

# ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* SIEB. et ZUCC.) 樹皮の 燃料資源的基礎研究

島地岩根・吉村 貢・阿部 勲・武田明正

Potential of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* SIEB. et ZUCC.) Stem Bark  
for Producing Energy

Iwane SHIMAJI, Mitsugu YOSHIMURA, Isao ABE and Akimasa TAKEDA

## I ま え が き

### I・1 目 的

森林未利用資源は、将来のエネルギー供給不足を補う貴重な資源として期待されている。同資源のうち、林業及び木材工業の過程で排出し廃棄される樹皮は、年間に約800万m<sup>2</sup>にも達している。この廃棄樹皮は、成型燃料としてローカルエネルギーの確保に役立てることが最も妥当であると思われるが、これに関する資料はきわめて少ない。

そこで樹皮の現存量を把握するとともに、樹皮の諸性質に関する一連の基礎研究を実施し、すでに、スギ樹皮については多くの知見が得られた<sup>1)</sup>。今回は、スギと同様、わが国の主要造林樹種であるヒノキを対象として、その樹皮の現存量、物性、成型性及び燃料的性質について調査した。

本研究の実施にあたり、調査材料の収集、運搬などに協力された三重大学農学部附属演習林の職員各位に対し、ここに深謝の意を表する。

### I・2 ヒノキ樹皮の組織

ヒノキの樹幹樹皮組織はスギ<sup>2)</sup>と同じく、一般の針葉樹樹皮における過程を経て形成され、一次組織、すなわち、表皮 (epidermis)、皮層 (cortex)、及び一次師部 (primary phloem) と、二次組織、すなわち、二次師部 (secondary phloem) と周皮 (periderm) に区分される。一次組織は、ヒノキやスギにおいては、幹の肥大に伴い間もなく剥落するので、利用の対象となるのは二次組織である。二次師部の構成要素としては、軸方向 (axial system) には同化物質の垂直方向の輸送の任にあたる篩細胞 (sieve cells)、機械的強度を与えるじん皮繊維 (bast fiber) と師部柔細胞 (phloem parenchyma cells) である。放射方向 (radial system) には放射柔細胞 (ray parenchyma cells) からなる組織がある。軸ならびに放射方向の柔細胞組織は同化物質の貯蔵および移動を担っている。

単一の維管束形成層 (vascular cambium) の活動によって、その内方に木部 (xylem)、外方に師部 (phloem) が形成されるので、木部の年輪幅と師部の年輪と見られる師部の厚壁の繊維列間

本研究は、昭和57年度文部省科学研究費補助金エネルギー特別研究、エネルギー(2)の交付をうけた。

Table 1. Thickness of outer and inner bark (mm)<sup>2)</sup>

| Species | Number observed | Outer bark |         | Inner bark |         | Inner bark | Remark                                    |
|---------|-----------------|------------|---------|------------|---------|------------|---|
|         |                 | Range      | Average | Range      | Average | Whole bark |   |
| Hinoki  | 30              | 2.6-12.4   | 5.2     | 1.2-3.7    | 2.0     | 28.2%      | Kiso Royal Forest<br>Fresh material       |
| "       | 11              | 5.8-15.3   | 10.2    | 1.0-3.6    | 2.5     | 19.6       | "   |
| "       | 26              | 2.0-17.0   | 7.1     | 1.2-2.8    | 1.8     | 19.9       | "   |
| Sugi    | 15              | 0.8-5.3    | 2.8     | 0.8-2.3    | 1.3     | 31.4       | Seasoned materials from<br>various places |

隔は相対応している<sup>2)</sup>。二次師部が形成層の直ぐ外側で内樹皮 (inner bark) の最内側に新生、累加され、又形成層の内側に新生される木部細胞の増加による直径の肥大に伴い、師部細胞は圧縮されて、半径方向に扁平に変形し、更に、適当な間隔に周皮を生じて、それより外側の師部は枯死して、リチドーム (外樹皮, rhytidome, outer bark) となる。時の経過に伴い漸次剥落するので、内樹皮、外樹皮とも極端に厚くなることはない。これらの厚さは樹種により、又、同一樹種でも樹齢、樹高、位置、産地、環境等によって変化する。ヒノキ、スギについて一例を示す (Table 1)<sup>2)</sup>。

スギ樹幹樹皮ならびに内樹皮の厚さについては前報<sup>1)</sup>の樹皮の一般的性質において復習した。ヒノキについては<sup>2)</sup>、概ね全樹皮厚さは地際或は数mの高さの部分において最も厚く、枝下までの樹幹では比較的厚く、それより樹梢に向って次第に薄くなる。しかしその減少の割合は全樹皮の厚さの減少に較べて、大きくないので、内樹皮率は枝下部より樹梢に向い、かえって増加する。同一地上高でも肥大生長の大きい側は小さい側より樹皮は薄くなっており、

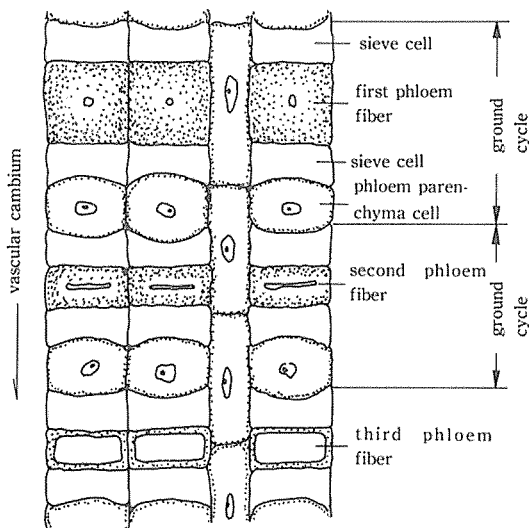


Fig. 1 A schematic diagram of cell type arrangement and a ground cycle in secondary phloem in Hinoki<sup>4)</sup>

老齡の幹の凹部にしばしば著しく厚い部分があるが、この場合でも内樹皮の厚さは全樹皮に見られるほどの大きい変化はない。又、同一林内のほぼ同高の部分について比較すると、優勢木では劣勢木より厚く、全樹皮厚さにおいて約1.7倍、内樹皮厚さにおいては約2.3倍となるが、樹勢の優劣による樹幹の内樹皮率には大差はない。

ヒノキ二次師部の細胞要素の配列は伊東ら<sup>3)</sup>によるスギ師部の生長輪界の見解を入れると Fig. 1 のように模式される<sup>4)</sup>。二列の師部繊維間に三列の薄壁の細胞列を挟み、中央が柔細胞、その両側が師細胞である。太い厚壁の繊維は内樹皮の年輪界と見なされ、スギ樹皮<sup>1)</sup>と同様に木部年輪幅の広

い部分に対応する師部年輪内では薄壁の細胞数も多く、その数は  $2n + 3$  ( $n$ は整数)で、年輪が狭くなるに従い、その数も減少し、遂に基本数の3となる<sup>2)</sup>。

内樹皮の寿命はヒノキにおいて9~31年平均18.6年とかなりの差が見られるので、樹種の性質とは考えられない。ヒノキ優勢木では12~15年、平均13年、劣勢木では18~26年、平均22年に達している。木部の年輪幅の大きいほど内樹皮の寿命は短く、年輪が密になるに従い内樹皮の寿命も次第に延び、遂に30年以上に達するものも稀ではない。樹高による内樹皮の寿命の変化は大体地上数mの部分までが最長で、それより樹梢に進むに従い短くなる。しかし、これはその測定部分の幹の樹齢も影響しているので、同一林齢の樹木の樹高別の違いではない。

