



Title	樹木年代学からみた地すべり地の推移
Author(s)	東, 三郎; HIGASHI, Saburo; 藤原, 滉一郎 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 28(2), 339-419
Issue Date	1971-12
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/20891">https://hdl.handle.net/2115/20891</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	28(2)_P339-419.pdf



# 樹木年代学からみた地すべり地の推移

東 三 郎\*・藤原滉一郎\*\*

新 谷 融\*・村井延雄\*

## Dendrochronological Studies on the Transition of the Creeping Land

By

Saburo HIGASHI\*, Koichiro FUJIWARA\*\*, Toru ARAYA\*  
and Nobuo MURAI\*

### 目 次

はじめに .....	340
研究方法 .....	342
1. 樹木年代学の位置づけ .....	343
2. アテ材の年代解析 .....	344
3. 木本群落の年代解析 .....	349
4. 研究対象地の概況 .....	351
年輪解析の結果 .....	356
1. 音別川上流部 (Onbetsu) .....	356
2. 天塩川中流部 (Kamiotoinepu) .....	363
3. 沙流川中流部 (Furenai) .....	369
地すべり地の推移に関する考察 .....	372
1. 年輪解析の方法 .....	372
a. アテの特徴 .....	372
b. アテの指標的限界 .....	375
2. 地すべり地の地形変化 .....	377
a. 風化土層の下降運動 .....	377
b. 地すべり面の問題 .....	393
c. 地すべり地形の特徴 .....	393
d. 人為介入による地形の急変 .....	396
3. 地すべり地の植生変化 .....	397
a. 裸地の出現と木本侵入 .....	397
b. クリーブ現象と植生 .....	400

\* 北海道大学農学部砂防工学研究室 Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

\*\* 北海道大学農学部中川地方演習林 Nakagawa Experimental Forest, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

c. 林相の非可逆変化 .....	404
d. 人為介入による植生変化 .....	405
4. 地すべりと森林 .....	406
a. 林内地すべり地の判別法 .....	406
b. 地すべり防止の問題点 .....	408
むすび .....	409
参考文献 .....	413
Summary .....	416
Plate (Photo 1~27) .....	419

## はじめに

北海道は、最近まで、地すべりの少ない土地であるとされてきたが、開発の手が奥地にのびるにつれて、それまで原生林におおわれていた山地においても、地すべりによる災害が起こるようになってきた。人間が自然に介入することによって引き起こされるこの種の災害は、一種の社会現象であって、自然現象のみを追究してみても、解決できる問題ではないが、北海道の地すべりのように、未開発時代に「地すべりによる災害」がなかったことから、原生林時代に「地すべり」は発生しなかったとして、現象的に混乱した解釈もみられるので、あらためて自然現象としての地すべりを検討し、社会現象としての災害問題に関連させようと考えてきた。

すなわち、自然を新しい視点からとらえ、動的実態を明らかにしようと考えてきた。たとえば、山地のもつ固有の変化と運動方向を、森林のたどった固有の変化や運動方向と関連づけ、人為が介入した場合の波及効果や運動方向について、現在を起点として歴史的に追究する方法によって明らかにしようとしているのである。

これまで、山地のもつ動的変化には、ほとんど関心が向けられていなかったばかりでなく、「山地不動」を前提とする森林観が、自然の変化を解く理論的根拠であるかのように提唱されてきた。たとえば、山地災害の調査に際しては、誘因的条件としての気象変動（多くの場合豪雨である）や、素因的条件としての地形や林相などの静的状態の分析に多くの指摘がなされていた。そのあらわれとして、過去の気象変動に影響された変化や山地固有の累積された変化に関する素因的条件に関して、時間的な分析はあまり試みられてこなかった。こういう傾向は、かつて平地林で培われた森林観が山地斜面における顕著な重力作用を無視したまま、山地林へ適用されつつあったことにも関連しているとおもわれる。もっとも造林行為のように選ばれた土地において、ある期間の「山地不動」が前提として成り立つ場合もあり、その限りにおいては選ばれた土地には、すでに、経験的な「選択の基準」が適用されていたことを認めなければならないだろう。しかしその基準は多くの場合地形的条件を主にしたもので、急斜地よりも緩斜地を、緩斜地よりも平坦地を優先させたものである。

したがって、一般に知られているように、地すべり地は緩斜地形を呈しているために、実際には全く相反する条件であるにもかかわらず、前記の基準からみると、地形的に好条件とし

て位置づけられる可能性が強かったのである。実際、われわれの関係する森林施業の分野において、この緩斜地が造林適地と判定されたり、林道網の路線選定には地形が先決条件とされているのもそのあらわれである。しかも、地すべり地は、一時的・相対的な安定相を呈しているにすぎないのに、植物が繁茂しやすいために、植生により固定された斜面であるかのように錯覚され、流域の土砂害防止の方法に、重大な誤りをおかしてきたのである。

このような実例からみてもわかるように、経験的な「選択の基準」は地すべり地を含む自然流域に広く適用できないのである。そこであらためて自然認識の方法について吟味しなければならぬのであるが、筆者らはそのひとつとして、ここに生物学的手段によって、無機物集合体である山地の動的実態を明らかにしようと試みた。

すなわち、本論文において、地表の動的変化を、それに支配されて生存する植物群の生態から、帰納的にとらえ、それを一般化する方法として確立しようとしているのである。さしあたって、変動のいちじるしい地すべり地を選び、約100年間の変動を対象に研究をすすめた。この100年という時間は、地学的年代からみれば、きわめて短い時間であるが、われわれの寿命(Life time)にくらべると相当に長い時間であり、林業生産的に、また防災的にとりいれるのには妥当性のある時間である。

原生林におおわれていた北海道の山地が、約100年前から伐採されはじめ、開発のテンポがいちじるしく早くなってきた最近では、人為のはいらぬ山地は残り少なくなってきた。しかし、原生林時代に形成された地すべり地形や、開発以後に災害をともなった地すべり地などにおいて、天然林の解析を試みるためのフィールドはまだ十分に残されている。

筆者らには、1964年以降、地すべり問題に対して、上記のような趣旨によって、他の研究分野に提供しうる「時間的情報」を整えるべく、下記の研究プロジェクトには積極的に参加し、新しい方法の確立を目指した。

1. 真井耕象(代表者): 北海道における最近発生した代表的地すべり機構に関する研究(文部省特定研究, 昭和38年度)
2. 佐々保雄(代表者): 北海道における最近発生した代表的地すべり機構に関する研究(文部省特定研究, 昭和39, 40年度)
3. 佐々保雄(代表者): 北海道における蛇紋岩地帯の地すべり研究(文部省特定研究, 昭和44年度)
4. 石川俊夫(代表者): 同上, 継続研究, 昭和45年度
5. 鈴木 守(代表者): 石狩・空知地域の地すべりに関する研究(北海道立地下資源調査所研究, 昭和42, 43, 44年度)
6. 鈴木 守(代表者): 天塩川中流地域の地すべりに関する研究,(同上, 昭和43, 44, 45年度)
7. 東 三郎(代表者): 地すべり地のアテ材に関する研究(文部省科学研究, 一般C, 昭和44, 45年度)

この間に、多くの資料を得、各関係者と討議を重ね、われわれの目ざした「樹木年代学的方法」にいちおうの結論を得ることができたので、当初(1964~1965年)にたてた仮説を実証するために、そのころ得た資料にあらためて検討を加え、地すべり問題の新しい視点としてまとめた。

この研究に関しては、北海道林務部、北海道立林業試験場、北海道立地下資源調査所、旭川営林局、帯広営林局、札幌営林局、函館営林局、三井物産札幌支店、北海道大学演習林、北海道大学林産学教室の関係各位に、多くの援助を受けた。ここに深く謝意をのべるしだいである。

なお、たえず貴重な助言を賜った道立地下資源調査所鈴木守博士と、北海道大学農学部砂防工学研究室若林隆三氏および大学院生と、卒業論文としてこの種のテーマととりくまれた葛西公尚君(昭和40年卒業)、山上忠君(昭和41年卒業)、吉田健君(昭和42年卒業)、船田嗣寿君(昭和43年卒業)、川幡洗君(昭和44年卒業)、酒井一裕君(昭和45年卒業)に、その後の研究成果を披露し謝辞にかえるしだいである。

## 研究 方 法

長い年月の間に、地質条件は地形となってあらわれ、地表変動は地上の植物群に変化をもたらすという観点にたつと、現存する植生の実態から、土地の個性や歴史を読みとることができはざである。しかしながら、植物の材料的価値に関する研究にくらべると、環境をあらわす指標価値に関する研究は、20世紀はじめに H. C. COWLES や F. E. CLEMENTS によって提唱されて以来、あまり発展していないようである。

また、3次元空間の変形である山地斜面の侵食現象を、時系列事象として考察するようになったのは空中写真判読の方法が発達してきたごく最近のことである。これまで侵食現象は植生と土地との関係で研究されているが、その多くは、植生に侵食防止能力を期待できる表面侵食の範囲にとどまり、地塊移動や、土壌クリープを含めた地すべり地の挙動に関するものは少なかった。

地すべりのような深い層からの侵食現象に、地表の植生が対抗できないことは、すでに常識であるにもかかわらず、いっぽうでは、地すべり地においてミクロな地盤変動調査が行なわれつつあり、地すべり地の推移について、一貫した研究方法はみいだされていない。そこで、地形図や空中写真にあらわれている地すべり地形に、現在の意味をもたせるために、現在の時間単位を導入して考察する必要があるとおもわれるのである。それには、これまで行なわれてきた短い時間単位の物理的測定法を、よりの確な方法として発展させるためにも、地すべり地を、やや長い時間単位で観察し、定性的に分析していかなければならないとおもわれる。そして、その時間的指標としては、環境に反応しやすい植物を利用し、過去の地表変動を歴史的に考察する方法として、つぎののべるような樹木年代学(Dendrochronology)の意義を確かめ、新しい解析法をみいださなければならないのである。

## 1. 樹木年代学の位置づけ

地学で用いられている年代決定法には、化石によって地層の古さを決定したり、花粉分析によって古環境を知る方法や、火山灰の同時層を追跡して、地形面の対比や第四紀の地史を明らかにする方法があげられている。そして絶対年代の決定には、 $C^{14}$ 、人類遺跡、年輪、植生、噴火古記録などが用いられている (井尻・新堀, 1967)。

また、考古学では人類遺跡の年代決定に、埋積資材の年輪を解析する年輪年代学の手法がある。山岸宏 (1964) は、年輪幅の広狭を測定して、異常気象発生年代の明らかな標準図と符合させて、埋積材の年代を決定する方法を紹介している。

さらに、現存する生立木の年輪解析については、太陽黒点の変遷 (CLEMENTS 1928)、台風 (真鍋・川勝, 1968, 1969)、火山爆発 (EGGLER, 1967)、堆積地形成 (新谷, 1968, 藤井ら, 1970)、山火の痕跡 (WEAVER, CLEMENTS, 1929)、洪水痕跡 (伊達・熊谷, 1969)、なだれ (若林, 1970) などとの関連が報告されている。確かに、樹木を一種の長期記録計 (生物計) として扱うならば、極端な環境変化は、なんらかの形で表現されているとみることができよう。しかし、これらの年輪解析は、おもに木材としての扱いや、単木を対象としており、生物集団の空間的広がりやを扱う方法までには到達していない。

樹木の生育に影響する環境因子のなかで、自然的なものに、気象因子、地形因子、土性因子、生物因子をあげることができる。これらの4大因子が相互にからみあって作用することは、いまさらいうまでもないことであるけれども、もっともマクロな範囲の作用因子は気象因子であり、もっともミクロな範囲の影響因子としては、植物相互の競争をあげることになるだろう。ここで、その中間的位置にある地形因子と土性因子をながめてみると樹木の生活圏となっている表土 (Regolith) には、たんに土壌のもつ肥料効果の良否ばかりでなく、それぞれの土に固有の力学的性質があり、気象因子 (雨・雪・霜・風) のうちとくに水との関係で、複雑に変化することを無視するわけにいかない。しかし、このような土の動的変化を空間的にみよとする場合、樹木の一つの集団が、その環境因子に支配されて形成されたものとして、その樹木集団の広がりや構成要素および個々の生育状態から推察することもできようと考えられるのである。

A. G. TANSLEY (1923) は、標高や斜面方位・傾斜などの地形因子に、さらに地層の一般的性質・侵食・堆積・飛砂などの動的因子を Geodynamic Processes として加え、両者を Physiographic Factors (地文因子) と表現している。筆者らは、この Geodynamic Processes を地すべり・崩壊・土石流・飛砂などの予期しない状態で起こる「地表変動」として、樹木の生育に及ぼす重大な作用因子と解釈しているわけである。

Fig. 1 は、東 (1968) が地表変動と関連する植物指標として、とくに木本類の形態や年輪から年単位の情報を得ようとしているものである。

つまり、木材、あるいは単木を鍵として年代を決定する年輪年代学をこえ、樹木集団の形

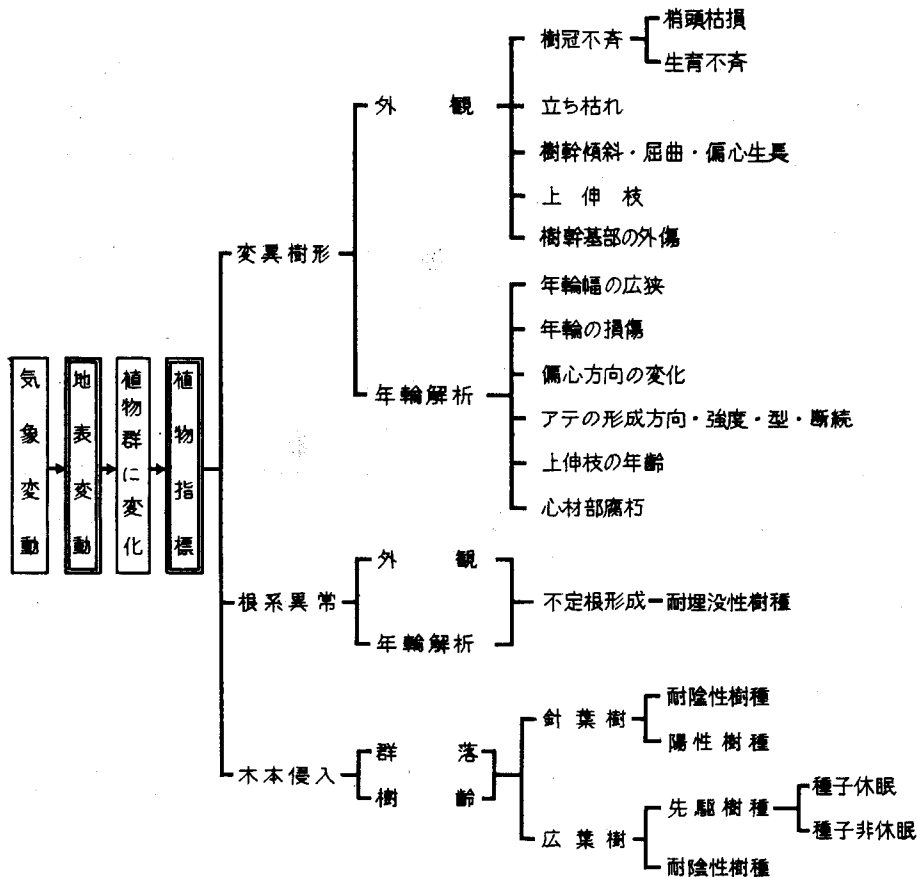


Fig 1. Plant indications for geodynamic processes.

態や年輪を鍵とする樹木年代学へと発展させたものである。しかし、この方法は、数100年以内の年代について、しかも局所的な環境の変化を対象とするわけであるから、地学的、考古学的手法にくらべると、時間的にも空間的にも限られた狭い範囲の方法ということになる。

ここに表わした植物指標のなかで、地すべり地の推移を知るために最も有効とおもわれる年代解析には、変異樹形の年輪つまりアテ材の形成状態と、地すべり地に出現する裸地に形成される木本群落とが使われることになる。つぎに、これらの年代解析についてのべてみよう。

## 2. アテ材の年代解析

樹木の生長に及ぼす環境因子のなかで、気象因子では、強風・なだれが、地文因子では崩壊・地すべりが、突発的な外力として樹木に作用し、生長を妨げることがある。極端な場合には、樹木は倒伏し枯死するが、傾斜木は屈地性屈曲により直立位に立ち直ろうとして異常材を形成し、樹幹は変異する。地すべり地では、多くの研究者によって、樹木の傾斜する状態が認められ、A. HEIM (1932) は、樹幹の屈曲状態と、地すべりのくりかえしの関係についてのべている。傾斜した樹幹の横断面には、異常材が形成される。樹木生理学・木材理学では、この異

常材をアテと称し、19世紀末から研究されている(尾中, 1949)。アテは種々の点で正常材と異なる性質を有し、針葉樹のアテ(Compression wood)は、傾斜木の下側断面に赤褐色の扇形としてあらわれ、肉眼で識別しやすい(Fig. 2)。多くの広葉樹のアテ(Tension wood)は傾斜木の上側断面に形成され、肉眼で識別されにくいとされている。しかし、アテ材に対する初期の定義は、伐採あるいは木材鑑定の際に、肉眼視できる変色部分の存在をさしており、顕微鏡段階の認識ではないから、広葉樹のように肉眼視できないものとはいちおう区別されるべきであろう。

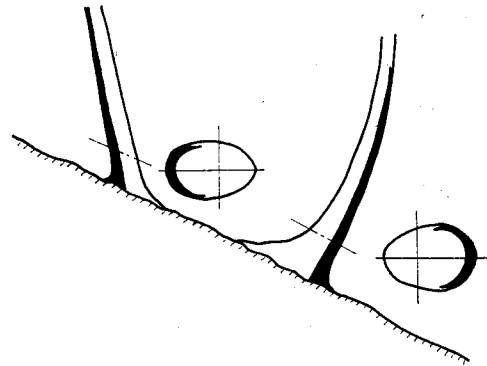


Fig. 2. Developed reaction wood (dark part) on the underside of inclined stems of coniferous species.

筆者らのとらうとするアテの年代解析には、いわゆる肉眼視による初期の定義を用いるのであるから、顕微鏡段階で識別される広葉樹の異常材とは区別しておく。

枝にもアテは形成されるが、枝の場合には、斜向屈地性の生理的作用があり、樹幹の屈地性屈曲と異なっている。枝の問題は、本論文の圏外にあるので、ここでは触れないことにする。

要するに、アテは傾斜木にあらわれるのであるから、アテ形成にあずかる直接原因は樹幹の傾斜であり、樹幹を傾斜させる外力は、アテ形成の間接的原因ということになる。いま樹幹を傾斜させる影響についてみると、おおよそつぎのようなものがあげられる。

1. 風の作用: 常風, 台風
2. 雪の作用: 冠雪, 積雪クリープ, なだれ
3. 土地条件: 急斜地, 崩壊, 地すべり, ソイル・クリープ
4. 生理的条件: 隣接木との競争, 屈光性
5. 人為的作用: 森林作業, 土木工事
6. 諸種の害: 主軸の損傷(虫害, 気象害)

これらのなかで、大径木を傾斜させるような外力としては、台風、なだれ、山崩れ、地すべり、森林作業、土木工事のようなものがある。台風は広い範囲の樹木に、地表変動は局所的な樹木に、人為作用は個々の樹木に影響を及ぼしている。

これまで、常風によるアテの形成に関係する研究は多いが(A. J. Low 1964)、強力な外力によるアテの形成について検討されたものは少なく、とくに地表変動の影響について詳しく論じられたものはみあたらない。

尾中(1949)が樹幹の横断面にあらわれるアテの形成状態について区別したのから、樹幹の基部にあらわれるものについて要約するとつぎのようになる。

1. 内部の年輪にアテのある場合——樹幹の細い時代に傾斜し、現在は直立位に復してい

るもの。

2. 外部の年輪にアテのある場合——樹幹が太くなってから傾斜し、現在も直立位に復していない場合には、最外層の年輪にもアテがある。

3. 中部の年輪にアテのある場合——生長のある時代に樹幹が傾斜し、断続しているものは、数回直立位に復した経歴を示すものである。

4. アテの形成方向が一方的な場合——アテが断続していても、樹幹の傾斜方向が変わらなかったことを示している。

5. アテの形成方向が変化している場合——樹幹の傾斜方向がしだいに変わったり、急変したことを示している。

樹幹横断面において、アテが一侧より他の側へ急変している問題について尾中は、暴風によるてん倒と地すべり地の地盤変化の際にあらわれるとしているが、実例としてあげられたものはない。PILLOW と LUXFORD (1937) は、5年後にアテの形成方向が $180^\circ$ も急変している Spruce の実例をあげ、その原因については不明であるとのべている。尾中および PILLOW らの論文から推察されることは、これまでのアテの研究には、樹幹傾斜の原因として風の影響が大部分を占め、地表変動にはほとんど関心が向けられていなかったことである。

筆者らは1964年以降、北海道内の新しい地すべり地で、樹幹傾斜とアテの形成について調べ、地すべり地における両者の密接な関係を確かめることができた。最近の北海道の著名な地すべり地の例をあげるとつぎのものがある。

1962年10月17日午前10時40分に北海道松山郡乙部町において発生した豊浜地すべり地では、垂直方向80m、水平方向100mの移動地塊上のカラマツ人工林(40年生)の試料木6本に、Fig. 3に示すように1964年12月11日伐採時点までに2生長期のアテ材が顕著に形成されていた(東ほか, 1965)。

また、1966年4月19日午前8時頃、北海道札幌市定山溪において発生した黄金湯地すべり地では、水平方向に最大45m移動した地塊上のトドマツ天然林(80~115年生)の試料木4本に、Fig. 4に示すように1969年9月3日伐採時点までに、4生長期のアテ材が刻みこまれていた(東・酒井, 1970)。

この両者の試料木は、いずれも地すべりによって樹幹が山側に傾斜したものばかり

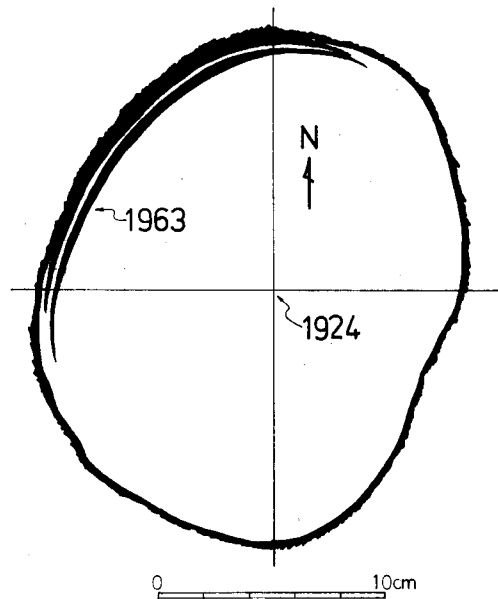
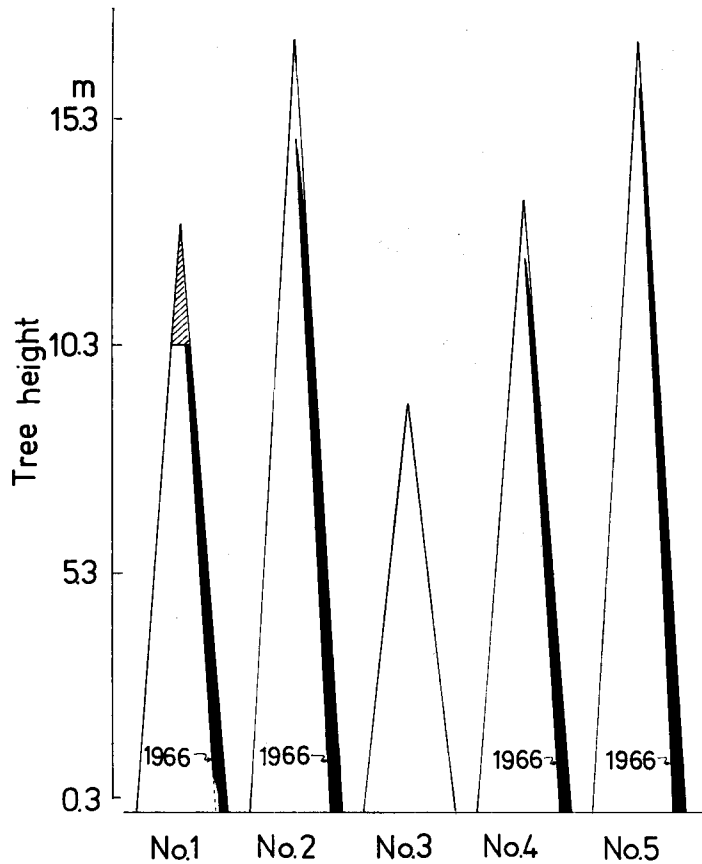


Fig. 3. The abnormal ring (1963) suggests that the tree (*Larix leptolepis*) was inclined by landslide at Oct. 17, 1962 in Ootobe.



**Fig. 4.** Relation between reaction wood formation (1966~1964) and the stem inclination by landslide at Apr. 19, 1966 in Koganeyu. Sample (*Abies sachalinensis*) No. 1, 2, 4, 5 were collected in the slided area and No. 3 was collected contiguous intact area, at Sep. 3, 1969.

