空中写真判読による天然林の

類型化とその応用に関する研究

板 垣 恒 夫*

Stereotyping of Natural Forests by Interpretation of Aerial Photos and Research on its Application

by Tsuneo ITAGAKI*

I. 問題の所在

最近空中写真による土地調査において、空中写真の性格や調査対象物との関係などを明確に理解しないまま適用する例がみられる。そしてこのような傾向と対称的に古くから継承されてきた「空中写真判読」が忘れられがちになってきている。従来、空中写真判読は技能的なものであり、手間の掛るものであるとの認識を一般化してきたようである。たしかに判読は個人の獲得してきた技能に依存する割合が濃厚である。しかしながらこれを調査体系に組み入れ技術化してゆく方向性を確立しなかった点も見逃すことが出来ない。現在、技術として体系づけられているのは「空中写真測量」の分野のみと言っても過言でないであろう。これらの問題点が指摘できる背景には、量的調査への偏向、したがって調査が形式化してゆくことの傾向はある程度必然的でもある。だから、今後における調査・研究には「質的側面」を量的側面と同等に置くべきであり、このことによって量と質を統一し、内容を豊富にしてゆかなければならない。

この研究は森林調査における空中写真判読の技術化を指向するものであるが、ここでは主として天然林の類型化すなわち林分分類について述べる。筆者は先に「天然林の空中写真判読（造園雑誌第38巻第2号）」を報告したが、内容はこれと深く関係しているので、そこで報告した部分については特に述べないので参照願いたい。これが造園計画など土地調査にいささかなりとも参考になれば幸いである。この報告をとりまとめるにあたり、御助言いただいた関係各位に感謝する。

II. 空中写真の性格

写真は外界像をとらえるための光学的工程と、それを固定させる化学的工程が結合したものである。ここで言う光学的工程とは、カメラ、化学的工程は感光・現像と言う化学的操作を指している。このような写真の種類は白黒写真とカラー写真に2大別することが出来る。写真

はさらに種類分けされるが、それは主に光領域のどの部分を感光させ発色させるかによって決ってくる。一般的に白黒写真では、紫外部から赤色部までのほぼ可視光線領域にわたるパンクロマチックフィルムが用いられている。その他には、紫外部から黄色部までの感度を持つオルソフィルム、特に黄緑色波長部に高い感度を持つオルソパンクロフィルム、赤外部に感度を持つ赤外線フィルムがある。カラー写真は発色現象その他の方法によって被写体の色を再現する写真であるが、この写真の種類には天然色写真のように青・緑・赤に感光する三層の乳剤からなるフィルムや、赤外カラー写真のように被写体の色と再現された色の対応関係が1つずつ長波長側にずれたものなど特殊なものがある。

写真が外界像のある一瞬間を固定するものであると言うことから、その性格が浮きぼりにされる。まず第一の特徴は「記録性」であり、これは時間をとどめ置くことであるから過去のある時点から現在に至る経過を推定出来るので、空中写真による森林調査の場合とくにこの点が重視される。次に写真の持っている「客観性」は記録性に基づくが、これは絵画との決定的な相違である。この二大特徴から写真は正確であると言うことが出来る。写真の「複製性」もまた重要な特徴であり、これによって写真はどこにでもあると言う本質を持つことになる。写真はまた「表現性」を持つが、最近では記録性に先行し、現実的でないものもある。しかし目的に応じた表現性は強調されなければならない。空中写真も目的に対応した表現法を確立しなければならない。また、写真は「記号」でもあるとの性格を持っている。すなわち写真そのものは実体ではなく代理であることによる¹⁾。その他、写真の嘘として、写真は、三次元の世界を二次元に翻訳したものである、現実の色を忠実に表現していない、人間の目とレンズの焦点距離が違う、の3点が隠されている²⁾。さらに、カメラの視点が撮影者の物理的行動範囲に束縛されることは、記録性、表現性に一定の限界を与えるものとして指摘される。

土地調査のために航空機から撮影される空中写真（一般的に航空写真と言われる）はコース方向ならびにサイ

* 北海道大学演習林

ド方向に一定比率重複しており、この関係によって立体観察や測定が出来るものである。このような空中写真撮影に用いるカメラは、①レンズ中心と焦点距離が正しく測定されており、撮影時のフィルムの平面度が正確に保持されているもの、②レンズの解像力（1mm当り50本以上）が優秀で鮮明な画像が得られるもの、③レンズの像のひずみが少ないこと、の3点が要件となっている。この要件を備えているカメラとして、わが国で広く用いられているものには普通角カメラ（R.M.K. 21/18、写角60°、焦点距離21cm、画枠18cm×18cm）、と広角カメラ（R.M.K. 15/23、写角90°、焦点距離15cm、画枠23cm×23cm）がある。普通角カメラは広角カメラに比べレンズが明るく解像力が優れており、写真の周辺部でも像のずれが少ない。広角カメラは普通角カメラよりも広い面積を撮影出来るので、調査目的によって経費を節減しようとする場合に有効である。わが国では、森林調査用に前者を、写真測量用に後者を用いている。撮影フィルムは不規則伸縮の少ない「パンクロマチックフィルム」が広く用いられているが、特殊な調査には赤外線フィルムやカラーフィルムが用いられている。赤外は、①緑葉植物が白く、水部が黒く写る（針葉樹は物理的性質から黒く写る）、②モヤの貫通性、などの特徴を持っている。しかし、立体判読では解像力の点でパンクロマチックフィルムによる写真が優れているので、赤外線写真で確認出来るものはパンクロ写真からも十分に確認される⁹⁾。天然色写真は撮影高度1,500m以上になると鮮明に写らないと言う欠点があり、一定の限界が認められる。この限界は、最近のマルチスペクトルカメラによる合成天然色写真の研究によって解決されつつある。