周皮は外側からコルク組織、コルク形成層及びコルク皮層からなっているが、コルク形成層は単列で薄く、コルク皮層は薄壁の小細胞で、ヒノキ、スギにおいては不明瞭であり両層合せても極めて薄く、ほとんど確認し難い。従って、周皮は大部分コルク組織から成っている。ヒノキ、スギ樹皮のコルク組織はともに2~8個のとくに薄壁の4~6角形の単層の小細胞群から成り、スベリン化されている。その厚さは、ヒノキ0.02~0.06mm、スギ0.02~0.10mmである<sup>3)</sup>。コルク形成層は毎年活動しているようではなく、周皮間に挟れた師部年輪から計算すると、おおよそ2~5年を隔てて現れ、その幅はヒノキ優勢木0.6~0.9平均0.79mm、劣勢木0.2~0.5平均0.32mmである<sup>2)</sup>。これらは顕微鏡切片で観察された結果であるが、周皮は維管束形成層のように独立の輪をなしていないので、或る部分で数年おきに生じて、樹木全体としては毎年どこかで形成されているものと思われる。ヒノキ、スギでは周皮が接線並びに垂直方向に長く伸びているので、樹皮は平たく帯状に剥げる。木部の年齢幅が広いほど師部、周皮の間隔は大きくなるが、周皮の発現する年数間隔は減り、年輪が密になると周皮間隔は狭くなるが、その発現に要する年数は増す傾向にある。結局、生長の遅い場合と極端に速い場合はともに最外部の剥離片は細かく、小さく脱落することになる<sup>2)</sup>。

ヒノキ、スギ樹皮の組織的特徴を要約すると、横断面における師部繊維は共に方形で、スギ師部繊維は大きい(13~21×16~25×1900~4200 $\mu$ )がヒノキでは大(13~30×13~33×1700~3500 $\mu$ )と小(5~17×16~35×1700~3500 $\mu$ )繊維の2種類がある。スギの方形師部繊維では、半径 $\leq$ 接線径であるが、ヒノキではこのほか半径 $<$ 接線径の繊維も見られる。両樹種ともに厚壁の繊維細胞は存在せず、その配列は大きい師部繊維が円周状に連続し、その間に7、9、……列の他の薄壁の細胞が介在している。ヒノキにおいては円周状に配列した大小の師部繊維間に三列の他細胞が介在している。リチドームとなった師部組織には肥大生長に伴う圧縮により配列が乱れ師部繊維がやや散在している。両樹種とも木部に樹脂道を有しないが、樹皮には垂直樹脂道が存在し、ヒノキにおいてはそれがやや顕著である。

ヒノキ樹皮の外観的特徴の一例を Table 2 に示す<sup>2)</sup>。

ヒノキ、スギとも縦列樹皮であるが亀裂はヒノキの方が浅く、色はスギの方が淡い、剥落片はスギの方が周皮の間隔、長さが短いので薄く細かく、従って小さい。剥離片はヒノキの方が厚く

Table 2. Outlook appearance of Hinoki bark and its tissue<sup>2)</sup>

| Growth condition | Fissure (亀裂)*                               | Scaling exfoliation (剝脱)*               | Outer bark mm | Inner bark mm | Periderm distance mm | No. cell in in.bark |
|------------------|---|---|---------------|---------------|----------------------|---------------------|
| Good             | Moderately deep long in length (中庸の深さで縦に長し) | Large & flat scale (大きく平たく片状)           | 14.2          | 3.6           | 0.80                 | 13.5                |
| "                | " ( " )                                     | " ( " )                                 | 13.1          | 3.0           | 0.63                 | 10.3                |
| "                | Wide & deep in length (縦に深くて大きい)            | Flat & fibrous (扁平で稍繊維状)                | 17.8          | 2.8           | 0.60                 | 10.0                |
| Moderate         | " ( " )                                     | " ( " )                                 | 17.0          | 2.5           | 0.48                 | 8.8                 |
| "                | Moderate in dep. Short in length (稍深い縦に短い)  | Flat & mod. small in scale (平たく片状で稍小)   | 8.8           | 2.0           | 0.44                 | 6.5                 |
| "                | " ( " )                                     | Nearly fish scale like (鱗片状に近い)         | 5.8           | 1.5           | 0.42                 | 6.4                 |
| Bad              | Shallow & narrow (浅くて狭い)                    | Large scale (大きい鱗片状)                    | 9.5           | 1.3           | 0.25                 | 5.2                 |
| "                | Extremely shal. & narrow (極めて浅く狭小)          | Small scaling (鱗片状で小さい)                 | 7.2           | 1.0           | 0.27                 | 5.8                 |
| "                | Shallow & short in length (浅くて縦に短い)         | Nearly fibrous small splinter (片状で稍繊維状) | 8.4           | 1.7           | 0.26                 | 4.3                 |
| "                | " ( " )                                     | " ( " )                                 | 5.8           | 1.0           | 0.37                 | 5.4                 |

\* Original Japanese expression was remained

大きく長い。形成層部から剝皮した樹皮としてはヒノキ皮の方が強靱で厚く、雨にぬれたときの吸水性は小さく、耐久性に優れているようである。従って、貴重な神社仏閣等の屋根の松皮（ひわだ）葺用或は外囲用に重用される。

## II 平倉演習林におけるヒノキ人工林の現存量調査

### II・1 調査林分

この調査の対象林分は、Fig. 2 に示した通り、三重大学農学部附属演習林（以下、平倉演習林と略称する）の林齢10年（1林班は小班）、15年（9林班は小班）、20年（1林班は小班）、25年（10林班は小班）及び30年（6林班は小班）のヒノキ林分で、各林分に標準地(400m<sup>2</sup>)を設定した。各標準地は、標高600~700mの範囲にあり、斜面の傾斜角は約30°で、いずれも尾根筋に位置し、土壌は褐色森林土に属するが砂礫をかなり含み土層は比較的浅い。なお、平倉演習林（標高513m）における年平均気温は12.4℃、年降水量は2516.9mmを示しており<sup>9)</sup>、暖かさの指数は94.7℃・月である。

### II・2 方法

林齢10年、15年、20年、25年及び30年のヒノキ標準地における毎木調査の資料にもとづき、選定した標準木を地上0.2mで伐倒し、樹幹解析円板の採取位置を基準とする区分ごとの幹、幹の樹皮（以下、樹皮と略称する）、生枝、枯枝、生葉及び枯葉（球果を含む）の6部分の全生重量と、それぞれの区分及び部分の試料生重を現地で測定したのち、各試料の含水率を求め、それらの値から区分別・部分別の全乾重を計算した。また、各標準木の幹及び樹皮の容積は、樹幹解析により求めた。