で、なだれの影響のように谷側に傾斜したものでない。

また、1962年以降、北海道のこの地区には、1954年の洞爺丸台風のような大型台風は襲来していないし、黄金湯地区の移動地塊に隣接している不動部から得た試料 (No. 3) には、Fig. 4に示すように1966~1969年のアテ材が形成されていないことから、この場合は台風の影響については考えなくてもよいと判断される。つまり、これらの試料木のアテ材が雪や風のような気象因子によってできたものでないことは明らかである。

以上のように、発生年代の明らかな地すべり地の生立木について検討する方法は、野外の実験装置で長年にわたって観察したのと同じことになる。そこで、この現象を一段と縮小した形で、トドマツ苗木のアテ材形成を模型実験によって調べてみた。すなわち、1968年5月2日に植栽した実験用植木箱の地表面を、1年後の1969年4月25日に約30°傾斜させ、それによって傾斜した苗木樹幹が復元していく過程を観察するとともに、1969年12月22日に、地上部

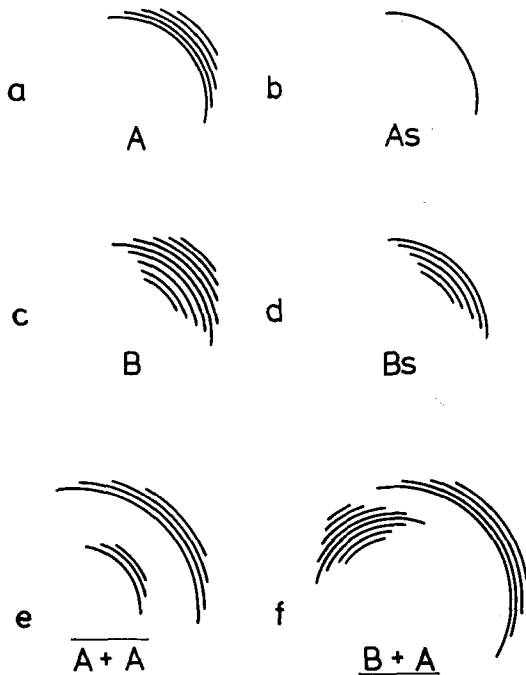


Fig. 5. Standard (a~d) and compaund (e, f) types of the abnormal rings for tree-ring analysis.

a: Decreasing type, b: 1 year type, c: Summit type (gradually started to change), d: Increasing type, e: Same direction and discontinuous f: Different direction and continuous

をきりとしてアテの形成状態を調べた。その結果樹幹には、生長期のアテ材が、傾斜した樹幹の下側に形成され、さきの地すべり現地での傾向と一致していることを確かめることができた(東・酒井, 1970)。

そこで、樹幹の一横断面にあらわれるアテの型を基本型とその複合型にわけ、形成度合、形成方向とともに記号化し、年代的な解析法の基準とした。Fig. 5に示すようなA型、As型、B型、Bs型の4基本型とその複合型について略述するとつぎのとおりである。

### 1. A型: 減衰型

傾斜木が屈地性屈曲によって、数年後に直立位にもどる普通型である。大径木の基部では、直立位に回復しにくいために、連続して強度のアテが形成される。突発的な樹幹傾斜が起こった場合である。

### 2. As型: 1年型

A型の特殊型で、傾斜後わずか1年長期の間に、直立位に回復する場合である。

樹幹傾斜の度合が弱かったとき、あるいは生長の早い樹種にみられる。

### 3. B型: 漸増減衰型

樹幹傾斜がしだいに増加し、しかも屈地性をうわまわっている場合に形成される型で、樹幹を傾斜させる外力が消滅すると、A型と同様に減衰部が形成される。

### 4. Bs型: 漸増型

B型の特殊型で、樹幹を傾斜させる外力が消滅すると、ただちに直立位に回復する型である。

### 5. 複合型

各基本型の組み合わせで、連続・不連続、同方向・異方向、出現回数によって、いちじるしく多くの組み合わせとなる。

アテの形成方向は、時計の文字盤にあわせ、磁北を12時とし、東側を3時、南側を6時、西側を9時としてあらわした。また、アテの形成強度は、肉眼視のうえで、相対的な強さを3段階としてP(強)、M(中)、S(弱)としてあらわした(年輪解析表参照)。

ここで、B型、Bs型の漸増部は、樹木の屈地性屈曲をうわまわる外力が樹幹を傾斜させる場合に形成されるアテで、A型、B型の減衰部は外力が消滅した場合に、樹木の屈地性屈曲にもとづいて形成されるアテであるから、この外力を地表変動に起因するものとする、漸増部は地表変動の持続している期間を、減衰部は地表変動の休止している期間をあらわすものと考えることができる。したがって、外力の作用年代からみると、減衰部は正常材の形成される年代、つまり外力の作用しなかった年代と同様の扱いをうけることになる。

ひとつだけ注意しなければならないのは、アテの形成が外力の作用年代よりも時間的に遅れることである。樹木の生長休止期間である前年の秋の外力(台風、長雨時の地すべり)と、当年の春の外力(融雪時の地すべり)により形成されたアテを、時間的に区別することはむずかしい。また、生長最盛期の樹幹傾斜の影響についても十分な特徴をとらえていないので、これまでのところ、外力の作用年代とアテの形成年代がすべて一致しているとみることはできないのである。年輪数のうえで少なくとも1年のずれをみこんでおかなければならない。この点は、地表変動の履歴について定性的な検討を加える際あまり大きな障害とはならない。

### 3. 木本群落の年代解析

地すべり地の履歴を知るために、変異樹形による方法だけでは、樹幹が完全に倒伏し枯死した場合に、後日その当時の特徴をとらえることができないために、災害に関係の深い大移動の発生年代を推定しにくいことになる。したがって、この欠陥を補うために、地すべり地の林内裸地における木本侵入に着目し、植物指標のひとつとして、侵入年代と裸地の形成年代の関係を求め、地すべり運動の時間的情報を得る方法とした。

なんらかの原因によって裸地ができると、そこには周囲から植物が移住し定着する。ここでいう裸地とは、崩壊地や滑落崖、扇状地や河道堆積地のように、新成土でおおわれた場所をいい、山火跡や刈払い地のように樹草の根系や根株の残った地表と区分される。裸地に侵入し、貧栄養の土壌条件にうちかって定着する植物を先駆植物(Pioneer plants)とよんでいるが、この種の植物は種子の飛散力が大きいことにも特徴がある。もし林内の局所的な小面積裸地であれば、必ずしも先駆植物のみがいちじるしく侵入するわけではない。侵入の阻害要因である表土の移動と水分不足が緩和されると、多種の植物が定着する。崩壊斜面では地形条件すなわち斜面の傾斜・土質・方位と植生回復の関係が密接であり、気象条件とからみあった裸地表面の動静が大きく影響する。

東(1967)は、北海道の崩壊地で観察した表土移動についてつぎのようなものをあげている。

1. 雨水による表面侵食
2. 融雪水による表面侵食
3. 凍結による表土の凍上崩落
4. 凍結表土の融解流動

5. 積雪移動に伴う表面侵食
6. 乾燥時の表面風食
7. 岩石崩落による表面侵食
8. 隣接未崩壊部の崩落に伴う表面侵食

これらの表面侵食は傾斜が急になるほど、種子の着生を困難にする。しかし、岩塊の多い凹凸の斜面や、倒木・根株の上縁には、局部的に相対的な不動点 (immovable spot) があり、その部分に侵入定着の場がある。先住植物のない裸地においては、移住植物は異種植物との間の競争にわずらわされないが、種子発芽に必要な水分にめぐまれないために、その条件は初期生長のいちじるしい陽性植物のほうに有利である。Fig. 6に初期侵入に必要な条件を模式的に示した。これは裸地の物理的條件の優先順位をあらわすもので、不動点の存在意義を強調している。従来、侵食の概念には雨水侵食と植生被覆が中心であったために、裸地の表土移動と植生侵入の関係は深く追究されていない。生態学的にみると、植生の有無は表土移動の実態を示す要因的指標 (Factor indicators) と考えられるから、人為的な植生導入の解決にも、その指標を生かさなければならぬとおもわれる。

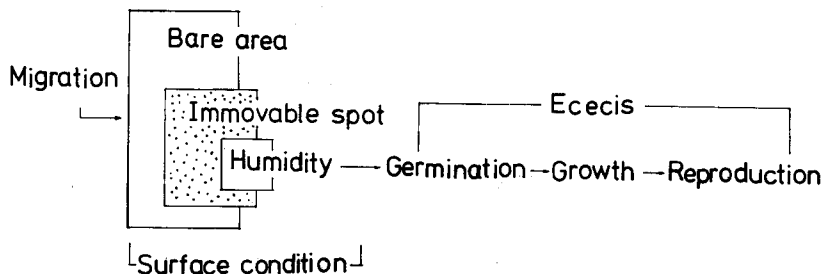


Fig. 6. Relation between ground surface conditions and invasion of plants.

多くの樹木は秋に種子を散布する。裸地斜面では、翌春、種子の発芽する頃までに、凍上融解などによって表土は移動し、種子は斜面の脚部に押し流されたり、埋没したりして発芽できない場合が多い。いっぽう、初夏 (北海道では5月下旬) に種子を散布するヤナギ科植物では、表土乾燥と風食によって発芽条件が満たされないと定着しない。ヤナギ科の種子には休眠性が無く、かつ短命であるが、もし水分条件にめぐまれば、24~48時間で発芽完了するという特性をそなえている。

Fig. 7はヤナギの種子の寿命について、室内の発芽試験によって確かめた例である (東・鈴木, 1970)。この図でみるようにバッコヤナギ・ナガバヤナギ・イヌコリヤナギが、わずか数日にして、急速に発芽率が低下することをよみとることができる。各樹種ごとに成熟期がこととなり、1本の枝においても成熟期に時差があるけれども、いったん成熟すればその後の寿命はきわめて短いことがわかる。

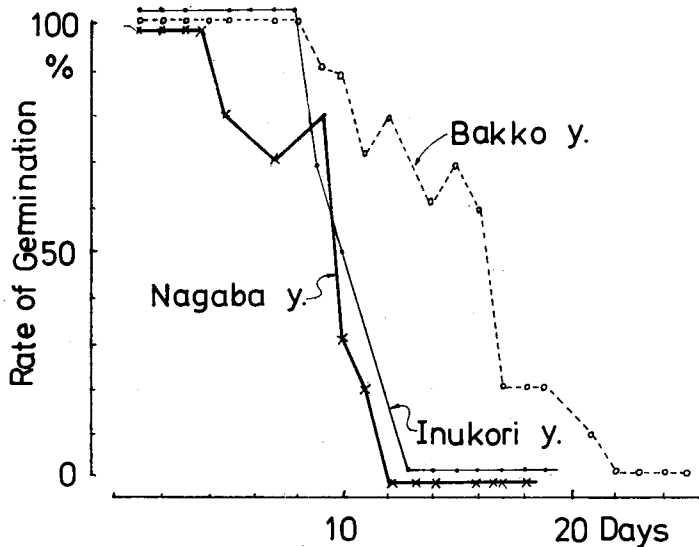


Fig. 7. Life of seeds of *Salix* sp. (from May to June in 1970)

また、ヤナギは植物間の競争に弱い。したがって、ヤナギ類の侵入は相当の広さをもつ裸地の出現年代を推算するのに有効である。三紀層の地すべり地や崩壊地、河岸堆積地によくこの実例をみかける (新谷, 1968)。また火山砂礫地帯においても、岩礫のかげの種子が発芽したとおもわれるヤナギ類 (*Salix* sp.) やドロノキ (*Populus maximowiczii*) の自生木は相当に多い。一般に乾燥しているとおもわれやすい火山砂礫地帯でも、岩塊の下は地表面まで十分な土湿が保たれているためであり、筆者らはこれを岩塊の「日かげ効果」とみている。このような押し出し堆積地では、地表変動の年代と年輪数は一致している場合が多い (東, 1964)。

典型的な木本侵入の実例は、1945年に生成した昭和新山においてみることのできる (東, 1968c)。現在昭和新山麓には、ドロノキをはじめとし、イヌコリヤナギ、ナガバヤナギ、バココヤナギ、カンバ類、ハンノキ類、イタヤカエデ、カツラなどが、エゾヨモギ、オオブキ、オオイタドリ、クロバーなどとともに着生している。

一般に乾燥しやすく、樹木生育に不利とおもわれる場所にヤナギ科植物の多いことは、奇異な現象におもわれるが、先駆植物であるヤナギ科植物は、種子の飛散力が大きいことと、異種植物との競争に弱いことが特徴であり、そのために植生はおおわれた肥沃な土地とは逆に、広範囲の裸地に侵入しやすいことを物語っている。

以上にのべたように、裸地に侵入する木本群落の年輪解析を、大小種々の裸地が形成される地すべり地に適用することによって、立木が倒伏枯死するような大移動の発生を、歴史的に確かめることができるのである。

#### 4. 研究対象地の概要

1964年以降、ひとつの斜面において、比較的多くの試料を採取した地区を、研究対象地と



Fig. 8. Dots represent approximate location of slides investigated.

Table 1. Investigated sites and samples

Site	Onbetsu I, II	Kamiotoineppu	Furenai
Geology	Tertiary	Cretaceous	Tertiary
Orientation of slope	S~SE	S	E
Gradient of slope (°)	10~35	10~40	5~30
Snow depth	Shallow	Deep	Shallow
Date of collection	Sep. 1~Sep. 5, 1965	Sep. 21, 1964~Sep. 30, 1966	Jan. 27~Mar. 30, 1965
Species	<i>Abies sachalinensis</i>	<i>Abiessachalinensis</i> , <i>Picea jezoensis</i>	<i>Larix leptolepis</i>
Number of trees	18+15	25	36
Inclination of trunk	Moderate	Slight-Pronounced	Slight-Moderate
Tree age	29~106	68~130	about 15
Tree height (m)	2.0~15.0	10.5~13.0	10.5~13.0
Diameter (b. h) (cm)	6~26	18~23	11~18

して選び、地すべり地の推移について考察した。それらの対象地は、Fig. 8に示したように、北海道北部、天塩川中流部上音威子府 (Kamiotoi) の北海道大学中川地方演習林、第187林班と、北海道東部、音別川上流部霧里 (Onbetsu) の北海道道有林浦幌事業区10林班、4林班と、北海道南部、沙流川中流部振内 (Furenai) の三井木材 K.K. 社有林である。

各地の概要と、試料の採取方法を Table 1 に示した。対象地は、いずれも地すべり地特有の波状地形を呈し、滑落崖、側壁、沼地、きれつが発達し、一見して地すべりの結果であるとわかるように、多くの樹幹が乱雑に傾斜し、なかには、根元から樹幹の裂けた立木があったり

ササの根茎が切断されているような状態もみかけられた。

Kamiotoi は中生代上部エゾ層群に属し、針広混交の天然林で、ここでは、1964年から1966年にかけて3カ年にわたり毎秋5~10本のトドマツおよびエゾマツを試料木として採取し、年輪解析を行なった。

Onbetsu は、古第三紀音別層群に属し、針広混交の天然林で、ここでは、1965年8月に、1号地で18本、2号地で15本のトドマツを試料木として採取し、年輪解析を行なった。

Furenai は、新第三紀川端層に属し、カラマツ人工林で、ここでは、1965年1月から3月にかけて、36本の植栽木から試料を採取し、年輪解析を行なった。

Table 1 に示したように、Kamiotoi と Onbetsu の試料木は天然生であるために、試料木の樹齢が高く、ばらついており、同一樹齢で、樹高・胸高直径もそろっている Furenai の植栽木と対照的である。

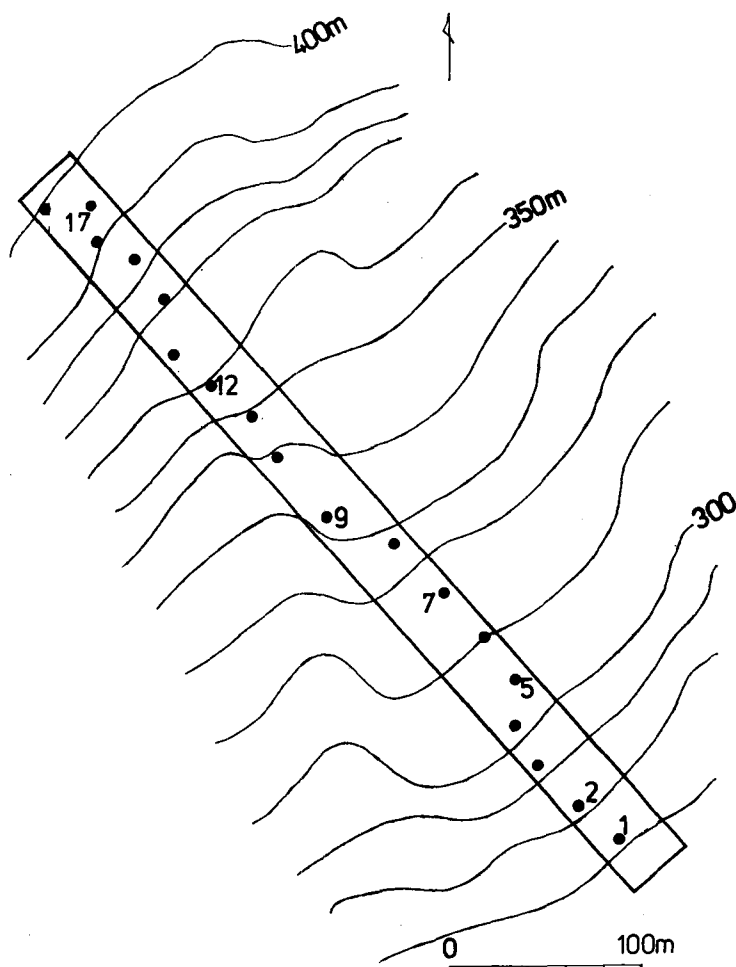


Fig. 9. Plots of samples (1~18) in Onbetsu-I

Fig. 9, 10, 11, 12 は、各地における試料木の位置を示したものである。Kamiotoi では、地すべり地の舌端部のように、変動がはげしいとおもわれる場処では天然生のトドマツが少なく、試料木を十分に採取できなかった。

Onbetsu では、1号地、2号地とも、ベルト状に試料木を選定した。また、Furenai では、植栽後の年数も浅く(15年)あまり急激な変動をうけていないせいもあって、幾何学的に配置された植栽木が、舌端部に現存していたために、その部分において、多くの試料木を採取することができた。

これらの試料木については、すべて、伐採時点から過去へさかのぼって解析したが、自然侵入時点や植栽時点の幼齢時代については厳密に追究しなかった。

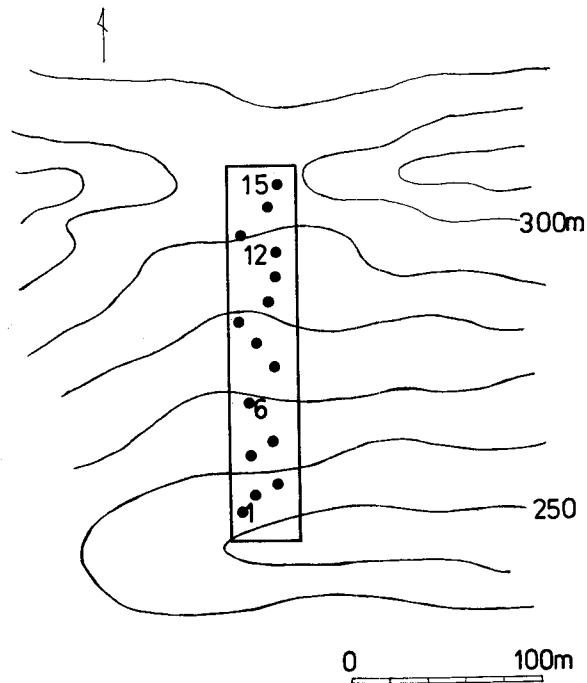


Fig. 10. Plots of samples (1~15) in Onbetsu-II

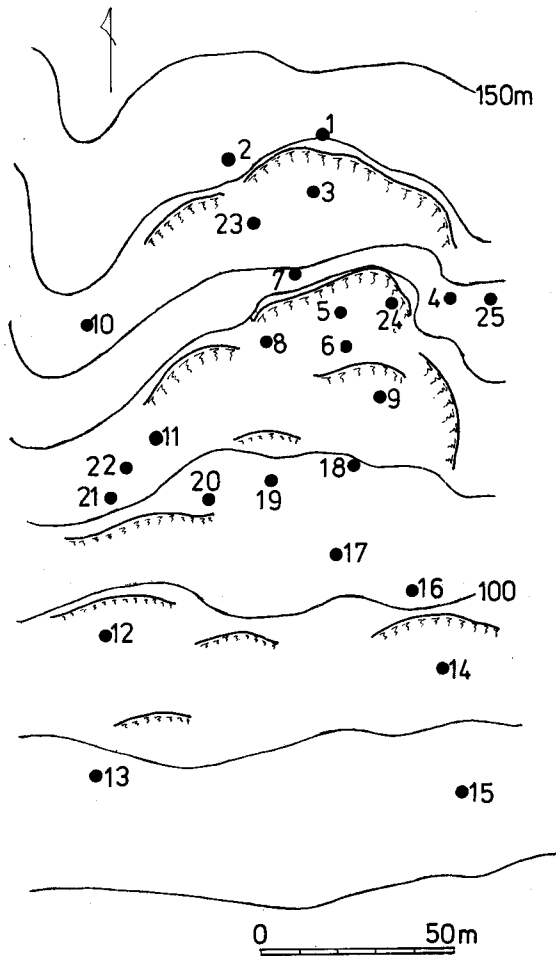


Fig. 11. Plots of samples (1~25) in Kamiotoineppu.

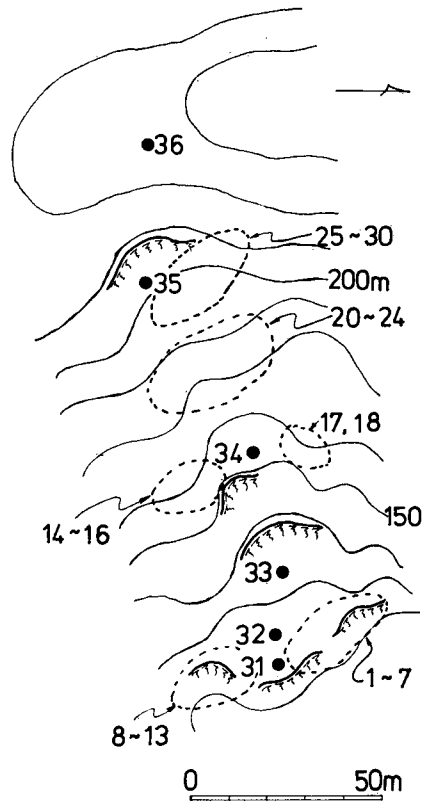


Fig. 12 Plots of samples (1~36) in Furenai.



No. 5		1891								
Type		As	B							
Grade*		P	P							
Direction		6	9							
Year	Beginning	—	1942							
	Summit	1904	1945							
	End	—	1946							
No. 6		1902								
Type		Bs	B							
Grade*		P	P							
Direction		12	6							
Year	Beginning	(不明)	1938							
	Summit	1937	1953							
	End	—	1964							
No. 7		1894								
Type		As	A	B	A					
Grade*		P	S	P	P					
Direction		12	7	1	1					
Year	Beginning	—	—	1935	—					
	Summit	1896	1906	1937	1939					
	End	—	1923	1938	1956					
No. 8		1897								
Type		As	Bs	A	B	B				
Grade*		P	P	P	P	P				
Direction		12	10	12	11	10				
Year	Beginning	—	1922	—	1930	1939				
	Summit	1921	1927	1928	1932	1943				
	End	—	—	1929	1938	1961				
No. 9		1898								
Type		A	B	A	Bs	A				
Grade*		S	P	P	S	M				
Direction		3	2	2	2	12				
Year	Beginning	—	1931	—	1943	—				
	Summit	1921	1932	1936	1945	1946				
	End	1924	1935	1942	—	1957				

No. 10		1913										
Type		B	B	As	B							
Grade*		P	P	S	M							
Direction		11	11	11	11							
Year	Beginning	1942	1948	—	1959							
	Summit	1943	1951	1956	1963							
	End	1946	1953	—	1965							
No. 11		1936										
Type		As	B	A	B							
Grade*		P	P	P	P							
Direction		10	5	6	2							
Year	Beginning	—	1940	—	1951							
	Summit	1939	1943	1945	1955							
	End	—	1944	1950	1963							
No. 12		1901										
Type		B	A	A	A	As	A	A	As	A	B	B
Grade*		M	M	P	M	M	P	M	M	P	P	P
Direction		4	4	4	4	11	6	8	8	6	6	7
Year	Beginning	1903	—	—	—	—	—	—	—	—	1957	1961
	Summit	1908	1915	1920	1930	1942	1949	1952	1954	1955	1959	1964
	End	1914	1919	1929	1933	—	1951	1953	—	1956	1960	1965
No. 13		1905										
Type		A	B	B	B	B						
Grade*		S	S	S	P	P						
Direction		2	7	7	6	2						
Year	Beginning	—	1923	1930	1939	1946						
	Summit	1915	1925	1935	1942	1947						
	End	1916	1929	1938	1945	1964						
No. 14		1887										
Type		A	Bs	Bs	B	A	A					
Grade*		S	S	S	M	S	S					
Direction		3	4	3	3	3	3					
Year	Beginning	—	1908	1910	1918	—	—					
	Summit	1897	1909	1911	1939	1947	1951					
	End	1904	—	—	1946	1950	1960					

No. 15		1906										
Type		As	As	A	B	As	B					
Grade*		S	S	S	S	S	S					
Direction		5	5	10	11	11	10					
Year	Beginning	—	—	—	1935	—	1949					
	Summit	1911	1914	1919	1937	1945	1950					
	End	—	—	1934	1944	—	1954					
No. 16		1887										
Type		A	Bs	Bs	Bs	B	B	A	A	A		
Grade*		P	M	M	M	P	P	S	M	M		
Direction		12	12	12	11	11	11	11	11	11		
Year	Beginning	—	1913	1924	1931	1933	1941	—	—	—		
	Summit	1901	1916	1930	1932	1935	1942	1947	1950	1961		
	End	1912	—	—	—	1940	1944	1948	1952	1965		
No. 17		1885										
Type		B	As	A	B							
Grade*		M	P	P	S							
Direction		5	4	4	12							
Year	Beginning	1892	—	—	1930							
	Summit	1895	1900	1903	1935							
	End	1896	—	1906	1942							
No. 18		1886										
Type		B	B	B	A							
Grade*		M	S	S	S							
Direction		1	1	1	1							
Year	Beginning	1915	1922	1927	—							
	Summit	1918	1923	1928	1941							
	End	1921	1926	1929	1942							

\* Grade P: Pronounced reaction wood  
M: Moderate reaction wood  
S: Slight reaction wood

\*\* Beginning of the ring

Table 3. Annual ring analysis (Onbetsu-II)

No. 1		1896												
Type		B	B	A	A	As	A	B						
Grade		M	P	P	P	P	P	P						
Direction		7	9	9	9	11	6	9						
Year	Beginning	1902	1915	—	—	—	—	1949						
	Summit	1910	1922	1937	1940	1946	1947	1958						
	End	1914	1926	1939	1945	—	1948	1965						
No. 2		1916												
Type		As	Bs	A	As	A	A	Bs						
Grade		P	M	P	P	M	S	P						
Direction		5	12	2	2	2	2	1						
Year	Beginning	—	1937	—	—	—	—	1958						
	Summit	1921	1938	1939	1946	1950	1954	1965						
	End	—	—	1945	—	1953	1957	—						
No. 3		1927												
Type		As	As	A	Bs	Bs	A	Bs						
Grade		P	S	P	P	P	M	P						
Direction		9	12	10	11	2	3	6						
Year	Beginning	—	—	—	1943	1947	—	1964						
	Summit	1932	1935	1938	1944	1953	1954	1965						
	End	—	—	1942	—	—	1957	—						
No. 4		1906												
Type		As	As	A	Bs	Bs	Bs	Bs	B	B	B	As	B	
Grade		P	S	P	P	P	S	S	M	P	S	P	P	
Direction		6	6	5	6	6	6	6	6	6	3	3	3	
Year	Beginning	—	—	—	1914	1919	1922	1927	1932	1936	1947	—	1952	
	Summit	1909	1911	1912	1918	1921	1926	1931	1933	1940	1948	1951	1955	
	End	—	—	1913	—	—	—	—	1935	1946	1950	—	1958	
No. 5		1907												
Type		A	As	A	B	B	Bs							
Grade		P	P	S	M	S	P							
Direction		3	3	12	12	12	10							
Year	Beginning	—	—	—	1937	1944	1964							
	Summit	1910	1919	1932	1938	1950	1965							
	End	1913	—	1934	1940	1951	—							



No. 11		1886									
Type		B	B	B	B						
Grade		S	M	P	P						
Direction		4	7	4	12						
Year	Beginning	1903	1918	1931	1942						
	Summit	1905	1926	1935	1953						
	End	1910	1930	1941	1963						
No. 12		1920									
Type		A	Bs	A	B	B	Bs				
Grade		P	P	P	P	P	P				
Direction		6	4	2	8	5	6				
Year	Beginning	—	1935	—	1946	1953	1961				
	Summit	1933	1939	1940	1948	1958	1964				
	End	1934	—	1945	1949	1960	—				
No. 14		1901									
Type		Bs	B	B	B	B	A	Bs			
Grade		M	P	P	P	S	M	P			
Direction		8	2	2	2	4	1	11			
Year	Beginning	1904	1915	1924	1935	1947	—	1964			
	Summit	1909	1922	1926	1943	1948	1960	1965			
	End	—	1923	1934	1944	1950	1963	—			
No. 15		1904									
Type								—			
Grade								—			
Direction								—			
Year	Beginning										
	Summit							(Normal rings)			
	End										
No. 15		1888									
Type								—			
Grade								—			
Direction								—			
Year	Beginning										
	Summit							(Normal rings)			
	End										

Table 4. Annual ring analysis (Kamiotoi)

