調査コストと精度の両面から、また効率の面からも必要不可欠な手法となったといえる。したがって、本項では空中写真の利用による林分構造の推定法について、前項6-1と同じく1977年8月に現地調査を実施した中の日原、丹波山の両管理分区に対する計算と分析検討の実例にもとづき要約して説明を試みたい。

### (1) 現地調査データ

現地調査は樹種、林齢、および地形の組合せによるライン調査法によった。ライン調査とは代表的な地形の広がりに応ずる長さのラインを傾斜方向に設定し、その両サイドを断面積定数 $k$ でカウントされた林木について調査するものである。これにより林木構成因子として胸高直径 $D$ 、樹高 $H$ 、本数 $N$ 、樹冠直径 $CD$ 、樹冠長 $Cl$ 等の調査項目が計測された。なお、同調査はこれと併行して水土保持機能の計量因子として1mの深さまでの粗孔隙量、主要樹種の植被率、 $A_0$ 層の落葉落枝腐植重量等も計測されたが、ここでは林分構造の推定を目的としたためそれらは用いていない。その結果、日原、丹波山両分区における林木構成因子としてのデータは、スギ人工林10、ヒノキ人工林10、スギ・ヒノキ混交林2、カラマツ2、天然林12、計36ライン(比較対照のためとられた高尾山国有林の5ラインは除外)を対象とした。

### (2) 空中写真の判読

空中写真の判読は、調査対象地域をカバーする、A日原地区：1967年10月東京都撮影、山-470(タマガワ)の2コース13枚、およびB丹波山地区：1972年5月山梨県撮影、山-625(第2エンザン)の2コース6枚、計19枚(何れも普通角、2.5倍引伸写真)を使用した。

そして現地調査の折り写真上に刺針された現地調査地点(調査ライン)に対し、樹冠直径 $CD_p$ 、上層木樹高 $H_p$ 、樹冠疎密度 $CC_p$ 、ha 当り本数 $N_p$ 、ならびに傾斜度 $\alpha_p$ の各判読因子について空中写真上で判読測定を行なった。表6-4は日原16、丹波山20、計36の各調査ラインにおける以上の写真判読結果を樹種別に並べて一覧表に示したものである。

表6-4 写真判読結果一覧

| №  | Line       | 樹種(林齢)     | $CD_p$ | $H_p$ | $CC_p$ | $N_p$ | $\alpha_p$ |
|----|------------|------------|--------|-------|--------|-------|------------|
|    | №          |            | m      | m     | %      |       | 度          |
| 1  | 日原11-は-1   | スギ(20)     | 1.8    | 6.4   | 65     | 2759  | 30~        |
| 2  | " 36-と-1   | "(21)      | 2.0    | 9.6   | 75     | 2049  | 30~        |
| 3  | " 36-を-4   | "(24)      | 1.9    | 9.7   | 55     | 1479  | 30~        |
| 4  | " 36-を-3   | "( )       | 1.7    | 13.1  | 65     | 2366  | 30~        |
| 5  | " 16-を-3   | "(26)      | 1.8    | 11.1  | 75     | 2088  | 10~20      |
| 6  | " 16-を-2   | "( )       | 2.2    | 9.4   | 65     | 1567  | 30~        |
| 7  | " 16-を-1   | "( )       | 2.0    | 11.4  | 55     | 1195  | 30~        |
| 8  | 丹波山 2-に-1  | "(30)      | 2.0    | 14.1  | 85     | 1903  | 30~        |
| 9  | " 2-な-1    | "( )       | 2.0    | 14.7  | 65     | 1109  | 30~        |
| 10 | " 2-ろ-1    | "(32)      | 2.0    | 16.4  | 65     | 1213  | 30~        |
| 11 | 日原 11-に-4  | ヒノキ(20)    | 1.6    | 4.6   | 85     | 2630  | 30~        |
| 12 | " 11-に-3   | "( )       | 1.8    | 3.0   | 85     | 2997  | 30~        |
| 13 | " 11-に-1   | "( )       | 1.6    | 3.0   | 75     | 3377  | 30         |
| 14 | " 11-に-2   | "( )       | 1.7    | 3.6   | 75     | 3029  | 30~        |
| 15 | " 16-そ-2   | "(21)      | 1.6    | 5.3   | 85     | 2875  | 30~        |
| 16 | " 16-そ-1   | "( )       | 1.5    | 6.8   | 85     | 2259  | 20~30      |
| 17 | " 36-と-2   | "( )       | 2.2    | 6.4   | 75     | 2290  | 30~        |
| 18 | 丹波山 2-れ-2  | "(63)      | 2.3    | 16.6  | 75     | 1133  | 30~        |
| 19 | " 2-れ-3    | "( )       | 2.8    | 16.3  | 65     | 1160  | 30~        |
| 20 | " 2-れ-1    | "( )       | 2.2    | 15.7  | 65     | 1318  | 30~        |
| 21 | 日原 36-を-1  | スギ・ヒノキ(24) | 1.7    | 6.8   | 75     | 2351  | 30~        |
| 22 | " 36-を-2   | カラマツ( )    | 1.9    | 9.9   | 65     | 1800  | 30~        |
| 23 | 丹波山 18 - 2 | "(48)      | 1.4    | 7.6   | 35     | 560   | 30~        |
| 24 | " 19 - 2   | "( )       | 2.6    | 8.3   | 55     | 1196  | 30~        |
| 25 | " 19-秩-3   | 天然林        | 3.86   | 11.28 | 65     | 2370  | 20~30      |

|    |               |       |      |       |    |      |       |
|----|---------------|-------|------|-------|----|------|-------|
| 26 | 丹波山 22・23 - 1 | 天 然 林 | 5.58 | 11.75 | 45 | 66   | 30~   |
| 27 | " 22 - 3      | "     | 4.82 | 15.70 | 45 | 417  | 30~   |
| 28 | " 22-ⅴ - 2    | "     | 6.73 | 11.95 | 35 | 80   | 30~   |
| 29 | " 22 - 1      | "     | 6.80 | 13.40 | 35 | 108  | 30~   |
| 30 | " 18 - 1      | "     | 5.61 | 12.13 | 35 | 1846 | 20~30 |
| 31 | " 22 - 5      | "     | 6.04 | 17.80 | 35 | 70   | 30~   |
| 32 | " 22 - 2      | "     | 8.70 | 16.20 | 35 | 82   | 30~   |
| 33 | " 22 - 4      | "     | 5.66 | 16.60 | 35 | 112  | 30~   |
| 34 | " 19-秩-1      | "     | 6.54 | 12.42 | 75 | 806  | 30~   |
| 35 | " 20 - 2      | "     | 8.80 | 18.85 | 45 | 135  | 10~20 |
| 36 | " 20 - 1      | "     | 9.40 | 18.93 | 35 | 113  | 30~   |

### (3) 写真判読結果と現地調査データの関係解析

上記の現地調査データならびに写真判読結果にもとづき、樹種を(A)スギ人工林、(B)ヒノキ人工林、(C)天然林、の3つのグループに分ち(スギ・ヒノキ混交林およびカラマツ林はデータ数不足のため一応除外)、① $\bar{C}\bar{D}_p \rightarrow \bar{C}\bar{D} \rightarrow \bar{D}$ 、② $\bar{H}_p \rightarrow \bar{H}$ 、③ $N_p \rightarrow N$ 、の各関係について対応性の比較検討を行なった。その結果は下記のとおりとなった。

#### (A) スギ人工林

$$\begin{aligned} \text{① } \bar{C}\bar{D} &= -.3723 + 1.4321 \bar{C}\bar{D}_p & (r = .933) \\ \bar{D} &= .7253 + 6.6596 \bar{C}\bar{D} & (r = .982) \\ \text{② } \bar{H} &= 5.2142 + .8305 \bar{H}_p & (r = .972) \\ \text{③ } N &= 98.6438 + 1.2100 N_p & (r = .913) \end{aligned}$$

#### (B) ヒノキ人工林

$$\begin{aligned} \text{① } \bar{C}\bar{D} &= -.5113 + 1.4711 \bar{C}\bar{D}_p & (r = .848) \\ \bar{D} &= -2.8540 + 7.5022 \bar{C}\bar{D} & (r = .958) \\ \text{② } \bar{H} &= 2.2415 + 1.0260 \bar{H}_p & (r = .989) \\ \text{③ } N &= -131.6374 + 1.5698 N_p & (r = .894) \end{aligned}$$