### II・3 結果と考察

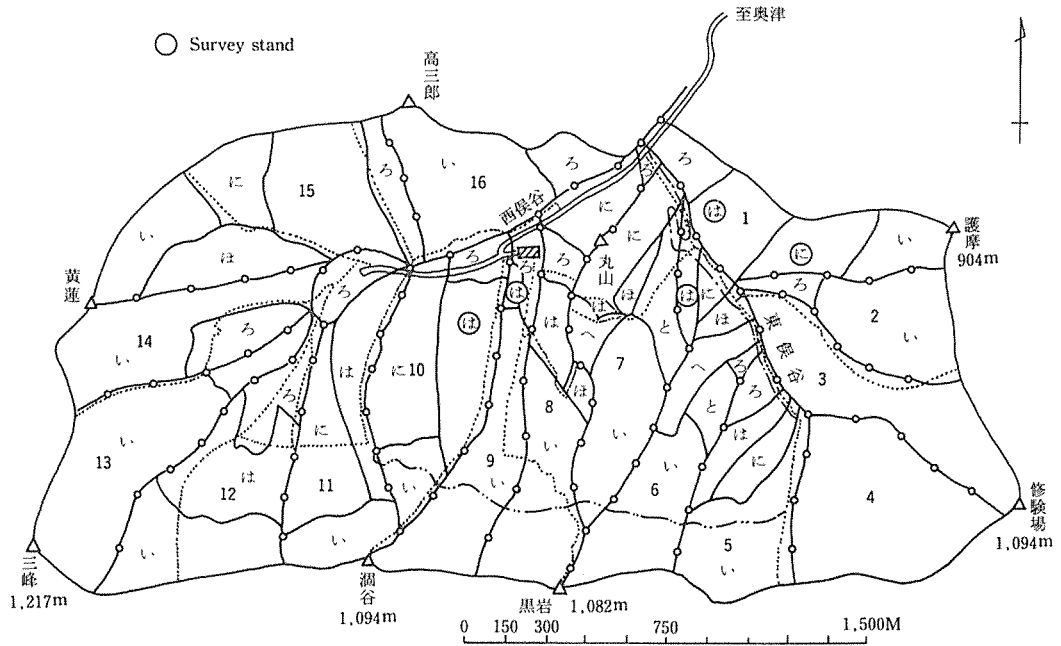


Fig. 2 Surveyed stand in Mie University Forest

Table 3. Dry weight of Hinoki sample tree

| Age(yr)<br>and<br>sample<br>tree | DBH<br>(cm) | H<br>(m) | Dry weight (kg) |       |          |       |        |       |        |
|----------------------------------|-------------|----------|-----------------|-------|----------|-------|--------|-------|--------|
|                                  |             |          | Stem            |       | Branches |       | Leaves |       | Total  |
|                                  |             |          | wood            | bark  | living   | dead  | living | dead  |        |
| 10-A                             | 5.0         | 4.8      | 1.757           | 0.323 | 1.564    | 0.088 | 1.652  | 0.002 | 5.386  |
| 10-B                             | 4.8         | 4.1      | 1.421           | 0.273 | 0.842    | 0.057 | 1.697  | 0.020 | 4.310  |
| Av.                              | 4.9         | 4.5      | 1.589           | 0.298 | 1.203    | 0.073 | 1.675  | 0.011 | 4.848  |
| 15-A                             | 7.5         | 6.2      | 6.655           | 0.869 | 1.944    | 0.058 | 2.905  | 0     | 12.431 |
| 15-B                             | 7.5         | 6.5      | 6.239           | 0.916 | 1.609    | 0.049 | 2.885  | 0.018 | 11.716 |
| Av.                              | 7.5         | 6.4      | 6.447           | 0.893 | 1.777    | 0.054 | 2.895  | 0.009 | 12.074 |
| 20-A                             | 8.5         | 7.8      | 8.490           | 1.694 | 2.465    | 0.334 | 4.933  | 0.011 | 17.927 |
| 20-B                             | 8.2         | 6.9      | 7.548           | 1.371 | 2.341    | 0.270 | 2.966  | 0.009 | 14.541 |
| Av.                              | 8.4         | 7.4      | 8.019           | 1.533 | 2.403    | 0.302 | 3.950  | 0.010 | 16.234 |
| 25-A                             | 12.2        | 10.0     | 22.360          | 2.675 | 3.504    | 1.855 | 4.983  | 0.060 | 35.437 |
| 25-B                             | 12.5        | 10.2     | 24.829          | 2.647 | 3.862    | 1.588 | 5.569  | 0.436 | 38.931 |
| Av.                              | 12.4        | 10.1     | 23.595          | 2.661 | 3.683    | 1.722 | 5.276  | 0.248 | 37.184 |
| 30-A                             | 14.0        | 12.4     | 38.587          | 3.875 | 6.427    | 2.971 | 6.700  | 0.123 | 58.683 |
| 30-B                             | 14.0        | 12.0     | 38.505          | 4.531 | 5.815    | 2.810 | 6.216  | 0.014 | 57.891 |
| Av.                              | 14.0        | 12.2     | 38.546          | 4.203 | 6.121    | 2.891 | 6.458  | 0.069 | 58.287 |

DBH : Diameter breast height, H : Tree height

## (1) 標準木の林齢別・部分別乾重

林齢10年, 15年, 20年, 25年及び30年の標準木の幹, 樹皮, 生枝, 枯枝, 生葉ならびに枯葉の乾重を Table 3 に示した。

各林齢の標準地において, それぞれ2本の標準木を調査したが, 同林齢においても標準木の部分別乾重はやや異なった。これは, 標準木の生育立地条件のちがいによるものと考えられるので, 林齢別・部分別の単木当り平均乾重を求めた。

各林齢の部分別単木平均乾重は, 幹が最も多く, これに続き生葉, 生枝, 樹皮, 枯枝, 枯葉の順で, 枯枝と枯葉を除く4部分の単木平均乾重は, 林齢が大きいくほど多かった。これらのうち幹乾重は, 林齢10年 1.589kg, 15年 6.447kg, 20年 8.019kg, 25年 23.595kg, 30年 38.546kgで, 林齢20年から30年にかけて著しい増加を示したのに対し, 樹皮乾重は, 林齢10年0.298kg, 15年0.893kg, 20年 1.533kg, 25年 2.661kg, 30年 4.203kgとゆるやかに増加した。これは, スギ樹皮の組織生成と同じように, 林年齢が増大しても内樹皮は比例的に増大しないことによるものと考えられる<sup>1)</sup>。

## (2) ha 当りの林齢別・部分別現存量

各林齢における部分別の単木平均乾重とそれぞれの林分における平均立木本数にもとづき求めた現存量を Table 4 に示した。

平倉演習林におけるヒノキ人工林の林齢別の ha 当り総現存量は, 林齢10年 25.3 t, 15年 56.5 t, 20年 72.7 t, 25年 120.8 t, 30年 142.8 t と推定された。これらのうち樹皮現存量は, 上記林齢の順に, 1.5 t, 4.2 t, 6.9 t, 8.6 t, 10.3 t で, 林分樹皮率 (総現存量に対する樹皮現存量の割合) は, それぞれ5.9%, 7.4%, 9.5%, 7.1%, 7.2% となり, 生育環境が劣悪であった20年生林分 (9.5%) を除き, 普通は林齢にかかわらず6~7% と推定され, スギ人工林の林分樹皮率とほぼ同じ値<sup>1)</sup>を示した。

なお, 他地域におけるヒノキ人工林の ha 当り総現存量 (地上部) は, 林齢12年 69.2 t (兵庫県氷上郡山南町)<sup>2)</sup>, 林齢17年 94.4 t (栃木県高原山県有林)<sup>3)</sup>, 林齢20年 77.5~87.2 t (香川県)<sup>4)</sup>,

Table 4. Dry weight biomass of Hinoki stand

| Age (year)         | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mean H (m)         | 4.4   | 6.3   | 6.9   | 10.1  | 12.2  |
| Mean DBH (cm)      | 4.9   | 7.5   | 8.4   | 12.4  | 14.0  |
| Density (tree/ha)  | 5,200 | 4,678 | 4,478 | 3,250 | 2,450 |
| Dry biomass (t/ha) |       |       |       |       |       |
| Stem wood          | 8.3   | 30.2  | 35.9  | 76.7  | 94.4  |
| Stem bark          | 1.5   | 4.2   | 6.9   | 8.6   | 10.3  |
| Branches           | 6.7   | 8.6   | 12.2  | 17.6  | 22.1  |
| Leaves             | 8.8   | 13.5  | 17.7  | 17.9  | 16.0  |
| Total              | 25.3  | 56.5  | 72.7  | 120.8 | 142.8 |
| Bark ratio (%)*    | 5.9   | 7.4   | 9.5   | 7.1   | 7.2   |

DBH : Diameter breast height, H : Tree height

\* : Stem bark/total

Table 5 Stem bark percent of Hinoki sample tree

| Stand age<br>(year) | Sample<br>tree | A<br>(W/W %) | B<br>(V/V %) | C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------|
| 10                  | A              | 18.38        | 13.30        | 81.05                     |
|                     | B              | 19.21        | 16.05        | 65.70                     |
|                     | Av.            | 18.80        | 14.68        | 73.38                     |
| 15                  | A              | 13.06        | 12.33        | 59.16                     |
|                     | B              | 14.68        | 14.98        | 58.51                     |
|                     | Av.            | 13.87        | 13.65        | 58.84                     |
| 20                  | A              | 19.95        | 19.46        | 79.68                     |
|                     | B              | 18.16        | 19.93        | 65.16                     |
|                     | Av.            | 19.06        | 19.69        | 72.42                     |
| 25                  | A              | 11.96        | 10.63        | 47.73                     |
|                     | B              | 10.66        | 10.26        | 45.02                     |
|                     | Av.            | 11.31        | 10.44        | 46.37                     |
| 30                  | A              | 10.04        | 12.07        | 41.68                     |
|                     | B              | 11.77        | 13.65        | 50.58                     |
|                     | Av.            | 10.90        | 12.86        | 46.13                     |