空中写真の性格について、空中写真は高空から撮影した写真による地図であり、写真のもつ表現性、記録性と地図のもつ幾何学性と統一した性格を保有しており、これから質的情報と量的情報を得ることが出来るものである、との報告がある⁴⁾。ここで特に問題とされなければならないものは、質的情報と量的情報の規定ではないかと思われる。まず質的情報であるが、これはあるものをそのものたらしめている直接的規定に係わる情報であり、量的情報は質的規定が捨象されたのちに現われてくるものである⁵⁾。このような質と量は共にあるものをそのものたらしめている一つの側面になっているものであり、この二側面を統一的に把握することがすなわち情報を本質的にとらえることになる。この規定に基づく対象物の内容、いわゆる質的情報と空中写真の関係であるが、それは写真の種類と撮影高度（原縮尺）によって決まる。また、撮影高度によって情報量の多少を論ずることは出来ない。それは撮影高度によるカメラの視点の移動は同時に対象物に対して尺度を変えていることによる。すなわち同質性をとらえるカメラの目は撮影高度によっ

て変わり、たとえば大縮写真では単木毎の樹種や大きさを容易に判読出来るが、小縮写真では単木よりもむしろ、林分や森林と言った大きな広がり判読に有効である。量的情報はこのような尺度に対応して把握されるものである。以上から「空中写真判読とは、対象物に対してある目的意識を持って、空中写真を媒介にその質的情報と量的情報を統一的に把握することである。」と定義することが出来る。

空中写真判読による調査は上記してきた理由により、その内容に一定の限界を認めるが、おおむね次のような長所と短所を知ることが出来る。長所：①一瞬にして大面積の撮影が可能であり、迅速な観察が出来る、②一定期間毎の空中写真によって土地の推移の観察が可能である、③撮影高度を変えることによって目的に応じた質的・量的情報の収集が出来る、④容易に行くことの出来ない奥地林等の観察が出来る、⑤多目的調査の観点においては一般調査にくらべ、特に経費は掛らない。短所：①天候に左右されやすい、②現象・密着技術に限界があり全く同じ写真は出来ない。

III. 空中写真判読による森林調査

1. 空中写真による森林調査の意義

空中写真の林業の利用は経営関係の地況・林況調査に代表される。空中写真による森林調査について、籾木は施業林の保育・監視、未踏地の地形・林相等の急速なる把握、の2方面の応用に効果あることを述べている⁶⁾。中山は、未開地の大森林調査のほか、集約的な施業林についても森林火災、虫害、暴風、降雪及び山崩による被害調査に役立つものであることを述べている⁷⁾。もともと空中写真が林業分野に有効であることの第一は森林の層化するなかで林分の分類であった。ウィルソンは森林の層化が植林計画、枯損率の測定、材積調査等に先立つ重要なものであると述べている⁸⁾。以下このような林分分類について森林経営の観点からみでみる。

森林を経営する場合、その規模や施業の集約度に応じて森林区画が行なわれなければならない。この森林区画は地理的地域としての林班区画と、施業上の取扱を異にする小班区画の二段階にわたって行なわれる。空中写真はこれら林班区画、小班区画を行なうのに大変有効なものであり、このことは前述した空中写真の性格からも明らかである。林班区画については一般に整備されている地形図によってもほぼ満足に行なうことが出来るが、林相を異にする小班区画については空中写真判読によることが一層効果的である。小班区画の主たる基準となる林相は一般的に樹種構成の概括的区分を指している。これに対し林型は高さの階層別、径級別、植生型別、施業別などに類別され、一応明確に定義されている。林分は林相、林型、あるいは群落など類型化の目的によって区別

されるもので、周囲のその他の部分と明瞭に区分出来るものである。筆者は類型化の目的を天然林施業におき、空中写真から容易に判読出来る因子を類型化の基準として取り上げたが、この内容は林相ならびに林型の要素を考慮したものである。

林分の面積基準について、藤島は0.5ha以下の区画は必要ないとし、谷口は天然林においては1～4haを適当としている⁹⁾¹⁰⁾。筆者は天然林で区画すべき林分の最小単位面積について1ha程度を適当と考えている。この理由としては、森林内容の多様化をあげたい。いわゆる1955年代に入ると積極的な施業が行なわれるようになり天然林の強度な伐採が進められた。このため、天然林は伐採の進度に応じて小林分化し、多様な林相を呈するようになった。この例として天然林の推移に関する報告があり、森林の質的低下と多様化が述べられている¹¹⁾。このように多様化した森林を出来るだけ詳しく表現することは、森林を取扱う上での課題である。従って1ha程度の面積基準は現在の施業集約度に対応しており、適切と思われる。理由の第二は空中写真判読上の問題である。林野庁や国土地理院によって撮影される空中写真の原縮尺はおおよそ1/20,000～1/25,000であるが、判読に際しては1/10,000位に引伸したものを使用している。この引伸写真上で1haを区画すると、おおよそ1cm×1cmとなり計算上都合がよいこと、経験的に写真判読上の林分として特徴が明らかにされうる最小面積であること、判読精度の上からも適正なものであることによる¹²⁾。

空中写真がとらえうる対象物の同質性は撮影高度によって決まる。従って撮影高度を下げたとしても地上調査を完全に代行することは出来ない。このため空中写真の活用には常に地上調査の裏付けが必要であり、いわゆる空中写真による調査は地上調査と補完し合うことが条件となる。筆者がここで述べようとする林分分類の方法は地上調査の補完を前提に空中写真をどのように利用すべきかにつき検討を試みたものである。この方法に基づく成果は逐次森林施業に適用されるようになった¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。

2. わが国における空中写真による森林調査・研究の経過

第2次大戦後における占領下の農政の目標は、農村の民主化と食糧の確保であった。この農村の民主化については連合国占領軍の1945年の「農地改革に関する覚書」に沿って行なわれ、食糧確保の施策は1948年の食糧確保臨時措置法等によって行なわれた。このような施策が効を奏し、1955年にはコメがほぼ自給の域に達した。一方1955年以降は日本の高度経済成長に伴い、農業労働力が他産業へ流出するようになった。1960年には国民所得倍增計画が立案され、このような背景において、1961年には農業基本法が施行された¹⁶⁾。

国有林等においては、高度経済成長に伴う国産材の供給増大のために、1955年頃を契機に奥地林開発を重要政策として採り上げ、機械の大型化と相まって増伐を進めた¹⁷⁾。空中写真の利用分野においてもこれらの動きに反応が示され、1955年の前後では単に空中写真の撮影量だけにおいても飛躍的な相違があった¹⁸⁾¹⁹⁾。1954年の台風15号は北海道の森林に大被害を与えた。この被害木整理のために空中写真が大々的に撮影され活用されたが、このことがあたかも空中写真の定期的撮影を可能にした直接的な原因であるかのように言われている。しかし高度経済成長の背景がその根底になれば定期的撮影の実現はなかったであろう。

