

# 山腹崩壊の前兆と異常年輪

東 三 郎\*

Abnormal annual rings as a presage of landslides

By Saburo HIGASHI\*

## ま え が き

山腹崩壊の機構に関する素因的研究、すなわち、地質・地形・土質力学的研究は多いが、崩壊に達する経過を時間的に分析したものは少ない。これは崩壊の位置・時・規模を予知することがむずかしく、適当な測定方法がみあたらないからである。たとえば、現在用いられている地すべり移動計は、大移動後の局地的な余波を記録するうえに有効であるが、広い区域にわたって、長期間、事前の徴候をとらえることはできない。その目的を達するためには、長期記録装置を備えた大型器械を数多く動員しなければならないことになる。大きな被災対象のある地域の山腹だけに限っても、その面積は相当に広く、とうてい満足な数量の器械を配置することはできないだろう。

しかし、山地災害をなるべく少なくするためには、危険地帯の認識を高める必要があり、そのためには、山地の個性、地表変動の履歴に対して、まず、定性的な検討が加えられなければならない。筆者は、そのひとつの試みとして、植物指標による「時間」の導入について研究しつつある<sup>7)</sup>。この方法の基本的な立場はつぎのとおりである。すなわち、長い年月の間に、地質条件は地形に具現され、地表の変化は植物群に表現されているという考え方にたつて、とくに、木本植物の年輪構成にみいだされる年単位の「時間情報」を解析し、地表変動の時間的關係を求めようとするものである。この考え方は、森林の崩壊防止機能をうまわった表土層の動きをすなおに認め、ある狭い区域においては、植物に影響する環境因子のなかで、地文因子 (Physiographic factors) が他の気象因子 (Climatic factors)、土性因子 (Edaphic factors)、生物因子 (Biotic factors) よりも重要であることを強調するものである。

本論文にとりあげた試料は、地表変動と植物指標の關係を研究しはじめた 1964 年に採取したものである。当時は解析法も未熟であったために、十分に検討することができなかった。その後、確かな記録をもつ北海道内の地すべり地や、天然林内の地すべり地において、地表変動と樹木年輪の關係を明らかにすることができたので、ひとつの年代的解析法を組み立て、その方法によって、あらためて当初の試料に考察を加え、崩壊機構の解明に役立てようとした。

本論文の試料は、再三にわたり、苫小牧林務署に提供してもらった。前署長大谷克己氏、署長小池正氏、前土木課長中易与一郎氏、同横堀信一郎氏、土木課長田熊武司氏、前造林課長山口五男氏、治山係長小関宇太氏、

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

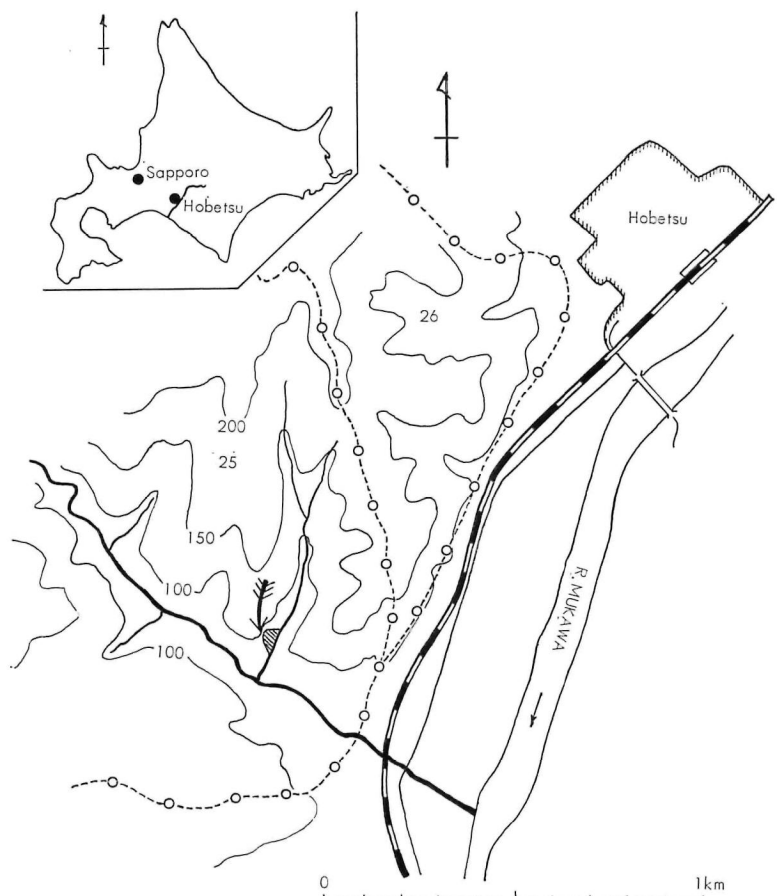
技師小野寺宗昭氏, 本間富夫氏, 高橋建蔵氏, 前徳別駐在所主任吉田暉義氏, 主任谷口定雄氏, 河崎道也氏, 笹木産業古川誠氏に対し感謝の意を表す。また, アテの鑑定には, 故矢沢亀吉博士, 北海道大学農学部木材理学研究室石田茂雄教授, 同木材加工学研究室宮島寛助教授の手をわずらわした。さらに, 本研究に関して, かねがね貴重な助言を賜わっている北海道大学農学部砂防工学研究室村井延雄教授, 同若林隆三教官, 同新谷融教官, 同演習林藤原滉一郎教官, 同工藤哲也教官と, 卒業論文のテーマとして共に考究してきた葛西公尚君 (1965), 山上忠君 (1966), 吉田健君 (1967) の諸氏に対し, 本研究の発展しつつある現況を報告しお礼としたい。

なお, 本論文は, 北海道立林業試験場創立 10 周年記念論文集に掲載される幸運にめぐまれたものである。一言付記して関係各位に謝意をのべる。

## 研究方法

### 試料採取方法

1964年6月4日, 前日来の集中豪雨(降雨量108mm)の際に, 苫小牧林務署管内鶴川事業区25林班(通称チチャップ沢)のカラマツ造林地(1948年植栽)に, 間口36m, 奥行き36mの山腹崩壊が起こり, カラマツ72本



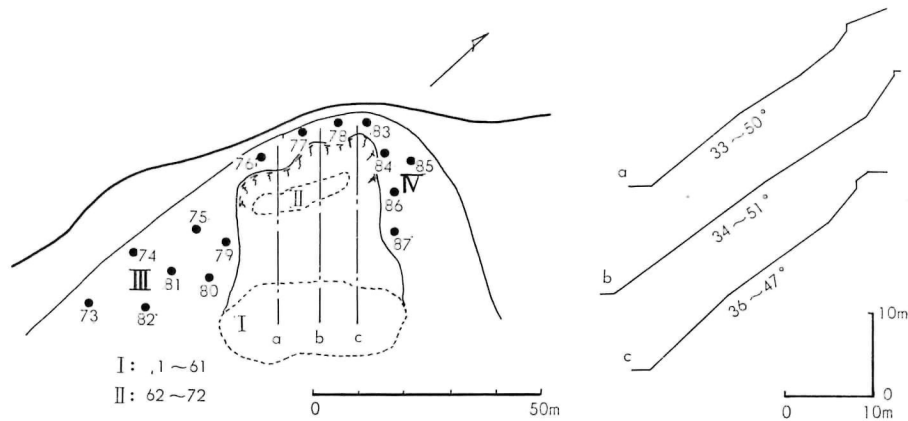
第1図 調査地位置図 (矢印)  
破線は林班界を示す

(樹高8~10 m) が倒伏した。当地は第1図に示すように、鶴川中流部の穂別町市街より南西方1.5 kmの地点で、新第三系、中新世、川端層に属し、泥岩と砂岩の互層する褶曲のいちじるしい低山地帯である。

北海道の皆伐造林地では、最近小面積の崩壊地が多くなっているが、この崩壊もそのひとつで、典型的な表層はく落型である。崩落土層の厚さは0.3~1.0 m程度、崩壊地の両側は基岩(泥岩)の露出斜面となり、中央上部に陥没状の崩壊部があり、一部地すべり性の崩壊も複合されている。なお、崩落崖の一部には厚さ1 mの火山灰の堆積層がみられたが、隣接部未崩壊斜面上の火山灰層はすでに流亡し、現存していなかった。

第2図の試料採取位置図に示すように、この崩壊は、南東斜面の尾根に近いところから発生している。原斜面の傾斜は $37\sim 43^\circ$ 、崩壊斜面の傾斜は $33\sim 51^\circ$ であった。崩壊直後の溪床には、崩落したカラマツが折り重なっており、崩壊斜面の上方部に根返り木があった。