No. 1		1878											
Type		As	Bs	B									
Grade		M	S	M									
Direction		12	12	9									
Year	Beginning	—	1881	1884									
	Summit	1880	1883	1899									
	End	—	—	1902									
No. 2		1869											
Type		B	Bs										
Grade		P	S										
Direction		8	9										
Year	Beginning	1888	1893										
	Summit	1899	1895										
	End	1891	—										
No. 3		1885											
Type		Bs	A	Bs	A								
Grade		S	S	P	P								
Direction		12	12	12	9								
Year	Beginning	1898	—	1938	—								
	Summit	1899	1901	1951	1952								
	End	—	1902	—	1964								
No. 4		1875 (Heart rot)											
Type		B	B	B	B	B	A						
Grade		P	P	P	P	P	P						
Direction		6	7	7	7	7	7						
Year	Beginning	1875	1922	1925	1942	1951	—						
	Summit	1900	1923	1936	1949	1954	1963						
	End	1920	1924	1941	1950	1962	1965						
No. 5		1865											
Type		As	As	A	Bs	B	Bs	Bs	Bs	B	A	As	Bs
Grade		P	P	P	P	P	P	P	M	M	M	M	M
Direction		9	9	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Year	Beginning	—	—	—	1884	1886	1892	1894	1897	1899	—	—	1907
	Summit	1869	1874	1878	1885	1887	1893	1896	1898	1900	1902	1906	1908
	End	—	—	1880	—	1891	—	—	—	1901	1905	—	—

Serial														
Type		Bs	B	Bs	B	B	Bs	B						
Grade		S	P	M	M	P	P	P						
Direction		3	3	3	3	5	1	11						
Year	Beginning	1909	1912	1921	1924	1935	1952	1956						
	Summit	1910	1918	1923	1928	1948	1955	1964						
	End	—	1920	—	1932	1951	—	1965						
No. 6		1866												
Type		As	A	As	B	Bs	As	Bs	Bs	Bs	B	B	B	
Grade		M	P	S	M	M	M	S	P	M	S	S	P	
Direction		7	7	7	7	12	9	12	7	12	10	10	10	
Year	Beginning	—	—	—	1880	1884	—	1888	1891	1894	1897	1913	1922	
	Summit	1872	1875	1879	1882	1886	1887	1889	1893	1896	1908	1916	1923	
	End	—	1876	—	1883	—	—	—	—	—	1912	1921	1924	
Serial														
Type		B	Bs	Bs	A									
Grade		P	P	P	P									
Direction		10	5	3	2									
Year	Beginning	1925	1947	1953	—									
	Summit	1930	1952	1959	1960									
	End	1934	—	—	1965									
No. 7		1860												
Type		Bs	Bs	B	B	B	As	B	A					
Grade		S	S	S	S	M	M	P	P					
Direction		3	12	12	2	1	1	11	10					
Year	Beginning	1900	1904	1910	1931	1944	—	1953	—					
	Summit	1903	1909	1914	1935	1948	1952	1955	1958					
	End	—	—	1923	1937	1951	—	1957	1965					
No. 8		1858												
Type		Bs	Bs	B	Bs	Bs	Bs	As	Bs	A	Bs	B	Bs	
Grade		M	M	P	P	S	P	S	P	P	P	P	S	
Direction		8	1	8	5	8	2	5	2	7	7	8	9	
Year	Beginning	1858	1860	1862	1872	1874	1877	—	1881	—	1892	1919	1927	
	Summit	1859	1861	1866	1873	1876	1879	1880	1884	1885	1894	1924	1931	
	End	—	—	1871	—	—	—	—	—	1886	—	1926	—	

Serial													
Type		<u>Bs</u>	<u>Bs</u>	B	<u>Bs</u>	Bs	B						
Grade		P	P	P	P	P	P						
Direction		10	10	10	10	11	10						
Year	Beginning	1936	1938	1941	1944	1950	1953						
	Summit	1937	1940	1942	1949	1952	1959						
	End	—	—	1943	—	—	1965						

No. 9		1918 (Heart rot)										
Type		A	<u>B</u>	<u>B</u>	B	Bs						
Grade		S	P	P	P	P						
Direction		3	2	2	6	4						
Year	Beginning	—	1936	1941	1953	1961						
	Summit	1918	1938	1948	1955	1965						
	End	1929	1940	1952	1957	—						

No. 10		1866										
Type		As	<u>As</u>	As	<u>Bs</u>	<u>Bs</u>	<u>B</u>	<u>Bs</u>	B	<u>B</u>	Bs	<u>B</u>
Grade		M	P	P	P	P	M	S	M	P	P	P
Direction		7	8	8	8	8	5	5	7	9	9	9
Year	Beginning	—	—	—	1885	1889	1893	1913	1918	1935	1941	1949
	Summit	1871	1878	1882	1888	1890	1896	1917	1921	1937	1948	1955
	End	—	—	—	—	—	1900	—	1922	1940	—	1965

No. 11		1842											
Type		<u>B</u>	B	As	<u>Bs</u>	As	A	<u>Bs</u>	Bs	Bs	<u>B</u>	B	<u>B</u>
Grade		P	P	P	P	M	M	M	M	M	P	P	P
Direction		7	7	7	7	1	7	1	1	1	1	1	1
Year	Beginning	1843	1849	—	1859	—	—	1867	1872	1877	1885	1896	1904
	Summit	1844	1854	1858	1861	1863	1864	1869	1874	1879	1891	1898	1905
	End	1848	1857	—	—	—	1865	—	—	—	1895	1903	1906

Serial													
Type		<u>B</u>	B	A	A	B	<u>B</u>						
Grade		P	M	M	M	P	P						
Direction		1	1	1	1	1	1						
Year	Beginning	1907	1915	—	—	1930	1946						
	Summit	1908	1918	1923	1927	1942	1952						
	End	1914	1922	1926	1929	1945	1965						

No. 12		1902											
Type		Bs	As	As	Bs	Bs	B	Bs	Bs	Bs	B		
Grade		S	M	M	P	P	P	P	S	S	P		
Direction		3	3	3	3	4	4	2	6	6	6		
Year	Beginning	1910	—	—	1919	1925	1935	1937	1943	1950	1955		
	Summit	1912	1915	1917	1921	1934	1936	1939	1949	1954	1959		
	End	—	—	—	—	—	—	1942	—	—	1964		
No. 13		1835											
Type		A	A	As	A	Bs	As	Bs	Bs	A	B	B	B
Grade		S	P	P	P	M	S	S	S	M	M	M	M
Direction		5	2	2	2	4	5	5	5	5	5	3	5
Year	Beginning	—	—	—	—	1884	—	1917	1926	—	1946	1945	1955
	Summit	1862	1871	1878	1882	1887	1894	1918	1927	1935	1942	1948	1961
	End	1868	1873	—	1883	—	—	—	—	1936	1944	1954	1964
No. 14		1897											
Type		As	A	A	A	B	B	B					
Grade		P	S	P	P	M	P	P					
Direction		11	9	10	10	10	10	8					
Year	Beginning	—	—	—	—	1929	1938	1951					
	Summit	1907	1908	1911	1921	1936	1943	1959					
	End	—	1910	1913	1923	1937	1950	1964					
No. 15		1869											
Type		As	B	B	Bs	B	B	B	B	A	B		
Grade		S	S	S	M	M	P	M	M	P	P		
Direction		7	7	7	7	9	9	9	9	9	9		
Year	Beginning	—	1887	1893	1902	1905	1915	1925	1931	—	1954		
	Summit	1880	1889	1897	1904	1909	1919	1926	1932	1942	1955		
	End	—	1892	1899	—	1912	1924	1930	1935	1950	1964		
No. 16		1891 (Heart rot)											
Type		—											
Grade		—											
Direction		—											
Year	Beginning												
	Summit	(Normal rings)											
	End												

No. 17		1887											
Type		Bs	As	As	B	B	B	B	Bs	B			
Grade		S	M	P	P	S	S	S	M	M			
Direction		2	2	2	4	9	10	10	10	10			
Year	Beginning	1908	—	—	1918	1930	1938	1945	1959	1962			
	Summit	1909	1912	1916	1921	1934	1940	1950	1961	1963			
	End	—	—	—	1924	1937	1944	1951	—	1965			
No. 18		1857											
Type		As	As	As	As	As	Bs	B					
Grade		M	S	M	P	P	M	M					
Direction		5	6	2	4	5	7	7					
Year	Beginning	—	—	—	—	—	1880	1958					
	Summit	1870	1871	1872	1875	1879	1883	1963					
	End	—	—	—	—	—	—	1965					
No. 19		1836 (Heart rot)											
Type		A	B	B	B	B	B						
Grade		S	M	M	P	P	P						
Direction		2	1	1	12	12	2						
Year	Beginning	—	1920	1924	1930	1946	1954						
	Summit	1914	1922	1928	1942	1948	1959						
	End	1915	1923	1929	1945	1953	1965						
No. 20		1851											
Type		As	As	A	As	As	As	A					
Grade		S	S	S	S	S	S	S					
Direction		6	12	6	6	6	6	6					
Year	Beginning	—	—	—	—	—	—	—					
	Summit	1852	1853	1856	1863	1865	1867	1870					
	End	—	—	1860	—	—	—	1871					
No. 21		1851											
Type		B	As	A	As	As	As	As	A	A	A	Bs	Bs
Grade		M	M	P	M	P	P	M	S	S	S	S	S
Direction		5	12	6	12	6	6	6	12	12	11	11	10
Year	Beginning	1870	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1917	1922
	Summit	1871	1873	1875	1877	1880	1882	1884	1891	1896	1906	1919	1923
	End	1872	—	1876	—	—	—	—	1895	1903	1910	—	—

No. 22		1835											
Type		A	Bs	As	Bs	As	As	As	Bs	B	B	B	Bs
Grade		P	S	P	S	S	S	S	P	P	P	S	M
Direction		5	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	1
Year	Beginning	—	1841	—	1852	—	—	—	1858	1871	1878	1893	1898
	Summit	1839	1843	1847	1853	1855	1856	1857	1859	1872	1884	1894	1904
	End	1840	—	—	—	—	—	—	—	1877	1885	1895	—
Serial													
Type		Bs	B	B									
Grade		S	M	S									
Direction		2	2	1									
Year	Beginning	1920	1937	1953									
	Summit	1921	1938	1959									
	End	—	1939	1966									
No. 23		1899											
Type		B	B	B									
Grade		S	P	M									
Direction		1	1	12									
Year	Beginning	1935	1953	1959									
	Summit	1936	1956	1961									
	End	1938	1958	1966									
No. 24		1892											
Type		B	Bs	B	B	B	B	B					
Grade		M	S	P	P	P	P	P					
Direction		4	5	4	4	4	1	12					
Year	Beginning	1910	1920	1923	1933	1940	1954	1959					
	Summit	1918	1922	1924	1936	1948	1956	1961					
	End	1919	—	1932	1939	1950	1958	1966					
No. 25		1838											
Type		As	As	B	B	A	B	A					
Grade		S	P	P	P	P	P	P					
Direction		9	8	7	7	7	7	7					
Year	Beginning	—	—	1916	1933	—	1946	—					
	Summit	1850	1853	1923	1936	1942	1950	1954					
	End	—	—	1932	1941	1945	1953	1966					

Table 5. Annual ring analysis (Furenai)

No. 1		1950		
Type		As	A	
Grade		S	S	
Direction		5	4	
Year	Beginning	—	—	
	Summit	1961	1962	
	End	—	1964	
No. 2		1949		
Type		Bs	B	
Grade		S	P	
Direction		1	2	
Year	Beginning	1958	1961	
	Summit	1960	1962	
	End	—	1964	
No. 3		1949		
Type		A		
Grade		P		
Direction		3		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1964		
No. 4		1950		
Type		Bs	Bs	
Grade		S	P	
Direction		3	3	
Year	Beginning	1958	1962	
	Summit	1960	1964	
	End	—	—	
No. 5		1949		
Type		Bs		
Grade		M		
Direction		3		
Year	Beginning	1962		
	Summit	1963		
	End	—		
No. 6		1950		
Type		Bs		
Grade		P		
Direction		3		
Year	Beginning	1962		
	Summit	1964		
	End	—		
No. 7		1950		
Type		Bs	Bs	
Grade		M	P	
Direction		3	8	
Year	Beginning	1950	1962	
	Summit	1960	1964	
	End	—	—	
No. 8		1950		
Type		As	Bs	
Grade		S	S	
Direction		4	3	
Year	Beginning	—	1962	
	Summit	1960	1963	
	End	—	—	
No. 9		1950		
Type		As	A	
Grade		M	M	
Direction		3	3	
Year	Beginning	—	—	
	Summit	1960	1962	
	End	—	1964	
No. 10		1950		
Type		Bs		
Grade		P		
Direction		2		
Year	Beginning	1961		
	Summit	1963		
	End	—		

No. 11		1950		
Type		As	As	
Grade		P	P	
Direction		3	1	
Year	Beginning	—	—	
	Summit	1962	1963	
	End	—	—	

No. 12		1949		
Type		As	As	As
Grade		S	P	M
Direction		4	4	3
Year	Beginning	—	—	—
	Summit	1958	1962	1963
	End	—	—	—

No. 13		1950		
Type		As	Bs	As
Grade		S	P	P
Direction		2	2	3
Year	Beginning	—	1961	—
	Summit	1958	1963	1964
	End	—	—	—

No. 14		1949		
Type		As		
Grade		S		
Direction		2		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 15		1949		
Type		A		
Grade		P		
Direction		1		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1963		

No. 16		1949		
Type		Bs		
Grade		M		
Direction		3		
Year	Beginning	1961		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 17		1949		
Type		As		
Grade		M		
Direction		8		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 18		1950		
Type		As		
Grade		S		
Direction		5		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 19		1950		
Type		A		
Grade		M		
Direction		12		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1963		

No. 20		1949		
Type		A		
Grade		P		
Direction		12		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1963		

No. 21		1949		
Type		Bs	As	
Grade		S	S	
Direction		2	4	
Year	Beginning	1957	—	
	Summit	1958	1962	
	End	—	—	

No. 22		1949		
Type		A		
Grade		P		
Direction		6		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1964		

No. 23		1950		
Type		As		
Grade		S		
Direction		2		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 24		1950		
Type		A		
Grade		S		
Direction		2		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1964		

No. 25		1949		
Type		A		
Grade		P		
Direction		5		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1963		

No. 26		1949		
Type		As		
Grade		S		
Direction		1		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 27		1949		
Type		Bs	A	
Grade		S	M	
Direction		2	1	
Year	Beginning	1957	—	
	Summit	1959	1962	
	End	—	1964	

No. 28		1950		
Type		Bs	As	
Grade		S	S	
Direction		4	2	
Year	Beginning	1957	—	
	Summit	1958	1962	
	End	—	—	

No. 29		1950		
Type		As		
Grade		S		
Direction		1		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 30		1950		
Type		A		
Grade		P		
Direction		2		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1963		

No. 31		1950		
Type		A		
Grade		P		
Direction		2		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	1964		

No. 32		1949		
Type		As	As	
Grade		P	P	
Direction		7	5	
Year	Beginning	—	—	
	Summit	1962	1963	
	End	—	—	

No. 33		1949		
Type		As	A	
Grade		P	P	
Direction		8	5	
Year	Beginning	—	—	
	Summit	1962	1963	
	End	—	1964	

No. 34		1950		
Type		As		
Grade		P		
Direction		6		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 35		1950		
Type		As		
Grade		P		
Direction		7		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

No. 36		1950		
Type		As		
Grade		P		
Direction		7		
Year	Beginning	—		
	Summit	1962		
	End	—		

### 地すべり地の推移に関する考察

#### 1. 年輪解析の方法

##### a) アテの特徴

なんらかの外力によって樹幹が傾斜すると、針葉樹では、傾斜後の生長部分で、しかも樹幹の下側断面に異常材が形成される。

19世紀末から、この異常材は Reaction wood (反応材) とか Roth holz (HARTIG, 1899) といわれ、肉眼で識別できる程度の茶褐色(夏材の色に近い)部分をさしていた。わが国では、このような着色部を「アテ」と称していたが、その後、傾斜した広葉樹の樹幹にも異常材が認められるようになった。しかし、広葉樹の異常材は針葉樹と全く逆方向(上側断面)に形成され、しかも、肉眼で識別することは困難で、顕微鏡にたよらなければならないことがわかった。一般に、この種の異常材について、針葉樹では圧縮アテ(Compression wood)、広葉樹では引張アテ(Tension wood)とよばれている。しかし、この異常材ははじめ肉眼視によったのである

から、「アテ」の語源は、針葉樹を対象としたものであり、かりに「肉眼視段階の定義」とすると、広葉樹に適用したのは「顕微鏡段階の定義」ということになる。

そこで筆者らが、樹木年代学にとりいれようとしている「アテ」は、肉眼視できる針葉樹の異常材であって、その試料は伐採地点においてただちに判読できる程度のものでなければならない。したがって、試料をひとつひとつ顕微鏡によって鑑識しなければならないような広葉樹の異常材については、木材理学的な興味をよぶことがあったとしても、現段階では樹木年代学の指標として野外においては使いにくい。

最近、深沢ら(1970)の研究で、針葉樹のアテとアテの間にはさまっている一見正常材を呈している春材が、顕微鏡段階で調べると、正常材よりも異常材に近い細胞構造をもっていることがわかった。したがって「異常材」に関する厳密な定義も必要になってきたといえるだろう。

これらの事実からみて、「アテ」という表現は古典的な肉眼視段階の定義にとどめ、顕微鏡段階については、新しい用語を作るべきであると考えられる。

研究方法でのべたように突発的に傾斜した樹幹が、数年がかりで復元するとA型のアテが形成され、生長旺盛な若木や、梢頭部分のように1年で復元するとAs型になる。また、徐々に傾斜したとおもわれる樹幹が数年がかりで復元すると、B型のアテが形成され、徐々に傾斜していたものが、外力の消滅で急に復元するとおもわれるアテは、Bs型になる。ここで、樹幹を徐々に傾斜させる外力を明らかにしなければならないのであるが、じつは、この問題が地すべり地の挙動に関係することがらで、これから追究しなければならない点でもある。

A型、As型でみるように、傾斜樹幹の復元力は、かなり強いものがある。そこで、この復元力をうわまわった外力が年々加わるとするならば、高野(1960)がのべるような粘ちょう型あるいは慢性的地すべり地においてB型、Bs型が多く、崩壊型あるいは間けつ的地すべり地においてA型、As型が多いのではないだろうかと考えられる。

さきあげた、年輪解析表によると、Onbetsu, Kamiotoiには、B型が相当多く含まれ、Furenaiでは大部分A型、As型である。

乙部町豊浜地すべり地におけるカラマツにもA型、As型だけがみとめられ、突発的な樹幹傾斜があらわれている。この突発的な地すべりとよく似た外力には台風があり、吉田(1967)が調べているように、洞爺丸台風による樹幹傾斜の例があげられる(東, 1969c)。

単木の樹幹傾斜については、台風と地すべりの影響を区別しにくい場合があるから、樹木集団として検討し、また傾斜方向や地形などの要素とあわせて判断していかなければならない。大型台風の襲来した年代は明らかであり、台風の場合同一斜面の複数木には、同一年代にはじまる顕著なアテが形成されるとみることができる。

地すべり地の天然木には一般に、C型(複合型)のアテが形成されている。このタイプのアテは断続したり形成方向が一定していない。

このようなアテは「渦巻き型」を呈しており、地すべり地特有のもので台風によるアテと

異なっている。たとえば Fig. 13, 14, に示したように、樹幹の横断面に方向ちがいのアテがあらわれている。Fig. 15, 16にも樹幹の縦断面のアテ材分布を示した。

年輪解析表には、アテの形成度合とともに形成方向を示しておいた。各地の磁北を12時方向にとり、アテの形成方向を時計の文字盤にあわせて記してある。したがって Onbetsu 1号地の斜面の上方は、10時方向、2号地の斜面上方は12時方向（磁北と一致する）、Kamiotoiの斜面上方は12時方向（磁北と一致する）、Furenaiの斜面上方は3時方向である。

年輪解析表にあらわれているように、アテの形成方向は山側、横方向、谷側と試料木ごとに、また年代ごとにまちまちである。

一般に、地すべり地では、深い層からのすべりの場合に、樹幹は山側に傾斜し、浅い層からのすべりの場合には、樹幹は谷側に傾斜している。この傾向については谷口(1966)がカナダとアメリカの地すべりの視察報告にあげており、A. RITCHIE (1958)が紹介しているように、一般に道路工事の際に発生する深い層からの地すべり調査報告には、樹幹から山側に傾斜した実

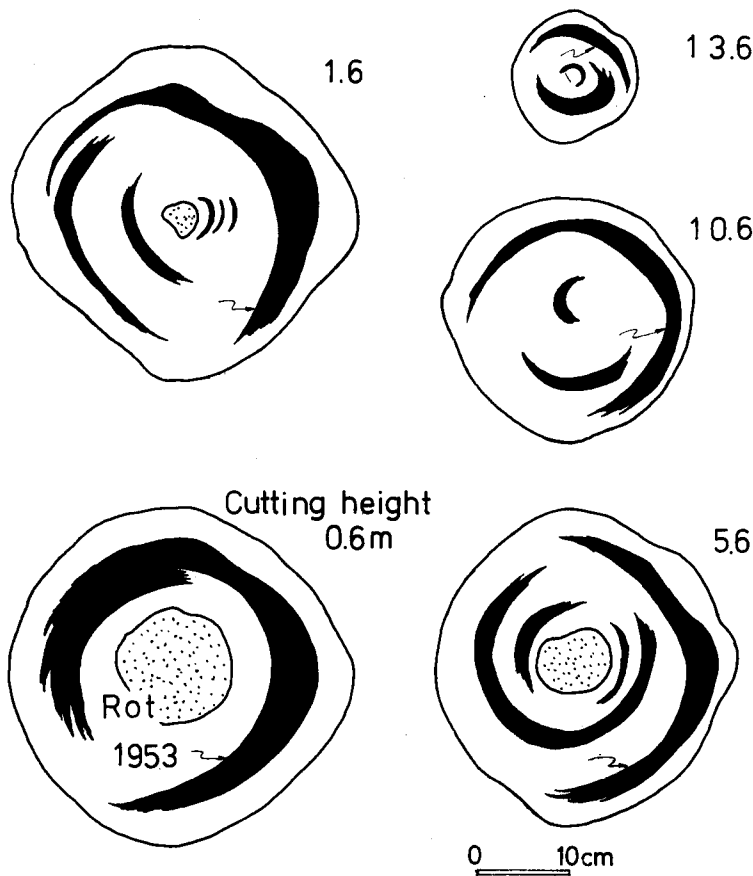


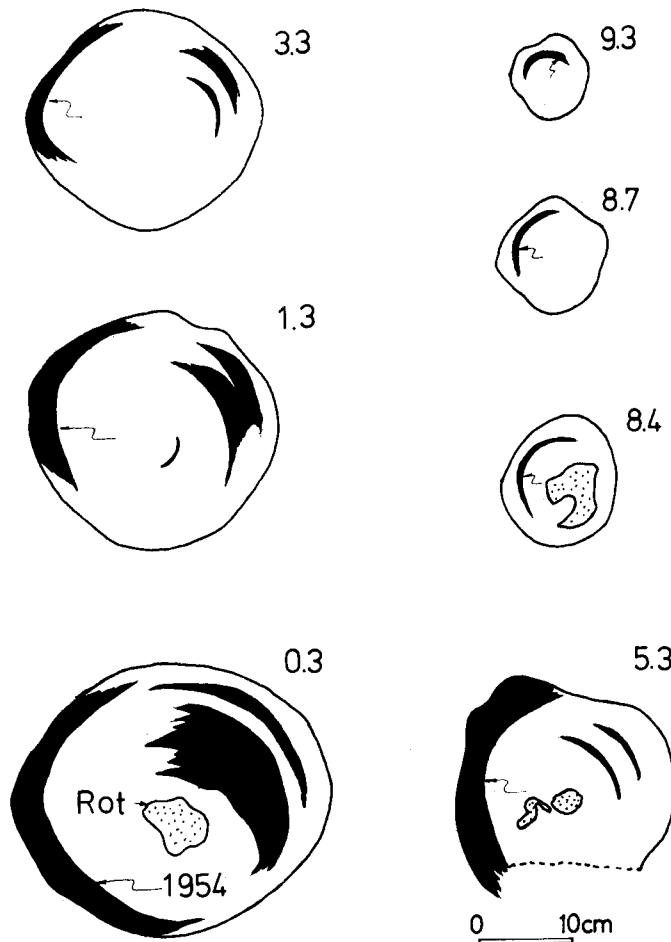
Fig. 13. Cross-section of *Abies sachalinensis* stem showing well-developed reaction wood (Kamiotoi No. 7, collected in 1965).

例をあげている場合が多い。このような大移動が起こると、極端に倒伏した樹木は枯死しやすく、針葉樹は広葉樹よりも抵抗性が低い。しかし、浅い層から起こる地盤の変化に対しては、大径木ほど枯死する度合は少ない。つまりアテ材は、このような比較的小規模な変動に対応して形成されることになるのである。したがって、アテの形成方向が、多様な方向をとることは地すべり地を特徴づけていることにもなると考えられる。

**b) アテの指標的限界**

アテは生長期に形成されることが実験によっても明らかになった。しかし、生長期の途中で樹幹が傾斜した場合、アテの形成量が比例的に減少するかどうか、肉眼的に識別することはむずかしい。したがって、これまでに研究したところでは、アテ材を肉眼視によって年単位よりも小さい単位の時間指標として用いることはできないという結論に達した。

さらに、融雪期 (春季, 生長開始期) の樹幹傾斜と、前年の秋季 (生長休止期) の樹幹傾斜



**Fig. 14.** Cross-section of *Abies sachalinensis* stem showing well-developed reaction wood (Kamitoi No. 15, collected in 1964).