A ; Bark dry weight/stem dry weight, B ; Bark volume/stem(with bark) volume,  
C ; Bark dry weight/stem(with bark) volume

林齢30年 141.0 t (滋賀県蒲生郡日野町)<sup>10)</sup>となっているが、樹皮量についてはいずれも不明である。

### (3) ヒノキの幹の樹皮率

前項で述べたように、本調査の範囲では、ヒノキ人工林における林分単位の樹幹樹皮率 (ha・総現存量当りの樹幹樹皮量)は、すでに報告したスギ人工林<sup>1)</sup>の場合と同様、林齢によらず、ほぼ一定であった。すなわち、立地条件が他と異なると思われる林齢20年の林分を除き、他の林分の樹幹樹皮率が6~7%程度と見積られ、この数値もまた、前報のスギ人工林の場合と、同程度であった。

このような林分単位の樹幹樹皮率に対して、Table 5 に示したように単木樹幹部の樹皮率は、林齢の増加に伴なって減少する傾向にある。林齢15年と20年とでは、その樹幹樹皮率の順位に逆転がみとめられるが、全体としては、スギ人工林の場合と同様に、幹の乾重によっても、その容積にもとづいても、林齢が進むにつれて、樹幹樹皮率は低下する傾向にある。しかし、それらの低下割合は、乾重にもとづく場合、10~30年でヒノキ42%、スギ25%、容積を基準にすると、ヒノキ13%、スギ54%などと、スギ、ヒノキ両樹種間に、いちじるしい差異があった。これは、樹皮の厚さ、比重などの林齢に伴う変化が、両樹種間でかなり異なることを示すものと推察される。

ヒノキの単木樹幹部の樹皮率は、同齢のスギの場合に比較して、いずれの林齢においても大きな数値であった。例えば、乾重にもとづいて計算された樹皮率では、10年生のヒノキの場合約19%であったのに対して、同齢のスギでは、約12%、さらに30年生では、ヒノキ約11%に対して、ス

ギは約9%程度であった。

また、容積にもとづいた樹皮率でも、10年生のヒノキで約15%、30年生で約13%であったのに対して、同齡のスギでは、それぞれ約13%、5%である。このような、両樹種間における、樹幹樹皮率のちがいは、乾重による場合には、低林齡で、容積にもとづく場合には高林齡で、いちじるしかった。

#### (4) 樹幹樹皮・幹（皮なし）・葉・枝などの量と胸高直径との間の相対成長関係

林木の各部位の相互間にみられる相対成長関係は、林分のバイオマス現存量を推定するための基礎的資料となる。平倉演習林におけるヒノキ人工林から得られた標準木の幹（皮なし）・葉・枝の乾重と胸高直径との間では Fig. 3 に示す相対成長則がみとめられ、下記の回帰式が得られた。

$$\text{幹} : \text{Log } Y_1 = -1.828 + 2.965 \text{ Log } X \quad (r^2 = 0.996)$$

$$\text{葉} : \text{Log } Y_2 = -0.630 + 1.259 \text{ Log } X \quad (r^2 = 0.935)$$

$$\text{枝} : \text{Log } Y_3 = -0.853 + 1.353 \text{ Log } X \quad (r^2 = 0.903)$$

ここで、 $Y_i$ は、それぞれの部位の乾重 (kg)、 $X$ は胸高直径 (cm)

このような関係はまた、単木の樹幹樹皮量と胸高直径との間にもみとめられ、次に示す回帰式が得られた (Fig. 4)。

$$\text{樹幹} : \text{Log } Y_4 = -1.164 + 2.428 \text{ Log } X \quad (r^2 = 0.975)$$

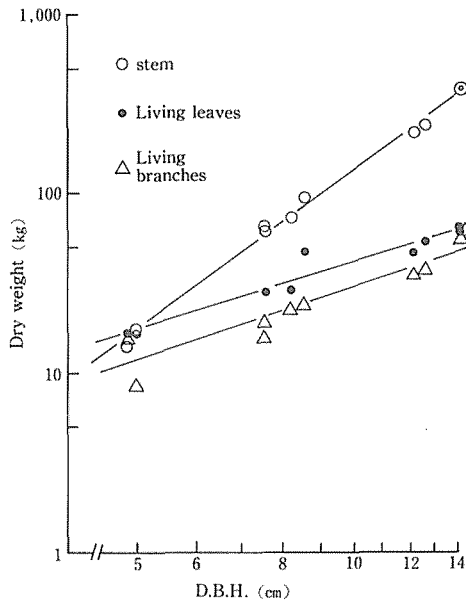


Fig. 3 Allometric relation between D.B.H. and dry weight of stem, leaves and branches of Hinoki sample tree.

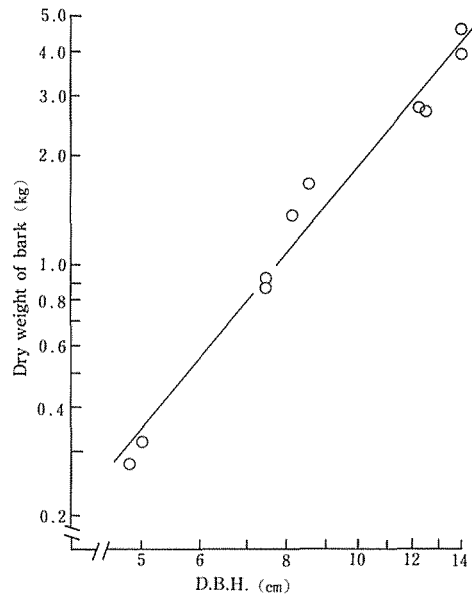


Fig. 4 Allometric relation between D.B.H. and dry weight of bark of Hinoki sample tree.



## III ヒノキ樹皮の物理化学的性質及び成型性

## III・1 方 法

林齢毎に抽出したヒノキ標準木樹幹部の含水率、容積密度数を測定したのち、地上高1.2~3.2 mの幹の樹皮について、含水率、内樹皮率、粉碎性、溶媒抽出率及び圧縮成型性などを次に示す方法で測定した。

内樹皮率：気乾樹皮をカッターナイフで内・外樹皮に分離後乾燥し、絶乾時における内・外樹皮全重量に対する内樹皮重量の比率で表示した。なお、試料量は20 g前後とした。

粉碎性：長さ50mm、幅約30mmに切断した気乾樹皮をウィレー・ミルまたはボール・ミルで粉碎し、タイラー標準篩で粒度分布を測定した。

温水及び1% NaOH 抽出率：ウイレー・ミル粉碎気乾樹皮約1 gに100mlの温水または1% NaOH 溶液を加え、沸騰水中でそれぞれ3時間及び1時間加熱処理後、木材分析法に従って各抽出率を算出した。

成型性：ウイレー・ミルで微粉化した気乾粉碎試料40 gを、予備加熱した直径100mmのシリンダー型成型用治具に均一に散布し、所定温度に調整したホット・プレスで加圧し約5 mm厚さの成型板を作製した。成型板の内部結合力から樹皮の成型性を類推するため、6 cm平方の試検片の両面をサンディングしたのちポリオレフィン系ホットメルト型接着剤(セメダインKK製HM-320 S)を用いて強度試験用治具に接着し、平面引張り強さを測定した。

## III・2 結 果

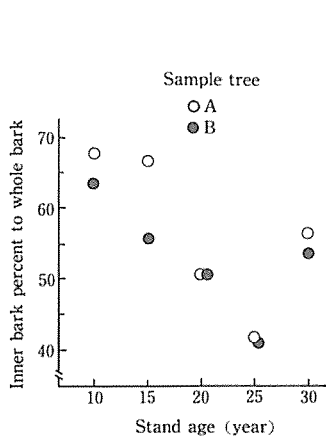


Fig. 5 Variation in the thickness ratio of the inner bark to the whole bark of the stem by the stand age classes.