試料はこの倒伏木の根曲り部分(地上高30~50 cm)から、1964年6月11日に採取したのであるが、結果的に、溪床上のIグループ61本(No. 1~61)と斜面上のIIグループ11本(No. 62~72)の72本から得たことになった。試料解析の関係で、その後に隣接未崩壊部の立木からも追加採取した。それは1965年10月7日のIIIグループ10本(No. 73~82)と、1967年6月23日のIVグループ5本(No. 83~87)である。なお、No. 85~87の3本については、地上高0.5~4.5 mの間で、1 mおきに試料をとり、軸方向の異常材形成について調べた。



第2図 崩壊地と試料採取位置

太線: 尾根      I~IV: 試料グループ  
細線: 古いぎれつ      1~87: 試料採取位置

### 樹幹のアテ

考古学には、樹木年輪による年代決定法がある。これは、年輪幅の相対的広狭と樹木をとりまく環境諸因子の総和との関係から、異常気象(おもに気温・降水量の異常)の起こった年代を探し、供試材の年代を推定する方法である<sup>1),12)</sup>。樹木の生長に及ぼす環境因子には、気象因子のほか、地文因子・土性因子・生物相互間の影響が考えられている<sup>24)</sup>。なかでも気象因子では、強風・なだれが、地文因子では山崩れや地すべりが、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<sup>19)</sup>。地すべり地では、多くの研究者<sup>17),22),23)</sup>によって、樹木の傾斜する状態が認められ、HEIM<sup>2)</sup>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世紀末から研究している<sup>13)</sup>。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。多くの広葉樹のアテ (Tension wood) は広葉樹の上側断面に形成されるといわれ、肉眼で識別しにくい。

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<sup>19)</sup>。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，クリープ，なだれ
3. 土地条件： 急斜地，山崩れ，地すべり
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り、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する研究は多いが<sup>14)</sup>、強大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<sup>19)</sup>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もののから、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たいに変わったり、急変したことを示している。

#### アテの年代的解析法

樹幹横断面において、アテが一側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<sup>20)</sup>は、5年後にアテの形成方向が 180° 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<sup>3)</sup>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と、いちじるしく変化しているアテの形成方向<sup>26)</sup>を確かめることができた。極端にアテの形成方向が変化することも、地すべり地においては、ごく一般的な現象で、これは地盤の緩急・大小の動きのくりかえしによって、樹木の傾斜が変わることを意味しているのである。

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。第3図に示すような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。



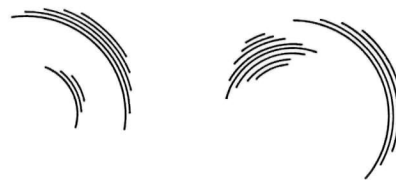
#### 2. As型：1年型

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、あるいは生長のはやい樹種にみられる。



#### 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。

A+A B+A

#### 第3図 アテの基本型と複合型

A: 減衰型      As: 1年型  
B: 漸増減衰型    Bs型: 漸増型  
A+A: 異方向不連続型  
B+A: 異方向連続型

#### 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。

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必ずしも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ようである。

## 試料の解析結果

アテの基本型にしたがって形成年代を調べ、形成強度、形成方向を加えて解析した結果は、第1表のようにまとめられる。

第1表 年輪解析表

| No. | 年輪始読 | アテの形成年代                         | 型              | 強 度         | 方 向               | 備 考             |
|-----|------|---------------------------------|----------------|-------------|-------------------|-----------------|
| 1   | 1949 | 1959-60-62<br>54-55<br>53       | B<br>Bs<br>As  | S<br>P<br>P | 4.5<br>4.5<br>4.5 | 1955年に傷跡        |
| 2   | 1949 | 62<br>55                        | As<br>As       | M<br>P      | 4.5<br>1.5        | 1955年年輪幅狭小、くされ  |
| 3   | 1948 | 1961-62-63<br>55                | B<br>As        | S<br>P      | 4.5<br>1.5        |                 |
| 4   | 1948 | 1959-62-63<br>55-57             | B<br>A         | M<br>P      | 10.5<br>10.5      | 年輪の乱れ           |
| 5   | 1948 | 55                              | As             | P           | 1.5               | 1962, 63年の年輪幅狭小 |
| 6   | 1948 | 55                              | As             | P           | 1.5               |                 |
| 7   | 1949 | 1958-60-62<br>55-56             | B<br>A         | M<br>P      | 4.5<br>5.5        |                 |
| 8   | 1949 | 1960-61-63<br>55-58             | B<br>A         | P<br>P      | 4.5<br>4.5        | いちじるしく偏心、裾変     |
| 9   | 1951 | 55                              | As             | P           | 0.5               | 春材側にアテ          |
| 10  | 1948 | 62-63<br>55                     | A<br>As        | P<br>P      | 4.5<br>5.5        |                 |
| 11  | 1952 | 60<br>55                        | As<br>As       | P<br>P      | 4.5<br>5.5        |                 |
| 12  | 1952 | 1959-60-63<br>55                | B<br>As        | P<br>M      | 4.5<br>4.5        | 1955年の春材側にアテ    |
| 13  | 1949 | 1960-61-63<br>58-59<br>54-55-57 | B<br>Bs<br>A   | P<br>P<br>P | 4.5<br>3.5<br>4.5 |                 |
| 14  | 1950 | 1961-62-63<br>59-60<br>55-56    | B<br>Bs<br>A   | M<br>S<br>P | 4.5<br>4.5<br>5.5 |                 |
| 15  | 1948 | 1961-62-63<br>58-60<br>54-55-56 | B<br>Bs<br>B   | P<br>P<br>P | 4.5<br>4.5<br>5.5 |                 |
| 16  | 1952 | 60-61<br>55                     | A<br>As        | P<br>M      | 4.5<br>4.5        |                 |
| 17  | 1949 | 62<br>60<br>55                  | As<br>As<br>As | P<br>P<br>P | 4.5<br>2.5<br>0.5 |                 |
| 18  | 1950 | 55                              | As             | P           | 4.5               | 春材側にアテ          |
| 19  | 1950 | 1958-60<br>55                   | Bs<br>As       | P<br>P      | 4.5<br>4.5        | 春材側にアテ          |

第1表つづき (2)

| No. | 年輪始読 | アテの形成年代                      | 型                   | 強 度              | 方 向                      | 備 考         |
|-----|------|------------------------------|---------------------|------------------|--------------------------|-------------|
| 20  | 1950 | 1960-62-63<br>55-57          | B<br>A              | P<br>P           | 4.5<br>4.5               |             |
| 21  | 1948 | 62<br>60<br>55               | As<br>As<br>As      | M<br>P<br>P      | 4.5<br>4.5<br>5.5        |             |
| 22  | 1949 | 1960-62-63<br>55-56          | B<br>A              | P<br>P           | 4.5<br>4.5               |             |
| 23  | 1948 | 1960-62-63<br>55             | B<br>As             | P<br>P           | 4.5<br>4.5               | 1955年にくされ   |
| 24  | 1949 | 1960-62-63<br>55-56          | B<br>A              | M<br>P           | 4.5<br>4.5               |             |
| 25  | 1949 | 62<br>1960-61<br>55          | As<br>Bs<br>As      | P<br>P<br>P      | 4.5<br>3.5<br>4.5        | 1955年の年輪幅狭小 |
| 26  | 1948 | 55-56                        | A                   | P                | 4.5                      |             |
| 27  | 1949 | 1961-62-63<br>54-55-56       | B<br>B              | P<br>P           | 4.5<br>5.5               |             |
| 28  | 1950 | 1961-62-63<br>58-60<br>53-55 | B<br>Bs<br>Bs       | P<br>P<br>P      | 4.5<br>4.5<br>5.5        |             |
| 29  | 1948 | 1961-62-63<br>54-55-57       | B<br>B              | P<br>P           | 4.5<br>6.5               |             |
| 30  | 1949 | 1961-62-63<br>59-60<br>55-56 | B<br>Bs<br>A        | P<br>M<br>P      | 4.5<br>6.5<br>5.5        |             |
| 31  | 1951 | 62-63<br>1957-58<br>55       | A<br>Bs<br>As       | M<br>S<br>S      | 4.5<br>5.5<br>6.5        |             |
| 32  | 1955 | 62                           | As                  | P                | 6.5                      |             |
| 33  | 1951 | 1961-62<br>54-55             | Bs<br>Bs            | P<br>P           | 4.5<br>10.5              |             |
| 34  | 1950 | 62-63<br>60-61<br>55         | A<br>A<br>As        | P<br>P<br>P      | 5.5<br>5.5<br>6.5        |             |
| 35  | 1949 | 62-63<br>60<br>55<br>53      | A<br>As<br>As<br>As | M<br>P<br>M<br>M | 5.5<br>5.5<br>5.5<br>5.5 |             |
| 36  | 1950 | 1960-62<br>55                | Bs<br>As            | M<br>P           | 4.5<br>4.5               |             |
| 37  | 1950 | 62-63<br>55                  | A<br>As             | P<br>P           | 5.5<br>5.5               |             |
| 38  | 1949 | 1958-59<br>55-56             | Bs<br>A             | S<br>P           | 4.5<br>4.5               |             |
| 39  | 1949 | 1958-59<br>55                | Bs<br>As            | S<br>M           | 4.5<br>4.5               | 1955年にくされ   |