(1) 1955年までの動向

航空機が発明された1903年には既に乾板が普及していた。1907年に中村清二によって日本最初の写真測量に関する論文が発表され、日本の空中写真による土地調査が始まった。第1次大戦から第2次大戦までの1914年から1938年においては、各種の図化機械類が積極的に輸入され、撮影図化では地上写真測量法による桜島溶岩地帯の解析や空中写真測量との併用による台湾山地の図化等がある。森林調査のためには朝鮮、台湾、満州、樺太の大面积を対象としたものや、木曽御料林の撮影があり、林相判読が行なわれ森林経営の研究がなされた。1923年関東大震災があり、下志津飛行学校の手によって空中写真が撮影され復興資料として活用された。また、1938年には東京大学に日本で最初の森林調査の講義が採り入れられた。

第2次大戦とそれ以降の1955年までであるが、第2次大戦中はそれまでの空中写真による測量技術が積極的に利用されたが、敗戦によりその活動は停止した。米軍は日本全土にわたって1/40,000の空中写真を撮影して、1946年以後経済復興のためにその貸出しを行なった。正式には1948年に日本と米軍の間に交された「空中写真取り扱い規定」によって貸出されたが、これは戦災復興と経済再建の調査・測量の資料としての条件付のものであった。この写真によって再び空中写真測量作業が開始されたが、特に林業経営関係に広く活用された。1951年には森林法が改正され民有林に1/5,000の施業図の作製が義務づけられ、これに空中写真が導入された。1948年には日本写真測量学会が設立され、研究と調査の活動を始めた。1952年サンフランシスコ条約が結ばれ、これによってわが国でも航空機が持てるようになり、試験撮影が行なわれ、森林計画に寄与した。1954年の台風15号による北海道の森林被害についてはすでに述べたところであるが、このことによって空中写真の効果的なことが認識されるようになった。国有林や民有林では森林調査用に計画的に撮影を行なうようになった。

(2) 1955年以後の動向

1955年から1964年：1954年の台風15号は北海道に 546 万 m^3 の風倒大被害を与えた。林野庁は、この調査として支笏湖周辺に 132.12 km^2 にわたる大面積撮影を行なった。この被害調査は、戦後空中写真が森林調査に活発かつ大々的に利用される契機となった。また、国有林では定期的に空中写真の撮影を行なうようになり、日本林業技術協会から技術者向の森林航測誌が創刊（1956年）され、判読基準カードが発行された（1959）。このような動きのあった1955年代の初めに、林野庁は資源の高度開発利用による日本経済の早急なる復興の必要から「航空写真による森林調査」を発行した（1955年）。この著書の目的は材積調査であり、内容は現地と写真との照合を前提にした判読資料の収集と、林相判読技術の向上に重点が置かれた²⁰⁾。このような方向を具体的に示したものが、林野庁通達の「国有林における森林標本抽出調査要領」であった（1968年）。これは経営計画立案上の客観的資料の作成を目的にしたもので内容はサンプリング調査と空中写真を併用したものであった。1961年谷口は「航空写真による森林調査」を発表し、森林経営のための基礎的資料を得るための考察を行なった²¹⁾。同年、中島は「森林航測概要」を著わし、主として測定に重みを置く空中写真の森林調査への利用を述べた²²⁾。石川は、空中写真が標本抽出調査を行なう上での準備段階として、事業図、プロットの位置確認に主として使われ、林木材積査定には広範に実用化され得なかったとしている²³⁾。中島は電子濃度計を開発し、林型と写真濃度の研究を発表した（1962年）。この研究は 1965年代における、写真濃度による判読自動化研究の契機となった²⁴⁾。

1965年から1974年：中山は「林林材積測定学」で、空中写真の利用で最も重要なものは、森林の階層分けであり、これは写真上識別できるものでなければならぬと述べ、判読の重要性を指摘した（1971年）。そして判読できない点は地上調査によるべきであるとした²⁵⁾。1970年中島等は、森林調査に要望される情報内容の拡大から、従来の人間の知覚に訴えた方法では質的にも量的にもそれを満たすことが困難であるとした。そのために写真情報の収集からとりまとめに至るまでの設計を再編した調査法がとられなければならないとし、北海道トムラウシ天然林の数量解析による研究を行なった²⁶⁾。寺島は高度経済発展に伴う公益的機能の社会的要請に対応した森林施業が必要であると述べ、この観点からマルチスペクトル写真解析の研究を発表した（1973年）²⁷⁾。1972年大金は、一般の白黒写真によるデジタルカラー写真の林業利用を紹介した²⁸⁾。板垣はデジタルカラー写真による林相判読を述べ、一定条件下の空中写真を使用する場合に有効であると報告した²⁹⁾。この1965年代は、高度経済成長の結果として、各地に公害問題が顕在化してきた時代でもあった。このため環境調査の必要性がさげばれるよう

になり、森林調査もそれに対応したものが必要となってきた。そして空中写真の調査対象が拡大され、リモートセンシングなる用語の下で各種の環境調査や研究が展開された。

3. 林分分類の方法

この林分分類は、森林経営、特に天然林施業への有効な利用を目標にしている。このための面積基準については、現在の多様化した天然林の現況、空中写真判読の能率性、判読精度の観点からその最小単位面積を 1 ha 程度にするのが適当であると述べてきた。この林分分類に取り上げた判読因子は天然林施業に関係の深い、樹冠層、樹種群、疎密度級、樹高級の直接的判読要因である。従来、層化の基準にされた材積は、これら要因から求められるべき間接的判読因子であることから、ここでは取り上げなかった。判読基準ならびに判読の手順については造園雑誌第38巻第2号に述べているので詳細は省略するが、基準は表一にまとめることが出来る。判読精度については、小林の言う「判読率」で検討してみた³⁰⁾。表一2のこれによる重みつき平均は、38個の標準地で、樹冠層92%、樹種群92%、樹高級82%であった。疎密度級は地上調査よりも空中写真の方が正しいので考慮しなかったが、仮にこれが90%の判読率であれば、最終的な判読率は、 $92 \times 92 \times 82 \times 90 = 62\%$ となる。