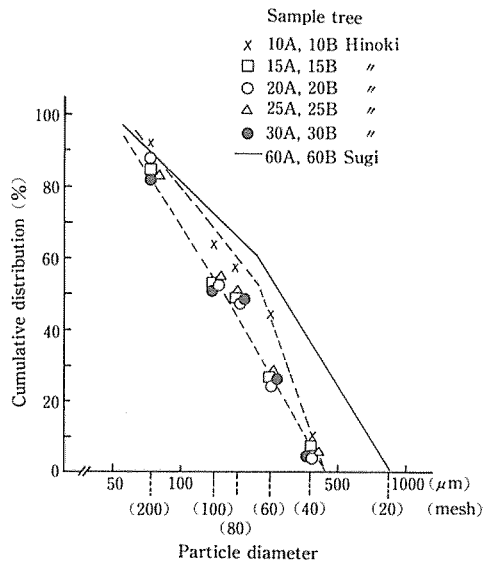


Fig. 6 Cumulative distribution of particle diameter for the powder of the stem barks ground by a wiley mill.

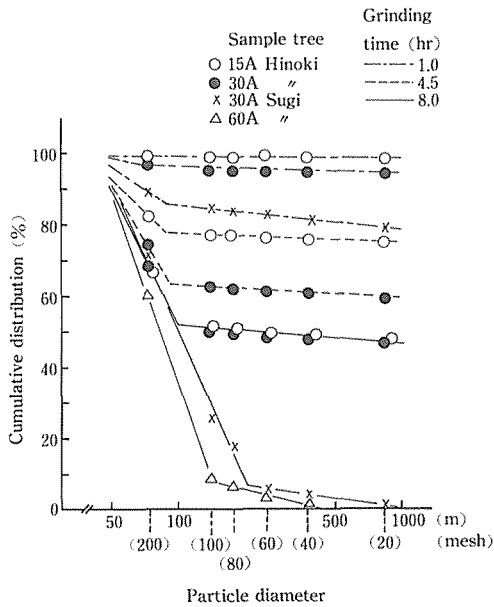


Fig. 7 Cumulative distribution of particle diameter for the powder of the stem barks ground by a porcelain mill.

樹皮を利用するうえでの基本資料として重要な内樹皮率を Fig. 5 に示す。気乾樹皮の含水率は約15%，内樹皮率は42～68%の範囲であって樹齢によって異なりスギ樹皮より僅かながら高い数字を示した。

原料樹皮の粉碎性を，破碎様式の異なる二種類の粉碎機を用いて検討し，スギ樹皮の結果<sup>1)</sup>と比較した。Fig. 6 はウイレー・ミルによって粉碎した気乾樹皮碎製物の粒度分布である。スギ樹皮同様，粒径250 $\mu$ m (60 mesh ふり) 附近に変曲点を認めることができるが，その程度は大きくなく，またスギ樹皮より易粉碎性であった。すなわち，林齢15年以上の樹皮碎製物に含まれている250 $\mu$ m 以上の粗碎物は約25%，149 $\mu$ m (100 mesh ふり) 以下の細碎物は約50%であり，スギ樹皮(粗碎物；50%，細碎物；

35%) より微粉化されていた。上記のカッター型粉碎機と破碎様式の異なるボール・ミルによる結果を Fig. 7 に示したが，長時間処理しても内樹皮部分の粉碎は極めて困難であった。一方，スギ樹皮はボール・ミル粉碎は極めて容易であり，8時間処理によって90%が149 $\mu$ m 以下の細碎物

Table 6. Extractives content of the stem bark (oven-dry base)

| Stand age (years) | Sample tree | Soluble in    |            |
|-------------------|-------------|---------------|------------|
|                   |             | hot-water (%) | 1%NaOH (%) |
| 10                | A           | 17.50         | 47.42      |
|                   | B           | 20.72         | 48.36      |
|                   | Av.         | 19.11         | 47.89      |
| 15                | A           | 19.81         | 51.46      |
|                   | B           | 15.79         | 44.54      |
|                   | Av.         | 17.80         | 48.00      |
| 20                | A           | 13.25         | 42.40      |
|                   | B           | 17.22         | 43.26      |
|                   | Av.         | 15.24         | 42.65      |
| 25                | A           | 12.41         | 49.75      |
|                   | B           | 12.89         | 46.26      |
|                   | Av.         | 12.65         | 48.00      |
| 30                | A           | 13.74         | 43.57      |
|                   | B           | 14.56         | 42.73      |
|                   | Av.         | 14.15         | 43.15      |

となる。これらの挙動は樹皮の靱性、粘着性に関係あるものであるが、樹種、含水率、粉碎目的によって適当な機種及び粉碎様式を選定することが極めて重要であることを示唆している。

気乾粉末樹皮の溶媒抽出率を Table 6 に示す。温水抽出率は12.4~20.7%であり、幼齡樹になるほど抽出物含有量は大となる傾向がある。また1% NaOH 抽出率は42.4~51.5%であって、ヒノキ樹皮の溶媒抽出率は、スギ樹皮(温水抽出率:4.3~14.5%, 1% NaOH 抽出率21.3~28.7%)の2~3倍であった。温水には低分子の糖、有機酸及び低分子の多価フェノールが、NaOH 水溶液には温水可溶成分のほかに比較的高分子の酸性物質、ポリフェノール類も可溶化することから、ヒノキ樹皮はスギよりも加熱・加圧処理による成型性に優れているものと期待される。しかし、同一樹齡における個体差が大きかったため、実際利用上各試料の物理的、化学的性質の差違に留意する必要がある。なお、温水抽出物の pH は4.0~4.4であり、僅かながらスギ樹皮より酸性度は高かった。

樹皮固型化の基礎的資料をうるため、気乾粉碎試料から作製した成型板の平面引張り強さを内部剝離抵抗値とし、成型性の難易を検討した。予備試験の結果、成型温度は200℃とし、初期成型圧25または50kg/cm<sup>2</sup>で5分間予備圧縮したのち、10kg/cm<sup>2</sup>で所定時間圧縮する二段成型法で検討することとした。スギ気乾樹皮粉末を用いて実施した適正成型時間選定試験の結果を Fig. 8 に示し

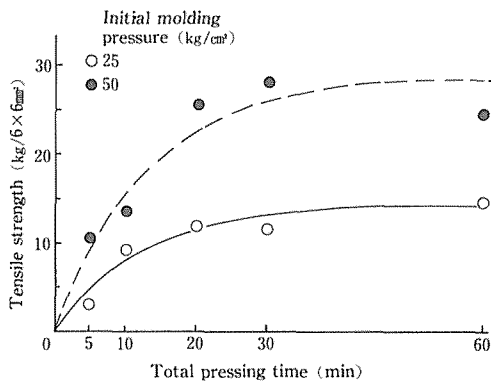


Fig. 8 Effect of the molding time at 200°C on the tensile strength of the Sugi bark boards.

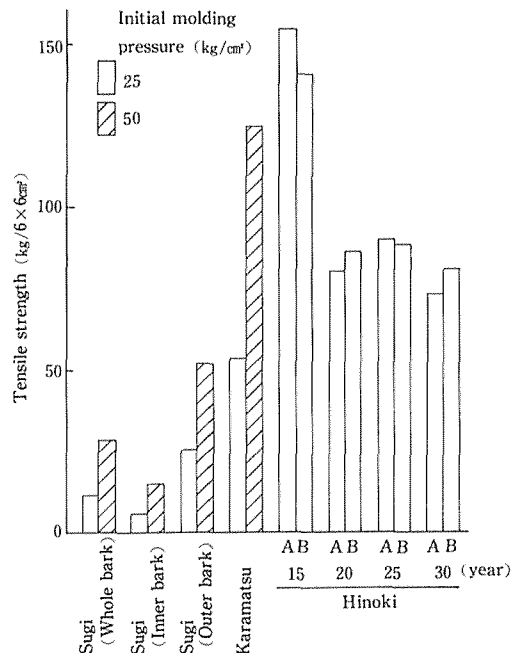


Fig. 9 Tensile strength perpendicular to the surface of the boards made from various bark powders. (Molding condition; 200°C - 30min.)