第1表つづき (3)

| No. | 年輪始読 | アテの形成年代                   | 型                   | 強 度              | 方 向                        | 備 考        |
|-----|------|---------------------------|---------------------|------------------|----------------------------|------------|
| 40  | 1948 | 55-56                     | A                   | P                | 4.5                        |            |
| 41  | 1949 | —                         | —                   | —                | —                          | 1955年の年輪乱れ |
| 42  | 1949 | 62-63<br>55               | A<br>As             | P<br>M           | 1.5<br>2.5                 |            |
| 43  | 1951 | 62<br>1954-55             | As<br>Bs            | P<br>P           | 4.5<br>1.5                 |            |
| 44  | 1950 | 1962-63<br>59<br>55       | Bs<br>As<br>As      | P<br>P<br>P      | 4.5<br>3.5<br>4.5          |            |
| 45  | 1949 | 1960-62-63<br>55          | B<br>As             | P<br>P           | 4.5<br>5.5                 |            |
| 46  | 1952 | 62<br>60<br>55            | As<br>As<br>As      | P<br>P<br>P      | 4.5<br>2.5<br>1.5          |            |
| 47  | 1955 | 62-63<br>60               | A<br>As             | P<br>P           | 4.5<br>4.5                 |            |
| 48  | 1949 | 62-63<br>60<br>55         | A<br>As<br>As       | P<br>P<br>P      | 4.5<br>4.5<br>4.5          |            |
| 49  | 1948 | 62-63<br>55               | A<br>As             | M<br>P           | 3.5<br>2.5                 |            |
| 50  | 1949 | 62-63<br>1957-61<br>55    | A<br>Bs<br>As       | S<br>S<br>P      | 5.5<br>5.5<br>1.5          |            |
| 51  | 1954 | 62<br>1959-60             | As<br>Bs            | M<br>P           | 4.5<br>4.5                 |            |
| 52  | 1949 | 62-63<br>1959-60-61<br>55 | A<br>B<br>As        | P<br>P<br>P      | 4.5<br>4.5<br>3.5          |            |
| 53  | 1954 | 62-63<br>60               | A<br>As             | P<br>P           | 4.5<br>4.5                 |            |
| 54  | 1951 | 62-63<br>60<br>58<br>55   | A<br>As<br>As<br>As | P<br>P<br>S<br>P | 4.5<br>11.5<br>10.5<br>0.5 |            |
| 55  | 1950 | 62-63<br>60<br>55         | A<br>As<br>As       | P<br>M<br>P      | 4.5<br>3.5<br>2.5          |            |
| 56  | 1949 | 62-63<br>60-61<br>55      | A<br>A<br>As        | P<br>P<br>P      | 4.5<br>4.5<br>5.5          |            |
| 57  | 1949 | 1960-62-63<br>54-55       | B<br>Bs             | M<br>P           | 4.5<br>4.5                 |            |
| 58  | 1948 | 55                        | As                  | P                | 4.5                        |            |
| 59  | 1948 | 55                        | As                  | P                | 4.5                        | 1960年に傷跡   |



第1表つづき (4)

| No. | 年輪始読 | アテの形成年代                                     | 型                        | 強 度                   | 方 向                   | 備 考             |
|-----|------|---|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 60  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     | 1955年の年輪幅狭小     |
| 61  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     | 1955, 62年の年輪幅狭小 |
| 62  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     | 1955, 57年の年輪幅狭小 |
| 63  | 1949 | 1961-62-63                                  | B                        | M                     | 4.5                   |                 |
| 64  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     | 1953, 54年にくされ   |
| 65  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     |                 |
| 66  | 1949 | 1960-62-63<br>55-56                         | B<br>A                   | M<br>M                | 3.5<br>3.5            |                 |
| 67  | 1949 | —   | —                        | —                     | —                     | 1955年の年輪幅狭小     |
| 68  | 1949 | —   | —                        | —                     | —                     | 1955年の年輪幅狭小     |
| 69  | 1949 | 62-63                                       | A                        | P                     | 6.5                   |                 |
| 70  | 1948 | 55  | As                       | M                     | 4.5                   | 1952年に傷跡        |
| 71  | 1949 | 1958-62-63<br>55                            | B<br>As                  | M<br>S                | 7.5<br>8.5            |                 |
| 72  | 1949 | —   | —                        | —                     | —                     | 1962, 63年の年輪幅狭小 |
| 73  | 1949 | 55-56                                       | A                        | P                     | 8                     |                 |
| 74  | 1950 | 62-65<br>1960-61                            | A<br>Bs                  | P<br>M                | 9<br>8                |                 |
| 75  | 1949 | 55  | As                       | S                     | 9                     |                 |
| 76  | 1950 | 1961-62-63                                  | B                        | S                     | 9                     |                 |
| 77  | 1950 | 1960-62-63<br>55                            | B<br>As                  | P<br>P                | 10<br>9               | 1955年の年輪幅狭小     |
| 78  | 1949 | 55  | As                       | M                     | 10                    |                 |
| 79  | 1949 | —   | —                        | —                     | —                     |                 |
| 80  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     |                 |
| 81  | 1950 | 62<br>55                                    | As<br>As                 | P<br>M                | 2<br>2                |                 |
| 82  | 1951 | 62-63<br>60<br>55                           | A<br>As<br>As            | P<br>P<br>P           | 12<br>12<br>11        |                 |
| 83  | 1948 | —   | —                        | —                     | —                     | 1954年の年輪幅大      |
| 84  | 1949 | 55  | As                       | P                     | 5                     |                 |
| 85  | 1949 | 55  | As                       | P                     | 2                     |                 |
| 86  | 1950 | 1962-66<br>57-58-61<br>55-56                | Bs<br>B<br>A             | P<br>P<br>P           | 3<br>3<br>3           |                 |
| 87  | 1950 | 1963-66<br>61-62<br>60<br>57-58-59<br>55-56 | Bs<br>Bs<br>As<br>B<br>A | P<br>P<br>P<br>P<br>P | 2<br>3<br>3<br>3<br>4 |                 |

形成強度は相対的にみて、扇形の弧長の大きいものを P (強)、小さいものを S (弱) とし、その中間を M (中) としてあらわした。いずれも樹幹傾斜の度合に関係しているが、外力の大きさと樹幹傾斜の度合との間に比例関係はみられないから、アテの形成強度から外力の規模を推定することはできない。

形成方向は時計の文字盤になぞらえて、磁北 (N 方向) を 12 時とし、ほぼ 12 方向にわけ、髓からアテの扇形中央部に達する方向を時刻で示した。試料 No. 1~No. 72 はすでに倒伏していた樹幹から採取したものであるから、倒伏前の方向を知ることはできなかつた。したがって、個々の試料ごとに、アテの形成方向に変化があったかどうかという点を見るために、最近のアテの形成方向、あるいは最近の偏心方向を斜面の谷側にとった。この崩壊地は南東に面していることから、谷側を 4 時 30 分 (4.5 時) 方向とした。

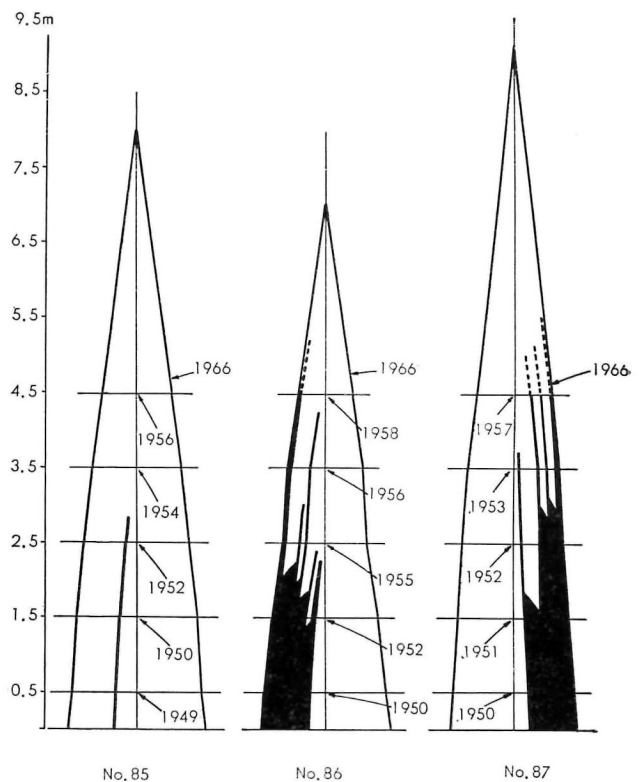
年代は西暦年号であらわした。No. 1 を例にとると、それぞれの 1 群のアテは、1960 年をピークとする弱度 (S) の B 型と同方向の強度 (P) の Bs 型、As 型をあらわしていることになる。