第1表 判 読 の 基 準

区 分	林 分 の 内 容		
樹 冠 層	単層林 (Ⅰ)	二段林 (Ⅱ)	複層林 (Ⅲ)
樹 種 群	針葉樹林 (N) 全樹冠に対する N の樹冠占領面積 75% 以上	混交林 (M) 左 同 25~74%	広葉樹林 (L) 左 同 24% 以下
疎密度級	密林 (密) 林地面積に対する全樹冠占領面積 70% 以上	中林 (中) 左 同 40~69%	疎林 (疎) 左 同 10~39%
樹 高 級	(H ₁) 上層木樹高 17m 以上	(H ₂) 左 同 9~16m	(H ₃) 左 同 8m 以下
そ の 他	無立木地 (疎密度級 0% 以下)、崩壊地、造林地など		

第2表 判 読 精 度

判 読 精 度 調 査 数	判 読 率 (%)			
	樹 冠 層	樹 種 群	疎密度級	樹 高 級
8	100	87	—	75
30	90	93	—	83
計	92	92	—	82

次に具体的な判読要領を述べる。まず、明らかな特定樹種群や密林とか無立木地・崩壊地を単位面積に応じて先に区画し、樹冠層や樹高級は後で決めてゆく。

① 樹冠層の判読：これは林分が明らかに単層林か、二段林か、それ以外の林分としての複層林か、を判断することによって決るもので判読上困難なものではない。事例として単層林は、山火跡再生林(2次林)、エゾマツやトドマツの一斉林、沢地帯にみられるヤチダモ等の一斉林、中腹部にみられるミズナラ林分、山頂附近のダケカンパ林分がある。二段林には針葉樹疎林下の2次林等がある。このような林分は林型区分で言う単層林、二段林、複層林とは厳格に一致しているものではないので、単層林的林分、複層林的林分、二段林的林分と理解した方がよい。

② 樹種群の判読：樹種は森林経営上とくに重要であるが、この判読は判読者の熟練度に依存するところが大きく、そのための手引として多数の報告を見ることが出来る。一般的に樹種判読の難易は、写真の鮮明なものが不鮮明なものより、また天然色写真は白黒写真より、更に実体視によるものが単写真によるものよりも夫々容易である。写真縮尺に関して、個樹の場合は相対的に大縮尺(低高度撮影)が小縮尺よりもよく、林分の場合は小縮尺の方がよい。具体的には、縮尺が1/600位においては、枝の構成と葉のつくりから類似樹種を除けばよく判読され、1/2,500~1/3,000では枝が細くなるが一応容易に行なわれ、これ以上1/7,000位では樹形像・樹冠像のみから判読することは困難となり、1/15,000位においては樹形像・樹冠像は判読の主要因ではなく、むしろ写真の色調・感触が重要視される³¹⁾。一般的に判読は約1/10,000の引伸写真によって行なわれるが、これから樹形像・樹冠像はその枝張り、葉のつくりまでみることは出来ない。そのため基準形をきめ、これと色調を関係させて判読している。

樹木の季節変化による相違に基づく判読は、葉の着生状態の変化から、写真上における樹種別の色調差に注目して行なわれる。季節による色調差は、新緑期・紅葉期に大きく、判読上良好である。撮影時刻は調査の性格によって、特に指定される場合もあるが、樹種判読上では太陽高度の高い時刻に撮影されるべきであろう。このことは、樹種判読が色調差の大小と、樹形像・樹冠像が細部にわたって表現されているか否かによって制限されるからであり、太陽高度の低い時刻に撮影された写真は、山地における陰影がしばしば判読不能の原因となるからである。

白黒写真の利点は色調差による樹種間の相違である。この色調は撮影季節、時刻、写真処理に影響される。1/7,000以下の小縮尺の場合、判読の主要因は色調差に注目されるが、その手段としては色調板とその対応色に

よる方法、判例写真による比較判読によるのが一般的である。色調は同一樹種でも一枚一枚の写真に相違がありまた同一写真でも林齢や密度、写真上の位置によっても異なるので、樹種毎の色調で判読する場合、これだけでなく他の判読要因を参考にしなければならない。

樹種の固有形態を写真上で明らかに区分するには大縮尺写真によらない限り困難である。一般に使用されている1/10,000の引伸写真と反射実体鏡による限りでは、固有形態によって判読出来るものは特徴的な針葉樹の数種類である。針葉樹は個々に樹形及び樹冠の特徴がはっきりして緻密な感じを与え、広葉樹は個々の樹形・樹冠の特徴が共通しており、写真上では不規則で柔らかい感じを与える。これは針葉樹の主幹が枝に比べて太く通直であり、枝の分枝が少なく、葉のつくりとその着生状態に特徴があり全体形が一般的に円錐形にまとまっている。これに対して広葉樹では、主幹がかならずしも通直でなく、枝の分枝が多く、葉のつくりと着生状態が針葉樹と対称的な特徴を有しており、全体形はまとまりのない形状として認められる。

植物の生育及びその分布は地理的な環境によって制限される。森林の水平分布や垂直分布は、この典型的な例である。標高を異にする気温や地温の変化、斜面の日射量、温度、湿度、蒸発量などの差異から植物の生育度、生態、種類に違いを有していると言われている。河岸におけるヤナギ類や、高山におけるハイマツ、ダケカンパの群落などはこの例であろう。このような観点に立った空中写真の応用による植生調査の研究には、館脇・五十嵐の報告がある³²⁾。

③ 疎密度級の判読：判読要因で最も容易な樹冠疎密度級の判読は疎密度板による比較判読が一般的である。この場合平坦地の森林を除く山地急斜面については、カメラの中心投影原理によって疎林でも中林や密林に見えるので反射実体鏡下で行なう必要がある。特に斜面が写真の中心に対して反対の場合はこれを厳守する必要がある。更にセクションペーパーなどに樹冠を移写し、点格子板によって疎密度を求めるのであれば理想的である。

④ 樹高級の判読：対象物の高さや広がりやを確定することが測量であり、この手段として空中写真を使用する場合、これを空中写真測量と言うことが出来る。従って対象物の高さを測定することがその目的の1つとなり、この分野の飛躍的な発展があった。樹高は森林調査の分野でも材積調査のための不可欠な要素であり、樹種と共に多くの研究成果がある。この研究の林分分類では、樹高級を3つの段階に区分したが、これは胸高直径と樹高に相関のあることを考慮したものである。一方、各種の伐採が入り多様化している天然林の場合には、上層木樹高の特に高いものが少ないので、これとも関連させて樹高区分を決めた。この樹高級 H₃ は実際の伐採可能な