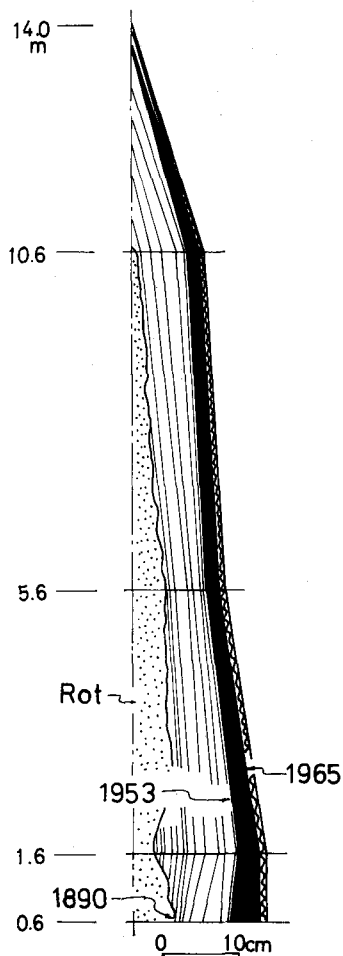


Fig. 15. Recent reaction wood distribution in the longitudinal section of the leaning stem (Kamiotoi No. 7)

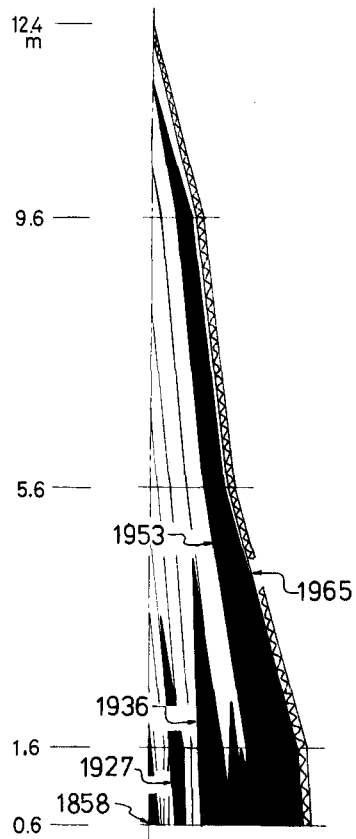


Fig. 16. Reaction wood distribution in the longitudinal section of the leaning stem (Kamiotoi No. 8)

とでは、暦年のうえで外力の作用年代が1年のずれをもっているにもかかわらず、アテは同一年代に形成されることになるので、ここにも年代決定のうえで1年の差をみこまなければならないことになる。つまり、過去にさかのぼって1年の狂いもなく、厳密に年代を決定するということはむずかしい。しかし、地すべり地の定性的な分析にアテ材の解析を適用する段階ではこの1年のずれはあまり支障にならない。

アテは枯死しない程度の外力によって傾斜した樹幹内に形成される。ここでいう外力は、台風の強度や地すべり地の移動量のようにたんに物理的な大きさではなくて、根系に致命的な作用を与えたかどうかという点で区別されなければならない。たとえば、乙部町豊浜に起こったような大規模な地すべり地では、数10 m 移動しているにもかかわらず、樹木はわずかな傾斜しかみせていない (Photo 1)。いっぽう地すべり地の造林木は、数 cm のきれつにであった

だけで立ち枯れになる例もある。しかし、このような小さいきれつで、大径木のたくましい根系が切断されるようなことはない。つまり、地すべり地において樹幹を傾斜させる外力となる地盤の傾動は、その土地の地質・土質・地形条件と付加される気象条件(とくに浸透水の関係)に関係し、また、樹木の根系発達が表層土に与える生物的な影響も含まれている。したがって、樹木の生死を境界条件として作用した外力の大きさを論ずることはできない。また、樹幹傾斜の度合とアテ材形成の度合が正比例的な関係をもったとしても、外力の大きさと樹幹傾斜の度合あるいはアテ材形成の度合とが正比例的関係をとるものでもない。つまり、地すべり地におけるアテ材形成から、逆に地すべり運動の量的判断を行なう場合には、同年代のアテ材をもつ樹木が、どのような空間的配置をとっているかという視点以外に有効な方法はないだろう。しかし、限度のある方法とはいえ、これまでに明らかにできなかった地すべり地の特性について、新しい知見を加えることになるとおもわれる。たとえば、試料木相互に同時性のあるアテが、空間的に大きな距離をもっているとするれば、外力は同一年代に広範囲に作用したことになるから、その外力は相当に大きく同時に大型の影響を及ぼしたとみることができ、逆に、空間的に小さな距離か、極端には単木だけのアテの場合は、その外力は小さいとみることができる。

地すべり地では、この大小の作用力をつぎの考察によってほぼ明らかになしうる。そして、まれに襲いかかる台風が、斜面における大径木の全部に一樣な変化を与えるのとは異なった傾向をみせていることを知ることができる。

## 2. 地すべり地の地形変化

### a) 風化土層の下降運動

アテの型から外力の作用した年代をマークしてみると、各試料木の生育していた地点において、地盤がどのように変化したかということ推察できる。そして、各地点に同一年代の変化が認められるならば、大面積の地塊移動が起こったと考えられ、各地点に同時性がなければ局所的な移動であったと判断される。大移動の典型的な例は黄金湯地すべり地においてみることができる。この地区では斜面長約120 m隔った地点の試料木に、Fig. 4(前出)にあらわしたように、1966年以降のアテが認められている。これは明らかに地塊移動の同時性を示すものであって、現在から過去の歴史を探る場合に、年輪が有効な時間指標であることを示している。

じつは、大面積にわたってこのような同時性を確認できたのは、1969年9月3日のことであって、それ以前に北海道内の各地すべり地において採取した試料木には、広範囲の同時性を見出すことはできなかったのである。このような経験から、筆者らは、かねがね地すべり地の地塊が、たえずひとかたまりとなって下降運動しているものではないと考えてきた。もちろん1964年以降の地すべり調査の年輪解析には広い範囲の同時性を求め、それによって大移動の履歴を解明できるものと期待していたが、結果的には大移動の形跡はみとめられず、さきにも述べたように、地すべり現象に局所移動という新しい見解を加えることになった。

アテの形成年代と外力の作用年代に、歴年のうえで1年のずれがあったとしても、現在こ

**Table 6.** The age of slope movements were presumed by the reaction wood (Onbetsu-I, 1926~1965)

Year	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
1926									×				×		×		×			4
1927				×	×				×				×		×		×		×	7
1928				×	×				×				×		×		×		×	7
1929					×								×		×		×			4
1930					×				×				×	×	×		×	×		7
1931					×				×	×				×	×		×	×		7
1932		×			×				×	×				×	×		×	×		8
1933		×			×									×	×		×	×		6
1934					×									×	×		×	×		5
1935					×			×						×	×	×	×	×		7
1936					×			×		×					×	×				5
1937					×		×	×							×	×				5
1938					×		×								×					3
1939		×	×	×			×	×	×			×		×	×					9
1940			×				×		×			×		×						5
1941			×		×		×		×			×		×			×		×	8
1942			×			×	×		×		×	×	×	×			×			9
1943			×			×	×		×	×	×	×								7
1944			×		×	×	×			×										5
1945		×	×		×	×	×			×		×				×				8
1946		×	×	×	×		×			×				×						7
1947		×	×	×	×		×						×	×			×			8
1948				×	×		×				×									4
1949		×		×			×			×		×				×				6
1950		×		×			×			×		×				×	×			6
1951		×		×			×			×	×				×					6
1952		×		×			×				×	×								5
1953		×					×					×	×							3
1954		×										×	×							3
1955												×	×							2
1956										×										1
1957													×							1
1958													×							1
1959											×		×							2
1960											×		×							1
1961											×		×				×			3
1962											×		×							2
1963				×							×		×							3
1964													×							1
1965																				0
The latest ceasing period (year)		11	18	2	17	20	12	26	22	19	2	10	1	18	14	15	4	30	24	—

**Table 7.** The age of slope movements were presumed by the reaction wood (Onbetsu-II, 1926~1965)

Year	No.															Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1926				×							×		×			3
1927				×					×							2
1928				×			×		×							3
1929				×			×		×							3
1930				×			×									2
1931				×			×				×					3
1932			×	×	×		×			×	×					6
1933				×			×			×	×	×				5
1934							×		×	×	×					4
1935			×			×	×	×	×	×			×			8
1936				×		×	×		×				×			5
1937	×	×		×	×	×	×	×	×				×			9
1938		×	×	×	×	×		×					×			7
1939		×		×		×						×	×			5
1940	×			×		×						×	×			5
1941						×			×				×			3
1942							×	×	×		×		×			5
1943			×				×	×		×	×		×			6
1944			×		×		×	×		×	×					6
1945					×		×	×		×	×					5
1946	×	×			×		×	×		×	×	×				8
1947	×		×	×	×						×	×	×			7
1948			×	×	×						×	×	×			6
1949	×		×	×	×						×					4
1950	×	×	×		×				×		×					6
1951	×		×	×		×					×					5
1952	×		×	×		×					×					5
1953	×		×	×		×	×				×	×				7
1954	×	×	×	×			×					×				6
1955	×			×			×		×			×				5
1956	×						×		×			×				4
1957	×						×			×		×				4
1958	×	×					×	×		×		×				6
1959		×						×		×						3
1960		×						×					×			3
1961		×						×				×				3
1962		×						×				×				3
1963		×						×				×				3
1964		×	×		×			×	×			×	×			7
1965		×	×		×			×	×			×				6
The latest ceasing period (year)	7	-8	-2	10	-2	12	7	-8	-2	6	12	1	-2	(40)	(40)	—

— : continuously ( ): more

Table 8. The age of slope movements were presumed by the reaction wood (Kamiotoi 1915~1964).

Year \ No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Total	
1915					×	×				×	×	×			×									×	×	7	
1916					×	×				×	×				×		×							×	×	8	
1917					×					×	×	×	×		×							×		×	×	9	
1918					×				×	×	×		×		×		×					×		×	×	10	
1919								×		×		×			×		×					×			×	×	7
1920								×		×		×					×			×			×		×	×	7
1921					×			×		×		×		×			×			×			×		×	×	9
1922				×	×	×		×												×		×		×	×	×	8
1923				×	×	×		×				×									×			×	×	×	8
1924					×															×				×			3
1925				×	×	×						×			×					×						×	6
1926				×	×	×						×	×		×					×						×	7
1927				×	×	×		×				×	×							×						×	8
1928				×	×	×		×				×	×							×						×	6
1929				×		×		×				×			×											×	5
1930				×		×		×				×	×		×					×						×	8
1931				×			×	×				×	×		×					×						×	9
1932				×			×	×				×	×		×					×						×	8
1933				×			×	×				×	×		×					×					×	×	9
1934				×			×	×				×	×		×					×					×	×	9
1935				×	×		×				×	×	×		×					×				×	×	×	12
1936				×	×			×	×		×	×	×		×					×				×	×	×	12
1937					×			×	×		×	×	×							×			×			×	8
1938			×		×			×	×		×	×		×						×			×			×	10
1939			×		×			×			×	×		×						×						×	8



**Table 9.** The age of slope movements were presumed by the reaction wood (Furenai 1955~1964)

Year \ No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1955																			
1956																			
1957																			
1958		×		×								×	×						
1959		×		×			×												
1960		×		×			×	×	×										
1961	×	×								×			×			×			
1962	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1963				×	×	×	×	×		×	×	×	×						
1964				×		×	×						×						
The latest ceasing period (year)	2	2	2	-3	1	-3	-2	1	2	1	1	1	-4	2	2	3	2	2	2

Year \ No.	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total
1955																		—
1956																		—
1957		×						×	×									3
1958		×						×	×									7
1959								×										4
1960																		5
1961																		5
1962	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	36
1963													×	×				11
1964																		4
The latest ceasing period (year)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	—

—: continuously

れを明らかにする手段がないので、この1年のずれをそのままにして、両者の年代を同一とみて、年輪解析表から外力の作用年代だけをひろいだしてみる。ここではA型とB型の減衰部は、樹木固有の復元期間であるから外力は消滅しているものと解釈される。

Table 6とTable 7は、Onbetsuの1号地と2号地について、Table 8はKamiotoiについて、Table 9はFurenaiについてまとめたものである。

OnbetsuとKamiotoiは天然林で、樹齢と径級はまちまちであるために、伐採地点から同年数だけさかのぼって記載した。すなわちOnbetsuの試料木については、1926年から1965年まで40年間、Kamiotoiの試料木については、1915年から1964年まで50年間について、外力が作用した年代(地盤が変化したとおもわれる年代)を×印でマークした。Furenaiは人工林であるために、植栽後数年を経た1955年から伐採した1964年まで10年間について記載した。

Table 10. Frequency of slope movements in the same year

Site	Frequency					
	1st		2nd		3rd	
Onbetsu-I	9/18	1939	8/18	1932	7/18	1927
		1942		1941		1928
	50%		44%	1945	39%	1930
				1947		1931
						1935
					1943	
					1946	
Onbetsu-II	9/15	1937	8/15	1935	7/15	1938
				1946		1947
	60%		53%		47%	1953
						1964
Kamiotoi	15/25	1947	14/25	1946	13/25	1942
		1948		1955		
	60%	1954	56%	52%		
Furenai	36/36	1962	11/36	1963	7/36	1958
	100%		31%	19%		

これらの表によると、全般的にみて天然林の場合には、地盤の変化した年代が試料木ごとに異なっていることがわかる。いま、各調査地において×印の多い年代をとりだしてみると、Table 10のように、Onbetsu 1号地では1939, 1942年、2号地では1937年、Kamiotoiでは1947, 1948, 1954年、Furenaiでは1962年となる。そして、全試料木地点と地盤の変化地点との割合は、50%, 60%, 60%, 100%とあらわされる。同じように、この表では地盤の変化年代の多いものから、2位、3位のものをとりだしてみた。その結果2位では31~56%, 3位で19~52%となった。

この表にあらわれているように、OnbetsuとKamiotoiではもっとも変化のはげしかった年代において、全試料木数の50~60%で、さきあげた黄金湯地すべり地のように、全域にわたる同時性は認められなかった。2位、3位は44~56%, 39~52%でそのパーセンテージはいちじるしく低下してはいないが、この程度では小規模な範囲の変動にとどまっているとみななければならない。Furenaiの結果からは、1962年に100%で全域にわたる同時性が認められる。しかし、アテの形成度合には強いものと弱いものがあり、このことから各ブロックごとの地盤の変化にも強いところと弱いところがあったのではないだろうかと考えられた。

Table 6, 7, 8, 9の外力の作用年代表の下段に伐採時点からさかのぼって、地盤の変化のなかった時間(休止期の年度)を記してある。この欄でマイナス(-)であらわしたところは、伐採した年代にも地盤の変化が起こったものと判断される年度をさし、プラス(+ )の年数は休止年数を示している。この表にあらわれているように、Onbetsu 1号地では、1965年現在、全地点

とも休止状態である。そして、最も長い休止期は、尾根 No.17 の30年で、ついで斜面中央部 No.7 の26年と尾根 No.18 の24年である。逆に No.12 は1年前まで No.3, No.10 は2年前に地盤の変化があり、現在休止しているという結果を示している。Onbetsu 2号地では、尾根 No.14 と No.15 で40年の休止期間があり、それに反して、No.2, No.3, No.5, No.8, No.9, No.13 では2~8年前から変動中であることがわかる。

Kamiotoi では1964年現在変動のあらわれている地点は No.5 と No.9 である。その他は1~10数年の休止期間となっているが、とくべつに、尾根 No.1 と No.2 および中央部 No.16, No.20 では、50年という長期間にわたる休止期間が認められた。尾根に長期間の不動部がある点は Onbetsu とにているが、中央部の長期間にわたる不動部の存在は特徴的である。

Furenai の試料木は、人工植栽で年限が浅いけれども、現在の変動についてみるならば、No.12, 13 ほか30点が、1964年現在休止期にあり、No.4, No.6, No.7, No.13 が変動中ということになる。

Furenai では1962年に100%の変動をみており、その後の経過年数が2年しかたっていないので、Onbetsu や Kamiotoi のような長い休止期はまだあらわれていない。そこで、1962年以前の状態をみると、尾根 (No.22~26) と中央部 (No.17~20) に7年間の休止期にあるのに反して、舌端部には7年間の休止期をもつ No.3, No.5, No.6, No.11 と3年間の休止期をもつ No.2, No.4, No.12, No.13 やその中間的な長さの休止期をもつ地点とがいろいろまじっている。

4地区の結果からみると、1) 尾根に相対的に長い休止期が認められる。2) 地すべり中央部にやや長い休止期をもっている地区 (Onbetsu 1号地) と中央部が現在変動中の地区 (Onbetsu 2号地, Kamiotoi) とがある。3) 現在からみて、各地点の休止期は一致しておらず、中央部から舌端部にかけてその差が大きくなっている\*。

休止期と変動期のくりかえしについて、Onbetsu と Kamiotoi についてしらべてみると、さきにも述べたように尾根において40~50年の休止期間内が認められた。したがってその間の地すべり中央部の動静をみるために、いちおう Table 6, 7, 8, 9 にあげた40~50年の期間における変動のくりかえし回数を取りだすと、Table 11 のように、Onbetsu 1号地において1~8回、2号地において2~7回、Kamiotoi では1~9回となっている。ここでは変動の継続年数を無視して、一連の変動として回数だけに焦点をあてたが、尾根が1回も変動していないのに対して、中央部から舌端部にかけての変動の回数は多いことがわかる。

このように地点ごとの各個ばらばらの変動や、それらが、ある一団となった変動の状態を「交互性」とよび、さらに同一地点の変動のくりかえしを「反復性」とよぶならば、この両者は地すべり地における空間的な変動と、時間的な変動を表現していることになる。そして変動の結果が、いわゆる「地すべり地形」という特殊な波状地形を呈するものと考えられる。このよ

\* Kamiotoi では1964~1966年の3カ年にわたって伐採しているが、全試木については1964年現在にそろえて解析した。

**Table 11.** The number of partial movements recently  
Onbetsu-I, II: 1926~1965, Kamiotoi: 1915~1964, Furenai: 1955~1964

調査地	No.																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Onbetsu I	4	1	4	3	1	2	2	3	4	4	4	8	3	3	3	7	1	2
Onbetsu II	5	6	7	7	4	2	4	5	6	3	3	6	5	0	0	—	—	—
Kamiotoi	0	0	2	5	6	6	5	8	5	5	5	9	6	4	5	0	7	1
Furenai	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	3	3	1	1	1	1	1

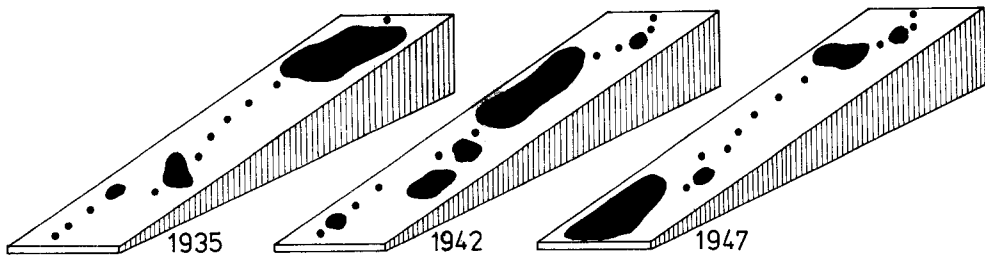
調査地	No.																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Onbetsu I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Onbetsu II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kamiotoi	5	2	3	3	7	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Furenai	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1

うに、地すべり地を地形的に変動しつつある対象として認識するには、たんに平面図や縦断図のような2次元の平面のみで検討することなく、3次元の空間(立体的)における時間経過にもとづいて考察しなければならないのである。

これまでは3次元空間の経年変化を、的確に表現する手段がなかったもので、われわれはつぎの Fig. 17 のように模式的な方法によってあらわし、さらに長年月の変化をみるために、Fig. 18, 19, 20, 21 のような表現をとった。Onbetsu については、1965 年現在より 40 年前まで、Kamiotoi については、1964 年現在より 50 年前まで、Furenai については、最近 10 年間ものをあらわした。これらの図における試料木間の距離は厳密な縮尺をもってあらわしたものでないから、この図は年代ごとに変化する概略の傾向を示しているにすぎない。

図によって明らかに示されているように、変動の面的広がりや、年々不齊である。つまり、漸増→急減→漸増→急減のくりかえしとなっており、また、地区ごとに漸増期間や減少の度合が異なっている。これは、その土地の土質のちがいと、降雨あるいは融雪水の浸透状態に

Onbetsu ~ I



**Fig. 17.** Schematic representation showing slope movement in the creeping land. The minor partial slide areas (dark parts) were presumed by the tree-ring analysis.

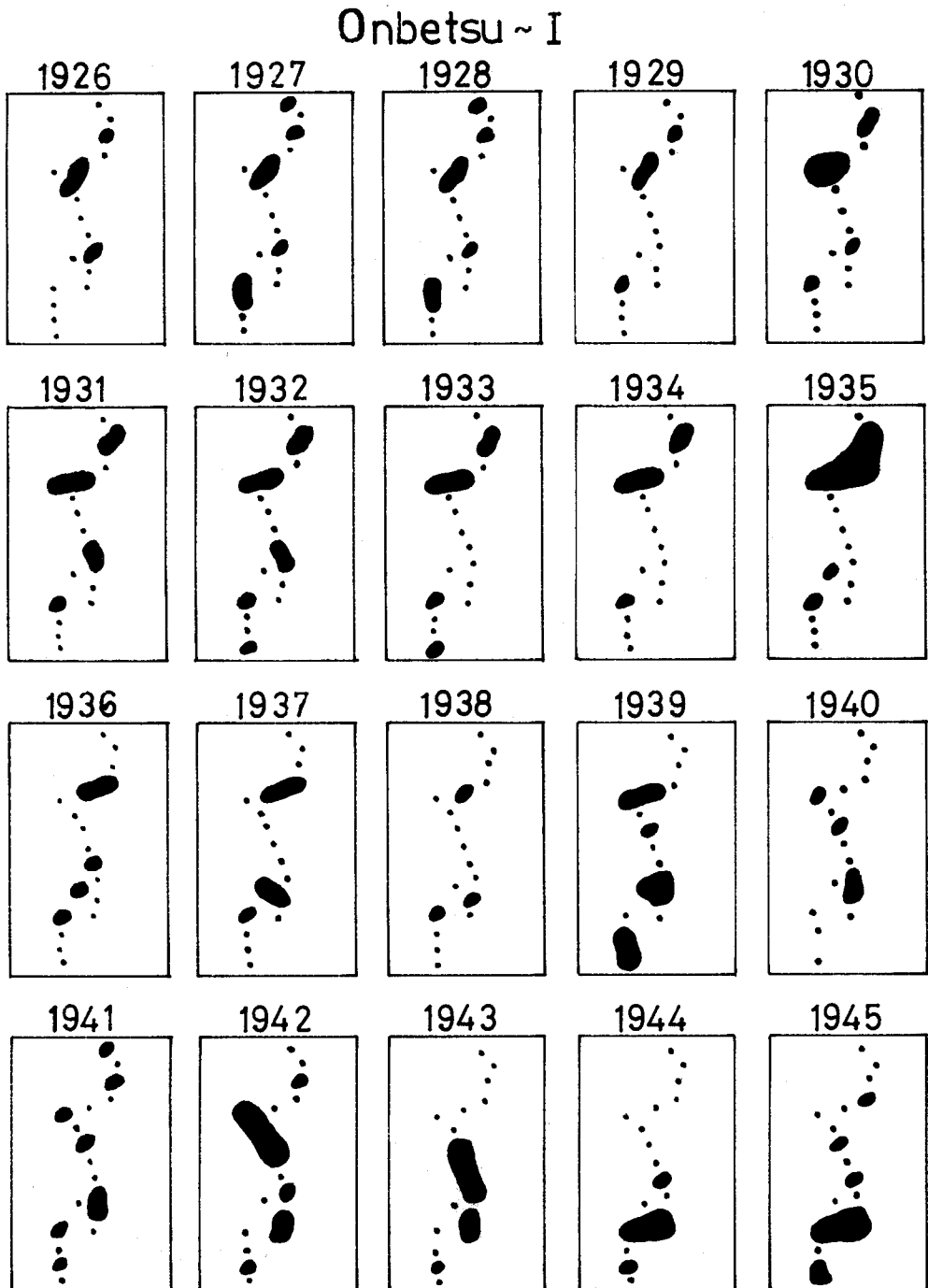
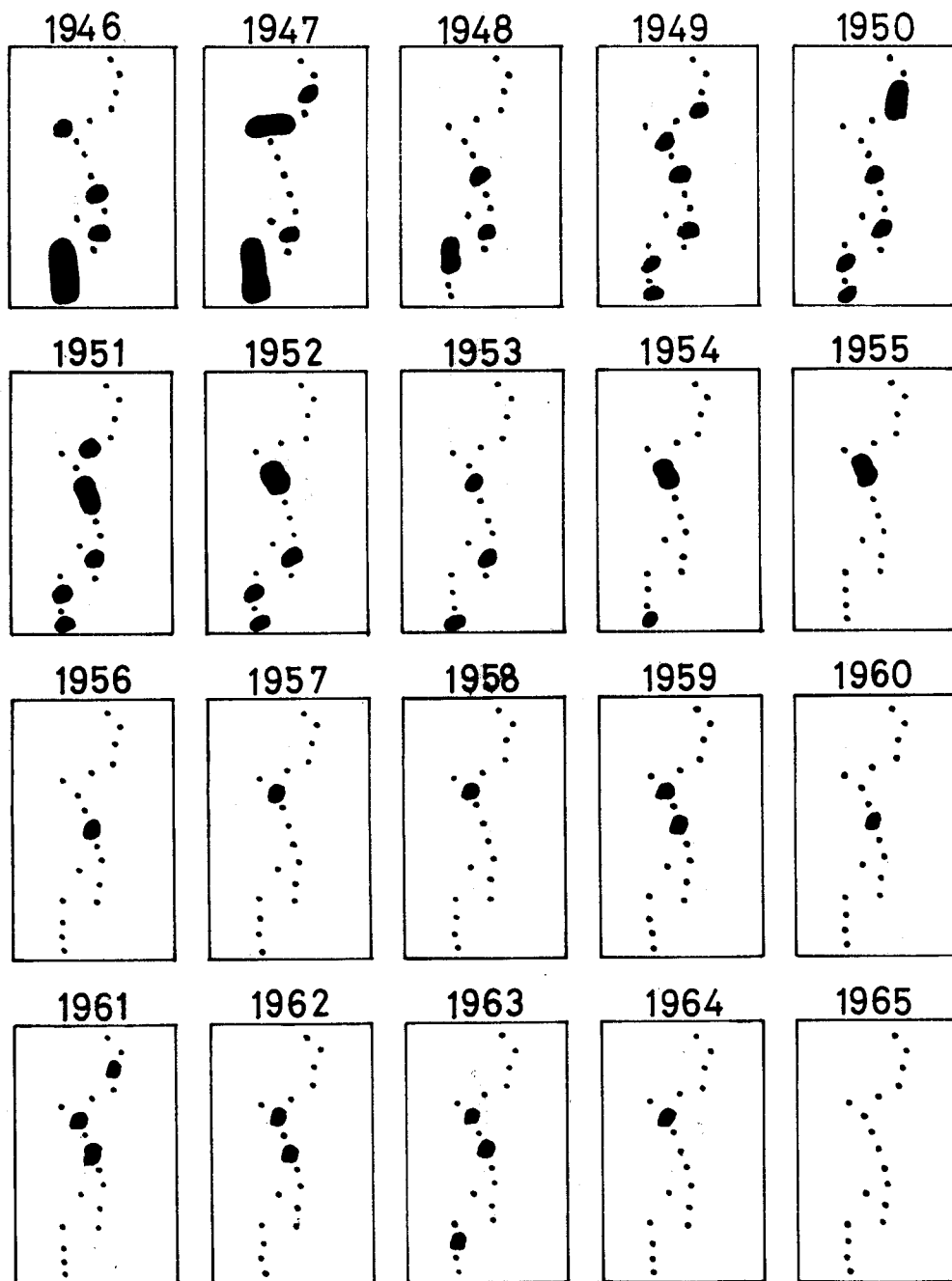


Fig. 18. presumed areas of slope movement



in the interval 1926 to 1965 (Onbetsu-I).