第 1 表から外力の作用年代に当たる部分をまとめると、第 2 表のように●印で示される。矢印は判読可能な年輪の始まりの年代を示すものである。この表によるとアテの形成頻度が最も高かった年代は 1955 年で、全数の 80.7% を占めている (1954 年現在、アテの形成にあずからない程度の小径木 4 本が含まれているので、これを除き全試料数 83 本として計算した)。1962 年の 57.5%、1960 年の 48.3% がこれについている。また、逆に全くアテの形成されていない年代は 1956 年で、1963 年の 3.4%、1953 年の 3.6%、1957 年の 4.8% がこれについている。そして、頻度の高い年代のあとに、極端に頻度の低い年代がつづき、波状型の増減をくりかえしている点が注目される。

第 2 表には、アテ形成頻度の最も高かった 1955 年の前年 (1954 年) の平均直径と伐採時の平均直径をつけ加えておいた。

第 1 表から、アテの基本型ごとに集計すると、総数 159 個のうち、A 型 37 個 (23.2%)、As 型 68 個 (42.8%)、B 型 30 個 (18.9%)、Bs 型 24 個 (15.1%) で、突発的に樹幹が傾斜して形成される A 型、As 型が 2/3 を占め、漸増型の B 型、Bs 型は 1/3 である。

また、第 2 表から、外力の持続年数を調べてみると、総数 149 個のうち、1 年が最も多くて 100 個 (67.1%)、ついで 2 年 25 個 (16.8%)、3 年 15 個 (10.0%)、4 年 5 個 (3.4%)、5 年 3 個 (2.0%)、6 年 1 個 (0.7%) となっている。持続年数 2 年以上のものには、連続している複合型を 1 個として算定したのも含まれているために、アテの基本型の総数より 10 個少なくなっている。



第 4 図 樹幹のアテ

No. 85: 山側に傾斜 No. 87: 谷側に傾斜  
No. 86: 横方向に傾斜

第2表 外力の作用年代

| No. | 年    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 平均直径 (mm) |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|
|     | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962      | 1963 | 1954 | 1963 |
| 1   |      | →    |      |      |      | ●    | ●    | ●    |      |      |      | ●    | ●    |      |           |      | 30   | 98   |
| 2   |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      | ●         |      | 51   | 136  |
| 3   | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      | ●    | ●         |      | 58   | 114  |
| 4   | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      | ●    | ●    | ●    | ●         |      | 60   | 145  |
| 5   | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      |           |      | 58   | 110  |
| 6   | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      |           |      | 37   | 114  |
| 7   | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      | ●    | ●    | ●    |      |           |      | 35   | 83   |
| 8   | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    |           |      | 36   | 106  |
| 9   |      |      |      | →    |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      |           |      | 21   | 79   |
| 10  | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      | ●         |      | 32   | 99   |
| 11  |      |      |      |      | →    |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    |      |           |      | 27   | 82   |
| 12  |      |      |      |      | →    |      |      | ●    |      |      |      | ●    | ●    |      |           |      | 18   | 77   |
| 13  |      | →    |      |      |      |      | ●    | ●    |      |      | ●    | ●    | ●    | ●    |           |      | 18   | 57   |
| 14  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      | ●    | ●    | ●    | ●         |      | 39   | 98   |
| 15  | →    |      |      |      |      |      | ●    | ●    |      |      | ●    | ●    | ●    | ●    | ●         |      | 32   | 69   |
| 16  |      |      |      |      | →    |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    |      |           |      | 16   | 69   |
| 17  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    |      | ●         |      | 26   | 70   |
| 18  |      |      | →    |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      |           |      | 26   | 99   |
| 19  |      |      | →    |      |      |      |      | ●    |      |      | ●    | ●    | ●    |      |           |      | 25   | 81   |
| 20  |      |      | →    |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 46   | 102  |
| 21  | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    |      | ●         |      | 60   | 145  |
| 22  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 48   | 110  |
| 23  | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 45   | 85   |
| 24  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 43   | 85   |
| 25  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 30   | 58   |
| 26  | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 39   | 61   |
| 27  |      | →    |      |      |      |      | ●    | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 28   | 52   |
| 28  |      |      | →    |      |      | ●    | ●    | ●    |      |      | ●    | ●    | ●    | ●    | ●         |      | 22   | 62   |
| 29  | →    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●    |      |      | ●    | ●    | ●    | ●    | ●         |      | 33   | 67   |
| 30  |      | →    |      |      |      |      | ●    | ●    |      |      |      | ●    | ●    | ●    | ●         |      | 29   | 59   |
| 31  |      |      |      |      | →    |      |      | ●    |      | ●    |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 13   | 55   |
| 32  |      |      |      |      |      |      |      | →    |      |      |      |      |      |      | ●         |      | —    | 61   |
| 33  |      |      |      |      | →    |      | ●    | ●    |      |      |      |      |      | ●    | ●         |      | 18   | 61   |
| 34  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 34   | 75   |
| 35  | →    |      |      |      |      | ●    |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 39   | 91   |
| 36  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 36   | 91   |
| 37  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         |      | 33   | 101  |
| 38  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      | ●    | ●    |      |      |           |      | 43   | 132  |
| 39  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      | ●    | ●    |      |      |           |      | 48   | 150  |
| 40  | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      |           |      | 60   | 143  |
| 41  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      |           |      | 46   | 112  |
| 42  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      |      |      | ●         |      | 35   | 68   |
| 43  |      |      |      |      | →    |      | ●    | ●    |      |      |      |      |      | ●    | ●         |      | 26   | 86   |
| 44  |      | →    |      |      |      |      |      | ●    |      |      | ●    |      |      | ●    |           | ●    | 43   | 87   |
| 45  | →    |      |      |      |      |      |      | ●    |      |      |      |      | ●    | ●    | ●         | ●    | 34   | 84   |

| No. | 年    |      |      |      |      |       |        |        |      |       |      |      |      |      |      | 平均直径 (mm) |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|-------|--------|--------|------|-------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|
|     | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953  | 1954   | 1955   | 1956 | 1957  | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963      | 1954 | 1963 |
| 46  |      |      |      |      | →    |       |        | ●      |      |       |      |      | ●    |      | ●    |           | 24   | 94   |
| 47  |      |      |      |      |      |       |        | →      |      |       |      |      | ●    |      | ●    |           | —    | 66   |
| 48  |      |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      |      | ●    |      | ●    |           | 30   | 64   |
| 49  | →    | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      |      | ●    |      | ●    |           | 32   | 69   |
| 50  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      | ●     |      |      | ●    |      | ●    |           | 31   | 67   |
| 51  |      |      |      |      |      |       | →      |        |      | ●     |      | ●    | ●    |      | ●    |           | —    | 66   |
| 52  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    | ●    |      | ●    |           | 31   | 73   |
| 53  |      |      |      |      |      |       | →      |        |      |       |      | ●    | ●    |      | ●    |           | —    | 75   |
| 54  |      |      |      | →    |      |       |        | ●      |      |       | ●    |      | ●    |      | ●    |           | 26   | 82   |
| 55  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       | ●    |      | ●    |      | ●    |           | 33   | 97   |
| 56  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    | ●    |      | ●    |           | 36   | 107  |
| 57  |      | →    |      |      |      |       | ●      | ●      |      |       |      | ●    | ●    |      | ●    |           | 30   | 109  |
| 58  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    | ●    |      | ●    |           | 48   | 129  |
| 59  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      |      |      |           | 50   | 140  |
| 60  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      |      |      |           | 69   | 154  |
| 61  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      |      |      |           | 62   | 145  |
| 62  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      |      |      |           | 69   | 147  |
| 63  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 37   | 87   |
| 64  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 39   | 93   |
| 65  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 53   | 114  |
| 66  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 49   | 89   |
| 67  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 50   | 121  |
| 68  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 41   | 112  |
| 69  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 44   | 108  |
| 70  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 63   | 106  |
| 71  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       | ●    | ●    |      | ●    |      |           | 33   | 74   |
| 72  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       | ●    | ●    |      | ●    |      |           | 39   | 89   |
| 73  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 65   | 145  |
| 74  |      |      | →    |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 43   | 105  |
| 75  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 38   | 105  |
| 76  |      |      | →    |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 65   | 180  |
| 77  |      |      | →    |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 48   | 125  |
| 78  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 59   | 145  |
| 79  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 35   | 85   |
| 80  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 73   | 165  |
| 81  |      |      | →    |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 52   | 145  |
| 82  |      |      |      | →    |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 32   | 105  |
| 83  | →    |      |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 43   | 105  |
| 84  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 47   | 105  |
| 85  |      | →    |      |      |      |       |        | ●      |      |       |      | ●    |      | ●    |      |           | 45   | 115  |
| 86  |      |      | →    |      |      |       |        | ●      |      | ●     | ●    |      |      | ●    | ●    |           | 35   | 95   |
| 87  |      |      | →    |      |      |       |        | ●      |      | ●     | ●    |      | ●    | ●    | ●    |           | 37   | 105  |
| 計   | —    | —    | —    | —    | —    | 3     | 9      | 67     | 0    | 4     | 13   | 17   | 42   | 27   | 51   | 3         |      |      |
| %   | —    | —    | —    | —    | —    | (3.6) | (10.8) | (80.7) | 0    | (4.8) | 14.9 | 19.5 | 48.3 | 31.0 | 58.6 | 3.4       |      |      |