施業対象林分であり、H₂は準施業対象林分である。また H₁は保育を主体にする林分として取り扱われるものである。

⑤ 無立木地・崩壊地・造林地の判読：無立木地は空中写真に顕著に表現されるものの1つである。北海道の場合最も多いのはチシマザサやミヤコザサなどの笹地であり、色調は様様な白灰色で現われる。その他の植生はこれよりも灰色の強い淡灰色であるが、これは笹のように一様ではなく、種類と広がりによって模様を形づくる。地表面がはぎとられ土壌の露出した部分は白く表現される。崩壊地は白く写るが露出部と同様である。北海道では第三紀層山地に多く、これの空中写真による研究では藤原が詳しく述べている³³⁾。造林地は幼齢造林地の下刈の行なわれているものや成林したものは極めて顕著であり、樹種固有の色調を表現している。しかし不成績造林地や手入れの行なわれていない場合は、無立木地や疎林などに判読される。

4. 林分分類の実例

(1) 林相の推移

ここでは、経年空中写真による戦後20年間の天然林の林相推移について述べる。

① 調査方法

調査地と空中写真：調査地は北海道紋別郡雄武町に位置する道有林雄武経営区102林班～106林班の1,527haにわたるオヒツ沢流域である。この地域をおおう空中写真は、1947年10月米軍によって撮影された M546A（判読写真縮尺 1/15,000）、1959年10月林野庁によって撮影された山—156（1/10,000）、1967年9月に撮影された山—463（1/10,000）である。このいずれもパンクロ写真である。

施業経過の概略：この流域は戦前から択伐を施行してきたが、第2次大戦後は、1952年以降主伐（択伐）を数回にわたって実施してきた。また1954年には台風による被害を受け、森林はかなり荒廃したが、1955年以降の木材需要の増大に伴う生産力増強計画等の一連の方針によって、風倒以降においても除伐被害伐等の名目で伐採が繰り返されている。このため林分の機能が回復されないまま現在に至っている³⁴⁾。

② 調査結果

この結果は表—3の経年写真別林相面積、図—1の林相内容の推移、図—2の経年写真別林相数曲線にとりまとめた。これらによれば、1947年の林相は針葉樹の多い単層林的な樹高級の高い密林であり、疎林は標高 650m以上のダケカンバ林を主としてわずかを占めるだけであった。いわゆる全体の63%が I N密 H₃ (28.1%)、I L密 H₃ (14.9%)、I M密 H₃ (20.0%) の単層林によって占められており原生林的な森林であったことが推定され

る。さらに12年後の1959年の林相は、複層林的な疎林に変化しており、無立木地を除くこの3つの林相は全体の33%を占めている。1947年に 28.1% を占める I N密 H₃ は 6.1% に減少している。20年後の1967年の林相は、複層林的な疎林状況が更に増大している。とりわけⅢM疎 H₃ (22.7%)、無立木地 (16.2%)、ⅢM密 H₃ (10.0%)、ⅢL疎 H₃ (7.8%) の占める面積が大きく、無立木地を除くこの3つの林相は全体の40%を占めている。I N密 H₃ は 0.4% を占めるに過ぎない状況となった。図—2は林相数曲線であるが、これは面積の増加と林相数の関係を経年写真毎にとりまとめたものである。これによれば、林相数は面積増加に従い曲線的な増加をたどっている。また経年写真毎にもその差をみることが出来る。

(2) 林分と材積

ここでは空中写真判読によって行なわれた林分の材積について検討してみる。森林施業には林分と材積の関係が特に重要であることによる。

① 林分材積の推定方法

以下に述べる林分は第Ⅲ章で触れてきたところの「ⅢH₃」をとりあげた。このような林分は複層林で上層木樹高が17m以上のものであり、ある程度の伐採が可能であって、積極的な施業対象林分として考慮してよいものである。材積推定は、空中写真によって林分分類された

第3表 経年写真別林相面積

林 相	1947年		1959年		1967年	
	面積	比率	面積	比率	面積	比率
I L 疎 H ₂	76.9	5.0	58.5	3.8	60.5	4.0
I L 疎 H ₃	28.1	1.8	27.9	1.8	17.6	1.2
I L 中 H ₂	12.9	0.8	12.7	0.8	9.4	0.6
I L 中 H ₃	14.9	0.9	50.2	3.3	28.9	1.9
I L 密 H ₁					9.8	0.6
I L 密 H ₂	47.4	3.1	18.1	1.2	32.7	2.1
I L 密 H ₃	227.6	14.9	81.2	5.3	82.3	5.4
Ⅱ L 密 H ₃			6.0	0.4	3.5	0.2
Ⅲ L 疎 H ₁					1.8	0.1
Ⅲ L 疎 H ₂			5.6	0.4	6.8	0.4
Ⅲ L 疎 H ₃	52.0	3.4	149.9	9.8	118.8	7.8
Ⅲ L 中 H ₂					1.1	0.1
Ⅲ L 中 H ₃	25.9	1.7	22.8	1.5	52.1	3.4
Ⅲ L 密 H ₂					2.6	0.2
Ⅲ L 密 H ₃	24.7	1.6	6.8	0.4	47.6	3.1
I M 疎 H ₁	4.5	0.3	2.9	0.2		
I M 中 H ₂	4.4	0.3	3.0	0.2		
I M 中 H ₃	16.4	1.1	16.6	1.1		
I M 密 H ₂	9.9	0.7	1.8	0.1		
I M 密 H ₃	305.7	20.0	63.2	4.1	8.7	0.6
Ⅱ M 疎 H ₂			6.1	0.4	32.2	2.1
Ⅱ M 疎 H ₃	11.7	0.8	23.2	1.5	34.6	2.2
Ⅱ M 中 H ₂	2.9	0.2			5.1	0.3
Ⅱ M 中 H ₃	21.2	1.4	79.0	5.2	103.5	6.7
Ⅱ M 密 H ₂	0.9	0.1			1.0	0.1
Ⅱ M 密 H ₃	66.3	4.3	125.6	8.2	152.9	10.0
I N 疎 H ₂			0.6	—		
I N 疎 H ₃	3.1	0.2			3.3	0.2
I N 中 H ₂			5.1	0.4	2.3	0.2
I N 密 H ₂	2.4	0.2	7.2	0.5	1.5	0.1
I N 密 H ₃	428.9	28.1	92.0	6.1	5.8	0.4
Ⅱ N 疎 H ₂	2.0	0.1	2.6	0.2	8.1	0.5
Ⅱ N 疎 H ₃			50.9	3.3	29.5	1.9
Ⅱ N 中 H ₂			3.3	0.2	8.4	0.5
Ⅱ N 中 H ₃	8.2	0.5	59.9	3.9	21.0	1.4
Ⅱ N 密 H ₂					4.1	0.3
Ⅱ N 密 H ₃	10.6	0.7	64.8	4.2	3.4	0.2
造 林 地	1.5	0.1	8.8	0.2	18.8	1.2
無 立 木 地	114.7	7.5	259.1	16.9	246.7	16.2
崩 壊 地	2.4	0.2	8.6	0.6	2.6	0.2
計	1527.2	100.0	1527.2	100.0	1527.0	100.0