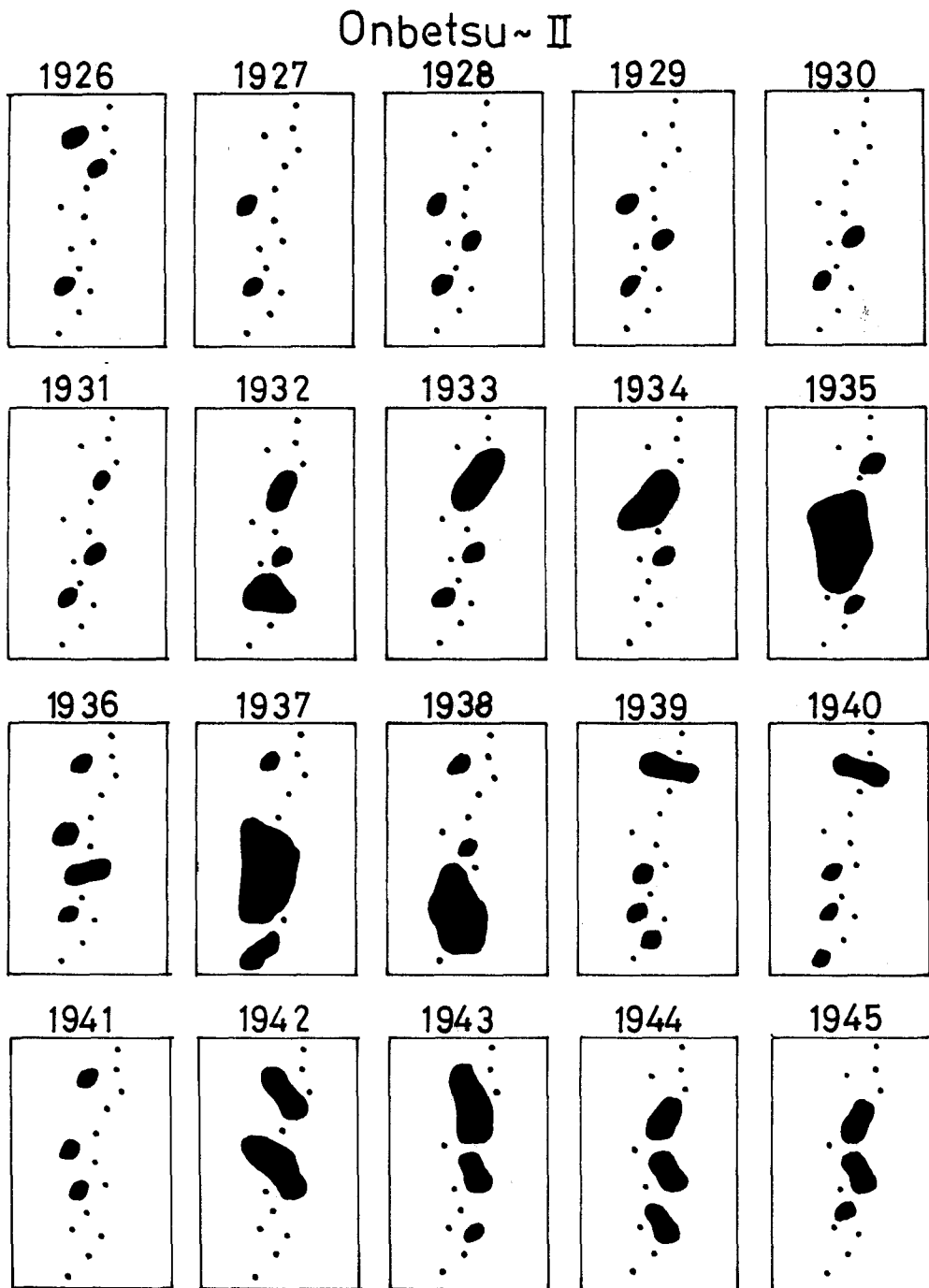
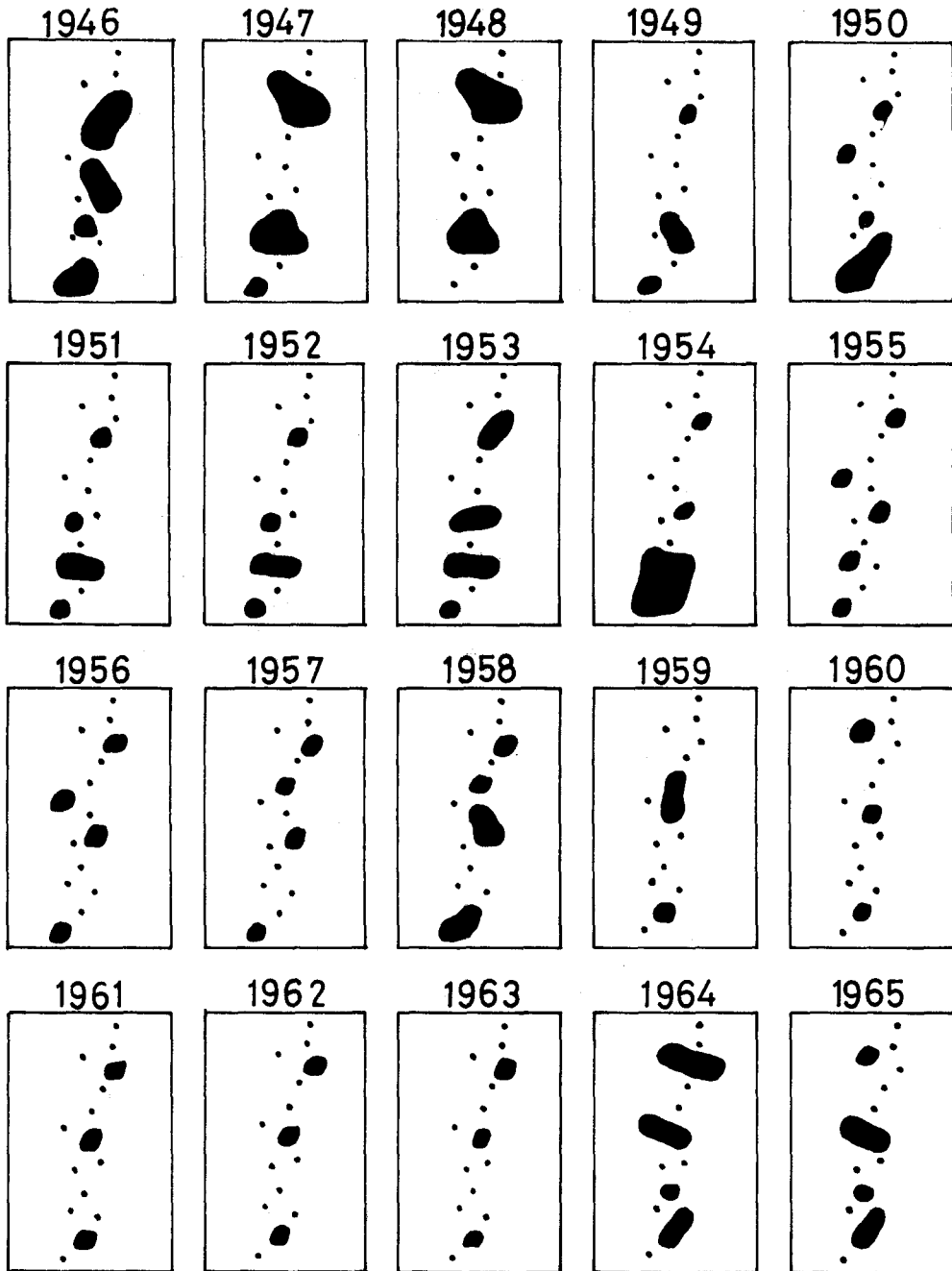


Fig. 19. presumed areas of slope movement



in the interval of 1926 to 1965 (Onbetsu-II).

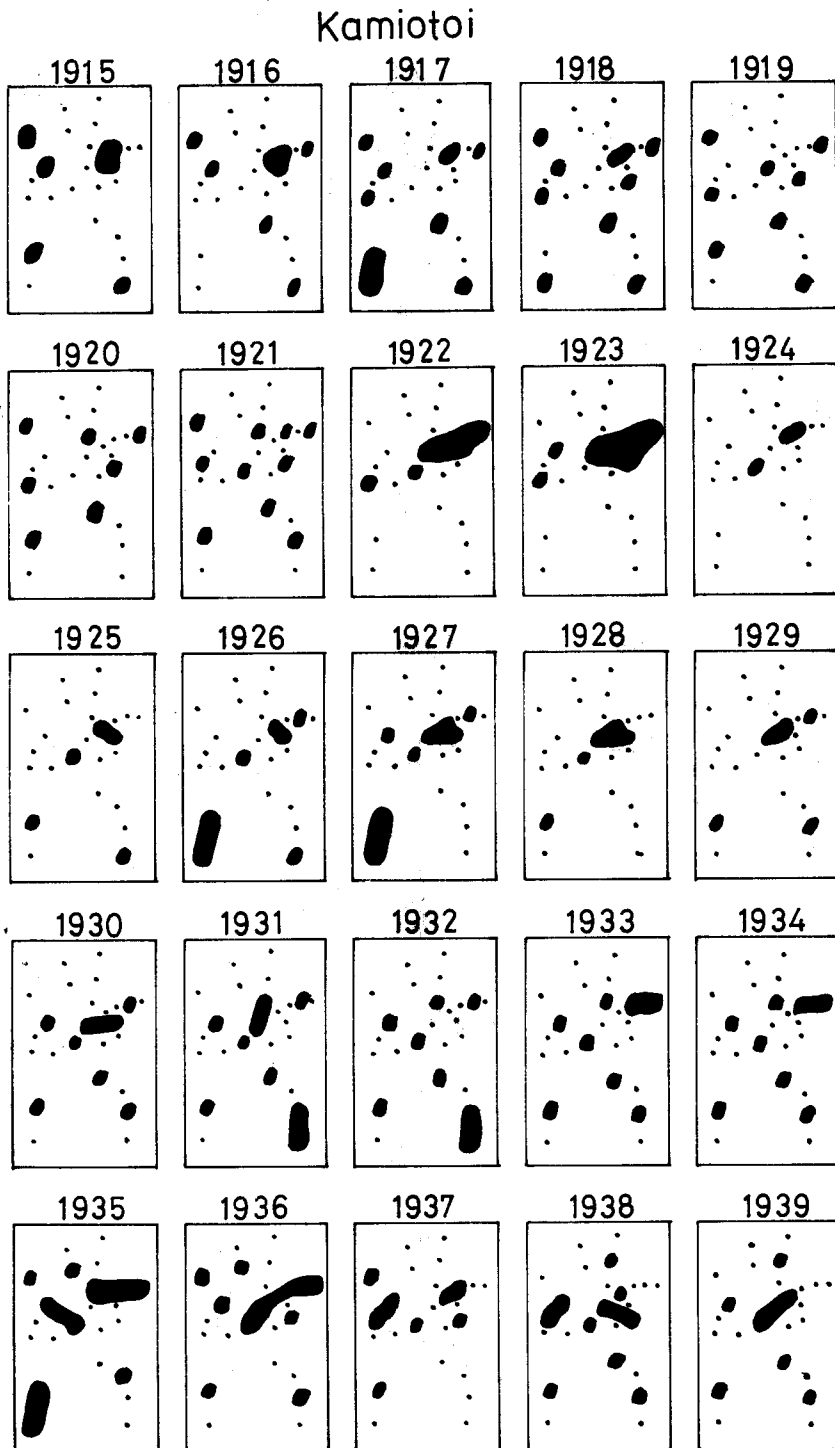
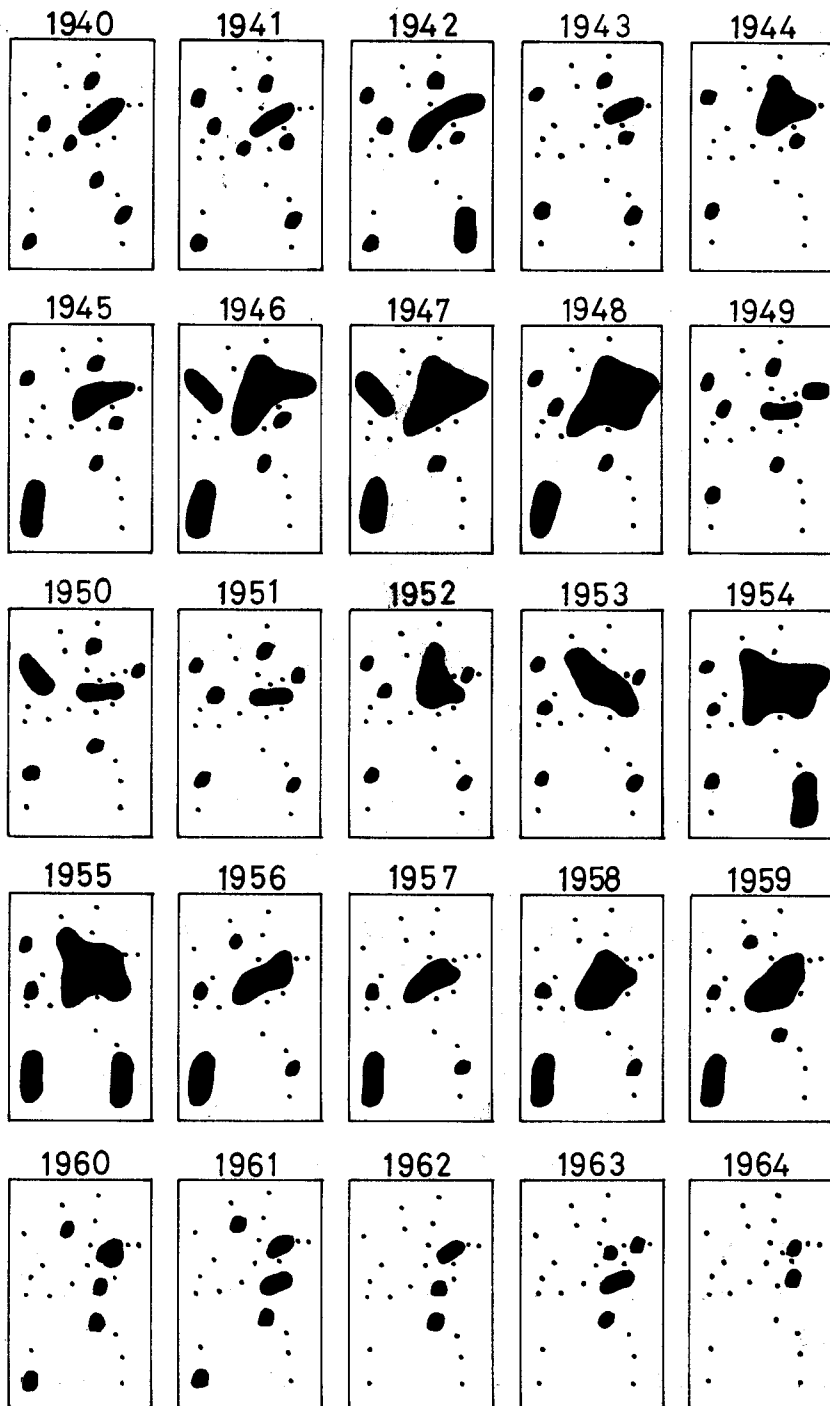


Fig. 20. presumed areas of slope movement



in the interval of 1915 to 1964 (Kamiotoi)

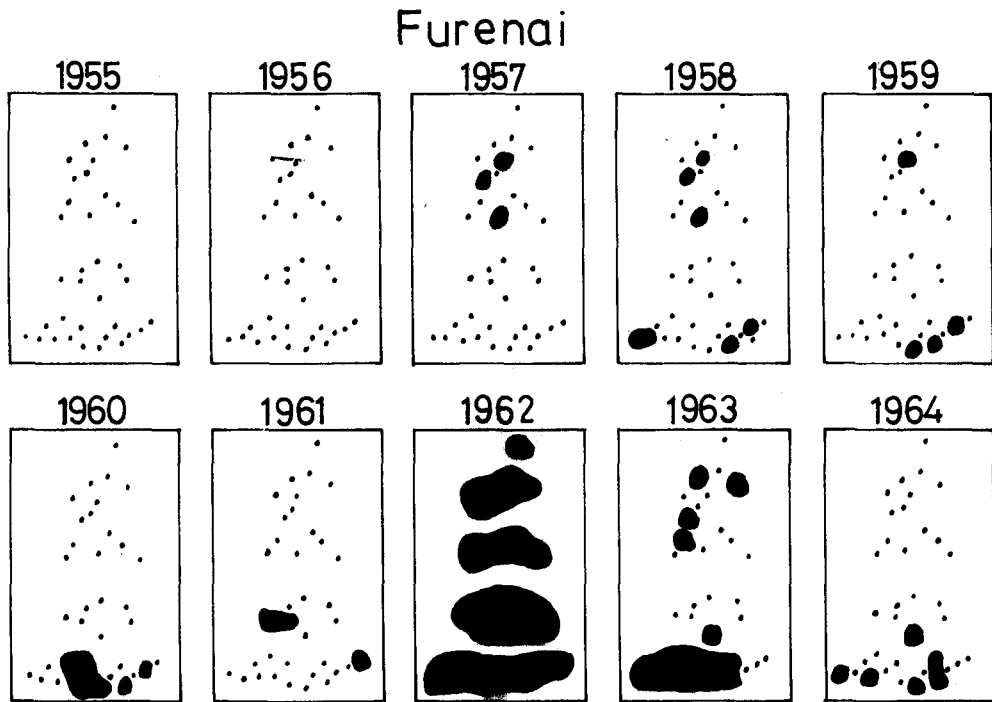


Fig. 21. presumed areas of slope movement in the interval of 1955 to 1964 (Furenai).

影響されているものであり、なお年ごとに累積されたひずみがピークに達して、変動が大型化し、ついで一時的にバランスのとれた状態に復するためであると考えられる。

この点は、東(1968)が道有林穂別事業区のカラマツ造林地で、年輪解析によって推定した山腹崩壊の前駆現象と全く同一の傾向をもっているといえることができる。

また、1968年以降、東(1970)が考案した「三点法測定」によっても、地すべり地の地盤の変化には、交互性のある時差運動が認められている。

玉田(1970)は、長崎県北松地区の再発型地すべりの機構について、移動計や傾斜計の記録から隣接した土塊には同一の挙動はみられず、ブロックごとに単独に移動し、ブロック間のひずみのちがいをきれつ発生の原因であるとし、広範囲の斜面が同時に移動することはきわめて少ないとのべている。筆者らが、さきの模式図に示した Onbetsu と Kamiotoi の移動傾向も玉田のいう再発型地すべりによく類似しているとおもわれる。すなわち、既存の地すべり地には、過去の大移動あるいは小移動と、その後2次、3次の小移動がくりかえされているとみることができる。

Furenai の例は、たまたま1962年に大移動が起こり、その前後に小移動が部分的に起こっていたことを示している。

## b) 地すべり面の問題

一般に地すべり調査で問題になるのは、すべり面の存在である。しかし、既存の地すべり地において、たえずすべり面を境界として、すべり面の上層部が移動するとはいえない。さききのべたように、地すべり地には交互性のあるブロック状の地盤の変化が認められる。もちろん、なかには広い範囲にわたって土層が移動することもあるが、全般的に細分化された小規模の移動にとどまっているようである。

そこで、同時運動のみかたで、広い範囲の変化は深い層からの移動で、狭い範囲の変化は浅い層からの移動であるとする、ある移動に対してはひとつのすべり面が想定できる。したがって複雑に変動する地すべり地においては多数のすべり面が存在すると解釈することができる。このような地すべり面の複合形に関して、小貫(1963)は地すべり帯という用語をあて、しかも移動部分の土層は土質によって滑動速度(原文のとおり)が異なる点を指摘している。同じような意味を小出(1955)は、地すべり末端部や地表層の動きについての調査や観測が、地すべり全般の推定にむかないとのべ、新谷(1966)は、従来行なわれているように1個の機械で地すべり移動量を測定しても、その地すべり運動量をあらわすものでないとのべている。

地すべりが、すべり面の粘土の存在と関連づけられたのは相当以前のことである。かりに1次の地すべりが、この粘土とかかわり合いをもったとしても、2次、3次の地すべり地の地盤変化が、どの程度に以前の粘土と関係したものか疑問である。すなわち、深度の大きい移動は地表面に広く反映するはずであり、小範囲の移動は以前のすべり面とは直接の関係をもたないと考えられるからである。この点について、鈴木ら(1970)は、地すべり地塊には地すべり粘土がレンズ状に介在するとのべているが、このことは粘土そのものが、過去の地殻変動や1次地すべり、およびその後の2次、3次の地すべりによってつくり出されたものであると考えられるからである。

つまり、地すべりをごくまれに起こる地学的時間単位としてとらえるか、しばしば起こっているわれわれの生活時間単位の問題として考えようとしているかという点を明らかにしておくことは、地すべりを論ずるときに重要な点である。前者は地学的問題でとりあげられる深層からの地すべりであり、植物の生長との直接関係はなく、後者は林学の問題としてとらえるときの浅い土層の移動で、植物の生長に直接の影響をもたらしていることを無視できない。そして、深層からの大規模な地すべりのあとに起こるかもしれない小移動を防止することが、現実の防災行為であり、それに先行する深層からのすべりに対しては、十分な予知と防止工法が整っていないのも事実である。

## c) 地すべり地形の特徴

深層の地すべりも浅層の小移動も土層の下降運動であり、一方通行の非可逆変化をしている。しかし、ブロック状に相対的な静止部分が介在するために、地表には複雑な凹凸が形成される。

原地形は、地質、岩質に支配されてできあがるが、地すべり地形は地すべりとそれに関連する土層の下降運動によって形成されるわけである。たとえば大移動のあとに滑落崖や側壁および大型の凹地ができあがり、後日、沢や沼にかわってしまう。つぎに中程度の移動によって斜面には新しく逆勾配や、小沢の押し出し地(汜らん原)が形成される。そして、しばしば起こっている小移動によって多くのきれつができるのである。これらの移動は複雑な組み合わせのもとに起こっているために、地すべり地は一種独特の地形を形成するわけである。

最近とくに空中写真が発達したことによって、藤原・新谷(1965)がのべているように、地すべり地形の判読には、この種の地形的特徴が指標として用いられるようになった。いま、岡(1966)があげた地すべり地の特徴を列記するとつぎのようである。

1. 山腹の上方に凸な半月状(馬蹄型、眉状)の滑落崖がある。
2. 滑落崖の直下は凹地になり湿地、沼等がある。
3. 滑落崖の前方に不規則な凹凸地形や、周囲から分離した小丘(小山)がある。
4. 周辺部と比較して山腹が著しく緩斜面である。
5. 滑落崖に平行な波浪状地形を示す。
6. 周辺部の地形と比較して、局部的に幼年期地形(V字型の谷か頂部は平坦)である。
7. 山腹や山頂に沼や湿地がある。
8. 泥流が長く連なる場合は、地すべり直後か、活動中の地すべり。
9. 地すべり地帯の棚田の大部分は、新旧地すべり地。

そしてこの地形的特徴が、降雨や融雪時の浸透水の作用により、まれに起こる地震動の影響を受けて形成されることは容易に理解できるだろう。しかし、地すべり地において、これまで2次、3次の小移動のあることを認識していたか疑わしい。筆者らは、年輪および三点法を用いすくなくとも年単位の時間を導入することによって、この問題を解決するための緒口をみいだすことができたと考えている。

平山(1965)は、新潟県の地すべり地について、地すべり地の形状を、形状値(長さ、幅、面積、傾斜、斜面長、滑落崖の比高、長さ/幅、長さ/斜面長)と単位地すべり(1回の地すべり)という概念で論じている。それによると、1回の地すべり(単位地すべり)の規模では最長240mで、滑落崖が形成される程度をいい、高野(1960)や小出(1955)が提唱した「継続的地すべり」は、単位地すべりと単位地すべりとの間の小規模な土塊移動であるとしている。そして、古い地すべり地形ほど滑落崖が侵食され、比高は小さくなっていくとのべている。地すべりの規模と形態について、土質力学的にみると、間口の狭い奥行の長いすべりよりも、間口の広い奥行の短いすべりのほうが起こりやすいと考えられる。つまり後者は、地すべり性崩壊とか崩壊性地すべりといわれている類のものであり、前者は往々にして下方において土石流を発生させたもので、欧米で行なわれているようにLandslideを広義に解釈すると、Flow型を含んでいるということになる。

Onbetsu, Kamiotoi, Furenai の地すべり地の縦断図は, Fig. 22, 23, 24, 25 に示すとおりに, いずれも波状地形を呈している。これらの図では, 垂直方向と水平方向を同縮尺にとり, 凹凸の状態を示した。

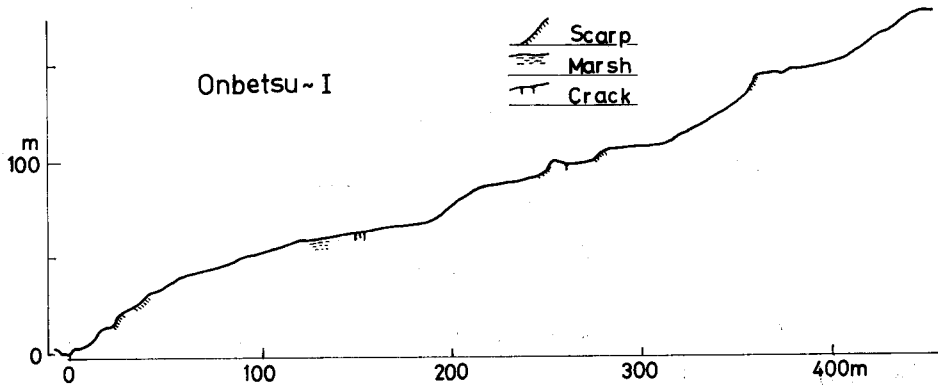


Fig. 22. Profile of longitudinal section of the investigated slope (Onbetsu-I).

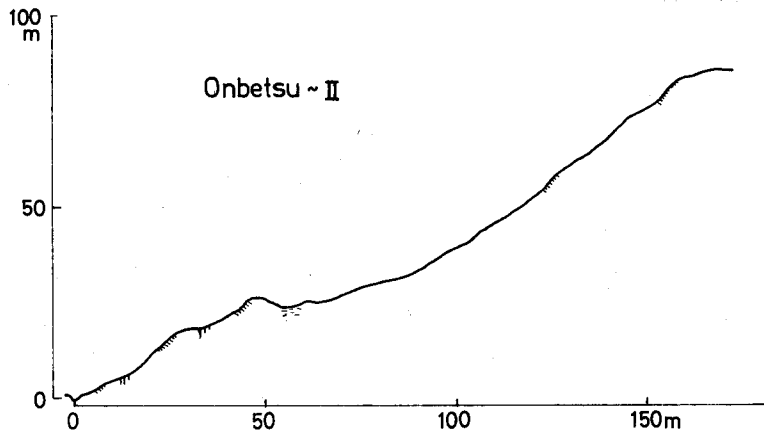


Fig. 23. Profile of longitudinal section of the investigated slope (Onbetsu-II)

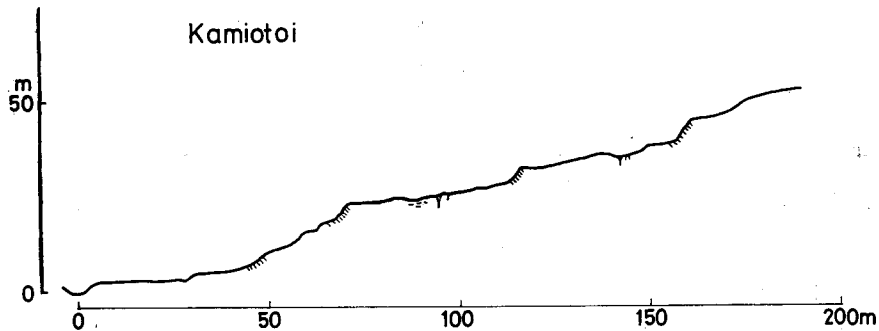


Fig. 24. Profile of longitudinal section of the investigated slope (Kamiotoi).

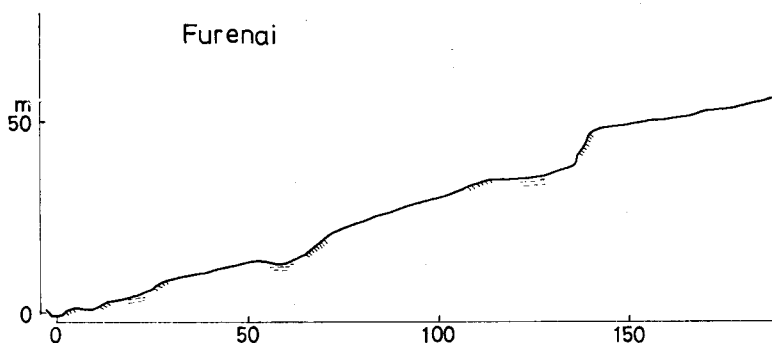


Fig. 25. Profile of longitudinal section of the investigated slope (Furenai).