#### (C) 天然林

$$\begin{aligned} \text{① } \bar{C}\bar{D} &= -3.1839 + 1.1381 \bar{C}\bar{D}_p & (r = .889) \\ \bar{D} &= 2.8705 + 3.4983 \bar{C}\bar{D} & (r = .771) \\ \text{② } \bar{H} &= -2.4115 + .8356 \bar{H}_p & (r = .830) \\ \text{③ } N &= 708.7920 + 2.1428 N_p & (r = .839) \end{aligned}$$

すなわち、各関係式は何れの場合も高い相関係数  $r$  が得られ、実測データと写真判読値との1次回帰により、写真判読値から現地林分の情報がきわめてよく推定されることが確められた。

なお、①の  $\overline{CD}_P \rightarrow \overline{CD} \rightarrow \overline{D}$  はこれを直接対応させた場合、つまり  $\overline{CD}_P \rightarrow \overline{D}$  によるときも

(A) スギ人工林

$$\overline{D} = -1.9863 + 9.6489 \overline{CD}_P \quad (r = .927)$$

(B) ヒノキ人工林

$$\overline{D} = -8.6586 + 11.9928 \overline{CD}_P \quad (r = .882)$$

(C) 天然林

$$\overline{D} = -11.7419 + 4.5176 \overline{CD}_P \quad (r = .777)$$

となり、高い相関をうることができた。

また、現地調査データより、④平均直径  $\overline{D}$  から断面積平均直径  $\overline{D}_b$ ，⑤  $\overline{D}_b$  から ha 当り断面積  $B$  を求め、これに平均樹高  $\overline{H}$  を乗じることにより ha 当り材積  $V$ 、の各推定を行なった結果もきわめて高い相関がえられた。

以上の結果から、 $\overline{H}_p$ 、 $\overline{CD}_p$ 、 $N_p$  等の主要判読因子の空中写真による判読測定により、ha 当り本数  $N$ 、平均胸高直径  $\overline{D}$ 、ha 当り材積  $V$  の林分構成要因の解析(推定)が可能であることが確められた。

#### (4) 現地調査データによる林分構造の解析

以上による林分構造の解析は空中写真による、いわゆる従来の一般的な手法といえる。そこで、ここで空中写真にワイブル分布を応用して直径階別本数、平均樹高、ha 当り材積等の林分構造を解析する方法について以下に説明を試みたい。

解析に先立ち、現地調査データおよび写真判読値の両者の解析に共通して必要な胸高直径  $D$  と樹高  $H$  の関係式

$$\log (H - 1.2) = a + b \log D$$

を各樹種について求める。次いで写真判読によりえられた平均胸高直径を基準にしてクラス分けし林分構成要因のクラス毎に相加平均した値を各関係式に用いるので、現地調査データもこれに対応させて  $\sim 15$ 、 $15 \sim 20$ 、 $20 \sim 25$ 、……と 5 cm 刻みにクラス分けし、各クラス毎に平均胸高直径  $\overline{D}$ 、平均樹高  $\overline{H}$ 、ha 当り材積  $V$ 、断面積平均木直径  $\overline{D}_b$ 、直径の変動係数  $\overline{CV}_D$ 、最小直径限界  $D_m$  を計算する。以上の結果にもとづきワイブル分布

$$f(x) = 2 (c/b) (x/b)^{c-1} \exp \{ -(x/b)^c \}$$

により、各クラス毎の直径階別本数  $N_i$  は  $f(x)N$  によって求められる(ただし  $N$  は ha 当り本数、 $x_i = d_i - D_m$ 、 $c$  は定数)。また各直径階  $d_i$  に対応する樹高  $h_i$  を上記の  $D$  と  $H$  の関係式により各樹種について求め、さらに対応する材積  $v_i$  を材積表から求めることにより、平均樹高  $\overline{H}_w$  および ha 当り材積  $V_w$  はそれぞれ

$$\begin{aligned}\bar{H}_w &= \sum f(x_i) \cdot h_i \\ V_w &= \sum N_i \cdot v_i\end{aligned}$$

により計算される。

以上の計算方式によって試みた本例での計算結果は現地調査データときわめてよく適合した。したがってワイブル分布の応用による現地調査データからの林分構造の解析が可能であることが立証された。

#### (5) 写真判読による林分構造の解析

ワイブル分布によって林分構造の解析を行なう場合は、平均胸高直径 $\bar{D}$ 、直径の変動係数 $\bar{CV}_p$ 、最小直径限界 $D_m$ 、ha 当り本数 $N$ を求める必要がある。写真判読により平均胸高直径 $D_R$ とha 当り本数 $N_R$ を求める場合は前記(3)における①と②の各回帰式を適用することができる。また写真判読による直径の変動係数 $CV_{D_R}$ は各クラス毎の $\bar{D}$ とその変動係数 $\bar{CV}_D$ を対応させた $\log \bar{CV}_D = a + b \log \bar{D}$ に上記の $D_R$ を代入して求めうる。さらに写真判読による最小直径限界 $D_{mR}$ は現地調査データにおける平均胸高直径 $\bar{D}$ とその最小直径限界 $D_m$ の関係式 $D_m = a + b \bar{D}$ に、同じく上記の $D_R$ を代入して求められる。

このようにして導かれた本例の場合の各関係式は、スギ人工林、ヒノキ人工林ならびに天然林の何れの樹種の場合もきわめて高い相関が認められた。したがって、以上の方法にもとづいて、樹種別ならびにクラス毎の直径階別本数、平均樹高、ha 当り材積等の林分構造の解析を日原、丹波山の両調査対象地域に対して試みた結果は表6-5に示すとおりである。同表から、写真判読にもとづく解析結果と現地調査データによる結果とはきわめてよく対応しており、その適合性と共に実用性が認められたといえる。さらに平均樹高とha 当り材積について実測データと写真判読値の関係式 $y = a + b x$ の $a$ 、 $b$ の値が $a = 0$ 、 $b = 1$ と有意差があるかどうかを検定の結果は、平均樹高の場合スギ人工林を除いて、またha 当り材積では天然林を除いて、何れも5%レベルで有意の差が認められなかった。なお、スギ人工林の平均樹高の解析値と天然林のha 当り材積の解析値はそれぞれの相関がきわめて高いので、それらの式によって修正できると考えられる。

表6-5 現地調査データによる解析結果と写真判読による解析結果一覧

| 樹種     | クラス   | 現地調査データによる解析値 |       |             |       |           |       | 写真判読による解析値  |       |       |          |       |       |  |
|--------|-------|---------------|-------|-------------|-------|-----------|-------|-------------|-------|-------|----------|-------|-------|--|
|        |       | $\bar{D}$     | N     | $\bar{CVD}$ | $D_m$ | $\bar{H}$ | V     | $\bar{D}_R$ | NR    | CVDR  | $D_{mR}$ | $H_w$ | $V_w$ |  |
| スギ人工林  | cm    |               |       |             |       |           |       |             |       |       |          |       |       |  |
|        | ~15   | 1.44          | 2577  | .2548       | 9.0   | 1.34      | 337.2 | 1.44        | 2968  | .2611 | 9.0      | 1.34  | 360.0 |  |
|        | 15~20 | 1.72          | 2031  | .2481       | 1.10  | 1.54      | 414.4 | 1.72        | 2080  | .2452 | 1.10     | 1.51  | 405.3 |  |
|        | 20~25 | 2.06          | 1570  | .2349       | 1.30  | 1.88      | 544.8 | 2.25        | 1253  | .2234 | 1.50     | 1.79  | 473.1 |  |
| 25~30  | 2.83  | 1126          | .1962 | 1.90        | 2.14  | 789.6     | 2.81  | 1162        | .2065 | 1.90  | 2.04     | 755.3 |       |  |
| ヒノキ人工林 | cm    |               |       |             |       |           |       |             |       |       |          |       |       |  |
|        | ~15   | 1.08          | 4068  | .2291       | 5.0   | 6.8       | 145.6 | 1.18        | 3904  | .2262 | 7.0      | 8.5   | 210.9 |  |
|        | 15~20 | 1.84          | 2174  | .2123       | 1.10  | 1.75      | 553.4 | 1.85        | 2039  | .2148 | 1.10     | 1.42  | 438.2 |  |
|        | 20~25 | 2.20          | 1619  | .2121       | 1.50  | 1.76      | 579.7 | 2.22        | 1759  | .2103 | 1.50     | 1.75  | 657.3 |  |
| 天然林    | cm    |               |       |             |       |           |       |             |       |       |          |       |       |  |
|        | ~15   | 1.14          | 2316  | .8632       | 5.0   | 8.1       | 302.1 | 1.13        | 2644  | .8421 | 5.0      | 7.6   | 296.9 |  |
|        | 15~20 | 1.67          | 1281  | .6502       | 7.0   | 1.07      | 286.9 | 1.76        | 1310  | .6315 | 7.0      | 1.00  | 282.7 |  |
|        | 20~25 | 2.33          | 981   | .4557       | 9.0   | 1.06      | 295.2 | 2.27        | 1004  | .5340 | 9.0      | 1.19  | 346.0 |  |
| 25~30  | 2.70  | 664           | .4585 | 9.0         | 1.49  | 363.5     | 2.66  | 932         | .4816 | 1.10  | 1.32     | 469.5 |       |  |