第1図 林相内容の推移

第2図 経年写真別林相数曲線

主要な壮齡林分について標準地調査を行なった資料によったものである。使用した空中写真材積式は林分の疎密度級を変数とする1変数材積式、 $Y = \bar{Y} + b(X - \bar{X})$ である。ここで、 X は ha 当り材積の推定値、 $\bar{Y}$ は SY/n すなわち実測された n 個の標準地の ha 当り材積の平均値で定数、 X は疎密度級で変数、 $\bar{X}$ は SX/n すなわち実測された n 個の標準地の疎密度の平均値で定数、 b は Y の X に対する回帰係数である。なお、 X すなわち疎密度

級については標準地によって密林では85%を、中林では55%を、疎林では25%を一律に与えた。これは標準地と空中写真の一致が困難であることによる。

② 材積表の調製

調査地と空中写真：調査地は道有林北見経営区のうちのおよそ10,000 ha である。使用した空中写真は1971年6月に撮影されたHO-71-2X、並びに1969年7月に撮影された山-618の105枚である。判読は約1/10,000に引伸したものについて反射実体鏡を使用して行なった。この調査地は森林植物帯上寒帯南部に属している。この天然林の主な構成樹種の材積割合は、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツの針葉樹が48%、シナノキ、イタヤ、ミズナラ等の広葉樹が52%である。写真判読からの特徴では、全体的に無立木地が少なく、針葉樹純林並びに針過混交林が比較的多い良好な林相を呈している。

調査資料：標準地調査は1974年6月～7月にかけて北見林務署が行なったものである。標準地の大きさは50 $m \times 50m$ である。個数はⅢNH₃が11個、ⅢLH₃が14個、ⅢMH₃が29個、ⅢLH₂が3個の計57個である。

上層木樹高と材積の関係：樹高級による区分が材積に関係があるか否かにつき、広葉樹林のⅢ密H₃とⅢ密H₂の資料によって、標準地における平均値の有意差の検定を行なってみた。自由度10、これの t 表の値は2.228(5%水準)となり、 $t_0 = 8.618$ 、すなわち $t_0 > t$ となり有意差が認められる。

材積式の推定：針葉樹林(ⅢNH₃)。 $n=11$, $\bar{X}=74.1$, $\bar{Y}=265.8$, $SX=815$, $SY=2924$, $SX^2=64475$, $SXY=225440$, $SY^2=833874$, $r=0.578$, $b=2.15$, 標準誤差=61.4 m^3 , 標準誤差率=23%, 材積式は、 $Y = 265.8 + 2.2(X - 74.1)$ となる。

広葉樹林(ⅢLH₃)。 $n=14$, $\bar{X}=63.6$, $\bar{Y}=212.6$, $SX=890$, $SY=2976$, $SX^2=64550$, $SXY=201960$, $SY^2=664411$, $r=0.802$, $b=1.60$, 標準誤差=29.5 m^3 , 標準誤差率=14%, 材積式は、 $Y = 212.6 + 1.6(X - 63.6)$ となる。

表-4 空中写真材積表(ⅢH₃)

(単位: m^3/ha)

林相 \ 密度	疎 林	中 林	密 林
針 葉 樹 林	$\frac{158}{96 \sim 219}$	$\frac{224}{162 \sim 285}$	$\frac{290}{228 \sim 351}$
広 葉 樹 林	$\frac{151}{121 \sim 180}$	$\frac{199}{169 \sim 228}$	$\frac{247}{217 \sim 276}$
針 広 混 交 林	$\frac{135}{79 \sim 190}$	$\frac{204}{148 \sim 259}$	$\frac{273}{217 \sim 328}$

注) 分母は林分材積の下限と上限を示し、分子は標準材積である。

第3図 疎密度級とha当たり材積の回帰図

針広混交林 (ⅢMH₃). $n=27$, $\bar{X}=73.6$, $\bar{Y}=246.4$, $SX=2135$, $SY=7146$, $SX^2=168725$, $SXY=552510$, $SY^2=1907160$, $r=0.642$, $b=2.28$, 標準誤差 $=55.4m^3$, 標準誤差率 $=22\%$, 材積式は, $Y=246.4+2.3(X-73.6)$ となる。

以上の計算結果は、表一4の材積表、図一3の回帰図にまとめた。これによって北見林務署管内における天然林のⅢH₃について、その林分材積を求めることが出来る。

Ⅳ. 土地調査への応用

筆者の空中写真による林分分類の手法は森林調査に限ることなく、他の土地調査にも応用出来る。図一4は空中写真判読による土地調査の手順であるが、これの基本的考え方は人間の眼と足による「地上 $\longleftrightarrow$ 空中写真」