( ) : 全試料 83 の百分率

樹幹の縦軸に沿うアテの形成については、No. 85, 86, 87 の地上高 1 m ごとに (0.5~4.5 m) とった試料から、概略第 4 図に示すようになった。No. 85 には、1955 年山側に As 型が樹高 2.5 m までみとめられる。No. 86 には、山腹の横方向に、基部では 1955 年から現在まで、上方では断続して形成され、No. 87 には、谷側に No. 86 と同じような傾向で形成されている。この図は年代に重きをおいたので、横軸には、直径のかわりに年代をいれた。一般の樹幹析解と異なっている点である。

## 考 察

### カラマツのアテ

カラマツのアテについて成因および性質を研究したものはみあたらない。尾中<sup>19)</sup>は、成長素が形成層の活動を促すというアテ形成の実験において、カラマツも他の針葉樹と同様であるとのべているが、スギ・ヒノキ・アカマツ・トドマツなど針葉樹のアテの解剖的構造について調べた 10 種のなかにはとりあげていない。また、武藤<sup>16)</sup>のカラマツ造林に関する論説によると、カラマツにはアテができないために、風の方向に曲がりやすく、生長がおくれ、傾斜面で雪におされて曲がり、形質が悪くなるとしている。アテは樹幹の傾斜によって形成されるのであるから、武藤のみかたは逆であるが、一般に、風になびきやすいカラマツには、アテが形成されないと考えられているようである。

筆者の得た試料 87 個のうち、肉眼視できるアテのあったのは 75 個 (86.2%)、全く認められなかったのは 12 個 (13.8%) であった。これらの試料については、故矢沢亀吉博士、宮島寛助教授の鑑定を受け、また石田茂雄教授に依頼し、超軟 X 線 (Ultra Soft X-ray) 写真の撮影を行なってもらい、アテであることを認めてもらった。

その後、北海道内の地すべり地で採取したカラマツにも、トドマツやエゾマツと同じように、明らかに肉眼で識別できるアテが形成されていることがわかった<sup>3)</sup>。1962 年 10 月 17 日、北海道桧山海岸で、乗客もろともバスを海中につき落とした乙部村豊浜地区の地すべり地では、山側に傾斜したカラマツ (40 年生、胸高直径 17~22 cm) に、1963 年以降 A 型のアテが形成されていた。また、平取町振内の林内地すべり地では、集団的に乱雑に傾斜したカラマツ (15 年生、胸高直径 10~13 cm) に、1962 年以降 A 型、As 型の強度のアテが形成されていた。この林地は 1961 年 7 月の集中豪雨の際に、地すべりの起こった場所であり、1962 年以前にアテのないことからみて、常風による影響ではなく、地表変動による樹幹傾斜によるものと考えられた。

風に対して敏感な反応を示すカラマツは、樹幹を屈曲させながら偏心生長をつづけるが、肉眼視できるようなアテは形成されない。しかし、突発的に樹幹が傾斜すると、偏心生長で処理できない異常な生理現象が起こるものと想像される。生理的問題の解決は筆者のなし得ない部門であるから、他の専門家の手にゆだねなければならぬ。しかし、地表変動によるアテの形成について経験的に得たところによると、尾中<sup>19)</sup>がのべているような偏心生長とアテ形成の関係は同一視できないようにおもわれる。すなわち、アテのある材は偏心している場合が多いが、偏心している材に、必ずしも肉眼視できるようなアテがあるとは限らないという点である。今後に残された研究課題であろう。

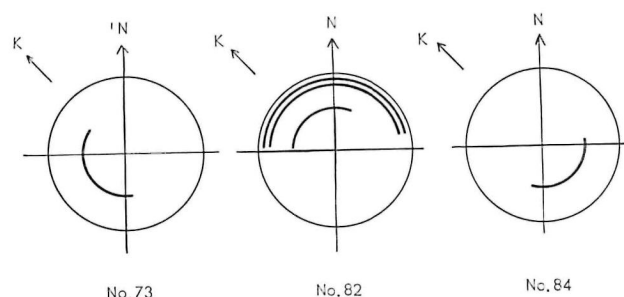
### 台風とアテの形成

全試料のアテの形成年代についてみると、1955 年、1960 年、1962 年の頻度が高く、1 年のずれをみこむと外力の作用年代との関係では、まず 1954 年 9 月の洞爺丸台風の影響があげられる。樹幹の基部にアテを形成させるような外力については、これまで、台風の影響が筆頭にあげられている。尾中<sup>19)</sup>は、1934 年 9 月関西をおそった台風によって形成されたアカマツのアテを紹介している。その樹幹断面の写真について、筆者の試みている

アテの基本型の分類から判断すると、AS型を示し1年で回復していることになる。このような例を洞爺丸台風の関係に求めると、乙部村豊浜地すべり地のカラマツ<sup>3)</sup>と、北海道大学苫小牧地方演習林のトドマツ<sup>28)</sup>にみることが出来る。いずれも、1954年以前の数年間は正常材で、突発的にアテが形成されている点に特徴がある。

当調査地の1955年のアテも、1954年の台風の影響を受けているかもしれないが、つぎのような諸点から検討すると、地表変動の関係を考慮しなければならないようにおもわれる。まず、アテの形成方向についてみると第4図の縦軸のアテについて示したように、No. 85は山側に、No. 86は横方向に、No. 87は谷側に、それぞれ異なった方向に傾斜している点である。

このような例は、他の立木からとった試料にもみることが出来る。第5図に、横断面のアテを示したが、No. 73では横方向に、No. 82では山側に、No. 84では谷側にアテが形成されている。台風進路(瞬間最大風速38.7 m/s)は南から北へ向っていたのであるから、樹幹はほぼ山側へ傾斜するはずであり、全く逆方向の谷側にアテが形成されている点が注目される。また、1960年、1962年のアテに関係するとおもわれる台風の記録はないようである。1954年5月にも台風が全道をお



第5図 樹幹横断面のアテ

N: 磁北

K: 斜面上方

No. 73: 横方向に1955年のアテ

No. 82: 山側に1955年、1960年、1962年のアテ

No. 84: 谷側に1955年のアテ

そい、多くの風倒木をだしているが、この風の影響があらわれるとすれば、1954年の生長期である。第2表でわかるように、1954年のアテは10.8%の頻度で低率である。もっとも、苫小牧地方演習林のトドマツには、この5月の台風の影響はあらわれていないから、あるいは風力が弱かったためとも考えられる。

つぎに、ひとつの斜面で、しかも狭い範囲の全試料に同時性がないという点を検討しなければならない。第2表でまとめたように、1955年のアテの頻度は80.7%である。19.3%にはアテが形成されていない。形成方向を度外視しても、ひとつの斜面の立木に差があることは、広範囲に作用する風の影響とは一致しない面である。

第3表に、1955年のアテの頻度を、試料のグループごとにまとめてみた。これによると斜面の上部にあったともおもわれるIIグループに72.7%、未崩壊部のIII、IVグループにそれぞれ40.0%、20.0%のアテのないものがある。台風の進行方向からみて、斜面上部ほど、樹幹傾斜の影響は大きいとおもわれる。また、かりに逆方

第3表 1955年のアテ形成

| グループ | No.   | 全   |     | アテ材 |      | 正常材 |      |
|------|-------|-----|-----|-----|------|-----|------|
|      |       | 個数  | %   | 個数  | %    | 個数  | %    |
| I    | 1~61  | 57* | 100 | 54  | 94.7 | 3   | 5.3  |
| II   | 62~72 | 11  | 100 | 3   | 27.3 | 8   | 72.7 |
| III  | 73~82 | 10  | 100 | 6   | 60.0 | 4   | 40.0 |
| IV   | 83~87 | 5   | 100 | 4   | 80.0 | 1   | 20.0 |
| 計    | 1~87  | 83* | 100 | 67  | 80.7 | 16  | 19.3 |