#### (6) この項に対する考察

森林計測への空中写真の利用は、従来は、たとえば蓄積推定にみられるように、おおまかな全体把握に主眼がおかれ、細部に対する推定は地上調査またはそれと結びつけた回帰関係による方法等に委ねられていた傾向にあった。そのため本例のような林分構造の解析も、個々の内容にまでは到達できないため、施業計画等への応用もきわめてマクロな形の指針をうるにとどまっていた。しかし本項において試みたように、ワイブル分布を応用することにより、クラス毎の胸高直径やその最小直径限界、直径階別本数等、細部にわたる林分構造の解析が可能となった。したがって、これによってえられた解析結果は、ひとり水土保全機能の推定に供されるのみでなく、間伐前や間伐後の直径階別本数の予測による林分の遷移の状態の把握や間伐の指針を与える等、広く施業計画全般に対し利用できることとなり、林業経営計画にきわめて重要なファクターを提供してくれることとなる。したがって、これにより空中写真の有するメリットはさらに高められるものと考えられる。

なお、この種の推定を実施する場合、現地調査では齢階ならびに直径階、とくにすべての直径階にわたるようなデータをとることが不可欠な条件と認められる。そのためには森林調査簿その他の既知のデータの整理とそれにもとづく空中写真の層化、ならびに推定対象樹種に対するデータ数の確保が図られなければならない。それらの点が十分に配慮されれば、これにもとづく解析(推定)精度はさらに向上するものと考えられる。

#### 6.3 空中写真による森林の水土保全機能の推定

森林の有する水土保全機能としては、水源涵養機能、洪水防止機能、表面浸蝕防止機能等の要因がある。そしてこれらの各機能の計量指数としては、水源涵養機能は地下1mの深さまでの土壌の全粗孔隙量が、洪水防止機能はA<sub>0</sub>層の落葉重量および腐植重量の合計値が、また表面浸蝕防止機能は主要樹種の被覆率がそれぞれ尺度として用いられる。しかし、それらの基本となるものは何れの場合もその森林を構成する林分構造や森林をとりまく環境条件および立地条件に大きく起因する。

林分構造の把握(解析)は現地調査データによるもののほか、前項6・2において明らかにしたように空中写真による推定方法が適用される。同様にして環境条件や立地条件等についても現地調査データおよび空中写真の利用によって把握(推定)されるであろう。

そこで、本項では1975年8月に現地調査を実施した萩原山、丹波山の2管理分区における28個のデータ(第1次調査)、ならびに1976年8月に現地調査を行なった小菅、氷川および丹波山(一部)の3管理分区・37個のデータ(第2次調査)にもとづき、各主要林分因子と森林の水土保全機能との対応関係の検討を行ない、それにもとづいて各計量因子に対する推定式(回帰式)の計算を試みることにする。なお、ここに用いた主要林分因子は第1次、第2次調査データとも、前項6.2のワイブル分布の応用による方法とは無関係に、それぞれ現地調査データと空中写真の判読測定値により独立に計算されたものである。

表6-6 第1次調査データ一覧

| No | 樹種                  | 主要林因子                 |      |                      |          |                  |                 | 水土保全機能指数計量因子  |          |                         |         |
|----|---------------------|-----------------------|------|----------------------|----------|------------------|-----------------|---------------|----------|-------------------------|---------|
|    |                     | ha 当り                 |      | 平均                   |          | 上層木<br>平均樹高<br>m | 上方<br>うっ閉率<br>% | 粗孔隙量<br>KL/ha | 植被率<br>% | 落葉落枝<br>腐植重量<br>合計<br>g |         |
|    |                     | 断面積<br>m <sup>2</sup> | 本数   | 材積<br>m <sup>3</sup> | 直径<br>cm |                  |                 |               |          |                         | 樹高<br>m |
|    |                     |                       |      |                      |          | 積                | 材積              | 材積            |          |                         |         |
| 1  | スギ・ヒノキ              | 59.2                  | 1712 | 568.5                | 20.1     | 17.4             | 24.0            | 84            | 3004     | 51.9                    | 2987    |
| 2  | 〃                   | 48.0                  | 1272 | 404.7                | 21.4     | 16.0             | 21.0            | 81            | 2782     | 47.7                    | 1300    |
| 3  | カラマツ・ヒノキ            | 40.0                  | 1346 | 337.5                | 13.4     | 13.8             | 26.0            | 75            | 2687     | 65.3                    | 5333    |
| 4  | 〃                   | 28.0                  | 1425 | 209.0                | 15.1     | 10.1             | 20.0            | 73            | 3269     | 50.7                    | 2523    |
| 5  | 〃                   | 36.0                  | 1559 | 267.8                | 16.1     | 12.1             | 20.0            | 82            | 3037     | 13.9                    | 2653    |
| 6  | 〃                   | 28.0                  | 490  | 206.1                | 29.1     | 18.6             | 23.0            | 78            | 2863     | 45.7                    | 3427    |
| 7  | カラマツ・モミ・コメツガ<br>混交林 | 41.5                  | 2148 | 236.6                | 15.4     | 10.5             | 19.0            | 85            | 2884     | 46.5                    | 3707    |
| 8  | モミ・コメツガ<br>混交林      | 33.3                  | 963  | 229.2                | 19.6     | 10.1             | 18.0            | 68            | 2894     | 99.3                    | 8816    |
| 9  | モミ・コメツガ・トウヒ<br>混交林  | 49.0                  | 835  | 366.6                | 26.9     | 14.1             | 19.0            | 87            | 2826     | 48.3                    | 3887    |
| 10 | モミ・落葉広葉樹林           | 27.0                  | 776  | 217.5                | 21.8     | 14.0             | 23.0            | 73            | 2469     | 84.5                    | 2767    |
| 11 | カラマツ・モミ混交林          | 25.0                  | 538  | 226.9                | 24.0     | 17.7             | 23.0            | 65            | 2648     | 95.5                    | 5710    |
| 12 | スギ                  | 64.0                  | 922  | 735.4                | 29.6     | 23.2             | 28.0            | 83            | 2846     | 66.5                    | 3571    |