相互の確認である。ここではこのような考え方による土地調査への応用について述べてみる。

1. 植生調査への応用

植生は夫々地域の環境を反映しているので、この種類や状態を知ることは人間生活にとってきわめて重要な意義をもっている。筆者は空中写真判読の立場から北海道における植生調査、自然環境保全調査に協力してきたが、このような経験から空中写真が植生調査に大変有効であることを知った³⁵⁾³⁶⁾。空中写真は縮尺と解像力に応じ、対象たる地表をくまなく表現してくれる。したがって植生はその種類と広がりによって特徴のある色調と模様を現わす。調査は図一4の手順によるが、植生群落の1・2について空中写真上(モノクロ写真)の特徴を述べてみる。ヤチハンノキ群落：他の広葉樹類と異なり針葉樹のごとく濃灰色の色調を現わし、さらによくみると樹冠の凹凸によってザラザラした感じを与える。このような感触は疎密の状態によって淡くなったり濃くなったりする。生育地は湿地帯である。ダケカンバ群落：色調は淡灰色であり、群状集団として表現される。個樹の樹冠が比較的大きいので、粗な凹凸による柔らかい感じを与える。比較的標高の高い風衝地などにみられる。ハイマツ群落：密度の大きいものは黒に近い濃灰色の色調を表現し、疎なるほど淡灰色となる。地表にはりついた感じを与え平面的である。ダケカンバの上部に生育している例が多い。大型草本類：イタドリ、オニシモツケなどは植生の密度、種類の混入具合によって特徴のある模様を表現する。ササ類にみられる平面的な白灰色にくらべ

第4図 空中写真判読による土地調査の手順

さらに濃灰色である。

植生調査は目的によって内容の詳しさを異にする。空中写真による場合はかなり大きな単位の群落を相手にするので、調査の内容を整理して応用をはからなければならない。さらに植生は地理的条件と密接な関係を有しているので、それらの条件を考慮するならばかなり正確な調査を期待することが出来る。

2. 都市の緑地調査への応用

都市の緑地がそこに居住している人々に与える直接的ならびに間接的な影響は大きく、これに関係する報告には多くの文献をみる事が出来る。ここでは、都市の緑地調査に空中写真判読が大変有効であることを強調したい。都市域においては限られた空間しか緑地計画の対象として許されないのが現実で、したがって既存の緑地を出来るだけ無くしないように、しかも内容を充実してゆくよう努めなければならない。そのためには緑地の量一般を相手にするのではなく、緑地の構成たる質的側面を重要視しなければならない。

空中写真は緑地の量と質を統一的に表現しているので調査目的に応じて判読内容を決める事が出来る。ただし、この判読内容はすでに述べてきたところの空中写真の縮尺（撮影高度）を参考にしなければならない。緑地の分類には、都市計画における建ぺい地・交通用地・オープンスペースと言った大分類、さらにはオープンスペースの内容としての生産緑地・自然緑地・公園などの分類、次いで詳細なる分類には樹林地・草地・池沼・裸地などの分類がある。図一に基づく空中写真による手法からは、さらに細かく樹種とその構成状態、植生の種類と密度、活力に係わる次元までの分類が可能である。以下の実験は単写真による濃度測定の結果を述べたものであり、実体視によるならばさらに細部にわたる分類が可能であることの裏づけともなるものである。

筆者は、札幌市の北海道神宮周辺における、空中写真（HO-71-3X・C10B-2・ポジフィルム・1/22,000）について樹種などの写真濃度を測定した。測定は富士写真濃度計T型を使用した。この装置は白黒画像透過濃度計であり、測定範囲は0.00～4.00D、精度 $\pm 0.01D$ 、スリット幅1mm（1mm～3mmで自由）である。写真上で濃度測定のために分類されたものは、スギ・サワラ・トドマツなどの成林した針葉樹密林、カツラ・ニレ・ミズナラ・イタヤなどの成林した広葉樹密林、芝生・裸地、の3区分である。この3区分について写真濃度の平均値の有意差の検定を行ってみた。まず針葉樹林と広葉樹林であるが、自由度=17、これのt表の値は2.110（5%水準、以下同）となり、 $to=2.262$ 、すなわち $to > t$ となり有意差がある。同様広葉樹林と芝生などであるが、自由度=13、これのt表の値は2.160、 to は4.621と

計算され、すなわち $to > t$ となり、この2者の間にも有意差が認められる。以上から3者の間には差のあることがわかり、単写真の濃度だけの測定においても大まかな判定が可能であることがわかる。調査地はほぼ平坦地であり、陰による影響がほとんどない所である。

3. 風致計画への応用

風致とは「自然の美しいおもむき」を言うが、これを守るために都市計画の上から指定された土地を風致地区と言っている。さらに林業において風致的観点から森林を取り扱う場合、これを風致施業と言っている。いずれの場合も景観を重要視した保健休養機能を強く主張するものである。空中写真による土地の景観把握は、森林においては筆者の述べてきたごとき林相図によって、また都市域においては土地分類図、緑地調査図の調製によってその概観を知ることが出来る。いわゆる空中写真によって計画対象地域の現況を調査し、風致計画に供するものである。このような計画の事例には、北海道開発コンサルタント㈱の報告を見ることが出来る³⁷⁾。これらの報告では、空中写真判読による調査を満度に利用し、とくに「緑の質」を林相調査ならびに地上調査によってもとめこれを保全度としてランク付している。従来、この種の空中写真による調査はメッシュ法による画一的な判定の方法であったが、これらはメッシュの大きさが大きいほど業務としての現場におりにくい側面を持っていた。新しい試みとしてのこの報告は具体性のあるものとして評価出来る。

風致林施業を行なうための前段的調査としての空中写真判読の効果は大きい。この調査内容については第三章に述べたとほとんど変わるところが無いが、森林の取扱いにおいて若干の相違を認める。いわゆる前者は経営的視点に重みを置くが、後者は環境保全・保健休養機能に重みを置く。従って風致林施業の林相調査は綿密かつ単一的調査が要求されることが多くなる。このような場合、空中写真の縮尺を十分に考慮して判読するならば期待する成果を得ることが出来る。

V. 研究の要約

この報告は筆者が10数年にわたって行なって来た空中写真判読による天然林の林分分類を紹介すると同時に、関連する土地調査への応用について述べたものである。これを要約すれば以下のごとくである。

1) 空中写真の性格について調べ、記録性、客観性、複製性、表現性、を持つものであることを知った。これらの性格から空中写真は撮影高度に対応して対象物を質的・量的に表現しているものであると考察した。さらに空中写真判読とは「対象物に対してある目的意識をもって、空中写真を媒介にその質的情報と量的情報を統一的