注 \* 年輪始読1954, 55年の試料4本を除いた個数。

向の風であったとしても、斜面上部が下部より影響されることになる。第2表の1954年9月現在の平均直径をみると、アテのあるものは13~63 mm (67個)、アテのないものは39~73 mm (16個)で、アテのないほうには直径の大きいものが多い。風圧の面から考えると第6図(a)のように当然大径木のほうが傾斜する度合いが高いはずであるから、この傾向は逆現象ということになる。しかし、地盤が急に変化すると、地上の樹木は、第6図(b),(c)のように、屈とう性に富む若い小径木といえども傾斜せざるを得ないだろう。乙部村豊浜の地すべり地のカマツにも、1929年、1930年の直径15~45 mmの年代に強度のアテが形成され、同じような傾向が認められる。

試料のなかには、1955年に年輪幅の急減しているものが33.7% (28個)ある。急減しているものの1955年の平均直径は35~73 mmで、急減していないものの13~63 mmより大きくなっている。台風の風圧により枝葉のいためつけられた割合は、直径の大きいほうに強く、一時生長が衰えたともみることできる。

なお、急減しているもののうち約2/3 (19個)にはアテが形成され、残りの約1/3

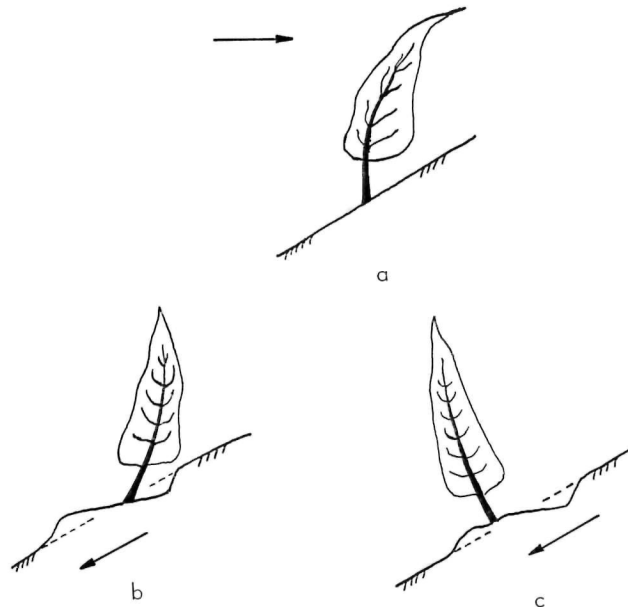
(9個)にはアテが形成されていない。表土層の移動によって、毛根が切断され生長が妨げられることもあるので、1955年の年輪幅急減は、台風と地表変動の単独作用か、複合作用か決定することはむずかしいようである。

#### 地表変動とアテの形成

1955年のアテの形成方向には、山側、谷側、横方向と各方向が認められた。さらに、1960年、1962年を含めてアテの形成方向をみると、ひとつの試料において、年代ごとに形成方向が変化しているものがある。1955年と方向を変えているのは全数の41.0% (34個)で、No. 54にはいちじるしい方向逆転が認められるが、その他の大部分は、わずかにばかりの方向変換である。試料の年輪数が少ない(15年生)ために、他の地すべり地の試料のように長期間の変化をみることはできないが、このような現象は地表変動の特徴と考えられる<sup>6)</sup>。

B型とBs型のアテは全数の34% (54個)で、樹木の屈地性屈曲をうわまわった外力の作用(地表変動)によるものとみることができる。また、外力の持続年数は1~6年と算定された。これは、台風のように突発的に発生する外力と異なる点である。

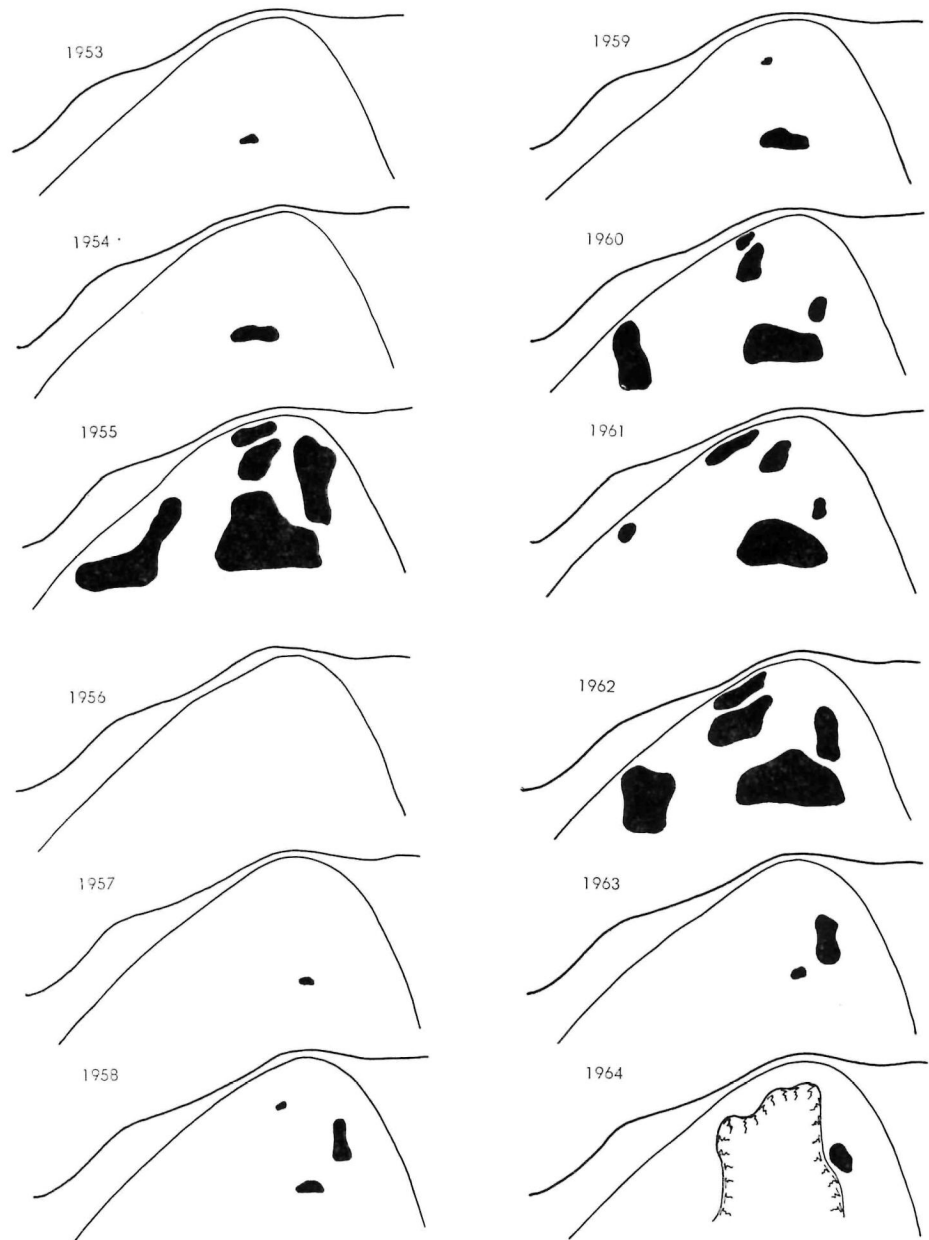
外力の作用年代を試料のグループごとに集計すると第4表のようになる。I, IIグループは崩壊前の正確な立木位置を示すものではないが、III, IVグループの立木位置と関連させて、年代別の地表変動の範囲を想像してみると、1953年から1964年の崩壊までの経過が、第7図のようにあらわされる。I, IIグループは第4表の百分率を面積の割合で表現し、III, IVグループは相対的立木位置をもってあらわした。1953年から1964年まで、



第6図 小径木の傾斜

- a: 風による梢部の傾斜  
b: 地盤変化による樹幹の山側傾斜  
c: 地盤変化による樹幹の谷側傾斜

大小のブロックにわかれて、交互に変動していることがわかる。筆者らはこの現象を「交互性」とよび、浦幌林務署管内、音別川上流の林内地すべり地や<sup>6)</sup>、北海道大学中川地方演習林の林内地すべり地で検討してきた。このような交互性は大変動の前兆や余波として、斜面が安定するまで継続するものと考えられる。1964年6月に山腹が崩壊し、1964年以降はいちおう安定期にはいったかのように、未崩壊部の試料では、No. 87を除き変動の形跡は認められない。