|    |          |   |   |      |      |        |      |      |      |    |      |      |      |
|----|----------|---|---|------|------|--------|------|------|------|----|------|------|------|
| 13 | ヒ        | ノ | キ | 48.0 | 1359 | 432.5  | 20.9 | 17.9 | 20.0 | 86 | 2699 | 40.3 | 2637 |
| 14 |          | " |   | 64.0 | 1370 | 566.8  | 24.4 | 18.0 | 20.0 | 92 | 2871 | 47.5 | 1797 |
| 15 |          | " |   | 80.0 | 1907 | 682.2  | 22.3 | 16.4 | 20.0 | 87 | 3378 | 16.3 | 700  |
| 16 |          | " |   | 84.0 | 1724 | 779.4  | 24.6 | 18.9 | 21.0 | 88 | 2453 | 23.9 | 1790 |
| 17 | ス        |   | ギ | 56.0 | 1326 | 481.2  | 22.6 | 16.8 | 20.0 | 82 | 2640 | 59.0 | 4813 |
| 18 |          | " |   | 86.0 | 1596 | 1104.0 | 25.1 | 22.1 | 29.0 | 80 | 3552 | 12.6 | 2780 |
| 19 |          | " |   | 86.0 | 2095 | 1033.4 | 21.9 | 21.0 | 29.0 | 83 | 3056 | 23.7 | 1093 |
| 20 | ヒ        | ノ | キ | 54.0 | 1372 | 416.8  | 22.1 | 15.2 | 18.0 | 90 | 3151 | 6.4  | 626  |
| 21 | ス        |   | ギ | 70.0 | 1799 | 735.0  | 21.3 | 18.6 | 26.0 | 78 | 2952 | 56.6 | 1287 |
| 22 |          | " |   | 54.0 | 1639 | 546.0  | 19.7 | 18.3 | 26.0 | 84 | 2949 | 22.2 | 707  |
| 23 | ヒ        | ノ | キ | 50.0 | 1850 | 358.6  | 18.4 | 14.2 | 18.0 | 85 | 2773 | 52.0 | 958  |
| 24 | カラマツ・ヒノキ |   |   | 64.0 | 2689 | 476.4  | 17.1 | 13.5 | 20.0 | 90 | 2823 | 29.4 | 3050 |
| 25 |          | " |   | 50.0 | 1626 | 444.0  | 19.4 | 16.8 | 24.0 | 85 | 3392 | 33.3 | 2387 |
| 26 |          | " |   | 48.0 | 1592 | 403.6  | 19.0 | 15.6 | 24.0 | 81 | 3239 | 33.9 | 2280 |
| 27 | 落葉広葉樹林   |   |   | 34.0 | 1256 | 263.0  | 20.8 | 12.0 | 27.0 | 88 | 3216 | 41.0 | 1593 |
| 28 |          | " |   | 24.0 | 831  | 219.1  | 20.9 | 14.1 | 27.0 | 83 | 2923 | 32.9 | 1274 |

1) 第1次調査データによる場合

(1) 現地調査資料

1975年8月に実施した第1次調査(萩原山、丹波山の2管理分区)における28個のデータの明細は表6-6に示すとおりである。

(2) 空中写真の判読

表6-6の現地調査地点28個はこれを2.5倍引伸空中写真に指針し、上層木平均樹高  $H_{max}$ 、樹冠直径CD、樹冠疎密度CC、ha 当り本数  $N_p$ 、および傾斜度  $\alpha$  等の主要判読因子に対して写真上で判読測定を行なった。この場合、樹冠疎密度CCは10%刻みとし、また傾斜度  $\alpha$  については5度、10度、15度、...30度および30度以上の7区分とした。なお、使用した空中写真は1972年5月、山梨県により撮影された、ミツミネ、山-625(第2エンザン)、普通角写真、撮影高度5400m、撮影計画縮尺1:20000で、全域は116枚でカバーされているが、判読測定に用いたものはその中の17枚である。ちなみに、同空中写真の標高  $H_G$  と写真縮尺  $S$  の関係は

$$S = 10618.1183 - 1.8146 H_G$$

となり、その相関係数  $r = -0.968$  である。表6-7は上記による写真判読の結果を一覧表に示したものである。

表6-7 写真判読結果一覧

| No. | $H_{max}$ | CD  | CC | $N_p$ | $\alpha$ | No. | $H_{max}$ | CD  | CC | $N_p$ | $\alpha$ |
|-----|-----------|-----|----|-------|----------|-----|-----------|-----|----|-------|----------|
|     | m         | m   | %  | 本     | 度        |     | m         | m   | %  | 本     | 度        |
| 1   | 24.4      | 4.3 | 65 | 1225  | 30       | 15  | 20.7      | 4.4 | 95 | 1425  | 20       |
| 2   | 22.2      | 4.7 | 65 | 1075  | 30       | 16  | 20.7      | 4.9 | 75 | 1250  | 35       |
| 3   | 29.5      | 5.8 | 55 | 420   | 20       | 17  | 23.1      | 4.3 | 55 | 1025  | 35       |
| 4   | 25.4      | 4.6 | 75 | 520   | 15       | 18  | 27.1      | 4.8 | 55 | 1025  | 20       |
| 5   | 25.4      | 5.5 | 75 | 520   | 20       | 19  | 27.8      | 4.1 | 85 | 1300  | 30       |
| 6   | 23.0      | 6.7 | 65 | 475   | 5        | 20  | 19.9      | 3.8 | 75 | 1125  | 30       |
| 7   | 22.1      | 5.0 | 75 | 620   | 10       | 21  | 30.6      | 4.6 | 75 | 1200  | 30       |
| 8   | 25.0      | 5.5 | 55 | 340   | 25       | 22  | 30.6      | 3.7 | 65 | 1100  | 30       |
| 9   | 25.5      | 6.9 | 65 | 230   | 15       | 23  | 22.4      | 3.7 | 85 | 1175  | 30       |
| 10  | 25.5      | 5.3 | 35 | 160   | 20       | 24  | 21.3      | 5.3 | 85 | 850   | 15       |
| 11  | 25.6      | 6.2 | 55 | 240   | 30       | 25  | 28.7      | 5.8 | 75 | 430   | 25       |
| 12  | 29.5      | 5.4 | 65 | 900   | 30       | 26  | 28.7      | 5.3 | 65 | 390   | 20       |
| 13  | 19.6      | 4.0 | 65 | 1100  | 30       | 27  | 30.5      | 6.5 | 65 | 270   | 25       |
| 14  | 20.7      | 4.1 | 75 | 1075  | 25       | 28  | 32.5      | 7.1 | 65 | 250   | 25       |

### (3) 現地調査データと写真判読値の関係

表6-7の写真判読結果は、まずこれを上層木平均樹高H、平均胸高直径D、およびha 当り本数N、の各現地調査データと対応させてその相関関係の解析を次のとおり試みた。なお、解析に際しては写真判読上の関係から、①スギ、ヒノキ人工林と、②カラマツ・ヒノキ混交二段林、の2つのグループに分けてこれを行なった。

#### (A) HとH<sub>max</sub> の関係

$$\textcircled{1} H = 2.281 + .849 H_{\max} \quad (r = .862)$$

$$\textcircled{2} H = 2.553 + .753 H_{\max} \quad (r = .801)$$

#### (B) DとCD の関係

$$\textcircled{1} D = 3.823 + 4.284 CD \quad (r = .770)$$

$$\textcircled{2} D = -4.197 + 4.201 CD \quad (r = .763)$$

#### (C) NとN<sub>p</sub> の関係

$$\textcircled{1} N = -72.2014 + 2.003 N_p \quad (r = .849)$$

$$\textcircled{2} N = 153.306 + 2.787 N_p \quad (r = .828)$$

#### (D) NとCC の関係

$$\textcircled{1} N = 385.714 + 16.543 CC \quad (r = .661)$$

$$\textcircled{2} N = -988.442 + 35.458 CC \quad (r = .726)$$

### (4) 写真判読因子と水土保持機能の関係

現地調査データと写真判読値による相関関係の解析結果はきわめて高い相関係数rの値によりその対応性が認められた。したがって森林の水土保持機能をあらわす計量因子との結びつけは、この写真判読主要因子によって以下のとおり行なった。

すなわち、水土保持機能をあらわす計量指数(因子)として、1mの深さまでの全粗孔隙量Y<sub>1</sub>、主要樹種の植被率Y<sub>2</sub>、落葉落枝腐植重量合計Y<sub>3</sub>を、また写真判読主要因子としてH<sub>max</sub>、CD、CC、N<sub>p</sub>をそれぞれ用いた。そして重回帰分析により、Y<sub>1</sub>に関与する因子つまり有意に作用する因子を残し、関与しない因子は落していき、最後に有意に作用する因子だけを残した。これにより水土保持機能の推定を行なうための有効な回帰式がえられることになる。

以上の方法によって行なった計算結果は下記に示すとおりである。なお、はじめY<sub>1</sub>と写真判読因子との対応度をみるためデータを個々にグラフ上にプロットし、明らかに対応性が認められない因子についてはこれをはじめから除外した。また計算は前記(3)と同じように①スギ、ヒノキ人工林、および②カラマツ・ヒノキ混交二段林に分けて行なった。