山腹斜面の風化土層は、土石の粒径組成が複雑であるうえに樹根や小動物の影響が加わって浸透水は多様に作用し、局所的な地盤の変化が長年にわたって累積されるために、このような地形がうまれるものと考えられる。

#### d) 人為介入による地形の急変

地すべり地の中央部は、一般に緩斜面をなしているために、林道の開設にあたってその緩斜面は路線設定の適地と判定されやすい。しかし、そういう斜面は施工に際して相当の難工事となる例が多い。すなわち、土塊の一部を切りとるために、斜面の平衡が崩れ、人為的に攪乱することによって、流動性を増した土質がいっそう不安定な状態に移行する。

E. B. ECKEL (1958) を長とする米国のハイウェー委員会が発表した法面崩壊の実例には、切りとり工事によって表層土の崩れを誘発したとおもわれるものがある。もともとこのような斜面は前駆的挙動をもっていたと考えられるから、われわれはその挙動を予知するなんらかの情報をとらえておかなければならないのである。

つぎに、砂防ダムによる溪床のダムアップが、溪岸の地すべりに及ぼす影響について考えてみよう。一般に砂防ダムは、現溪床の洗掘を防止し、上流部の山脚固定をはかる目的で設けられるわけであるが、地すべり地における溪岸斜面の押し出しは、溪床の高低よりも、斜面内の自然排水の良否にかかわっているとおもわれる。したがって、ダムアップすることによって、溪岸の水位が高くなることは、むしろ舌端部の流動性を促進する結果になるだろう。また、砂防ダムが単独に設けられる場合には、下流部の洗掘がいちじるしくなるために、舌端部の押し出した狭さく部はいちじるしく洗掘されることになる。これらの現象を総合的に考えてみると、一般に軟弱である地すべり地に、部分的に人為が介入することは、自然改造の目的と相反することになりかねない。土層移動の非可逆性を知り、加速的作用を行なう人為介入については、十分慎重でなければならないと考えられる。

北海道における最近の実例を Photo 16, 18 で示した。いずれも、石狩川源流から常呂川源流へと峯越しする大雪国道に沿った斜面における例である。石狩川源流右岸(旭川営林局大雪

事業区 62 林班) では、1965 年の国道拡幅改修工事の際に地すべりが起こった。当初の計画路線は、ちょうど地すべり地の中央部を直線を通ることになっていた。地すべりのために排土作業の結果、現在の迂回曲線に変更されたわけである (星野, 1966)。写真にみるように、深層からの移動を物語るかのようになり、立木は山側に傾斜している。移動地塊の周辺部には、樹幹の湾曲したトドマツが生立し、また、写真に示したように地すべり地の倒伏木 (アカエゾマツ) から得た円板には、「渦巻き型」の顕著なアテが認められた。すなわち、この付近の斜面は、過去に地すべりの傾向をもっていたと考えられるのである。

また、常呂川源流左岸 (北見営林局留辺蘂事業区 83 林班) における地すべりは、写真に示すように幅 150 m、斜面長 160 m で、この付近では大型の地すべりである。この地すべりは、大雪国道が開通した 1957 年秋季に起こったものである。1963 年 8 月、現地における移動地塊のうえのトドマツを調べたところ、Photo 19 に示すように、伐採時点ではほぼ直立位に復元した樹幹と、山側にわずかに傾斜していた樹幹のいずれにも、1958 年以降のアテが形成されていた。なお、それ以前のアテが逆転した方向に認められ、過去において前駆現象として局所的な地盤の変化が起こっていたことも読みとれた (東, 1968 c)。

同じような例は、庶路川中流部 (帯広営林局白糠事業区 201 林班) における林道沿いの地すべり地においても観察された (東, 1970 c)。実情は Photo 20 に示すように、1966 年 6 月林道開設中に地すべりが起こり、その地区の傾斜樹幹 (トドマツ) には、同年生長期より伐採時の 1970 年まで 5 年間のアテが形成されていた。なお石北や留辺蘂の地すべりのように、それ以前に数回の前駆現象をあらわすアテが認められることも興味深いものがある。

以上の 3 例でもわかるように、自然斜面は人為の影響を強く受けて、急激に変化する可能性をもっている。

### 3. 地すべり地の植生変化

#### a) 裸地の出現と木本侵入

地すべり地では、大小さまざまな裸地が出現する。相対的に規模の大きい裸地は、地すべり頭部に形成される滑落崖とそれにつづく側壁で、多くは急斜面をなし、いわゆる地すべり面の露出部と考えられている。中央部には 2 次滑落崖があり、舌端部の隆起には縦横のきれつが発達し、押し出し状の堆積がみられる。

なお、裸地として一括されるなかにも、多くの滑落崖のように基岩が露出している場合や、中央部および舌端部のように風化土が厚く堆積し、古い堆積部では傾斜方向に沿った 2 次侵食とみられる水みちの洗掘、土砂のはらん堆積もある。

なんらかの原因により裸地が出現すると、そこに植物の侵入がはじまる。これを生態学的には、1 次遷移の初期段階として、一般に低い生活型の植物から出発するものと解釈されているようである。しかし、地すべり地における遷移系列は、必ずしも地衣・蘚苔・一年草・多年草・低木類・高木類の順序をたどるものとは限らない。林内地すべり地に出現する裸地は、火

山爆発の際にできる広大な裸地にくらべるとはるかに小規模で局所的である。したがって、周辺の植物から種子は豊富に供給される。つまり、出現した裸地と母樹との距離が近いために、針葉樹・広葉樹・草本類の区別なく侵入の機会が与えられることになる。これまでの遷移説によると、時間経過とともに土壌条件が改善され、高木の生活が許容されるかのように説かれていたが、先住植物群のなかに果たして侵入しうるかどうか疑問である。極相に達する過程を時間的に追求した研究は少ない。オダム(水野, 1967)によると、北米の廃耕地における2次遷移で広葉樹の極相に達するのに100年以上を要し、溶岩や砂丘の1次遷移では1000年を要するだろうと推定されている。OnbetsuやKamiotoiの地すべり地においては、さきにのべたように、61~75年という休止期間が最も長く、それは尾根(冠頂部)にあらわれており、斜面の中央部や舌端部ではこの間に数回の移動が起こっている。この事実は、地すべり地における斜面の移動がいかにいちじるしいかということを示しており、実際の植生変化が土壌の変化や気象条件にのみとらわれた遷移説に適合しないことがわかる。

Onbetsuの1号地ではNo. 7, No. 8, No. 9の樹齢が67~71年, No. 14, No. 16, No. 17, No. 18の樹齢が78~80年, 2号地では, No. 4, No. 5, No. 6, No. 7, No. 9の樹齢が56~59年で、それぞれのグループで侵入年代がにかよっている。このように比較的狭い区域において樹齢のにかよった集団が存在することは、競争相手のない空間(裸地)が林内に出現し、そこに移来(Migration)した種子が定着(Ecesis)できたからであると考えられる。この裸地の出現が比較的大型の地すべりによるものだとするならば、1号地では70~80年前に、2号地では約60年前に大移動があったということになる。なお、これらの試料木にみられる年輪は、侵入当初において肥大生長が旺盛であり、林内被圧木のような密な年輪幅と異なっている。しかし、30年ほど経過したころから、周辺の生長旺盛な広葉樹や同時侵入のトドマツ優勢木に被圧されたとみえて、年輪幅は密になっている。

Kamiotoiの地すべり地における滑落崖には、Table 12に示すように、ケヤマハンノキ、バッコヤナギ、カンバ類の侵入がみられる。各樹種とも樹齢は6~10年で、シラカンバの上伸枝が10年生であることから、裸地は約10年前(1964年現在)に出現したとみることができると。さきにこの地区のブロック状の移動図にもあげたように、じつは50年間のうちでもっと

Table 12. Invaded trees at the scarp (Kamiotoi)

Species	Age	Tree height (m)	Diameter at butt (cm)	Note
<i>Alnus hirsuta</i>	10	4	5	
"	10	5	6	
<i>Salix balko</i>	7	4	4	
<i>Betula maximowiziana</i>	9	5	4	
"	6	3	3	
<i>Betula platyphylla</i>	10	4	3	Vertical sprout

も大型の移動を示したのは1947~1948年と1954年であった。しかし、これは年輪に刻みこまれたアテの傾向からみたものであるから、裸地が形成された年代をそのまま示しているものではない。侵入木本の樹齢が約10年であることからみて、滑落崖の形成を1954年とすると、1947~1948年の移動は前駆現象と解釈することもできる。

同じような木本侵入の傾向は小滑落崖においてもみられ、たとえばPhoto 22, 23に示したように、ナガバヤナギとトドマツが侵入し、外観上はナガバヤナギの生長がよく、トドマツの樹高が小さいけれども、年輪的には同時性を示していると推定される。しかしトドマツの侵入にはその種子が供給されるための母樹が、約50m程度の近距離になければならないし、先駆広葉樹のように種子の飛散能力の大きい樹種の侵入とは根本的な差異がある。この点については後述するように、地盤の変化がはげしいところには、すでにトドマツが存在しないという歴史的過程についても考慮しておく必要があるだろう。

Onbetsu や Kamiotoi においては顕著な例はなかったが、地すべり地には中央部から舌端部にかけて、土石流の氾らん原がみかけられる。これは部分的な横方向の地すべりが、地すべり地内に発達した小沢をダムアップして発生するもので、面的に広がった氾らん原には、ヤナギ類やケヤマハンノキが群生している。これらは同齡林で、氾らんによる裸地の出現年代を示している。

マツツブな泥岩より構成されている徳富川南幌加(新第三系)と天塩川アベシナイ(白堊系)の地すべり地では、溪流からの比高50~150mの位置に、ヤナギ類・ハンノキ類の群落(30×50mの広さ)が明らかな年代差を呈している。先駆広葉樹の侵入経過から推定すると、このような林況は間接的に氾らん堆積した裸地に侵入した群落であると考えられる。

FLACCUS (1959) は New Hampshire の White mountain において発生した地すべり地において、年代ごとに(9, 30, 60, 72年経過)また地すべり地の区域ごとに木本侵入の実態を調べ、先駆樹種である Salix, Populus, Betula が優占し、年月がたつとともに Picea, Abies, Acer, Fagus が侵入していることや、標高の高い滑落崖(2,800~3,300 ft)よりも舌端部あるいは泥流氾らん原(2,000~2,300 ft)における生長の大きいことを報告している。

滑落崖および側壁は安息角以上の急斜面をなしている場合が多く、風化崩落がはげしい。したがって表土が不安定であり、移来した種子の着生は困難である。しかし倒木や凸出した岩塊の上縁には、局所的に不動部分が形成されるために小群落をつくることもある。風化岩屑の堆積する崖錐では、三紀層崩壊地と同様に、不定根によって生活できる草本類によって占められる傾向がある。

東(1968 d)が北海道の地すべり地で観察したところによると、舌端部は一般に草本類が密生し木本類は少ない。しかし徳富川南幌加(新第三系)の地すべり地のように、発達したきれつにイタヤカエデ・ハルニレ・ミズナラ・シナノキ・バッコヤナギなどの広葉樹が侵入している例もある。もちろん、母樹の存在に左右されるわけであるが、ここでは石狩川東奈井江(古第三系)

の地すべり地におけるヤチダモのような老齢大径木はみられず、ほとんど幼齢木・小径木で、地すべり運動の回復期間が短いのではないかと想像された。舌端部は背後からの押し出しによって安定しにくい場所である。したがって木本類の侵入は少ない。常呂川上流(新第三系)において1957年10月に発生した地すべりの舌端部には、現在ヤナギ類・ハンノキ類が自生し、その樹齢は裸地形成後1~2年してから侵入したことを物語っている(東, 1968 b)。

#### b) クリープ現象と植生

地すべり地における樹木が、乱雑に傾斜している状況は多くの報告にみることができる。たとえば小出(1950)は福島県土湯村で立木が山側に傾斜している例をあげ、竹下(1961)は福岡県可也山のヒノキ壮齢林の樹幹が斜面上方に傾斜しているとのべ、中村(1955)は新潟県沖見村のスギが谷側に向かって前のめりの形態を示していることや、愛媛県田渡村のスギが幾回も湾曲している例をあげている。また、地すべり地において樹幹がひきさかれている例は、本論文のPhoto 7にあげたKamitoiのトドマツの場合と同じようなものが、小出(1955)によって茶臼山の例が、高野(1960)によって新潟県の例が、中村(1955)によって富山県の例があげられている。欧米の文献によると、HEIM(1932), ZÁRBA(1969), RITCHIE(1958)が針葉樹の湾曲した樹幹から、最近の地すべり年代を推論している。

筆者らもまた、下北半島むつ営林署管内のヒバ林において、じつにおびたらしい数の幹裂木をみており、また津軽半島今別営林署管内の地すべり地において、ヒバやブナノキの傾斜木・屈曲木をみている。このような現象は、地盤の相対的な安定期間および不安定期間と樹木の生長との関係によるとみなければならない。

樹幹が傾斜すると異常材が形成されることから、地すべり地における天然生針葉樹のアテ材を確認し、続いて同年代のアテをもつ立木地点群をマークして、ブロック状移動の交互性と反復性をとらえた。同じような手法で皆伐造林地の崩壊現象を時間的に分析し、崩壊前の前駆現象を推察した。このような交互性・反復性・前駆現象というよびかたは、いずれも時間的前後関係を表わすもので、時間単位が細分化(年・月・日・時・分・秒)された場合でも成りたつものと考えられる。なお、時間の細分化に伴って、移動ブロックも細分化されることになり局所的な土層が樹木に与える作用力も小さくなるとみなければならないだろう。

一方、樹木は時間の経過とともにある大きさまで生長する。大径木になるほど樹幹傾斜の感受性は鈍くなり、アテ形成にも限度があるとみなければならない。これまでは、大径木のアテを年代別に解析し、比較的規模の大きい地表変動を調べてきたが、多くの試料木には小径木時代のアテ形成もみられ、また、小径木ほど土層の小移動に対して敏感に反応するものと考えられたので、上長生長が相対的に急減するという事実について考察した(東, 1969 a)。

地すべりと崩壊は、地質系統、移動速度、粘土の存在などによって区別されているが、現象そのものは斜面の風化土層の下降運動にほかならない。このような下降運動には、表土層がきわめて緩慢に移動するクリープ現象もはいつているが、植物の繁茂しやすい斜面ではあまり

注目されていない。これは植物被覆の破壊された裸地面に多くの関心が向けられ、たんに静的な一時点の現象として扱われやすいからであろう。

北海道の三紀層低山地帯の皆伐造林地に発生した崩壊地 (道有林苫小牧林務署管内鶴川事業区 25 林班) において、崩壊部と隣接未崩壊部から得たカラマツ試料木 (約 15 年生, 87 本) について年代別に解析した結果、崩壊発生までの 12 年間に起こったとおもわれる大小のブロック状移動が認められた。年代別にみたブロックの規模は、漸増・急減・漸増の波型を示しているが、年代別最大月雨量・最大日雨量と直接の比例関係はないようである。おそらく徐々に増大したひずみが爆発して大移動となり、そのあとにバランスのとれた年代を迎え、再びひずみが蓄積されるという傾向を示すもので、年々融雪水や異常降雨・地震の影響によって内蔵されるものと考えられる (東, 1968 c)。

幼齢小径木時代の樹幹は屈撓性に富み、風の影響に支配されないが、地盤の変動に際しては、小径木といえども例外なく傾斜し、アテが形成される。また、樹幹の傾斜方向については、積雪の影響を考慮しなければならないが、積雪は斜面下方に移動するから、風の場合と同様に斜面との関係からアテの形成方向を判別することができる。

函館営林署管内 1,013 林班の新生崩壊地において、崩落した板状体のトドマツ小径木 (11 年生) には、最近 3 年間に 180° 逆転したアテがみられ、急変したとおもわれる樹幹傾斜の状態から、崩壊前の板状体の変動が推察された (鈴木・東, 1968)。

明らかに地すべり地形を呈している造林地において、植栽木の上長生長が急減し、不斉な樹冠を呈する一団地が観察される場合がある。これにいたる外観は、被圧木・凍霜害木・虫菌害木にもみられるが、樹木の生理現象としては全く異質のものであり、1) 皆伐造林地、2) 上長生長復活、3) 被害形態などからみて特殊である。筆者らは、地すべり移動の交互性・反復性の関係を縮小したクリーブ性の地表変動を、生長阻害の要因とみている (東, 1968 d)。

この点は生理学的にも未解決の課題で、今後の研究にまたなければならない。樹木生育に関する環境要因は、気象・土壌・生物要因にかたより、地表変動の動的因子を無視しがちであるから、はなはだ難解な問題となるだろう。しかし、筆者らが、これまでにトドマツ造林地で観察したところによると、上長生長の止まった幼齢木には暗灰色の腐朽した根が残っている場合がある。これは地盤の変化により切断された根系がしだいに腐朽し変色するもので新しい根が再生し、生活を復活するには数年を要するものと考えられた。

Table 13 に代表例として、植栽木のなかで正常なものと、突然生長を止めた異常木について年伸長量を併記した。両者は同時植栽とはみえないほど大差を示している。なお、異常木のなかでもわかるように、2~6 年間生長の急減している年代がみられる。このような生長は復活するのであるから、枯死にいたらない程度の根系層の障害によるものと考えられる。植栽木に比べると、自生木の初期生長は遅いが、単木的にみると生長不振の年代は、相対的な伸長差となって現われている。

Table 13. The trees with abnormal crown in the creeping forest

Forest type		Planted forest						Natural forest		
Site		Ikantai		Kikonai		Toikanbetsu		Rube-shibe	Oketo	Bifuka
Geology		Cretaceous		Tertiary		Tertiary		Tertiary	Tertiary	Serpentin
Species		Todomatsu		Todomatsu		Todomatsu		Todomatsu	Todomatsu	Akaezomatsu
Growth form		Normal	Abnormal	Normal	Abnormal	Normal	Abnormal	Abnormal	Abnormal	Abnormal
Tree height (cm)		296	71	345	185	187	82	100	300	110
Upward growth (cm)	1968	—	—	45.0	5.0	—	—	—	—	7.0
	1967	56.0	4.6	30.0	3.0	37.0	6.0	0.8	9.5	1.5
	1966	47.5	1.9	30.0	4.0	28.0	4.5	1.4	12.5	1.5
	1965	57.0	1.3	20.0	2.0	21.0	6.0	1.4	6.0	6.0
	1964	43.5	1.5	20.0	8.0	32.0	13.0	0.9	3.0	7.0
	1963	38.5	23.5	40.0	7.0	—	—	1.5	2.0	2.0
	1962	14.5	14.8	35.0	30.0	—	—	6.0	1.0	7.0
	1961	—	—	25.0	46.0	—	—	6.2	1.5	—
	1960	—	—	—	—	—	—	—	6.0	—

天然林については、面的な広がりをお確かめにくい。しかし、地盤の変化は造林地の場合と同一の傾向を示すものと考えられる。

このような上長生長不振の年代は、アテの形成年代と符合し、樹幹傾斜にいたる外力の作用として、表土層の下降運動と根系層の関係が類推される。

崩壊は豪雨や地震の際に、地すべりは長雨や融雪時に発生するが、クリープ現象を考慮すると、発生部位の弱線(せん断抵抗の弱い部分)は、時間経過とともに形成されたものとしてとすることができる。それは、平常の浸透水や凍結の影響が累積し、豪雨・地震などの異常な作用が付加して、ひずみが漸増するからであるとおもわれる。もちろん土層の個性(火山灰土・基盤風化土)によって、ひずみの累積には限界があり、人為的影響はその上限を低下させることになるだろう。皆伐造林地の崩壊地続発や、それにいたるまでの不成績造林団地、林道法面カットによる崩壊などがその好例である。

クリープは林内に小裸地をもたらす、種子の着生を促すとともに、上木を倒伏させて後継樹の生長を助ける。このことは、耐陰性をもつトドマツやブナノキに、多年齢層の純林を持続させる有力な要因であると考えられる。

地すべり地は緩斜面を呈しているために、地形的には造林適地としてとりあげやすい。しかし針葉樹(トドマツ・エゾマツ・アカエゾマツ・カラマツ)の良質な材を得ることはむずかしい。不定期にしかも反復して地盤が変化するために、幼齢木は根切れによって上長生長をやめ樹幹が傾斜してアテをつくったり、立ち枯れになったりする。かろうじて大径木に生育したとしても、アテ材が心材部腐朽の低品位の材になってしまう(川幡, 1969)。

欧米では土木地質学の分野 (SCHULTZ, 1955, GILLULY, 1960) で、はやくから土の匍行現象に注目し、クリープと称しているが、わが国では高温多湿で植物が繁茂しやすいせいあまり関心を集めていなかった (渡辺, 1941)。この現象はほとんど肉眼視できない程度の風化土層の下降運動であるから、日常観察することはできないかもしれない。また、これまで長期間記録できる測定方法がなかったのも事実である。しかし、地すべり移動計などによる方法は、この種の運動を知るひとつの手段であったかもしれない。いずれにしてもクリープに対して関心がなかったために感知されなかった現象であろう。ところで地すべり地の造林木の不斉な生育について、Fig. 26 のように、年代ごとにグルーピングしてみると、ブロック状の変化がみとめられる (船田, 1968)。

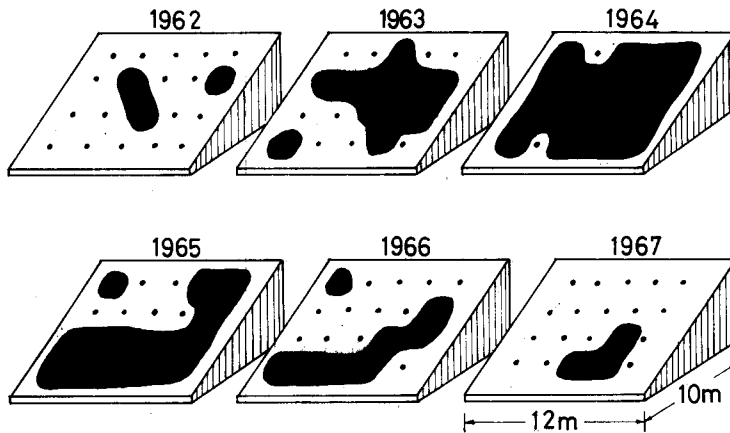


Fig. 26 Schematic representation showing soil movement in the plantation. The areas of soil movement (dark parts) were presumed by interpretation of the tree form with abnormal crown.

すなわち、クリープといえども一種の小規模な地すべり現象であるといえる。そこで、この問題を  $35^\circ$  以上の斜面にあてはめて考えると、植栽後数年たった造林地の不成績の原因のひとつにクリープ現象をあげることができる。もともと、風化土層は下降運動をつづけているものであるのに対して、皆伐後は伐根の根系腐朽が加わって下降運動ははげしくなるはずであるから、植栽後間もない苗木が土層移動に支配されて生育を阻止されることは当然であると考えられる。したがって、斜面の上部と脚部において生育が良く、中腹において悪くなるのである。このような傾向は地すべり地形を呈していない小さな斜面においてもみかけることがある。たとえば、 $35^\circ$  以上の斜面の場合には、しだいに累積したひずみによってバランスが破れ、崩壊へと発展するものと考えることができる。したがって、改植をくりかえしても予想を裏切るような不成績造林になるのは、気象害・虫・菌害以前にクリープの影響があることを考慮しなければならぬだろう。天然林と同様、尾根筋に植栽木が残存するのもそのあらわれである。

皆伐造林地に崩壊の起こりやすいことから、牧野 (1963) は、伐採後 10~15 年の予備期間

を以て造林するようにと提唱しているが、もっともな意見であり、このような植栽方法は伐採方法とともに動的自然の変化を対象にして再検討されなければならないだろう。

### c) 林相の非可逆変化

山地の岩石は風化し、徐々に川を下って海に運ばれる。固結度の低い堆積岩は、火山岩にくらべるといちだんと風化しやすく、火山灰とともにきわめて流動しやすい。

地すべりが、三紀層地帯や破碎帯、鉍化変質帯(熱水作用による岩石の粘土化した地帯)に多いのも、ひとつにはこの岩石の風化進度との関係にあるだろう。植物は根系を地表面近くの表土層に発達させているから、その表土層が地形的・気象的条件に支配されながら下降運動をすれば、直接その影響をうけることになる。しかし、移動しやすい表土層といえどもたえず流動するのではなく、交互性、反復性をもって下降運動している点が、植生のみかたによって明らかにされたのである。

高野(1960)は運動による分類として継続的地すべりと間けつ的地すべりとをあげている。そして、この分けかたに対してとくに疑問がだされたということはないようである。しかし、この分類が、空間的(規模)に、時間的(周期)に、どの程度厳密なものか明らかにされていないし、またこれまでの研究方法では明らかにすることはできないとおもわれる。すなわち、かりに地すべりがくりかえされたとしても、再度同じ規模のものが起こることはないと考えられるからである。

小出(1963)が地すべり現象における経験法則のひとつにあげている「免疫性」とは、大規模の地すべり現象を起こしたカ所は、その後数100年にわたって、ふたたび危険な活動を行っていないという経験的事実にもとづくものだという事である。

その「地すべりの免疫性」をどの程度の規模にとつたらよいか、はっきりしないわけであるが、結局地すべり地に対して、「動いている」とか「不動である」という厳密な表現をとることとははなはだ困難なことであるといわなければならない。

それにもかかわらず、現実には高い山が低くなり、平山(1965)が滑落崖の比高の減少について指摘しているように、古い地すべり地ほど、平坦化されているわけである。

水谷・守田(1969)によると、DAVIS(1912)は、斜面形成と森林の存在について、山地斜面の土壌流失や岩塊の風化作用は、植被によっていちじるしく遅くなるけれども、植被のために削剝がまったく止むとするのは誤りであるとのべ、苔あるいは森林でおおわれた山地が、削剝をうけないであろうとするならば、苔や森林が斜面につく前に、現在の山地地形ができていたと仮定しなくてはならなくなり、真実から遠くなると指摘している。

もともと、植生には限られた侵食防止機能しかないのであって、とくに地すべり地のように、表土層の移動しやすいところでは、相対的にみてその機能を高く評価することはできないのである。その実例としては、OnbetsuやKamitouiの地すべり地において、尾根が長期間の休止期をもち、中央部から舌端部にかけてきわめて短い休止期しかないことをあげることがで

きる。尾根には針葉樹が残存しているにもかかわらず、中央部から舌端部にかけては針葉樹がきわめて少ないことは、地表の安定度との因果関係があると考えられるのである。とくに、舌端部では広葉樹のなかでもヤナギ類やケヤマハンノキなどの先駆広葉樹にしめられ、現在移動中の部分では、根茎によって繁殖するササ類はなく、大型草本に占められている。Photo 25, 26, 27には、これらの植生のパターンが要約されている。

これらの林相からわかるように、木本類が漸滅しその種子がその場で継続的に供給されないようになったとすれば、大小種々の裸地が出現したとしても、木本群落の成立はのぞめない。おそらく草本によって占領されるであろう。しかし、草本群落が形成された段階で、かりに地盤の変化がなくなったとするならば、根茎によって着実に繁殖するササ類が侵入するものとおもわれる。北海道の山野には、ササ類の繁殖しているところが多いけれども、比較的厚い表土層に生育したササ類も、地すべり地の斜面のような不安定な斜面には長期間定着することはできないのである。

このような視点にたつと、天然の高木林がいかにして形成されたかについて、現在、十分解明されていないが、すくなくとも地すべり地における高木林は今後しだいに低木類あるいは草本類にかわりつつあるとみることができるだろう。

新潟県新井市平丸地区(1960)では、地すべり舌端部のきれつにヨシが群生し、またハンゴンソウ、ガマ、フキなどの湿地植物がヤマハンノキ、タニウツギなどと混生していると報告されている。このような景観は北海道の地すべり地においてみられるものと全く同一であり、さらに斜面上方のスギの大径木が傾斜していたり、樹冠のみに枝葉が密生しているとのべられている樹形も、地すべり地特有のものであると考えられる。