たが、両初期成型圧とも全成型時間20分でほぼ一定の内部剥離抵抗値となるため、200℃-30分の一定条件を標準として各種樹皮の成型性を比較した。Fig. 9 は標準条件でえられた各種成型板の内部剥離抵抗値である。スギ樹皮は、供試樹皮中最も加圧成型性におとるといえるが、外樹皮部分の強度に対する寄与率は高く、また内樹皮率(60.81%)と内・外樹皮の剥離抵抗値とから未分別樹皮と両部位分別試料との間に加成性が認められた。一方、ヒノキ樹皮はスギ、カラマツよりも成型性にすぐれており、加圧成型法による固型化が容易であることが示唆された。但し、平面引張り強さ測定のために用いたポリオレフィン系ホットメルト接着剤の凝集力が小さいため、内部剥離抵抗の判定が困難であり、更に本試験目的に適した強度試験用接着剤の選定が必要と思われる。なお、スギ樹皮を試料とした巻き圧縮式連続成型化による固型化は不可能であること、及びローラ・ダイ式成型は期待がもたれるなどの結果もえられた。

以上の諸結果から、スギ及びヒノキ樹皮の粉碎特性に大きな相違があること、またヒノキ樹皮はスギ樹皮よりも抽出成分含有量が多くポリフェノールに富んでいると推定され、加熱・加圧方式による成型性に優れているものと結論づけられる。

#### IV ヒノキ樹皮の熱的性質

##### IV・1 方 法

###### (1) 熱 分 析

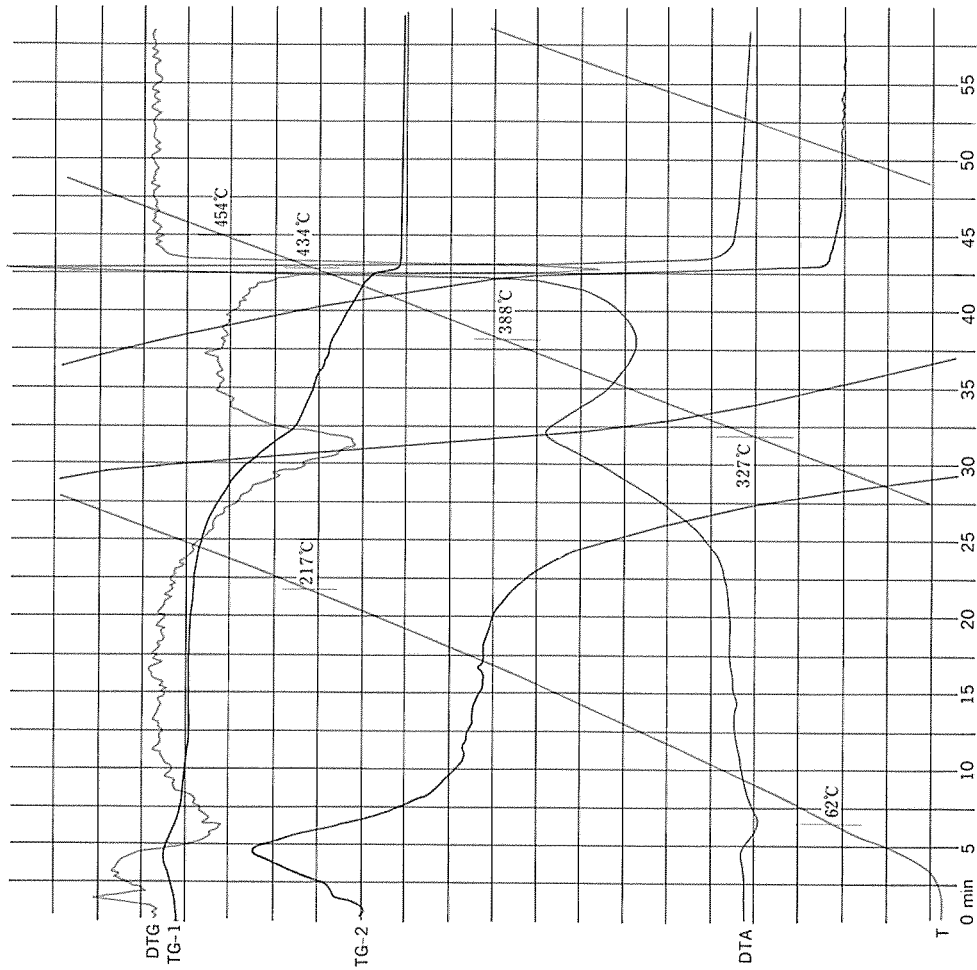
林齢30年生林分のA標準木(30-A)の樹幹解析用円板に着いていた樹皮を室内乾燥後ウイレー・ミル(12メッシュ丸孔ふるい付)によって得た碎製物を更に振動式試料粉碎機(平工製作所)にかけた微粉(80メッシュ通過)を試料(気乾)とした。又、樹高階層別のバイオマス調査試料の一部を、15年生林分A標準木について、剥皮した生枝及び生葉についても樹幹樹皮と同様に、気乾-粉碎-微粉碎して試料とした。

熱分析はメトラーサーモアナライザーI型を用い、試料量約3mgを白金ルツボ(底径3.2mm, 高4.0mm, 容積33mm<sup>3</sup>)の底に均等に入れ、強制流を伴わない静的空気中で600℃まで、10℃/minの昇温で実施した。ヒノキ30-A 7.2m高さの樹皮についての一例をFig. 10に測定チャート(T, TG, DTG, DTA 同時測定)をもって示す。

###### (2) 熱量測定

各林齢の標準木の地上1.2~3.2mの間の部分の樹幹樹皮を風乾後、ウイレー・ミルによって粉碎した碎製物(気乾)について発熱量を測定した。温水抽出樹皮は前章(III)の温水抽出量(3時間抽出)を測定した残渣樹皮粉で、気乾状態である。又、前項(1)のヒノキ30-Aの樹幹解析用円板について、微粉化前のウイレー・ミル碎製物(気乾)についても発熱量を測定した。

熱量の測定方法はスギ樹皮<sup>1)</sup>の場合と同様であるが、概説すると、試料及び雁皮紙の重量は0.1mgまで正確に秤量した。気乾樹皮粉(含水率既知)を毎回数百mg用い、燃研式断熱熱量計(吉田製作所)を使用し、燃焼ポンプの酸素圧30kg/cm<sup>2</sup>とし、上昇水温はベックマン温度計を用い、0.001℃



Thermo-analytical experiment No. 18

Date : Nov. 16, 1983 Start : 9 : 46 AM  
 Finish : 10 : 46 AM  
 Barometer reading : \_\_\_\_\_  
 Graph No. : No. 18  
 Substance : Hinoki bark, 30 A 7.2m  
 Substance remainder : \_\_\_\_\_  
 Weight of crucible with substance : 1.6313 g  
 Colour : \_\_\_\_\_  
 Weight of crucible empty : 1.63005 g  
 Placed in ampoule no. : \_\_\_\_\_  
 Weight of substance : 0.00308 g  
 Crucible material : Pt  
 Shape : normal  
 for TG : 93528  
 Capacity : 33mm<sup>3</sup>  
 for DTA : \_\_\_\_\_  
 Atmosphere : ambient  
 Flow velocity : \_\_\_\_\_  
 Vacuum system : \_\_\_\_\_  
 Pre-vacuum : \_\_\_\_\_  
 High vacuum : \_\_\_\_\_  
 Coolant : \_\_\_\_\_  
 Recorder chart speed : 240mm/h  
 Type of furnace : Middle Range Furnace  
 Heating rate : 10°C/minute  
 TG TG-1 : 10mg  
 Temperature/isotherms : 25°C Range TG-2 : 1mg  
 Test top temperature : \_\_\_\_\_  
 Cold junction temperature : 25°C  
 DAT %  
 Range : 1.0mg/minute  
 Reference substance :  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 Quantity : 0.01289 g  
 Remarks : \_\_\_\_\_