#### (A) 粗孔隙量Y<sub>1</sub>に関与する因子

$$\textcircled{1} Y_1 = 2009.0135 + 12.6354 CC \quad (R = .699)$$

$$\textcircled{2} Y_1 = 557.7523 + 16.9047 CC + 49.2086 H_{\max} \quad (R = .826)$$

表6-8 第2次調査データ一覧

| No. | 樹種  | 林齢 | 主要林分因子 |      |       |      |      |         | 水土保持機能指數計量因子 |      |      |                    |
|-----|-----|----|--------|------|-------|------|------|---------|--------------|------|------|--------------------|
|     |     |    | ha     |      | 平     |      | 均    | 上層木平均樹高 | 上方閉率         | 粗孔隙量 | 植被率  | 落葉落枝腐植重量合計         |
|     |     |    | 断面積    | 材積   | 直径    | 樹高   |      |         |              |      |      |                    |
|     |     |    |        |      |       |      | 本数   | 材積      | cm           | m    | %    | K <sub>v</sub> /ha |
| 1   | スギ  | 27 | 399    | 1433 | 344.1 | 17.9 | 17.3 | 19.7    | 63           | 4112 | 90.8 | 3957               |
| 2   | "   | 22 | 513    | 2365 | 451.2 | 16.1 | 16.1 | 20.0    | 84           | 4065 | 8.4  | 1353               |
| 3   | "   | 55 | 778    | 2136 | 869.7 | 20.1 | 19.2 | 22.6    | 83           | 4195 | 12.7 | 3326               |
| 4   | "   | "  | 670    | 1408 | 693.8 | 24.5 | 19.8 | 23.0    | 81           | 3200 | 24.4 | 4951               |
| 5   | "   | 60 | 634    | 836  | 666.6 | 30.6 | 21.1 | 24.4    | 83           | 4650 | 26.4 | 3614               |
| 6   | "   | "  | 834    | 1329 | 843.7 | 27.7 | 20.2 | 24.5    | 84           | 3960 | 4.1  | 3850               |
| 7   | ヒノキ | 65 | 673    | 1179 | 673.4 | 26.5 | 20.3 | 22.3    | 87           | 4183 | 50.2 | 1820               |
| 8   | "   | "  | 55.1   | 2060 | 430.7 | 17.5 | 13.8 | 18.5    | 86           | 4944 | 59.6 | 1666               |
| 9   | "   | "  | 63.8   | 2125 | 547.9 | 19.1 | 16.4 | 18.5    | 82           | 4430 | 60.1 | 1207               |
| 10  | "   | 43 | 53.5   | 2052 | 430.2 | 18.0 | 15.5 | 17.0    | 83           | 4210 | 55.0 | 1567               |
| 11  | "   | 56 | 66.4   | 1884 | 539.7 | 20.9 | 15.7 | 18.0    | 87           | 4210 | 58.7 | 1023               |
| 12  | "   | "  | 43.9   | 1762 | 339.9 | 17.6 | 14.8 | 17.5    | 86           | 4533 | 37.6 | 1760               |
| 13  | "   | 55 | 57.3   | 2303 | 505.7 | 17.3 | 16.8 | 19.0    | 85           | 3870 | 32.0 | 660                |
| 14  | "   | "  | 69.1   | 2382 | 651.8 | 18.9 | 18.1 | 20.0    | 88           | 2910 | 11.1 | 760                |
| 15  | "   | 60 | 66.5   | 1903 | 602.6 | 20.8 | 18.2 | 20.0    | 83           | 3985 | 58.4 | 1880               |
| 16  | "   | "  | 57.8   | 1885 | 508.7 | 19.6 | 17.1 | 19.0    | 82           | 5185 | 49.2 | 1360               |

|    |          |    |      |      |       |      |      |      |    |      |      |      |
|----|----------|----|------|------|-------|------|------|------|----|------|------|------|
| 17 | "        | "  | 66.9 | 1915 | 6190  | 20.7 | 18.1 | 20.0 | 82 | 4700 | 58.3 | 694  |
| 18 | "        | "  | 49.6 | 1169 | 431.1 | 22.8 | 17.6 | 19.0 | 82 | 5350 | 14.6 | 165  |
| 19 | "        | "  | 28.3 | 3071 | 117.5 | 10.7 | 7.5  | 10.0 | 84 | 4895 | 2.7  | 191  |
| 20 | "        | "  | 69.4 | 2155 | 763.6 | 19.9 | 21.1 | 23.5 | 82 | 4150 | 37.7 | 1706 |
| 21 | ヒノキ・カラマツ | 56 | 67.8 | 1566 | 567.8 | 21.7 | 13.5 | 24.5 | 92 | 3790 | 0    | 9797 |
| 22 | "        | 67 | 30.5 | 1693 | 159.5 | 14.8 | 9.6  | 15.0 | 51 | 4490 | 99.5 | 7360 |
| 23 | "        | 58 | 31.9 | 918  | 254.5 | 20.6 | 14.1 | 20.0 | 81 | 4585 | 56.3 | 4080 |
| 24 | "        | 72 | 57.9 | 1620 | 400.2 | 20.3 | 11.2 | 22.0 | 91 | 4790 | 2.9  | 5155 |
| 25 | "        | 60 | 36.3 | 1217 | 373.9 | 18.2 | 15.2 | 23.0 | 84 | 4100 | 32.6 | 3013 |
| 26 | "        | "  | 34.5 | 1302 | 278.2 | 17.3 | 14.9 | 20.0 | 85 | 4800 | 32.5 | 1940 |
| 27 | 天然林      | —  | 30.5 | 1060 | 264.9 | 14.0 | 12.1 | 20.2 | 83 | 4890 | 18.0 | 1461 |
| 28 | モミ・カラマツ  | 58 | 54.2 | 2123 | 370.8 | 17.3 | 12.1 | 19.0 | 88 | 3960 | 16.3 | 5964 |
| 29 | 天然林      | —  | 47.7 | 898  | 292.8 | 24.1 | 11.7 | 16.0 | 85 | 3700 | 75.2 | 5653 |
| 30 | "        | —  | 44.1 | 1088 | 288.6 | 19.6 | 9.2  | 18.0 | 79 | 2270 | 50.7 | 9733 |
| 31 | "        | —  | 45.8 | 2102 | 247.9 | 15.3 | 10.2 | 14.0 | 75 | 5430 | 60.8 | 5723 |
| 32 | "        | —  | 53.1 | 838  | 458.7 | 28.2 | 16.5 | 21.3 | 80 | 4775 | 19.4 | 4977 |
| 33 | "        | —  | 44.9 | 2107 | 264.2 | 13.7 | 8.2  | 18.0 | 83 | 5425 | 39.9 | 5987 |
| 34 | "        | —  | 49.6 | 892  | 288.9 | 24.5 | 10.4 | 18.0 | 83 | 4390 | 89.6 | 2795 |
| 35 | "        | —  | 47.9 | 1523 | 306.7 | 19.0 | 14.0 | 18.0 | 78 | 4375 | 97.9 | 3636 |
| 36 | "        | —  | 29.6 | 1199 | 168.1 | 16.4 | 11.3 | 15.0 | 88 | 4590 | 14.8 | 3007 |
| 37 | (シオジ)    | —  | 51.8 | 1532 | 470.9 | 18.4 | 13.5 | 22.0 | 87 | 5190 | 50.7 | 2560 |

(B) 植被率 $Y_2$  に関与する因子

①  $Y_2 = -5.31900 + 2.20815 CD$  (R = .562)

②  $Y_2 = 14.10826 - 1.3944 CC$  (R = .689)

(C) 落葉落枝腐植重量合計 $Y_3$  に関与する因子

①  $Y_3 = 7855.1418 - 8.25123 CC$  (R = .701)

② not sig.