#### d) 人為介入による植生変化

地すべり地の森林に人為的影響が及ぶとすれば、それは「伐採」という行為である。伐採は、直接に母樹を減少させ、また、時間とともに根株腐朽をひきおこす。そして、伐採区域が大きければ大きいほど、そのもたらす影響は大きくなる。広い区域にわたって木本群落が壊滅するような現象や、一斉に大多数の根株が腐朽するような現象は、自然条件下では起こり得ないことであり、この点人為介入の影響は一種独特の現象であるとしなければならない。

伐採により立木が生物から死物に変化した時点から、根系は無機物(土)と同じような無生物的条件におかれ、重力の作用により下降運動に支配されやすくなる。したがって伐採は地すべり地の局部的表層土移動を促進するものと考えることができるだろう。

いっぽう、木本導入の積極的行為として「造林」という側面について考えてみよう。地すべり地においては、大径木が倒伏したり、引き裂かれたりしている。したがって植栽により、地表面の固定をはかろうとすることは基本的な誤りであるとしなければならない。かりに、植栽しても移動の活潑な斜面に植栽木が定着することは困難であり、比較的安定度の高い尾根に残存することになるだろう。尾根の残積土にくらべると斜面脚部の崩積土におけるほうが、樹

木はいちじるしく良い生長を示すといわれている。しかし、このようなみかたは斜面の表層土があまり下降運動をしないような地形条件と土質条件の場合であって、地すべり地のような斜面には適合しない。

地すべり地の樹木は一般に生長が良い。おそらく攪乱された地表の理学性が、樹木の生育に良い条件となって反映するからであろう。しかし、材質的にきわめて不満足なものしか得られないことは、本論文でのべてきたように、アテ材の形成からみて明らかな事実である。したがって、地すべり地における針葉樹林造成の期待はかなり縮小されなければならないが、大面積にわたる地すべり地の効果的な他の利用法が見出せない以上、やはり林業的立場で再考してみる必要がある(東, 1969 b)。

小出(1955)は、地すべり地帯におけるスギが良い生長を示しているとのべているが、いっぽうでは高野(1960)が新潟県の例としてのべているように、良材が得られないことや移動量の大きいところでは、樹木所有権のトラブルが起こることもあり、材質的に、また土地利用上どのような価値をもつものか、地盤の変動周期とあわせて検討しなければならない問題は多い。じっさい、千葉県安房郡鴨川の蛇紋岩地帯および三紀層地帯の地すべり地(嶺岡破碎帯)では、生長の良好なスギの造林地があるが、材質はきわめて劣悪であるとされている。積雪をみない地方であるだけに、形成されるアテ材は林業上重要な問題を提起している。とくにあげるならば、森林として保健休養的な公益面としての価値をもっていることであろう。

#### 4. 地すべりと森林

##### a) 林内地すべり地の判別法

地すべり地における地形変化が植生変化を支配していることは、これまでの考察によってほぼ明らかになってきた。したがって、被支配の側である植生の状態から、支配の側である地形変化をみていく樹木年代学的方法は、現在から過去を評価する歴史科学的研究方法のひとつであるとみることができる。多くの地すべり調査にみられる地すべり地を、過去に地すべりの発生した地域であると規定するだけでは時間的な変化をとらえることはできない。それらの地すべり地は現在森林におおわれているものや、生々しい裸地をさらけ出しているものなどがまじりあっている。そして、森林におおわれているものは、たんに古いばかりでなく、その森林にその地域固有の特徴をもっていることを知らなければならないのである。したがって、われわれがしばしば直面する森林が、地すべり地のそれであるか否かは、自然を認識するうえできわめて重要なことである。

SOUTHARD と WILLIAMS (1970) が最近報告しているところによると、地質学的条件と植生条件を総括した景観をひとつのパターンとしてとらえ、不安定な地表の指標とすることを提唱しており、それには侵食されつつある斜面や、樹幹が傾斜している地すべり地を参考例にあげている。同じく、高谷(1970)は、空中写真による地形判読に微地形と植生の特徴的パターンについて論じている。このように、土壌学や地質学および地形学の研究が空中写真を媒介にして

植生のパターンに関心をもってきたことは、たんに表土の栄養的条件のみでなく、土質力学的性質にも目をむけてきたことを物語っている。

TANSLEY (1920) や NICHOLS (1923) は、すでに多くの環境因子と関連づけながら植生の生態学的分類を行なっている。はやくから、Physiographic Factors (地文因子) に注目していながら、侵食や堆積のいちおう終了した場処のみをとりあげ、水流、波浪、氷塊、山崩れ (landslide) などの機械的な直接の影響については、Other Physiographic Influences としてほとんどとりあげていなかったばかりに、古典的生態学がそのまま現在まで継承されてしまったのである。それだけに、年輪解析や植生パターンから環境を考察することは、新しい自然認識法の胎動であるといえることができるだろう。

北海道では、これまで地すべりに深い関心が寄せられていなかった。おそらく災害に直結する地すべりが少なかったためであろう。しかし、最近開発がすすむにつれて、地すべり災害も頻発し、多くの関係機関も地すべりをテーマとして活動するようになった。奥地林開発に際しても、地すべり現象に苦しめられている点では例外でない。すなわち、地すべりに対する認識が低かったために、自然改造にブレーキがかかっていたのである。

各機関の災害地質調査でも明らかにされたように、北海道各地にも大小、新旧の地すべり地が存在しており、その他にも技術者が現場で設計・施工の段階で経験した地すべり現象は多いはずである。原生林におおわれた山地では、ふつうみのがされやすいこの種の現象について、われわれは林況調査から、その情報を得ようとしているわけである。

現在地すべり調査としては、地質、地形、すべり面、移動量、地下水、土質などの各調査・試験が行なわれている。もし、林況調査につきの数項目の調査を加味するならば森林施業に有効な地況判断の資料となるだろう。

#### 予備調査 (室内作業)

1. 地形図による判別——主として等高線の乱れ、すなわち周辺部より異常に緩斜面をなしていることに注目する (Fig. 27)。

2. 地質図との照合——三紀層、白堊紀層、先白堊紀層、蛇紋岩地帯、鉍化変質帯、断層、岩相 (泥岩、硬質頁岩、粘板岩、砂岩、



Fig. 27. Gently slope reveals the topographic feature of creeping land.

凝灰岩, それらの互層状態) について調べる。

3. 空中写真の判読——地形図にあらわれた緩斜部について, 滑落崖, 側壁, 沼池, 沢の発達, 植生などを判読し, 新旧の地すべり地形をとらえる。

### 現地調査

1. 地形踏査——波状地形, 沢型, 極端な逆勾配, きれつ(縦・横), 沼池, 氾らん堆積地, 滑落崖(1次・2次), 側壁に注目し概略の形態をつかむ。

2. 地質条件の観察——火山灰層の存在・位置・攪乱状況, 溪岸にせり出している風化土層中の粘土の有無, 滑落崖・側壁などにおける構成岩石の種類, 互層状態について調べる。

3. 林相からの判断——天然林の群落構成(針葉樹・先駆広葉樹の集合状態および樹齡), 人工造林地(トドマツ・カラマツ)における林木の生育状態の観察, 針葉樹の変異樹形とくに山側傾斜木, 年輪(渦巻き型のアテ材, 山側のアテ材), 心材部腐朽の状態についてしらべる。

典型的な地すべり地の植物指標は Table 14 のようにあらわされる。たとえば, 尾根筋に針葉樹が残り, 斜面中央部は広葉樹が多く, 斜面脚部のいわゆる舌端部では大型草本で占められて風化土層の移動度合を示し, 地下茎によって繁殖するササ類の存在は, ある期間の風化土層の静止期を物語るなどである。

なお, 人工林では植栽木が記録計の役割りを果たすので, 植物計として扱うことができる。

Table 14. Plant indications for the landslides in the forest

Zone of landslide	Formation	Tree form	Annual ring
Crown~Head	N: Akaezomatsu, Todomatsu, Goyoumatsu	Abnormal crown (N)	Age
	L: Bunanoki	Inclined trunk (N)	Reaction wood
Crown, Head~Gentle slope	N: Todomatsu, Ezomatsu	Dead standing Tree	Heart rot
	L: Himeyashabushi		
Gentle slope	N, L mixed stand		
Gentle slope	L: General sp.	Crooked trunk (L)	Eccentric growth
Foot~Toe	L: Pioneer sp.	Vertical sprout (L)	Age
Head~Gentle slope	Shrub: Sasa sp.	Dead group	
Gentle slope~Toe	Herb: Hygrophyte (Marsh)		
Head~Foot	Bare land (Main and minor scarps, Flank, Clack)		

N: Conifer L: Broad leaved tree

### b) 地すべり防止の問題点

鈴木(1963)は, 地すべりの根本原因である地質条件が考えられない以上, 小規模な地すべりならいざしらず, 大規模な地すべりを防止することは不可能であるといっている。また, 小出(1963)は, 大規模な地すべりの原因はわからないものが多いというほうがむしろ良心的であ

るとのべている。たしかに、本論文で考察してきたように、大径木が傾斜したり、割裂したりするような変動に的確に対応することは、現段階では不可能であるといつてよいだろう。

そこで地すべり地形は過去の地すべりの結果であるとするならば、防災的な見地からは、少なくとも既存の地すべり地において潜在的に起こっている小規模な地すべり(クリープ現象も含めて)が、不規則な規模と周期をもっていることを知り、その上で客観的な測定法も開発されなければならないだろう。

高野(1960)は、森林のもつ地すべり防止機能を根系の網作用、杭作用、土層緊縛と根の吸水作用による地下水軽減に求め、マイナス効果としては、根系の風化促進と強風時の地中震動をあげている。そして、森林に防止効果を期待するよりも、移動停止後の有効な林地利用を提唱している。福岡(1961)もほぼ同様の意見をのべており、地すべりが、植生を支配している点は十分にうかがいしることができる。筆者らの見解もほぼ同一であるが、とくに地すべりと森林との関係においては、地すべり防止よりも地すべり予知の方法へ発展させたいと考えてきたわけである。

従来、地すべり予知には、小貫(1957)、小出ら(1963)が要約しているように、地すべりの前兆をきれつ、溜池の減水、用水の混濁、地域的隆起、陥没、水田の傾斜、道路の起伏、人家のきしむ音、樹根の切断音、井戸水の濁りなどで知る直接的方法がある。しかし、積雪は地表を覆いかくすためにこの前兆をわかりにくいものにする。そして積極的な予知としては、ひずみ計、土圧計、地下水位、移動計、流出量、地下浸透量、アイソトープ使用、地電流、水質などの計器の助けによる測定や観察のような間接的方法もある。しかし、前者は突発的な場合には意味がなく、かなりの時間的余裕が必要であり、後者は事前に観測値がない地域では適用できないなどの欠点がある。

地すべり予知には、地すべりの発生前に地域、時期、規模の3要素を知る必要があり、なかでも、時期の決定ははなはだ困難である。結局、地すべり発生の可能性の多い地域を地すべり分布図から求め、地形、地質調査から地すべりの規模を推定しなければならないが、すくなくとも本論文にのべてきたように、森林の状態から比較的最近の地表変動の履歴を探ることによって、人為介入による地すべり災害だけは軽減していかなければならない。つまり、沖積世にはいつてから、たびたび起こっているであろう大小の地すべりに逆うことなく、有効な土地利用をすすめるために、まず土地の個性をつかむことが先決条件であるとおもわれる。

## む す び

地すべりは、災害となつてはじめて衆目を集める。しかし、自然現象としての地すべりは原生林におおわれていた時代の北海道においても頻繁に起こっていたことが、最近の空中写真判読の発達によって、しだいに明らかになってきた。これは、森林の侵食防止機能を過大に評価する発想とは対立する事実として確認されたものであつて、森林の成立と運動に関して、新

しい視点を加えたものといわなければならない。つまり、山地に起こっている各種の侵食現象が、地上の植物群の生育に支配的な作用を及ぼすという考え方を示したものとイえる。とくに地すべり地においては、深層からの地塊移動がたくましくみえる樹木の根系の力をはるかにうわまわっていることがわかる。いっぽう、地すべり地の樹木はある期間きわめてよい生長を示していることが、多くの造林地や天然林において確かめられている。すなわち、樹木や森林を主体にしてみた場合の地すべり現象には、明らかにこのような2面性のあることを知ることができる。

しかしながら、空中写真から作成された地すべり分布図が、必ずしも現在活動中の地すべり現象を意味しているのではなく、沖積世にはいつてから10,000年を対象にしてもわかるように、数1,000年前、数100年前、数10年前、数年前に発生したものまで含んでいることは容易に想像できることである。また、大面積の地すべり後に起こる余波的現象をもって、大移動の機構をとらえようとするにも方法的には限界がある。

このように、本来密接不離である無機物(岩石、風化土)と生物(樹木)の相互運動は、地すべり地において総体的にみるのできるのであるが、それには地学的解析法と、現在のな経験とが、統一された単位時間のなかで論じられる必要があるだろう。

本論文において、筆者らは、現在のな時間指標として樹木年輪を使用し、年代学的方法による地表変動について考察した。すでに考古学や古生態学、古代気象学において、年輪は気象変動の年代決定に用いられている。その場合、年輪幅の広狭が、生長阻害の気象因子と関連づけられているけれども、これらの方法は筆者らが指摘する土地的条件の影響を無視できるような広範囲な地域を対象とし、また表土層が下降運動をしない平坦地において生育した樹木のみを扱っている。したがって年輪の異常性から、年代決定を行なう方法に着目した点は、筆者らの研究方法においてもとりいれられたが、比較的狭い地域で土地条件に重きをおいて、単木にみられる特徴から、集団としての樹木群の特徴へと展開した。なかでも、山地斜面の地盤変化がひきおこす樹幹傾斜と異常材(アテ)形成の関係は、発生年代のわかっている地すべり地において明らかにされ、過去の地すべり現象を推定する手がかりとなった。

しかしながら、現地においてこの異常材を肉眼視によって識別しうる樹種は、針葉樹に限られることと、いちじるしく傾斜した針葉樹は枯死しやすいことなどから、樹木の生長が阻害される現象のみでなく、それ以前の樹木群成立の条件、つまり植生侵入の初期条件についても検討することになった。この植生侵入については、植物生態学の1次遷移という概念を現在のな意味で、しかも山地の大小種々の裸地出現と木本侵入の事実から関連づけ、結果的には大型の裸地を形成するような地表変動を、樹幹が傾斜し、年輪に異常性を認める程度の地表変動よりも上位に置くことにしたのである。その際、ほぼ同じころに侵入した樹木群は、樹高、樹種の区別なく同齡であるという原則が、時間指標として有効なことはいうまでもないことである。

したがって、このような木本侵入と変異樹形とを年代学のよりどころとし、しかも現在の

な時間分析の手段として発達させ、年輪幅の広狭にもとづく年代決定の方法をさらに拡大して「樹木年代学」として確立した。

1964年、この種の問題を意識してから、筆者らはすでに北海道の地すべり地において、いくつかの観察と実験を行ない、その都度実証された仮説について報告してきたわけであるが、研究経過をかえりみると、自然現象に関する時間的・空間的考察の必要性を痛感するとともに樹木年代学的方法による推論の可能性を確信するにいたった。そこで樹木年代学的方法によって、地すべり地における地形の変化と植生の変化について検討し、とくに森林成立の重要な因子でありながら、こんにちまで無視されてきた「地表変動」の認識を高めようと試みた。

本論文の研究対象地は、いちおう試料の多い地域に限った。これは単木の特徴にとどまることなく、集団的傾向を明らかにし、3次元の空間における変化を、同時性の傾向から推論していこうという考えからである。

その対象地は明らかに地すべり地形を呈しているつぎの3地域である。

1. 音別川上流部 (古第三紀層, 針広混交天然生林)
2. 天塩川中流部 (白堊紀層, 針広混交天然生林)
3. 沙流川中流部 (新第三紀層, カラマツ人工林)

これらの地すべり地の試料木には、いずれも、いちじるしくアテ材が形成されていた。筆者らは、そのアテ材について樹幹傾斜の外力となった地盤変化の起こった年代と、外力が消滅し樹木が固有の回復力を示した年代とを区別し、樹幹が傾斜した外力の作用年代をとりだす方法を案出した。また、年輪解析の作業中に地すべり地のアテ材が一般に「渦巻き型」の模様を呈していることを経験し、年代を調べる必要のないときには、樹幹断面の年輪の特徴からおおよその環境変化を推察できることがわかった。

樹木は年々生長し、樹根の物理的強度は増加するわけであるから、同一の外力に対して同一の反応を示さない。したがって、大径木のアテ材と小径木のアテ材を同一のレベルで扱うことはできないのである。また、大径木がいちじるしく傾斜し、枯死するような状態ではその大径木によって、後日、当時の地すべりを推定しようとしても可能性はないのである。すなわちアテ材は樹幹の傾斜後に形成されるという生命現象にはかならないからである。このことは、同時に樹木の生活リズムとも関係するから、秋季と春季の樹幹傾斜が年輪にあらわれるときは同一生長年代の現象として記録されることになる。同じようなことは、木本侵入の場合にもみられ、種子が秋季に成熟する樹種と春季に成熟する樹種との間にもいえる。すなわち、樹木年代学的方法といえども、1年のずれが見込まなければならないし、当然年単位以下の小さい時間単位にまで適用することはできないのである。したがって、ひじょうに長い地学的時間単位にくらべ、年輪ははるかに現実的な時間単位を示しているにもかかわらず、人間の生産や生活に関連する時間単位が、年単位よりもはるかに小さいこともあって、実際に年輪はあまり活用されなかったのであろう。

しかし、このような指標的限界はあるけれども、地すべり地形の変化をみていくと、表土層はブロック状に交互性のある下降運動をくりかえしていることを知ることができる。地すべり地内のこの下降運動は、当然、画一的な地すべり面の想定に異論をさしはさむものであり、波状地形や沼地形成の必然性を裏づける考えとしてはきわめて有力であるとおもわれる。

樹木年代学的方法是、当初、上記3地すべり地域において、初発的の地すべりの発生年代を推定することを目的としていたが、Onbetsu, Kamiotoi においては、全試料木に同時性のあるアテ形成は認められず、地すべり地の中央部に不動部(相対的)さえ認められた。そこで、この地すべり地形が1回の大型地すべりによって形成されたものであるとするならば、各試料木の樹齢をうわまわる100年以前の現象とされなければならないのである。逆に、ブロック状の時差運動が、大小さまざまにくりかえされたとするならば、地盤隆起の直後からくりかえされている現象として累積された結果が現在の地形であるとしなければならないのである。なお、Furenai の全試料木には、1962年に同時性のあるアテが認められたが、地形的にみて、舌端部以外にはいちじるしい変化がなかったことなどから、地すべりの単位面積に法則性をみいだすことはむずかしいことがわかった。もし、このFurenai における1962年の同時性を、さらに細かい時間単位で分析する手段があるならば、融雪期のある期間中に、1日かあるいは1時間差で起こったブロック状の時差運動として理解できるかもしれないのである。

つぎに、地すべり地の植生変化についてみると、大型のブロック状移動のあとには、相対的に大型の裸地が出現し、隣接地の母樹群から移来する種子の着生もさることながら、遠方からの先駆広葉樹が侵入していることが特徴づけられる。裸地の出現と木本侵入は、こんにちまで土壌化作用の永年変化と樹木の生長とが密接不可分の関係にあるとされているが、斜面における表土層の下降運動は、静的条件下における土壌化の考え方を否定するものであり、この点裸地出現と植生交替の事実から再検討される必要もある。

表土層の下降運動はたんに降雨による侵食だけでなく、融雪や長雨のときの浸透水によって引き起こされるものである。植物が繁茂しやすいわが国においては、あまり注目されていなかったクリープ現象(Soil-Creep, Talus-Creep)が、地すべり地においてきわめて常識的な下降運動であることをいまあらためて樹木年代学によって明らかにされたわけである。したがって、地すべり地の植生変化が、かねがねこのクリープに支配されて起こっていることを認識するとともに、沖積世の侵食現象が非可逆変化をつづけているとするならば、森林の一局面をとらえたときの林相も、非可逆変化の一過程にすぎないものとしなければならない。このような考え方は、既存の地すべり地において、開発の手段として、人為的な地形変化や植生交替を行なった場合に、ひきつづき発生する地すべりや造林の失敗を、ひとつの野外実験としてみたとときに、さらに確実なものにするのである。

これまで、自然認識のためになされた多くの研究は森林とそれをささえる土地的条件をきりはなしたまま考察されてきた。そのあらわれとして、生物学は森林を母体として系を組み、

地質学や地形学は、地表の植生や風化土をはぎとったうえでそれぞれの理論を構築してきた。しかも生物学と地学の接点を開拓した土壌学が、物質の動的变化を無視していることは盲点であったようにおもわれる。いわゆる「風化土」に関する運動概念は欠如していたのである。もちろん、これらの動的自然に対して的確な測定法がみいだされなかったことにも起因するが、個々の分析的手法が自然の総合的な認識を高めるような総合化の方向をとらなかったからであると考えられる。

このような意味を反省しながら、樹木年代学が提起した地すべり地の推移をみると、われわれは、目前にした森林から、すくなくとも地すべり性か否かの判別を行なうことができる。いわゆる「現在は過去を解く鍵である」という言を立証できるほどに、現在の森林から過去の地形的変化を推論できるのである。森林を対象とした林業生産や、山地を対象にした土砂害防止の技術的根拠も、ひとえに、「森林のみかた」そのものにかかっているといても過言ではない。

しかし、生物学的手段によって無機物の世界を考察するのには、方法的に限界があるから、樹木年代学によって明らかにされた方向にそって、今後は物理的測定法による理論的展開も必要となるだろう。その段階において過去に行なわれた計器類による観測資料は新しい価値を生むものとおもわれる。

#### 参 考 文 献

- 新井市学校教育研究会 (1960): 地すべり地帯平丸地区の総合研究. 新井の教育, 6.
- 新谷 融 (1966): 地すべり問題を考える. 治山と保全, 5, 35-37.
- 新谷 融 (1968): 荒廃溪流における土石移動の痕跡. 新砂防, 69, 19-26.
- CLEMENTS, F. E. (1928): Plant succession and indicators. The H. W. Wilson Company, New York.
- COWLES, H. C. (1901): The physiographic ecology of Chicago and Vicinity, a study of the origin, development and classification of plant societies. Bot. Gaz. 31, 73-108, 145-182.
- 伊達大和・熊谷直敏 (1969): 溪岸の傷痕木と洪水との関係. 第17回日本林学会中部支部講演集, 174-180.
- ECKEL, E. B. (Edited by) (1958): Landslides and Engineering practice. Highway Research Board special Report, 29.
- EGGLER, A. (1967): Influence of volcanic eruptions on xylem growth patterns. Ecology, 48, 4, 644-647.
- FLACCUS, E. (1959): Revegetation of landslides in the White Mountains of New Hampshire. Ecology, 40, 4, 692-703.
- FRITTS, H. C. (1969): Tree-Ring analysis: A Tool for Water Resources Resch. IHD Bulletin 1.
- 藤井昭二・武沢 正・沢 豊明 (1970): 河岸段丘と年輪. 新砂防, 77, 6-10.
- 藤原澁一郎・新谷 融・村井延雄 (1963): 1962年10月乙部村に発生した地すべりについて. 日林北支講, 12, 1-3.
- 藤原澁一郎・新谷 融 (1965): 地すべり地の地形的特徴と空中写真判読の指標. 日林北支講, 14, 104-107.
- 藤原澁一郎 (1966): 航空写真による首別川流域の地すべり分布. 77, 日林大会講, 573-575.
- 藤原澁一郎 (1970): 航空写真による林地崩壊に関する研究. 北大演報, 27, 2, 297-346.
- 深沢和三・笹谷宜志・夏目信明 (1970): 地すべり地におけるトドマツアテ材の形成と性状. 日・木・北支講, 2, 31-34.
- 福岡正己 (1961): 地すべりとその対策. オーム社.

- 船田嗣寿 (1968): 地表変動に関する植物指標の研究. 北大農, 卒論, 手記.
- GILLULY, J. et al. (1960): Principles of geology. Tokyo.
- 浜田達二 (訳) AITKEN, M. J. (1956): 物理学と考古学. みすず書房.
- HARTIG, R. (1899): Ueber die Ursachen excentrischen Wachses der Waldbäume. Centr. Forstw. **25**, 7, 291-307.
- HEIM, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. Zürich, 25-27.
- 東 三郎 (1964): 砂防植生工におけるヤナギ類導入に関する研究. 北大演報, **23**, 2, 151-225.
- 東 三郎 (1965): 年輪に刻まれた地すべりの歴史. 「林」, S. 40, 9, 2-13.
- 東 三郎・藤原晃一郎・村井延雄・葛西公尚 (1965): 地すべり地における針葉樹アテの形成. 新砂防, **57**, 1-8.
- 東 三郎・村井延雄・新谷 融・藤原晃一郎 (1967 a): 地すべりに関する樹木年代学的考察. 新砂防, **56**, 22-34.
- 東 三郎 (1967 b): 地表変動と指標植物. 水利科学, **56**, 55-68.
- 東 三郎 (1968 a): 山地災害の予知について. 治山と保全, **7**, 54-58.
- 東 三郎 (1968 b): 昭和新山山麓の治山植栽について. 昭和新山の治山, 12-28.
- 東 三郎 (1968 c): 北見営林局資料. 常呂川流域保全調査報告書.
- 東 三郎 (1968 d): 山腹崩壊の前兆と異常年輪. 道林試報, **6**, 19-39.
- 東 三郎 (1968 e): 地すべり地の木本侵入. 79. 日林大会講, 365-357.
- 東 三郎 (1968 f): 木古内川流域の森林の構成と荒廃の特性. 木古内川流域治山調査報告.
- 東 三郎 (1969 a): 山地斜面のクリーブ現象. 80. 日林大会講, 341-343.
- 東 三郎 (1969 b): 地すべり地の森林施業. 治山と保全, **8**, 37-40.
- 東 三郎 (1965 c): 地すべりとアテ材. 北方林業, **241**, 6-10.
- 東 三郎・酒井一裕 (1970 a): 地表面の傾動とアテ材の関係. 日・木・北支講, **2**, 27-30.
- 東 三郎・鈴木 守 (1970 b): 大有珠崩壊地の実態とその対策. 伊達町の地質.
- 東 三郎 (1970 c): 危険地帯の保全と今後の治山事業のあり方. 保全的モデル営林署 (白糠) 治山調査報告書, 帯広営林局資料.
- 東 三郎 (1971): 森林施業の手引き. 北見営林局資料.
- 平山光衛 (1965): 新潟県東頸城山地および魚沼山地の地すべりの形状. 地理学評論, **38**, 7, 461-467.
- 星野 寔 (1966): 北海道の主要道路の「地すべり」について. 技術資料, **22**, 128-137 (土木学会北海道支部).
- 井尻正二・新堀友行編著 (1967): 地学入門. 築地書館.
- 川幡 洸 (1969): 地すべり地におけるトドマツ生立木の根株腐朽状況. 北大農, 卒論, 手記.
- 葛西公尚 (1965): 地すべり地の針葉樹のアテについて. 北大農, 卒論, 手記.
- 小出 博 (1951): 災害の研究. 1950年の山地災害を中心として, 林野庁治山事業参考資料 III.
- 小出 博 (1955): 日本の地すべり. 東洋経済新報社.
- 小出・谷口・高野・他 (1963): 地すべり地に生きる. 地下科学シリーズ III.
- 小出 博 (1963): 地すべり現象とその問題点. 科学, **33**, 8, 418-424.
- LAMARCHE, V. C. Jr. (1969): Environment in relation to age of Bristlecone pines. Ecology, **50**, 1, 53-59.
- LOW, A. J. (1964): Compression wood in Conifers —A review of literature— Forestry abstracts, **25**, 3, 4.
- Low, A. J. (1964): A study of compression wood in Scots pine. Forestry, **37**, 2, 179-201.
- 牧野道幸 (1963): 北海道の林業立地に関する研究. 帯広営林局資料.
- 真鍋大覚・川勝紀美子 (1968): 屋久杉の年輪から解析された古代気象の永年変化と大風の変遷. 九大演習林集報, **22**, 127-165.
- 真鍋大覚・川勝紀美子 (1969): 第四紀における天災の発現周期. 九大工学集報, **42**, 2, 216-227.
- 水野寿彦 (訳) (1967): オダム生態学. 築地書館.
- 水谷高幸・守田優 (訳) (1969), デービス著: 地形の説明的記載. 大明堂.
- 村井延雄・東 三郎・藤原晃一郎 (1965): 地すべり地の樹木年輪による移動年代の推定. 2回 災害科学総講, 113-116.