第7図 山腹崩壊の前駆現象

黒色部をブロック状移動範囲として、アテの年代的解析結果より推定した。



第4表 外力作用の範囲

| グループ | 試料 | 1953  | 1954   | 1955   | 1956 | 1957  | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 全      |
|------|----|-------|--------|--------|------|-------|------|------|------|------|------|------|--------|
| I    | 個数 | 3     | 9      | 54     | 0    | 2     | 10   | 16   | 36   | 20   | 40   | 1    | 57~61* |
|      | %  | (5.3) | (15.8) | (94.7) | —    | (3.5) | 16.4 | 26.2 | 59.0 | 32.8 | 65.6 | 1.6  |        |
| II   | 個数 | 0     | 0      | 3      | 0    | 0     | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 0    | 11     |
|      | %  | —     | —      | 27.3   | —    | —     | 9.1  | 9.1  | 18.2 | 27.3 | 36.4 | —    |        |
| III  | 個数 | 0     | 0      | 6      | 0    | 0     | 0    | 0    | 3    | 3    | 5    | 0    | 10     |
|      | %  | —     | —      | 60.0   | —    | —     | —    | —    | 30.0 | 30.0 | 50.0 | —    |        |
| IV   | 個数 | 0     | 0      | 4      | 0    | 2     | 2    | 0    | 1    | 1    | 2    | 2    | 5      |
|      | %  | —     | —      | 80.0   | —    | 40.0  | 40.0 | —    | 20.0 | 20.0 | 40.0 | 40.0 |        |
| 全    | 個数 | 3     | 9      | 67     | 0    | 4     | 13   | 17   | 42   | 27   | 51   | 3    | 83~87* |
|      | %  | (3.6) | (10.8) | (80.7) | —    | (4.8) | 14.9 | 19.5 | 48.3 | 31.0 | 58.6 | 3.4  |        |

\*: 1957年までは小径木4個を除き総数57個とした。

( ): 同上の百分率を示す。

このように年輪からみると、地表変動には休止期をもちながら、立地点ごとに不規則な周期のあることがわかる。交互性がある区域内の数地点の相互関係をあらわしているのに対して、1地点のくりかえしは「反復性」とよばれるものである(厳密には同一地点とはいえない)。したがって、数地点の変動がまとまって同一時点に発生すると規模の大きな地表変動が起こることになる。第2表の集計でみられたように、1955年、1960年、1962年の外力の作用に関係のあるアテ形成の頻度は高く、それにつづく年代では極端に頻度の低いのは、反復性、交互性によるブロック状の地表変動によるものと考えられる。地表層は風化度の異なる多様な粒度の土砂で構成され、また孔隙状態、透水性も千差万別であるから、降水量、融雪量の気象条件とからみあって、複雑な下降運動をくりかえしているものと想像される。なかでも、地表下の水みちは、ときに小侵食や小陥没を起こし閉塞されることもあるだろう。そのような場合に、新しい水みちが形成されるまで、含水量の高い土塊が形成されることになる。地すべり地の樹木は、地すべりの頭部で山側に、舌端部で谷側に、中央部では各方向に傾斜している。また、移動する土層の深いときや移動速度の大きい場合には山側に、浅く、遅い場合には谷側に傾斜するようである。この傾向は、アテの形成方向にあらわれ、移動形態を探る場合にひとつの目安になるものとおもわれる。

当調査地の1956年9月17日撮影の空中写真によると、第2図および第7図に細線で示したような円弧型の古いきれつを、尾根線の下側に判読できる。このきれつの発生年代は不明であるが、植生被覆状態からみて、1948年の植栽前のもので推定される。同写真には、崩壊前の斜面脚部に、幅1~2m、長さ30mの溪岸崩壊にいたった裸地が記録されているが、斜面上には新しいきれつは認められない。現地調査では、III、IVグループの立地点付近に小きれつが認められたことから、秋季の写真で、しかも植栽後8年を経過したカラマツの林冠によっておおいかくされていたためだろうと考えられる。

第5表に穂別の積雪と降水量の極値をあげた<sup>9)</sup>。最深積雪は1958年1月の90cmであるが、この程度では、樹幹を傾斜させるほどの雪圧とはならないだろう。1958年のアテの形成頻度は14.9%で、山側に形成されたものも含まれているとすれば、雪によって谷側に曲げられてできたアテはさらに低率となる。積雪の影響は雪圧よりも融雪時の浸透水がひき起こす土層内の変化に強くあらわれなければならないだろう。夏の豪雨は、1957年

第5表 積雪及び降水量の極値(總別)

| 年    | 積 雪 量       |          | 降 水 量         |        |               |          |
|------|-------------|----------|---------------|--------|---------------|----------|
|      | 最 深<br>(cm) | 起 月      | 月 最 高<br>(mm) | 起 月    | 日 最 高<br>(mm) | 起 日      |
| 1953 | —           | —        | 111           | VIII   | 24            | VIII. 20 |
| 1954 | 43          | I        | 141           | VIII   | 44            | IV. 18   |
| 1955 | 75          | II       | 260           | VII    | 74            | VII. 3   |
| 1956 | 32          | II       | 181           | VI     | 86            | VI. 12   |
| 1957 | 40          | I        | 551           | VIII   | 170           | VIII. 13 |
| 1958 | 90          | I        | 332           | VII    | 125           | VII. 23  |
| 1959 | 50          | I        | 165           | IV, VI | 62            | VI. 1    |
| 1960 | 26          | I        | 192           | VI     | 56            | VI. 27   |
| 1961 | 80          | II       | 311           | VII    | 88            | VII. 25  |
| 1962 | 40          | III, XII | 424           | VIII   | 142           | VIII. 3  |
| 1963 | 30          | I        | 185           | IV     | 53            | VIII. 15 |
| 1964 | 24          | XII      | 221           | VI     | 64            | VI. 3    |
| 1965 | 76          | II       | 457           | IX     | 103           | IX. 16   |
| 1966 | 40          | I, II    | 267           | VII    | 91            | VIII. 17 |

8月の月雨量551mmが最も多く、日最高雨量もこの月の170mmである。翌1958年7月の日最高雨量も125mmで相当に多いが、1957年から1959年にかけてのアテの頻度は4.9、14.9、19.5%とやや増加しているだけで、豪雨の直接の影響はでていない。また、1962年8月にも日最高雨量142mmを記録し、10年間の第2位であるが、1963年の生長期におけるアテの頻度は2.3%できわめて低率である。このような結果から判断すると、崩壊前の山腹表土層の下降運動は、単発的な豪雨によって引き起こされるのではなく、長年月の間の降雨と融雪による滲透水が、風化土層に作用し、局所的な変化がしだいに助長され拡大されるものと解釈される。

この崩壊地では、1964年10月(崩壊後4カ月)面状基礎工による山腹工事を行なった<sup>5)</sup>。滑落面の露出泥岩は、約1年後に40~180mm、約3年後に50~330mmの深さに風化し、斜面上に蓄積され、植物におおわれている。小出<sup>11)</sup>のいう板状体は、このような風化進度のはやいところで、風化岩層の崩落が妨げられた場合に形成され、ある深さに達すると基岩の不透水層との関係で、土層内に多様な水みちが発達し、ブロック状の下降運動をはじめようになると想像される。このような場合に、根元からゆり動かされた樹幹には、くりかえしアテが形成されるだろう。従来、山腹崩壊に、前駆現象をいれて考察されたものはないようである。地すべりは緩慢な運動で、山腹崩壊は突発的な運動とみるのが常識となっている。地すべり移動計のような測器が山腹崩壊に適用できない段階ではやむをえないことであるが、筆者がこれまでのべてきたように、山腹崩壊といえどもブロック状の運動がくりかえされている点に注目すべきであるとおもわれる。要は運動に対する時間単位のとりかたであり、また、時間の導入法にあるだろう。竹下<sup>23)</sup>や西川<sup>18)</sup>のいう森林の崩壊防止機能の限界も時間の導入により明らかになるのではないかと考えられる。

## ま と め

地表変動は地上の植物群の生活に反映されるという観点から、樹木年輪を時間指標とし、逆に、地表変動の歴史を探り、山地の個性を解明する手がかりにしようと試みた。1964年6月4日、鶴川流域の三紀層地帯のカラ

マツ造林地に山腹崩壊が起こり、72本のカラマツが崩落した。このカラマツは樹幹基部の根曲り部にアテが形成されていることから、未崩壊部の立木15本をあわせて、総計87個の試料をとり、年代的な解析を行なった。

1. カラマツにはアテが形成されないとするみかたもあり、また、ほとんど研究された報告はみあたらないが、専門家の鑑定、超軟X線写真の結果からも、当試料はアテ材であることが認められた。なお、カラマツのアテもトドマツ、エゾマツと同様に、傾斜樹幹の下側断面に形成され、秋材にちかい赤褐色を呈して、肉眼的に識別しやすい。カラマツのアテは常風の影響では形成されないが、台風や地表変動のように強力な外力が作用したときに形成されるものと考えられる。

2. 全試料87個のうち、アテの形成されている試料は75個であった。樹幹の一横断面に形成されているアテは1~5個であった。筆者らが北海道内の林内地すべり地で研究してきたアテの基本型(A, As, B, Bs型)に分類すると、総数159個のうち、A型23.2%、As型42.8%、B型18.9%、Bs型15.1%で、突発的に樹幹が傾斜して形成されるA型、As型が2/3を占め、外力が漸増するときに形成されるB型、Bs型が1/3を占めていた。