(5) 以上の結果に対する考察

写真判読因子と水土保持機能の関係に対する以上の解析結果から、写真判読因子は $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ の各機能因子に対しては必ずしもすべてが有意には関与しなかった。すなわち、写真判読因子はCCまたはCDの1因子しか効いてなく、2因子が効いたのは $Y_1$ の②カラマツ・ヒノキ混交二段林だけである。なお全体では $Y_1$ が他の機能因子に比し精度がよい。またCCはすべての機能によく関与している。 $H_{max}$ は $Y_1$ のみにCCと共に作用したが、 $N_p$ はどのケースにも作用しなかった。 $Y_3$ の②はどの判読因子とも有意でなかった。ちなみに、各機能因子毎、人工林および混交林別に推定値 $\hat{Y}$ と実測値 $Y$ との対応性をグラフ上にチェックしてみた結果はおおむね良好であった。

2) 第2次調査データによる場合

(1) 現地調査資料

1976年8月に行なった第2次調査(小菅、氷川、および丹波山の一部、の3管理分区)における37個の現地調査データは表6-8に示すとおりである。なお、データはこの他に相対幹距、うっ閉度、仮想樹冠量、および地形要因としての傾斜度、標高等も計測されたが、ここでは直接には計算に関係がないので一応省いている。

(2) 空中写真の判読

表6-8における37個の現地調査データはこれを2.5倍引伸空中写真に刺針し、樹高 $H_p$ 、樹冠直径 $CD_p$ 、ha 当り本数 $N_p$ および傾斜度 $\alpha$ 等の主要判読要因について写真上で判読測定を行なった。ただし、37はソオジの純林で他の天然林とは異質の形態を呈するため以下の諸計算の対象からは除外した。したがって写真判読資料数は36個となる。なお、空中写真は第1次調査の場合と同じ1972年5月、山梨県により撮影された山-625を使用した。その枚数は全体をカバーする142枚中、調査対象地域の14枚で、この場合の標高 $H_G$ と写真縮尺 $S$ の関係は

$$S = 10680.3496 - 1.8680 H_G \quad (r = -.989)$$

であった。表6-9は以上による写真判読結果を一覧表に示したものである。

表6-9 写真判読結果一覧

| No. | H <sub>p</sub> | CD <sub>p</sub> | CC <sub>p</sub> | N <sub>p</sub> | α   | No. | H <sub>p</sub> | CD <sub>p</sub> | CC <sub>p</sub> | N <sub>p</sub> | α     |
|-----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|-----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|
|     | m              | m               | %               | 本              | 度   |     | m              | m               | %               | 本              | 度     |
| 1   | 17.0           | 2.94            | 65              | 1034           | 30~ | 19  | 10.1           | 1.43            | 85              | 1258           | 30~   |
| 2   | 16.1           | 2.54            | 75              | 1170           | 30~ | 20  | 17.2           | 3.02            | 75              | 929            | 30~   |
| 3   | 15.9           | 3.55            | 65              | 883            | 30~ | 21  | 15.5           | 3.99            | 65              | 814            | 30    |
| 4   | 15.6           | 4.39            | 65              | 749            | 30  | 22  | 11.5           | 3.45            | 55              | 920            | 30    |
| 5   | 17.4           | 4.98            | 55              | 702            | 30~ | 23  | 12.8           | 4.33            | 45              | 658            | 30    |
| 6   | 18.0           | 3.92            | 65              | 702            | 30~ | 24  | 12.8           | 3.99            | 75              | 980            | 30    |
| 7   | 18.5           | 3.94            | 65              | 875            | 30  | 25  | 14.5           | 4.01            | 55              | 681            | 30~   |
| 8   | 14.5           | 3.40            | 85              | 1042           | 30~ | 26  | 14.0           | 4.20            | 55              | 709            | 30~   |
| 9   | 16.7           | 2.69            | 75              | 1120           | 30~ | 27  | 13.3           | 5.26            | 45              | 348            | 30~   |
| 10  | 14.5           | 1.97            | 85              | 1210           | 30~ | 28  | 11.2           | 4.33            | 65              | 691            | 30    |
| 11  | 15.0           | 3.47            | 75              | 931            | 30~ | 29  | 10.6           | 5.56            | 55              | 430            | 30    |
| 12  | 14.5           | 2.91            | 75              | 835            | 30  | 30  | 10.4           | 5.00            | 45              | 400            | 30    |
| 13  | 17.0           | 3.11            | 65              | 910            | 30~ | 31  | 9.5            | 4.79            | 55              | 710            | 30~   |
| 14  | 15.5           | 3.74            | 65              | 936            | 30  | 32  | 16.7           | 6.02            | 45              | 238            | 30~   |
| 15  | 17.7           | 3.31            | 55              | 950            | 30~ | 33  | 12.6           | 4.58            | 65              | 674            | 30~   |
| 16  | 17.5           | 3.83            | 65              | 983            | 30~ | 34  | 10.8           | 6.10            | 25              | 307            | 30    |
| 17  | 17.8           | 3.98            | 55              | 1028           | 30~ | 35  | 13.5           | 5.20            | 35              | 423            | 20~30 |
| 18  | 16.5           | 4.23            | 45              | 889            | 30~ | 36  | 10.4           | 4.64            | 45              | 287            | ~5    |

(3) 現地調査データと写真判読値の関係

現地調査データ(表6-8)と写真判読値(表6-9)の対応関係の解析は、樹種を①スギ、ヒノキ人工林、②ヒノキ・カラマツ混交林、③天然林、の3つに分ち、それぞれについて、(A<sub>1</sub>) H<sub>p</sub> (写真判読樹高)→H<sub>t</sub> (現地調査上層木平均樹高)、および(A<sub>2</sub>) H<sub>p</sub>→H (現地調査樹高)、(B<sub>1</sub>) CD<sub>p</sub> (写真判読樹冠直径)→D (現地調査胸高直径)、および(B<sub>2</sub>) CD<sub>p</sub>→CD (現地調査樹冠直径)→D、(C<sub>1</sub>) N<sub>p</sub> (写真判読本数)→N<sub>t</sub> (現地調査上層木本数)、および(C<sub>2</sub>) N<sub>p</sub>→N (現地調査本数)、(D<sub>1</sub>) CC<sub>p</sub> (写真判読疎密度)→N<sub>t</sub>、および(D<sub>2</sub>) CC<sub>p</sub>→N、の各関係について下記のとおり行なった。

(A<sub>1</sub>) H<sub>p</sub>とH<sub>t</sub>の関係

$$\textcircled{1} H_t = -2.6811 + 1.3979 H_p \quad (r = .790)$$

$$\textcircled{2} H_t = -6.3736 + 2.0067 H_p \quad (r = .866)$$

$$\textcircled{3} H_t = 7.7848 + .8374 H_p \quad (r = .805)$$

(A<sub>2</sub>) H<sub>p</sub> と H の関係

$$\textcircled{1} H = -5.4482 + 1.4048 H_p \quad (r = .857)$$

$$\textcircled{2} H = -2.0235 + 1.1176 H_p \quad (r = .720)$$

$$\textcircled{3} H = -1.8873 + .8137 H_p \quad (r = .735)$$

(B<sub>1</sub>) CD<sub>p</sub> と D の関係

$$\textcircled{1} D = 4.8285 + 4.6025 CD_p \quad (r = .888)$$

$$\textcircled{2} D = -1.8458 + 7.6389 CD_p \quad (r = .832)$$

$$\textcircled{3} D = -19.7435 + 7.4605 CD_p \quad (r = .841)$$

(B<sub>2</sub>) CD<sub>p</sub> と CD および CD と D の関係

$$\textcircled{1} CD = 1.1868 + .3956 CD_p \quad (r = .808)$$

$$D = -4.1062 + 9.6969 CD \quad (r = .916)$$

$$\textcircled{2} CD = -1.5848 + 1.1931 CD_p \quad (r = .909)$$

$$D = -1.5615 + 6.3593 CD \quad (r = .910)$$

$$\textcircled{3} CD = -3.5094 + 1.4933 CD_p \quad (r = .905)$$

$$D = -.0250 + 4.4729 CD \quad (r = .832)$$

(C<sub>1</sub>) N<sub>p</sub> と N<sub>t</sub> の関係

$$\textcircled{1} N_t = -1074.5882 + 2.9729 N_p \quad (r = .810)$$

$$\textcircled{2} N_t = -367.3848 + 1.5232 N_p \quad (r = .886)$$

$$\textcircled{3} N_t = -169.3092 + 1.8416 N_p \quad (r = .849)$$

(C<sub>2</sub>) N<sub>p</sub> と N の関係

$$\textcircled{1} N = -440.1913 + 2.4120 N_p \quad (r = .715)$$

$$\textcircled{2} N = -646.3152 + 2.6735 N_p \quad (r = .888)$$

$$\textcircled{3} N = 108.5252 + 2.8271 N_p \quad (r = .930)$$

(D<sub>1</sub>) CC<sub>p</sub> と N<sub>t</sub> の関係

$$\textcircled{1} N_t = -674.1368 + 33.6568 CC_p \quad (r = .706)$$

$$\textcircled{2} N_t = -324.4362 + 19.9875 CC_p \quad (r = .898)$$

$$\textcircled{3} N_t = -372.0532 + 21.5199 CC_p \quad (r = .702)$$

(D<sub>2</sub>) CC<sub>p</sub> と N の関係

$$\textcircled{1} N = -110.9550 + 29.0964 CC_p \quad (r = .603)$$

$$\textcircled{2} N = -165.3750 + 20.9250 CC_p \quad (r = .732)$$

$$\textcircled{3} N = 19.9362 + 28.3972 CC_p \quad (r = .660)$$



以上の解析結果から、何れの場合も高い相関係数  $r$  の値がえられ、それぞれの関係はきわめてよく対応していることが確かめられた。したがって、第2次調査の場合も空中写真の判読測定は各現地調査要因に代わることでできる有効な計測方法であると認められる。