- 中村慶三郎 (1955): 崩災と国土. 古今書院.
- NICHOLS, G. E. (1923): A working basis for the ecological classification of plant communities I, II. *Ecology*. IV, 1, 11-23; 2, 154-179.
- 岡 重文 (1966): 地すべり地形の写真判読. *地質ニュース*, 138, 18-30.
- 尾中文彦 (1949): アテの研究. *木材研究*, 1.
- 小貫義男 (1963): 土地地質学 (旧版). 森北出版.
- PILLOW, M. Y. and LUXFORD, R. F. (1937): Structure, occurrence, and properties of Compression wood. U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. 546.
- RTCHIE, A. M. (1958): Recognition and Identification of Landslides. Landslides and Engineering practice Highway Research Board Special Report, 29, 48-68.
- 斎藤孝蔵 (1954): 樹木生理. 朝倉書店.
- 酒井一裕 (1970): 地すべり地のアテ材形成. 北大農, 卒論, 手記.
- SCHULTZ, J. R. et al. (1955): *Geology in Engineering*, Tokyo.
- SOUTHARD, A. R. and J. S. WILLIAMS (1970): Patterned ground indicates unstable landscapes. *Journal of Soil and water conservations*. 25, 5, 194-196.
- 鈴木 守 (1963): 北海道の地すべりについて. *北方林業*, 178, 10-14.
- 鈴木 守・松井公平 (1968): 札幌市郊外黄金湯温泉の地すべりに対する地質学的考察. *地すべり*, 4, 3, 19-27.
- 鈴木 守・東 三郎 (1968): 大野川流域の地質的特性と荒廃の機構等について. *銀葉*, 101, 13-23.
- 鈴木 守・東 三郎・松井公平・松下勝秀 (1970): 石狩, 空知地域の地すべり. 地下資源調査所報告, 北海道立地下資源調査所.
- 高橋清沢 (1965), ヴォロンツォフ A. И.: 森林保護の生態学的基礎. 新科学文献刊行会.
- 高野秀夫 (1960): 地すべりと防止工法. 地球出版.
- 竹下敬司 (1961): 地形的災害と斜面の微地形に関する森林立地学的研究. *福岡林試時報*, 13.
- 高谷精二 (1970): 航空写真による地すべり地形の研究 (II). *地すべり*, 7, 2, 13-18.
- 玉田文吾 (1970): 長崎県北松地区における地すべり発生機構の特性 (その 3. 平山地区における再発型地すべり). *地すべり*, 7, 1, 13-23.
- 谷口敏雄 (1966): アメリカとカナダの地すべり (II). *地すべり*, 2, 3, 37-47.
- TANSLEY, A. G. (1920): The classification of vegetation and the concept of development. *Jour. Ecol.*, 8, 118-149.
- TANSLEY, A. G. (1923): *Practical Plant Ecology*. London.
- 若林隆三 (1970): ナダレ地に生きる. *北海道林務部報*, 「林」, 215, 1-6.
- 渡辺 貫 (1941): 地質工学 (増補板). 古今書院.
- WEAVER, J. E. and CLEMENTS, F. E. (1927): *Plant ecology*. Copyright, 1957.
- 山上 忠・東 三郎・藤原晃一郎 (1965): 樹木年輪にあらわれた地すべり運動の特徴. *日林北支講*, 14, 108-110.
- 山上 忠 (1966): 樹木年輪にあらわれた地すべり運動の特徴. 北大農, 卒論, 手記.
- 山岸宏 (訳) (1964), KOLCHIN, B. A.: 年輪年代学. *自然*, 19, 9, 57-62.
- 吉田 健 (1967): 強風によるアテの形成. 北大農, 卒論, 手記.
- ZÁRBA, Q. and MENCL, V. (1969): *Landslides and their Control*. PRAGUE.

### Résumé

It is necessary for field study to interpret nature as a changeable object progressively. The forests and the mountains are the complex of a great many elements, and the former is groupe of living thing, and the latter is compound of the inorganic matters. Many climatic conditions influencys to the foreste and the mountains that themselves are changing yearly.

But these changes of nature are not recognized sufficiently. Especialy, the debris movements on the mountain slopes are one of the unknown phenomena in relation to forest vegetation.

In this thesis authers dealt the transition of ground surface on the creeping land. For creeping lands are instable slopes that are changeable aspects.

#### *Methods and materials*

The form of a slope is a result of geological processes of the past, then the morphological history of the slope is understood by its surface. It is well known that true developmental succession is a result of vegetational change in the conditions of the habitat.

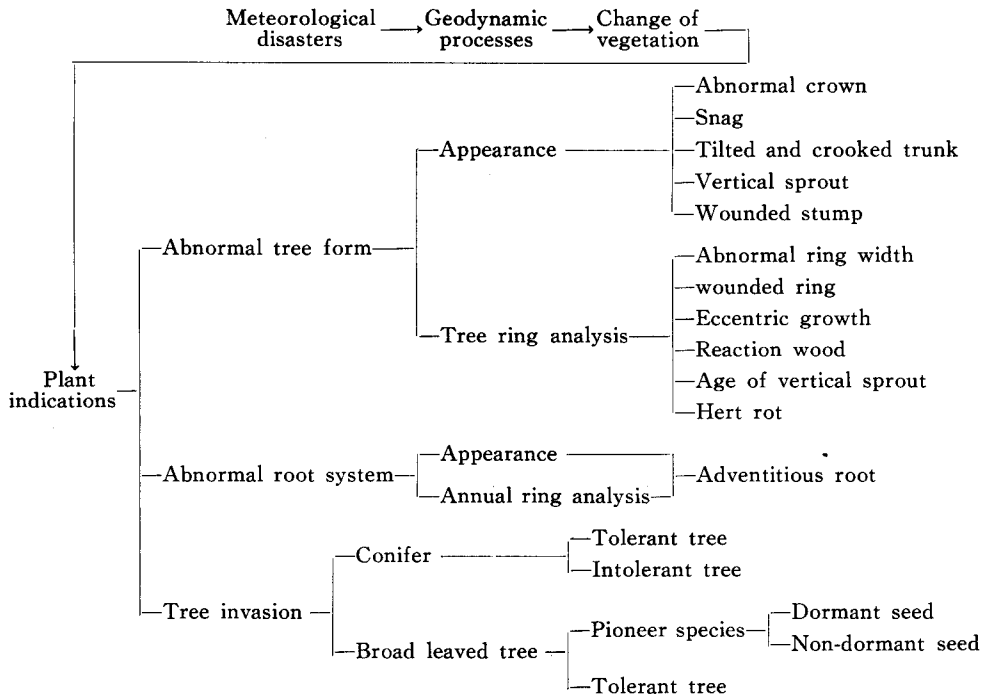
The age is determined by interpretation of geomorphological features in the relationship of the slide body to the superficial formations of the known age, and of the vegetative conditions.

The state of tree growth is indication of the age of recent sliding movements. Trees on unstable ground tilted downslope, tend to return to a vertical position during the period of rest so that the trunks become conspicuously bent. Annual rings are formed spring wood (early) and summer wood (late) yearly. At least, the number of the rings reveal the age of invasion of the trees.

Abnormal rings as narrow, wound, excentric growth an reaction wood are evidences of the tree life that were oppressed by the changes of environmental factors. The narrower rings are dealt on the relation to climatic conditions (temperature, rain) and eruption (ash-fall; interceped sunshine, plant competition). The wounded rings are reported as records of fire and floods. The excentric growth and the reaction wood have been explained as reaction of climatic condition (wind, snow) in commonly. It is understood easily that the trunks are leaned by the force of typhoon and snow avalanche. But we have never neglect that the trunks are inclined by the change of ground surface.

In fact, the inclined trunks with variable direction are observed on the creeping slopes. Plants are seldem live on the slope that surfaces are instable all the time. Therefore we know that tree growth reveals the static conditions of ground surface and abnormal rings reflect the dynamic conditions of one.

Plant indications for geodynamic processes are systematized as follows :



Investigated sites are Kamiotoineppu in the Teshio river basin, Muri in the Onbetsu river basin and Furenai in the Saru river basin. These sites are creeping lands that are covered by forest vegetation. The collected samples are Todomatsu (*Abies sachalinensis*) at the native forest in Kamiotoi and Onbetsu, and Karamatsu (*Laix leptolepis*) at the planted forest in Furenai (Table 1).

In this thesis the tree ring analysis was applied on the reaction wood and the formation of the pioneer trees.

The pattern of the reaction wood is classified flowing groupe fundamentally. Four standard and compound types of sector were recognized as follows ;

Type A : Reaction wood decreased for several years

Type As : Reaction wood disapeared within a year

Type B : Reaction wood increased gradually and decreased for several years

Type Bs : Reaction wood increased gradually and disapeared within a year

Type C : Reaction wood with two standard types or more.

### Results and discussions

Results of the tree ring analyses were summarized in Table 2, 3, 4, 5. The decreasing parts of the reaction wood in type A and B have been not calucalated as the age effected of ground surface changes. From the view point, in each investigated sites the moving age are presumed as Table 6, 7, 8, 9. The moving areas on the slopes are summarixed as Fig. 18, 19, 20, 21. In these figures it is understood that the slope movements take place gradually, alternately, repeatedly and the individual areas are not same. In other words, a part of the slided mass glides at one stage and then another part move at the following stage.

On the basis of an air photo, we can determine precisely the boundaries of a landslide, as the scarp of a recent slide appears sharply limited against the contiguous intact area and the slope surface below the scarp is irregularly undulated with ponded depressions here and there. The active landslides are characterized by a fresh appearance, which the head scarp is steep, free of vegetation cover, disturbed vegetation cover, are cracks are open. A very ancient landslide is recognizable from the slope that was sculptured by erosion and covered with waste redeposited by rainwash.

As a rule, the character of vegetation on the slope affected by sliding differs from the covering the undisturbed adjacent slope.

Slide habitats may be classified into the following types:

1. bare cliffs and ledge
2. rock debris and talus deposits at the foot of the ledges and steep places
3. areas of erosion at the foot
4. residual areas
5. areas of alluvial deposit.

On the slope of the creeping land the vegetation are affected by such phenomena of debris slide and avalanche directly. Some of the phenomena of soil creep are photographed in Plates. Grass may be able to maintain a continuous sod cover an area of soil creep, for the downslope movement is measured in centimeters per year or less. Often creep is detectable only from the uphill curvature of tree trunks that are many years old.

Broken and inclined trunks reveal the static and dynamic period on the slope movements. After the trees died take place change of the vegetation. On bare area migration of many plants start, then competition occurs. Change of vegetation are influenced by frequency and the sphere of the debris slide.

In cracks, crevices, or small sediment-collecting pockets, invasion is much quicker, by any of a number of possible pioneer species ranging from certain mosses to species of grass, sedge, rush, herbs, shrubs and tree seedlings. Pioneer species appear to have broader ecological amplitude than terminal species.

Ring counts of young trees suggest that the tree was in a grove killed by minor slide about 1954 in Kamiotoi. It is important that revegetation is affected by weight and sprading of seeds. For ex. weight per 1000 seeds of *Salix* is 0.1 g, *Todo* is 100 g, *Mizunara* is 2,400 g. The bare land is covered mostly by the lightest seeds, and reproduction of the tree is affected by the distance from the bare area to the parent trees.

In the creeping land the slope surface and the vegetation change irreversibly for a long time. At last conifer survived on the ledge of sliding area (crown), broad leaved trees growth on the gentle slope, the pioneer trees invade into the middle of slope to the toe (tongue), and many grasses of pioneer species occupy the toe. Such aspects are expressed in Table 14.

## 図 版 説 明

- I. 北海道檜山郡乙部町豊浜地すべり地のカラマツ傾斜木とアテ材
- II. 札幌市定山溪黄金湯地すべり地のトドマツ傾斜木とアテ材
- III. 音別川上流霧里地区の地すべり斜面
- IV. 地すべり地中央部のトドマツ幹裂木 (Kamiotoi) と舌端部のカラマツ造林木 (Furenai)
- V. 地すべり地の湾曲したトドマツ樹幹とアテ材 (Onbetsu)
- VI. 地すべり地中央部の傾斜木 (Kamiotoi)
- VII. エゾマツとトドマツのアテ材 (Kamiotoi)
- VIII. カラマツのアテ材 (Furenai)
- IX. 地すべり発生後の林相とアカエゾマツのアテ材 (大雪国道石北峠)
- X. 地すべりとそれ以後のトドマツアテ材 (大雪国道ルベシベ)
- XI. 林道開設時の崩壊とアテ材形成 (白糠営林署管内)
- XII. 地すべり地滑落崖の木本侵入 (トドマツ, ナガバヤナギ, ケヤマハンノキなど)
- XIII. 三紀層地すべり地の植生
- XIV. 継続型地すべり地の林床植生と溪岸状態



Photo 1. Inclined stem (*Larix leptolepis*) at slideslope of Otohe landslide in 1962 (photo: 1964).



Photo 2. Cross-section of inclined Karamatsu, showing the reaction wood (1963~1964) that formed by sliding in 1962.

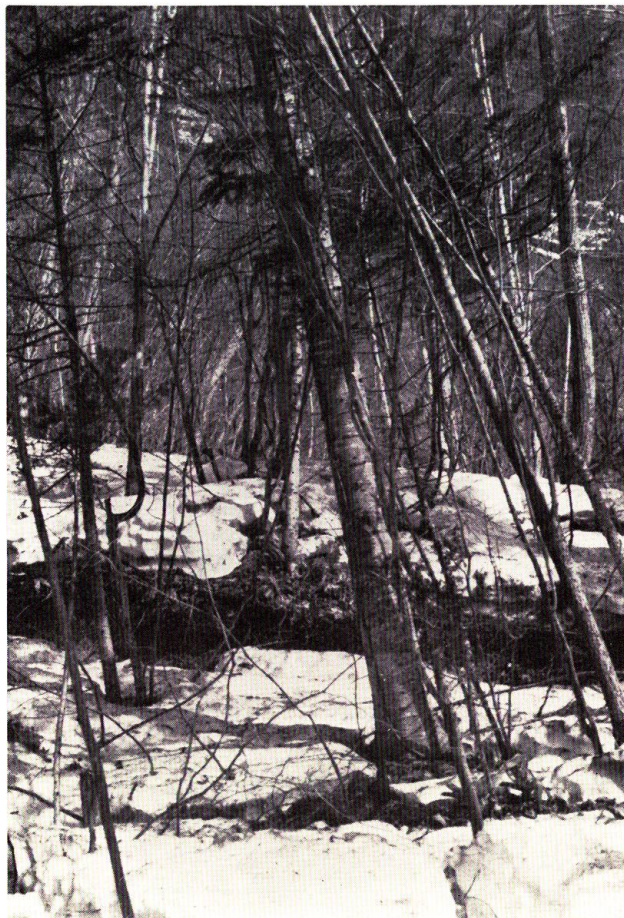


Photo 3. Inclined stem (*Abies sachalinensis*) at slided slope of Koganeyu landslide in 1966 (photo: Apr. 25, 1966).

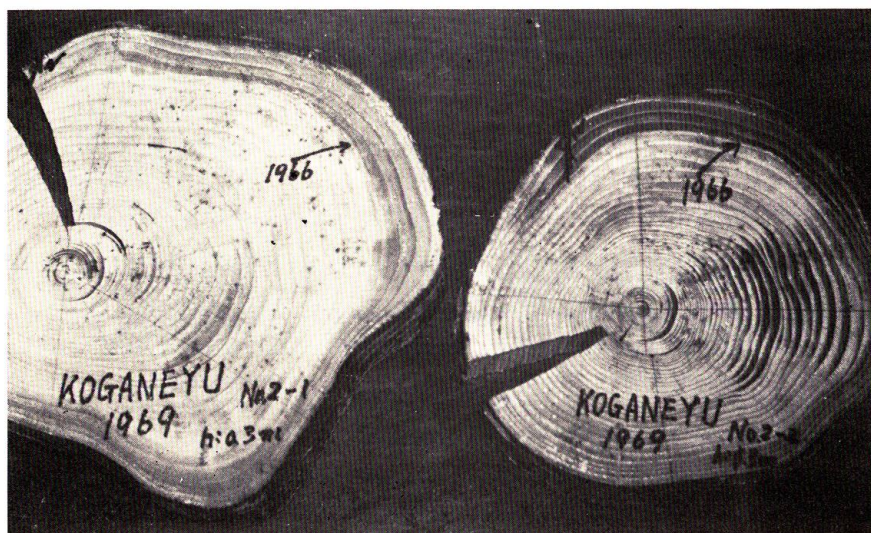


Photo 4. Cross-section of inclined Todomatsu, showing the reaction wood (1966~1969) that formed by sliding 1966.

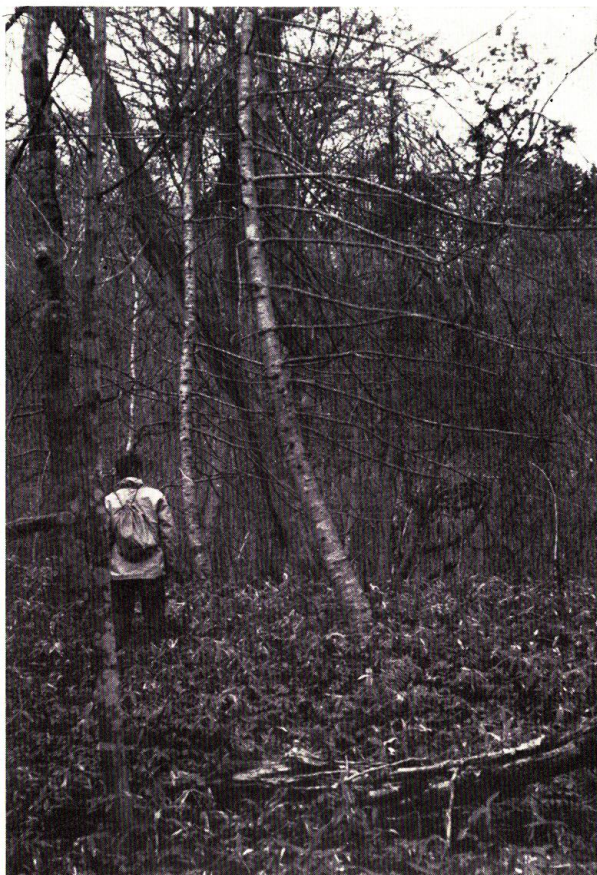


Photo 5. Investigated slope in Otohe-I.



Photo 6. Investigated slope in Otohe-II.



**Photo 7.** Broken trunk at the slope in Kamiotoineppa (Todomatsu).



**Photo 8.** Karamatsu plantation on the foot of investigated slope in Furenai.



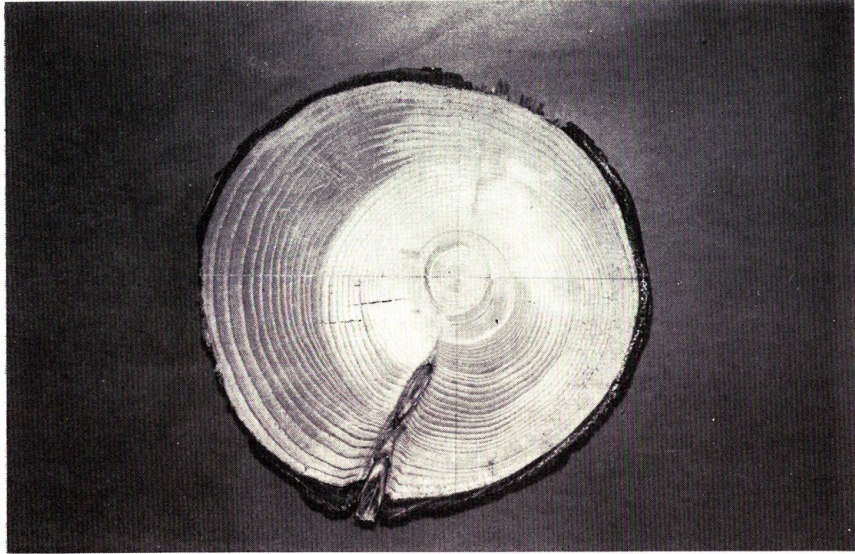
Photo 9. Crooked stems at the slope in Onbetsu-I.



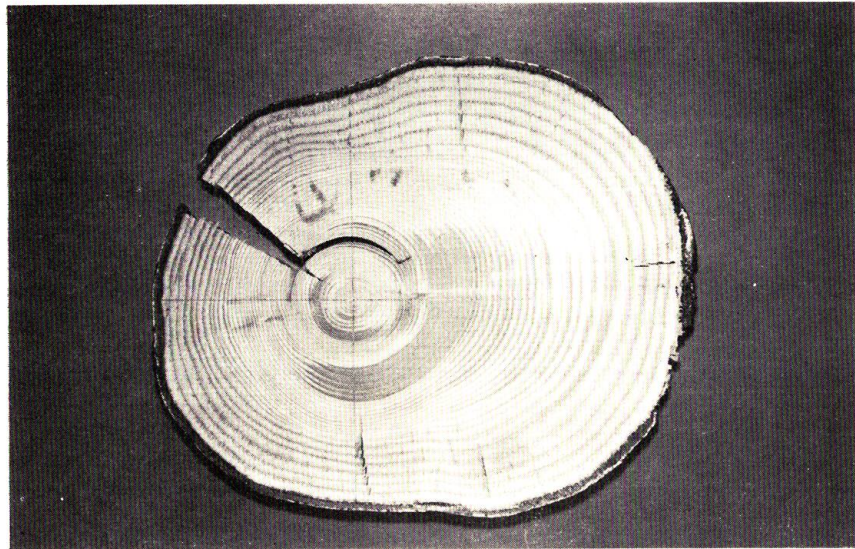
Photo 10. The reaction wood of Todomatsu (ditto).



Photo 11. Inclined trunks at the slope in Kamiotoineppu (Todomatsu).



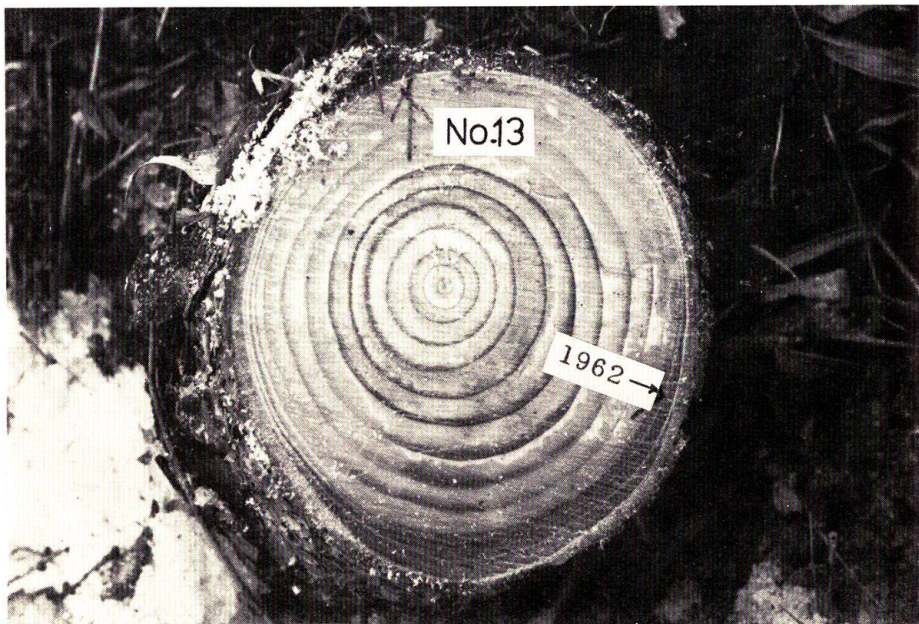
**Photo 12.** Cross-section of Ezomatsu (*picea jezoensis*) stem showing well-developed reaction wood (Kamitoui).



**Photo 13.** Cross-section of Todomatsu stem showing well-developed reaction wood (Kamitoui).



**Photo 14.** The reaction wood of planted tree (Karamatsu) in Furenai.



**Photo 15.** Cross-section of Karamatsu stem showing well-developed reaction wood in the interval of 1962 to 1964 (ditto).



**Photo 16.** Conifers shifted by Sekihoku sliding along the Daisetsu national road in 1965 (ditto).



**Photo. 17.** Cross-section of Akazomatsu (*Picea glehnii*) stem showing scrollshaped reaction wood.



Photo 18. Todomatsu shifted and curved by Rubeshibe sliding along the Daisetsu national road in 1957.

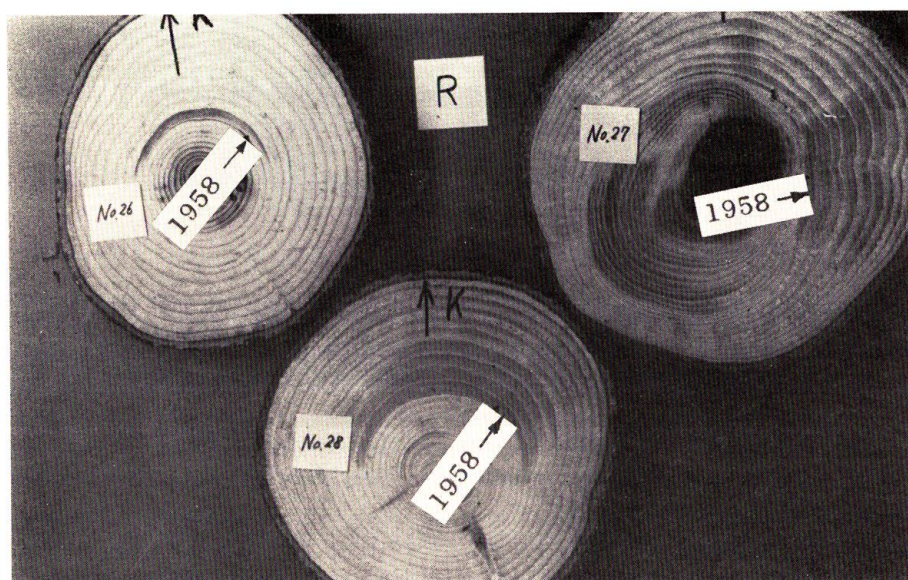


Photo 19. Cross-section of Todomatsu stem showing the reaction wood (1958~1968) (ditto).



**Photo 20.** Debris slide at the Shiranuka working area (National forest) in 1966.



**Photo 21.** Cross-section of Todomatsu stem the Shiranuka slide. The reaction wood were formed in the interval of 1966 to 1970, and formerly (ditto).



**Photo 23.** Invaded tree (Todomatsu) at the bare land in the Kamiotoi landslide.



**Photo 22.** Invaded trees at the scarp in Kamiotoi landslide.



**Photo 24.** Vegetation on the gentle slope and bare land of minor scarp in the landslide (Minamihoroka).



**Photo 25.** View of creeping forest that are thin stand of broad leaved trees.



**Photo 26.** Vegetation on the slided slope continuously.  
*Salix sachalinensis*, *Alnus hirsuta*,  
*Petasites amplus*, *Artemisia montana*, *Cacalia hastata*,  
*Senecio cannabifolius*, *Angelica ursina*,  
*Heracleum dulce*.



**Photo 27.** The toe of creeping land in Minamihoroka.  
Disturbed vegetation cover reveals recent slides.