Fig. 10 Thermoanalytic curves for Hinoki stem bark flour

まで読んだ。燃焼ポンプを没する内筒の水量は2,100 gとし、0.5 gまで測った。燃焼ポンプ系(点火ニッケル線を含む)の水当量(g)は熱量測定用の安息香酸を用いて求めた588 gを計算に用いた。発熱補正はその回の測定に用いた雁皮紙の重量に基づき行った。水の比熱を1 (cal/°C・g)として、次式によって、絶乾試料の発熱量の計算を行った。

$$\text{発熱量(cal/g)} = \frac{[\text{水当量(g)} + \text{内筒水量(g)}] \times \text{上昇水温(°C)} \times \text{水の比熱(cal/°C} \cdot \text{g)} - \text{発熱補正(cal)}}{\text{絶乾試料量(g)}}$$

#### IV・2 結果と考察

##### (1) 熱分析

Fig. 10 にみられる如く、10°C/min の昇温プログラムで加熱を開始すると、試料を保持した天秤系の雰囲気温度が上昇して、空気の密度が減少し、従って浮力を減ずることによりTG(熱重量測定, Thermogravimetry)曲線に見掛上の重量増加が認められ、次いで、用いた気乾試料に対し約9~10%の吸着水分の放散に伴う吸熱ピークが55~65°Cの範囲に認められ、引続き、抽出成分を始めとし炭水化物、リグニン等の主要組成成分の熱分解反応により、フラグメントが飛び出し約51%の重量を失いつつ残留物の炭素・骨格化(炭化)が進行し、420~450°C附近で熱分解生成物に着火し、燃焼に伴う鋭いピークをもつ発熱反応が観測され、その際約28%の重量減少を示し、熱分解を概ね完了し、その後、600°Cまでに僅かの残留炭素や灰分の組成変化による極めて緩慢な重量減少を記録し数%の灰分を残して終了する。しかし、ヒノキ生葉の気乾試料はこの燃焼に伴う主反応がやや低温側の420~430°Cに移り、残留した高次の炭化物、或は灰成分の変化に伴う小さい発熱が460~470°Cに第3のピークとしてみられる。

これらの熱分解反応をDTA曲線のピークを中心に、高さ別の樹皮、生枝、生葉について Table 7. に総括した。

##### (2) 発熱量

ヒノキ無処理ならびに温水抽出樹皮粉について、それぞれ2回ずつ熱量を測定し、その平均を

Table 7. DTA characteristics for Hinoki stem bark, twigs, and leaves

| Sample from             | Sample tree | Height (m) | Sample wt. (mg) | Endthermic peak (°C) | 1st exothermic (°C) |         | 2nd exoth. (°C) |         | 3rd exoth. (°C) |         |        |
|-------------------------|-------------|------------|-----------------|----------------------|---------------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|--------|
|                         |             |            |                 |                      | begin at            | peak at | lowest          | peak at | lowest          | peak at | end at |
| Stem-bark               | 30-A        | 0.2        | 2.95            | 65                   | 211                 | 330     | 395             | 451     | —               | —       | 509    |
|                         |             | 1.2        | 3.27            | 64                   | 203                 | 325     | 379             | 435     | —               | —       | 473    |
|                         |             | 3.2        | 2.98            | 64                   | 205                 | 323     | 378             | 431     | —               | —       | 485    |
|                         |             | 5.2        | 3.11            | 63                   | 202                 | 325     | 375             | 429     | —               | —       | 463    |
|                         |             | 7.2        | 3.08            | 62                   | 217                 | 327     | 388             | 434     | —               | —       | 454    |
|                         |             | 9.2        | 3.19            | 60                   | 206                 | 324     | 375             | 412     | —               | —       | 456    |
| Lived twig without bark | 15-A        | 3.2-5.2    | 2.46            | 57                   | 227                 | 331     | 388             | 447     | —               | —       | 480    |
|                         |             | 5.2-6.2    | 3.21            | 62                   | 219                 | 328     | 387             | 441     | —               | —       | 478    |
|                         |             | 6.2-       | 2.64            | 55                   | 213                 | 327     | 382             | 440     | —               | —       | 482    |
| Lived leaves            | 15-A        | 3.2-5.2    | 2.45            | 55                   | 210                 | 324     | 382             | 422     | 453             | 465     | 494    |
|                         |             | 5.2-6.2    | 2.88            | 55                   | 210                 | 323     | 384             | 427     | 459             | 468     | 507    |
|                         |             | 6.2-       | 2.80            | 55                   | 209                 | 322     | 383             | 429     | 458             | 472     | 493    |

Table 8. Heat values of the stem bark for Hinoki and Sugi in the different age stands

| Age (yr)<br>and<br>Sample<br>tree | Hinoki       |                | Sugi         |                |             |        |
|-----------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|-------------|--------|
|                                   | Whole bark   |                | Whole bark   |                | Out. b      | Inn. b |
|                                   | Un-<br>ext'd | Hot-w<br>ext'd | Un-<br>ext'd | Hot-w<br>ext'd | Unextracted |        |
| 10-A                              | 4,996        | 4,879          | 4,796        | —              | 4,946       | 4,729  |
| 10-B                              | 4,811        | 4,717          | 4,845        | —              | —           | —      |
| 10-C                              | —            | —              | 4,772        | —              | —           | —      |
| Av.                               | 4,903        | 4,798          | 4,804        | —              | —           | —      |
| 15-A                              | 5,082        | 4,907          | —            | —              | —           | —      |
| 15-B                              | 5,029        | 4,850          | —            | —              | —           | —      |
| Av.                               | 5,055        | 4,879          | —            | —              | —           | —      |
| 20-A                              | 5,103        | 4,942          | 4,825        | —              | 4,895       | 4,540  |
| 20-B                              | 4,979        | 4,832          | 4,744        | —              | —           | —      |
| Av.                               | 5,041        | 4,887          | 4,785        | —              | —           | —      |
| 25-A                              | 5,029        | 4,897          | —            | —              | —           | —      |
| 25-B                              | 4,977        | 4,866          | —            | —              | —           | —      |
| Av.                               | 5,003        | 4,881          | —            | —              | —           | —      |
| 30-A                              | 4,999        | 4,855          | 4,832        | —              | 4,947       | 4,472  |
| 30-B                              | 4,941        | 4,758          | 4,868        | 4,676          | —           | —      |
| Av.                               | 4,970        | 4,811          | 4,850        | —              | —           | —      |
| 40-A                              | —            | —              | 4,956        | 4,763          | 4,942       | 4,721  |
| 40-B                              | —            | —              | 4,797        | 4,691          | —           | —      |
| Av.                               | —            | —              | 4,877        | 4,727          | —           | —      |
| 60-A                              | —            | —              | 4,906        | 4,678          | 4,982       | 4,670  |
| 60-B                              | —            | —              | 4,961        | 4,849          | 4,895       | 4,728  |
| Av.                               | —            | —              | 4,933        | 4,763          | 4,938       | 4,699  |

もってその標準木の発熱量とし、各林齢の2本について Fig. 11 の矢の両端に示し、その中央を通る滑めらかな曲線を引いた。

スギ樹皮においては、発熱量は若齢木樹皮の4,800 cal/g から成熟木(60年生)樹皮の4,930 cal/g まで林齢とともに増加したが、今回測定の30年生までのヒノキ樹幹樹皮では15~20年生林分に最高の5,040~5,050 cal/g がみられた。従って、同林齢のスギ樹幹樹皮に比し、100 (10年生)~250 (20年生) cal/g 高い値となった。一般に、ヒノキ樹幹樹皮はスギ樹幹樹皮に比し発熱量は高いが、スギ樹幹樹皮も60年生となると4,933 cal/g となりヒノキ樹皮との差は小さくなる (Table 8)。