(4) 写真判読因子と水土保持機能の関係

写真判読主要因子  $H_p$ ,  $CD_p$ ,  $N_p$ ,  $CC_p$  と、水土保持機能をあらわす要因として、地下1  $m$  の深さまでの粗孔隙量  $Y_1$ , 主要樹種の植被率  $Y_2$ , および落葉落枝腐植重量合計  $Y_3$ , の各計量指数との重回帰分析による関係解析の結果は次のとおりとなった。なお、樹種は上記と同様に、

①スギ、ヒノキ人工林、②ヒノキ・カラマツ混交林、③天然林、とした。

(A) 粗孔隙量  $Y_1$  に関与する因子

$$\textcircled{1} Y_1 = 3403.7048 - 1.351H_p + .9253N_p \quad (R = .241)$$

$$\textcircled{2} Y_1 = 2956.7176 - 243.0013H_p + 998.5168CD_p + .9644N_p \quad (R = .860)$$

$$\textcircled{3} Y_1 = 1231.2223 + 184.0429H_p + 2.1277N_p \quad (R = .460)$$

(B) 植被率  $Y_2$  に関与する因子

$$\textcircled{1} Y_2 = -140.8634 + 6.6011H_p + .0751N_p \quad (R = .496)$$

$$\textcircled{2} Y_2 = 560.1592 - 10.3861H_p - 59.0947CD_p - 2.5091CC_p \quad (R = .999)$$

$$\textcircled{3} Y_2 = 53.6355 - 6.4679H_p + 20.3931CD_p - .6965CC_p \quad (R = .627)$$

(C) 落葉落枝腐植重量合計  $Y_3$  に関与する因子

$$\textcircled{1} Y_3 = 840.95458 + 4.86496H_p - 387.7529CD_p - 6.2845N_p \quad (R = .718)$$

$$\textcircled{2} Y_3 = 1632.98838 - 400.94010CD_p + 5.68682CC_p + 2.0093N_p \quad (R = .587)$$

$$\textcircled{3} Y_3 = -116.21268 + 34.29870CD_p + 6.68758CC_p + 2.3942N_p \quad (R = .450)$$

(5) 以上の結果に対する考察

以上の結果にもとづく、写真判読主要因子から水土保持機能の各計量要因を推定する重回帰式について分析を行なった結果は、データ数がやや少なかったため自由度が小さくなり、そのすべてが有意にはあらわれなかった。したがって、有意な要因のみを用いた前記の重回帰式により第2次調査対象地に対し新たに空中写真上に40点を取り、写真判読により改めて水土保持機能の計量を試みた結果は、現地調査を実施した地域の平均値とほぼ同じ数値を示し、推定に対する妥当性が確かめられた。また、現地調査データにおける胸高直径  $D$ 、本数  $N$ 、上層木平均樹高  $H_t$  および平均幹間距離  $S$ 、等から

断面積平均直径  $\bar{d}_b$  ( $= a + b \bar{D}$ )、ha 当り断面積  $B$  ( $= \pi / 4 \cdot \bar{d}_b^2 \cdot N / 100^2$ )、相対幹距  $S_r$  ( $= S / H_t$ ) がえられ、本数管理の尺度をあらわす回帰式  $\log N = a + b \log \bar{d}_b + c \log S_r$  が求められた。現地調査データにもとづく計算結果ではその重相関係数  $R$  は、スギ .9997, ヒノキ .982, ヒノキ・カラマツ混交林 .859, 天然林 .900, と何れも高い値をえた。したがって、この結果からも写真判読要因における  $H_p$  と  $CD_p$  の判読測定により林分構造の解析が可能であることが併せて確められた。