に把握することである。」と定義した。

2) 空中写真による森林調査においては、林分分類が各種調査に先立つ基本的なものであることを強調した。筆者の林分分類の方法は地上調査による補完を前提にしており、これによって正確を期すことが出来た。

3) 日本の空中写真利用の歴史は、質よりも量を重視したものであった。とくに1955年以降の高度経済成長下における森林調査においてはこの側面が濃厚であった。

4) この報告では、樹冠層、樹種群、疎密度級、樹高級など判読内容について詳しく述べた。さらに調査例として、林相の推移、林分材積の推定を述べたが、これによって実用的な林分分類であることがわかった。

5) 土地調査への応用として、植生調査、都市の緑地調査、風致計画について述べた。これによって人間の眼と足による「地上 $\longleftrightarrow$ 空中写真」相互の確認を骨子とする空中写真判読の方法が、各種の土地調査においても十分対応出来るものであることがわかった。

文 献

- 1) 重森弘淹：写真の思想，10—60，潮新書，1972
- 2) 名取洋之助：写真の読み方，2—96，岩波新書，1964
- 3) 木本氏寿：航空写真測量の実際，4—6，日本測量協会，1962
- 4) 大金永治：デジタルカラー写真の林業への応用，北方林業 281，217，1972
- 5) 寺沢恒信：弁証法的論理学試論，57—61，大月書店 1971
- 6) 鎗木徳二：林業上飛行機写真の利用，北海道林業会報23，21—24，1925
- 7) 中山博一：航空写真に依る森調査，11—12，興林会 1937
- 8) Wilson: Manual of Photographic Interpretation, 457, 1960
- 9) 藤島信太郎：森林経理精義，72—77，養賢堂，1956
- 10) 谷口信一：北海道における森林航測の課題と方法，測量21 (9)，35—38，1971
- 11) 石井弘ら：富士箱根伊豆国立公園箱根団地の景観構成 (Ⅲ)，造園雑誌35 (2)，9—14，1972
- 12) 林野庁：航空写真による森林調査，138，1955
- 13) 北海道林務部：物満内天然林の解析と施業法，9—65，1970
- 14) 北海道林務部：旭川経営区亜高山森林帯の解析，16—17，1973
- 15) 北海道林務部：浦幌経営区天然林の解析，22—23，1975
- 16) 小倉武一：日本の農政，30—61，岩波新書，1972
- 17) 四手井綱英：日本の森林，6—8，中公新書，1974
- 18) 尾崎幸男：写真測量概説，1—8，森北出版，1968
- 19) 仁科芳文：林野関係の航空写真が現在の程度に撮影されているか，森林航測 (7)，10—12，1958
- 20) 林野庁：航空写真による森林調査，1955
- 21) 谷口信一：航空写真による森林調査(英文)，北大演習林研究報告21 (1)，1961
- 22) 中島巖：森林航測概要，地球出版，1961
- 23) 石川善朗：航空写真による林木畜積研究の動向と問題点，日本林学会北海道支部講演集(16)，27—29，1967
- 24) 中島巖ら：林型の相違による航空写真像の濃度測定法と解析法の研究 (予報)，林業試験場研究報告 (141)，31—49，1962
- 25) 中山博一：林木材積測定学，258，金原出版，1971
- 26) 中島巖ら：天然林の調査法に関する研究，林業試験場研究報告 (227)，83—239，1970
- 27) 寺島光一郎：林野における空中写真撮影・解析のシステム化について，林野庁長期委託研修報告書，1973
- 28) 大金永治：デジタルカラー写真の林業への応用，北方林業 (281)，217—223，1972
- 29) 板垣恒夫：デジタルカラー写真による林相判読，第85回日本林学会大会講演集，41—43，1974
- 30) 小林正吾：空中写真による林相区分の精度と森林蓄積の推定法について，写真測量 9 (2)，17—22，1970
- 31) 日本林業技術協会(訳)：航空写真の樹冠像による樹種の判定について，森林航測(34)，15—18，1962
- 32) 館脇操・五十嵐恒夫：北大天塩・中川地方演習林の森林植生，北大演習林研究報告28 (1)，1971
- 33) 藤原滉一郎：航空写真による林地崩壊に関する研究，北大演習林研究報告27 (2)，1970
- 34) 北海道林務部：奥幌内天然林の解析と更新，73—75，1972
- 35) 館脇操・五十嵐恒夫：北大天塩・中川地方演習林の森林植生，北大演習林研究報告28 (1)，1971
- 36) 環境庁：自然環境保全調査報告書(北海道)，1975
- 37) 北海道開発コンサルタント(株)：身体障害者総合援護施設設置事業のうち現況調査その2(報告書)，1976

Summary

The present communication serves as an introduction to the categories of natural forest stands by means of interpretation of aerial photos carried out for well over the past dozen years by the author, and at the same time, describes its application to land surveys, as summarized in the following.

- 1) A Study of the nature of aerial photos evidences the following merits: recordability, objectivity,

reproductivity and expressibility. Taking into consideration these characteristics, we discussed the qualitative and quantitative representation of objects by aerial photos corresponding to the photographing altitude. Furthermore we defined the interpretation of aerial photos as "the coordinated understanding of qualitative and quantitative data of a photographed object by means of aerial photos accomplished for a certain purpose of the object".

- 2) In the study of forests by means of aerial photos, we stressed the fact that the categories of forest stands are the essentials preceding any survey. The author's method of classification of forest stands is based on the premises of completion by means of land survey; thus accuracy could be expected.
- 3) In the Japanese history of utilization of aerial photos, importance was attached more to the quantity than to the quality. This is particularly

true in case of forest studies during the period of high economic growth after 1955.

- 4) The present communication describes in detail the various interpretations of aerial photos: tree crown stratum, group of tree species, class of density, class of tree height, etc. Furthermore we described the changes in the forest aspect and the estimation of wood volume of a forest stand as an example of the study, which made us understand that this is the practical category of forest stands.
- 5) We described the vegetation study, the survey of afforested zones in cities and plans for land-caping as an application to land survey. We could understand that the method of interpretation of aerial photos mainpoint of which is the mutual confirmation of "land aerial photo" by means of eyes and legs of human beings enables us to sufficiently cope with all kinds of land survey.