3. 既に崩落していた72本の試料は生立時の樹幹方向は不明であったが、一横断面のアテ形成方向が変化しているものがあつた。また、隣接未崩壊部の15本の試料には、山側、谷側、横方向のアテ形成が認められ、他の林内地すべり地の傾向と一致していた。

4. アテの基本型から外力の作用年代を求め、全試料について年代ごとにまとめると、その出現頻度は1955年が最も高く80.7%、1962年が58.6%、1960年が48.3%であった。逆に、全く形成されていなかったのは1956年で、1963年が3.4%で低率を示した。

5. 1955年に形成されたアテは、前年(1954)の洞爺丸台風の影響について検討しなければならない。試料を採取した関係位置で4グループに分けると、台風に影響されやすいとおもわれる斜面上部の、比較的径級の大い試料にアテが形成されていないものがあり、同時性がみられない。また、立木から得た試料の1955年のアテの形成方向は、当時の風向と必ずしも一致していない。わずかではあるが、1953年、1954年から継続して漸増したアテがあり、台風による突発型ばかりではない。台風記録のない1960年、1962年にもアテの形成がいろいろある。このような理由で、1955年のアテは、必ずしも台風によるものとは考えられない。

6. 屈とう性の高い幼齢木や小径木は、風圧により傾斜することは少ないが、地盤が変化すると、樹幹は必ず傾斜する。さらに、北海道内の他の地すべり地において、樹木年代学的に考察してきた地表変動の「交互性」と「反復性」をいれて検討すると、全試料のアテ形成に、同時性がなくても地表変動の影響として解釈することはできる。すなわち、ブロック状の変動が不規則にくりかえされているとみることができるのである。

7. 1964年の崩壊に達するまでに、1955年、1960年、1962年には大型の地表変動が前駆現象として起こったものと推察される。このような大型の変動後に一時的な安定期が続くとみえて、1956年、1963年のアテの頻度はきわめて低率である。しかも、このような前駆現象は、単発的な豪雨によるものでなく、長年月にわたる滲透水の挙動と風化土層との複雑な関係のうえに組み立てられているものと想像される。

8. 山腹崩壊の機構に関する研究に、樹木年輪による年単位の時間を導入する考え方は、「山地は不動であり」「樹木は崩壊防止機能を有する」とする森林立地のみかたと対立することになるが、崩壊地とは、植物被覆の崩落した場所を指すのであるから、地表変動を主とし、植物の生活を従とする記録計として両者の関係をとらえるべきであろう。

9. 地表変動によるアテの形成について過去に研究されたものがない。カラマツのアテに関する研究は皆無で

ある。地すべり、崩壊の研究に前駆現象が考慮されていなかったなどの諸点を個々に検討し、なお3者に関連づけるために、既成概念にとらわれない考え方をしてきた。したがって定義、用語などに不十分な点が多いが、今後の研究によって補うつもりである。

### 摘 要

カラマツにはアテは形成されないといわれているが、三紀層造林地に発生した崩壊地のカラマツには、断続的にアテが形成されていた。アテ形成の原因となる樹幹傾斜を、台風や地表変動との関係のうえで追究したところ不規則な「反復性」「交互性」をもつ地表変動の影響であることがわかった。すなわち、崩壊前にブロック状の前駆現象がくりかえされ、カラマツに異常年輪として表現されたものと考えられた。このような年輪の解析方法は、崩壊機構の解明に際して、時間の導入を可能にするものである。

### 参 考 文 献

- 1) AITKEN, M. J. (浜田達二訳) 物理学と考古学 94~95 みすず書房 1965
- 2) HEIM, A.: Bergsturz und Menschenleben. 25~27, Zürich, 1932.
- 3) 東 三郎・藤原混一郎・村井延雄・葛西公尚 地すべり地における針葉樹アテの形成 新砂防 57: 1~8, 1965
- 4) 東 三郎 年輪に刻まれた地すべりの歴史 北海道林務部報「林」S. 40, 9, 2~13, 1965
- 5) 東 三郎 第三紀層崩壊地における面状基礎工の効果 日林北支講 14: 93~96, 1965
- 6) 東 三郎・村井延雄・新谷 融 地すべりに関する樹木年代学的考察 新砂防 64: 22~34, 1967
- 7) 東 三郎 地表変動と指標植物 水利科学 56: 55~68, 1967
- 8) 北海道気象協会 北海道の気候 1964
- 9) 北海道気象協会 北海道の気象 1953~1966
- 10) 葛西公尚 地すべり地の針葉樹のアテについて 北大農 卒業論文(手記) 1965
- 11) 小出 博 山崩れ 77~80 古今書院 1955
- 12) KOLCHIN, B. A. (山岸宏訳) 年輪年代学 自然 19 (9): 57~62, 1964
- 13) LOW, A. J.: Compression wood in conifers. —A review of literature—. Forestry abstracts 25: 3, 4, 1964.
- 14) LOW, A. J.: A study of compression wood in Scots pine. Forestry 37 (2): 179~201, 1964.
- 15) 村井延雄・東 三郎・藤原混一郎 地すべり地の樹木年輪による移動年代の推定 2 回災科講 113~116, 1965
- 16) 武藤憲由 拡大造林の問題点 林業解説シリーズ 108: 16~17, 1958
- 17) 中村慶三郎 崩災と国土 240 古今書院 1955
- 18) 西川 泰 公害と防災編集委員会編 地すべり・地盤沈下自然災害・公害対策シリーズ No. 6, 173~185 白亜書房 1967
- 19) 尾中文彦 アテの研究 木材研究 I, 1949
- 20) PILLOW, M. Y. and LUXFORD, R. F.: Structure, occurrence, and properties of compression wood. U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. 546, Washington, 1937.
- 21) RITCHE, A. M.: Recognition and identification of landslides. Landslides and engineering practice, Highway Research Board Special Report 29, 48~68, 1958.
- 22) 斎藤孝蔵 樹木生理 130~131 朝倉書店 1954
- 23) 竹下敬司 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, 35~36, 49, 1961
- 24) TANSLEY, A. G.: Practical plant ecology. 130~145, London, 1923.
- 25) WEAVER, J. E. and CLEMENTS, F. E.: Plant ecology. 42~48, New York, 1938.

- 26) 山上 忠・東 三郎・藤原澁一郎 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, 1965.
- 27) 山上 忠 樹木年輪にあらわれた地すべり運動の特徴 北大農 卒業論文(手記) 1966
- 28) 吉田 健 強風によるアテの形成 北大農 卒業論文(手記) 1967

### Summary

Compression wood is an abnormal type of wood tissue which develops on the undersides of branches and inclined or crooked stems of coniferous species. Together with the analogous tension wood of broadleaved species, it is frequently teamed reaction wood because its formation is apparently a response to unilateral gravitational stimulus.

Well developed compression wood appears on stem cross-sections as concentric crescent-shaped zones. In lumber, compression wood usually can be distinguished from normal wood by its relatively lifeless appearance which results from lack of contrast between springwood and summerwood.

The amount of inclination of stem is an important factor in compression wood formation. Increase in the amount of deviation of stems from a vertical position, or increase in rate of diameter increase of individual trees, or both, increases the formation of compression wood.

Inclination of stems as a result of storms is a relatively common occurrence. Similar findings have been reported for stems inclined or bent owing to snow accumulation in crowns, snow-slides or landslides.

The incidence of compression wood was studied in 15 year-old Karamatsu (*Larix leptolepis*) plantation at Hobetsu. Samples were taken from the fallen trees when landslide took place after heavy rain on June 4th, 1964.

Four standard and compound types of sector were recognized and as follows:

- Type A—compression wood decreased for several years;
- Type AS—compression wood disappeared within a year;
- Type B—compression wood increased gradually and decreased for several years;
- Type BS—compression wood increased gradually and disappeared within a year;
- Type C—compression wood were compounded two standard types or more.

The approximate age of inclination can be inferred by dendrochronological analysis of the compression wood.

A sudden change occurred in the woody tissues formed. It coincides with the time that a typhoon swept across Hokkaido in the fall of 1954. In spite of a narrow slope, however, compression wood was in 80.7% of all samples from the lower stems. Moreover a greater number of the trees had compression wood formed in 1960 and 1962 when there was no typhoon in Hokkaido.

Occasionally the compression wood of the samples occurs first in one sector and later in another of the same cross section. These changes in stem inclination direction are brought by creeplike landslides. Initial displacement on the slope takes place alternately and repeatedly.

When the stability of a hillside is being investigated, attention should be paid, among other things, to tilted trees which generally are indicative of soil creep. A tree tilted in its lower portion only and vertical in the rest of its height generally indicated an old landslide, and by counting the rings in the tree section, it is possible to estimate the date of an old landslide.

If the creeping mass reaches a steep slope, the bond between the strata may be totally broken, in which case the displacement degenerates into a landslide.

Such block movement may, of course, presage major landslides in the near future. The compression wood give a running history of the rotation.