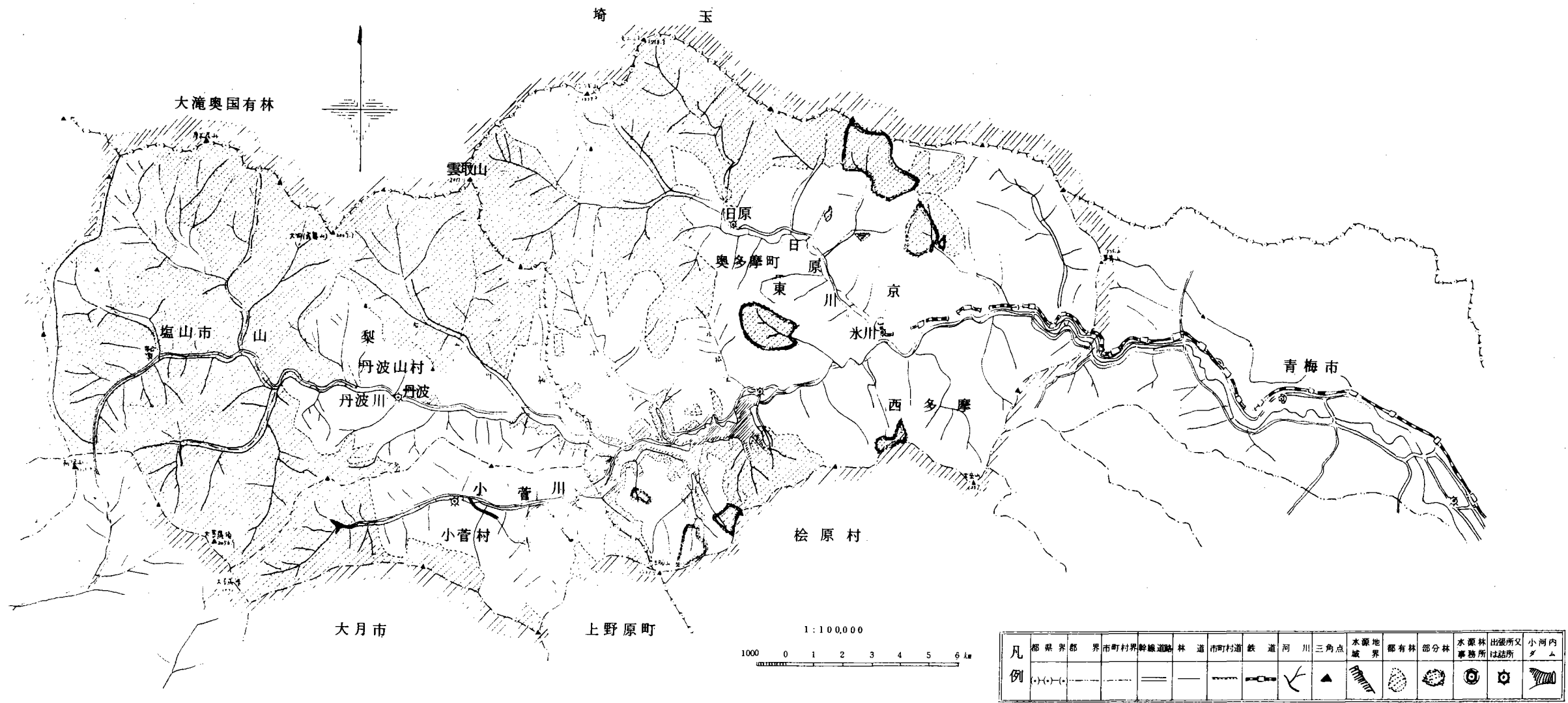


図1-1 調査対象の多摩川上流域

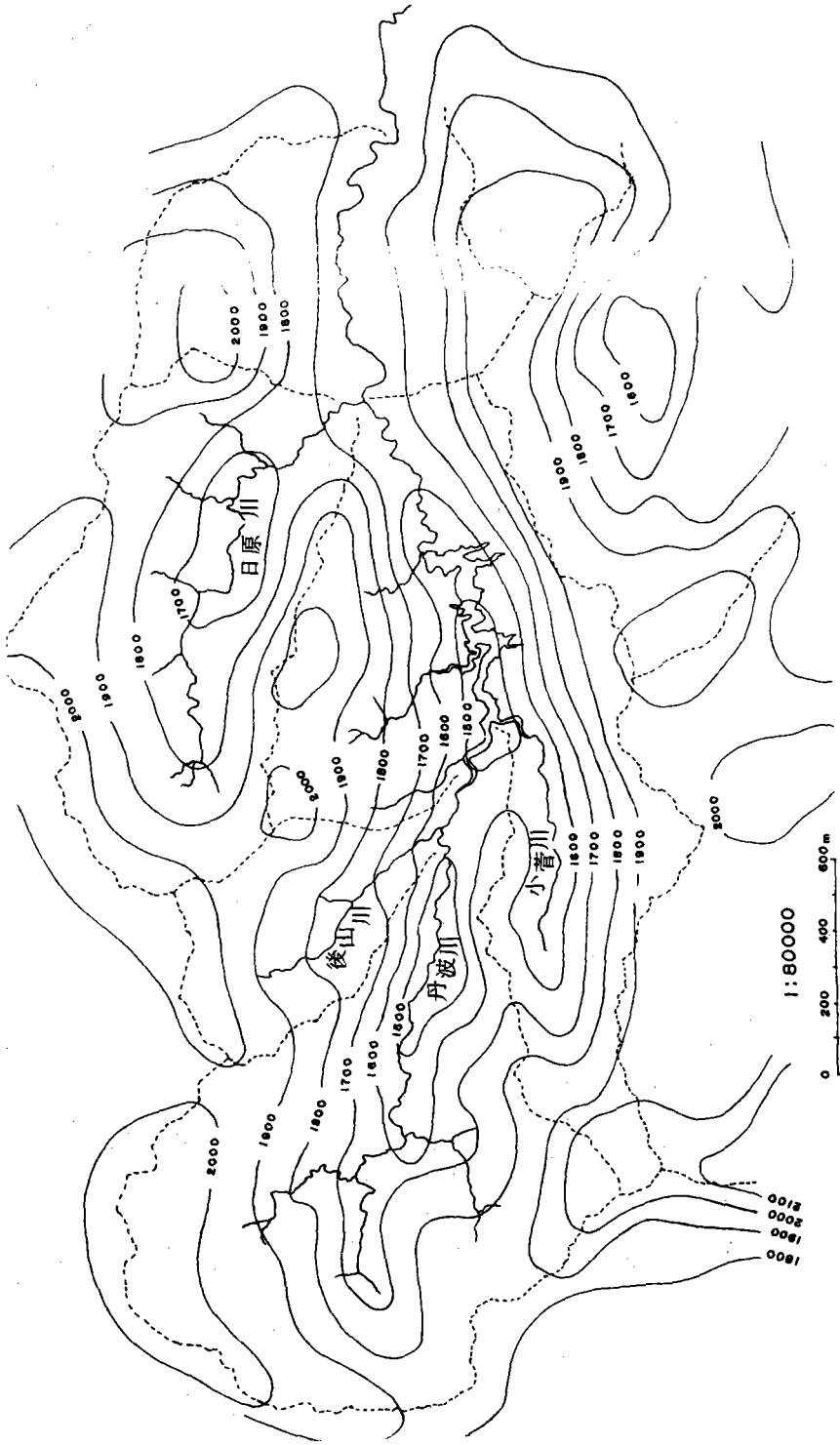


図3-1 多摩川上流域の年降水量分布図(平年値)

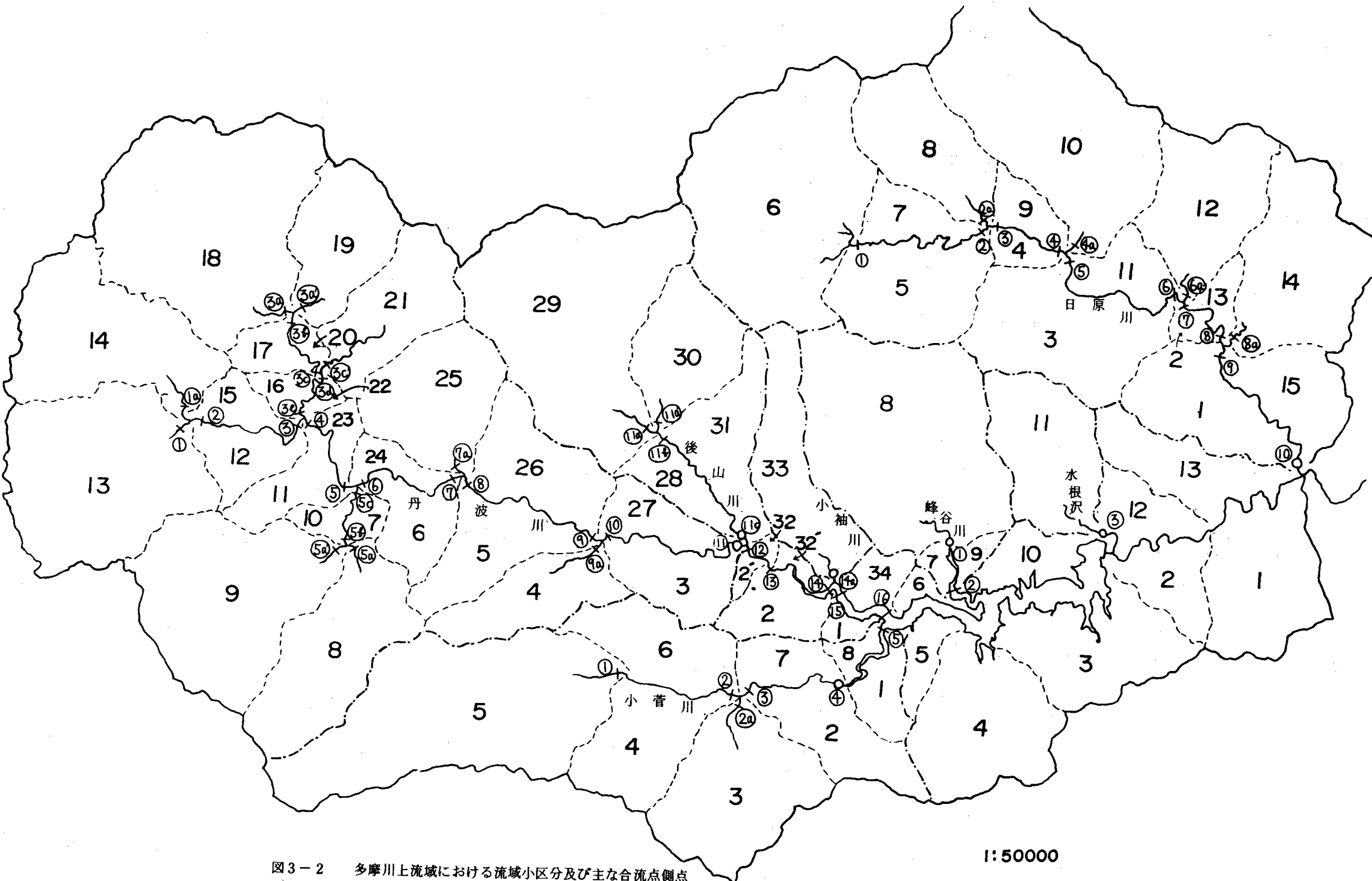


図3-2 多摩川上流域における流域小区分及び主な合流点側点

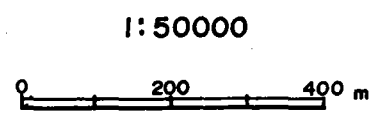


図-4-1 地表下の土壌の現実の全粗孔隙量 $P_{100}$ と推定の全粗孔隙量 $\hat{P}_{100}$ の関係