スギ樹皮と同様、温水抽出することによって潜在熱量は明らかに大きく低下する。野積して雨露にさらすと急激(1~4月内)に熱量の減少を来すことが広葉樹チップ樹皮<sup>11)</sup>について報告されている。

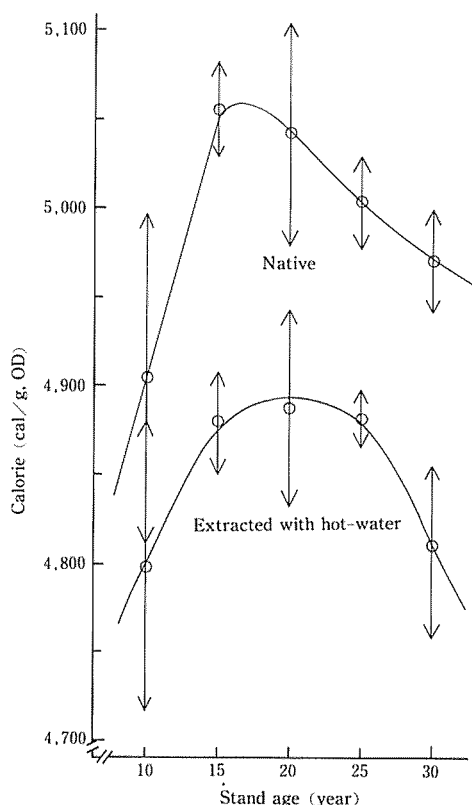


Fig. 11 Heat values for Hinoki stem bark in different stand ages

Table 9. Calorie variation of the stem bark in tree height for Hinoki and Sugi (cal/g, OD)

| Height m | Hinoki 30yr-A | Sugi 40yr-A |
|----------|---------------|-------------|
| 0.2      | 4,882         | 4,778       |
| 1.2      | 4,841         | 4,802       |
| 3.2      | 4,907         | 4,796       |
| 5.2      | 4,868         | 4,798       |
| 7.2      | 4,821         | 4,776       |
| 9.2      | 4,891         | 4,703       |
| 11.2     | —             | 4,706       |
| 13.2     | —             | 4,719       |
| 15.2     | —             | —           |
| 16.2     | —             | 4,679       |

ヒノキ30-Aの樹幹樹皮の地上高による発熱量の違いを Table 9 に示したが、スギ樹幹樹皮では全樹高の中間位(枝下高)までは余り変わらないが、それより上では樹高とともに減少する傾向のようである。ヒノキ樹幹樹皮については30年生までの幼齡林分の調査の関係から明瞭な傾向はみられなかった。

## V ま と め

上記結果からヒノキ人工林における樹皮潜在熱量を推定し、Table 10 に示した。

平倉演習林におけるヒノキ人工林の林齢別樹皮潜在熱量は、10年 7.35, 15年 21.23, 20年 34.78, 25年 43.03, 30年 51.19, それぞれ $\times 10^6$ kcal/ha と推定され、林齢30年では、同齡のスギ人工林樹皮潜在熱量 ( $47.23 \times 10^6$ kcal/ha) よりやや多く、また、樹皮発熱量はスギに比べヒノキが約200 kcal/kg高かった。このほか、前述の通り、ヒノキ樹皮はスギ樹皮に比較し、樹幹部の樹皮率が大きく、ワイラー・ミルによる粉砕が容易で、抽出成分含有率が高く加圧成型性にすぐれ、固型燃料化に適した材料であると考えられる。

Table 10 Potential calorific value of stem bark for Hinoki stand

| Age (year) | Calorific value of stem bark (kcal/kg) | ( $10^6$ kcal/ha) |
|------------|--|-------------------|
| 10         | 4,903                                  | 7.35              |
| 15         | 5,055                                  | 21.23             |
| 20         | 5,041                                  | 34.78             |
| 25         | 5,003                                  | 43.03             |
| 30         | 4,970                                  | 51.19             |



## 要 約

森林未利用資源の一つである樹皮の成型燃料化を図り、ローカルエネルギーとして活用するために、樹皮の現存量及び諸性質に関する一貫した基礎研究を三重大学農学部附属平倉演習林のヒノキ人工林において実施した。その結果は以下の通りである。

### 1 ヒノキ樹皮の現存量

(1) 各林齢における標準木の樹皮平均乾重は、10年 0.298kg, 15年 0.893kg, 20年 1.533kg, 30年 4.203kgであった。

(2) 林齢別の標準木樹皮平均乾重及び ha 当り立木本数にもとづく ha 当り樹皮現存量は、10年 1.5 t, 15年 4.2 t, 20年 6.9 t, 25年 8.6 t, 30年 10.3 tと推定され、生育環境が劣悪であった20年生林分を除く林齢別樹皮現存量は、総現存量の6～7%を占め林齢にかかわりなくほぼ一定であった。

(3) 樹幹部の樹皮率は、上記林齢の順に、乾重比では、18.8%, 13.87%, 19.06%, 11.31%, 10.90%, 容積比では、14.68%, 13.65%, 19.69%, 10.44%, 12.86%, 対樹幹容積重量比では、73.38kg/m<sup>3</sup>, 58.84kg/m<sup>3</sup>, 72.42kg/m<sup>3</sup>, 46.37kg/m<sup>3</sup>, 46.13kg/m<sup>3</sup>であった。

(4) ヒノキ標準木の幹・葉・枝・樹皮の乾重と胸高直径との間にはっきりとした相対成長則がみとめられ、樹幹樹皮量と胸高直径との間には、 $\text{Log } Y_4 = -1.164 + 2.428 \text{ Log } X$  ( $r^2 = 0.975$ ) の関係式を得た。

### 2 ヒノキ樹皮の物理化学的性質及び成型性

(1) ヒノキ樹幹樹皮の内樹皮率は林齢によって変化しているが、樹高1.2～3.2mの部位の内樹皮率は42～68%であり、スギ樹皮より僅か高い数値を示した。ヒノキ樹皮の粉碎性は使用粉碎機の機種によって異なり、ウイレー・ミルではスギ樹皮より微粉化しやすかったが、ボール・ミルでは極めて困難であった。

(2) ヒノキの気乾樹皮粉末の温水及び1% NaOH 抽出率はそれぞれ12.4～20.7%及び42.5～51.5%であり、スギ樹皮の場合の約2～3倍であった。また pH は4.0～4.4の範囲にあってスギ樹皮より僅か強い酸性度を示した。

(3) 樹皮の成型性を推定するため、スギ、ヒノキ及びカラマツのウイレー・ミル粉碎樹皮から成型板を製造し、それぞれの平面引張り強さを測定した。その結果、抽出物含量の高かったヒノキ及びカラマツ樹皮の成型性がスギ樹皮より優れていること、及びスギ樹皮成型板の強度に対するスギ外樹皮部の寄与率が高いことが示された。

### 3 ヒノキ樹皮の熱的性質

(1) ヒノキ樹幹樹皮・剥皮した生枝・生葉の気乾微粉末(80メッシュ通過)を毎回、2～3mg用いて空気中で600℃まで10℃/minで昇温し、熱分析(T, TG, DTG, DTA同時記録)を行った。

a) 試料に吸着していた水分の蒸散によって60℃辺りにピークをもつ吸熱曲線(DTA)がえ

られ、約10%の重量減少(TG)を記録した。

b) 200°C附近から熱分解が始り320~330°Cを中心とする第1の発熱ピークがD A Tにみられ、約50%の重量減少を来たし、同時に残留物の炭化が進行する。

c) 第1の発熱ピークをもつD T A曲線は380°C附近から第2の発熱反応に転じ、急激な、時に燃焼を伴う、発熱反応を示し、420~450°Cにピークが現れ、この間に30%前後の重量減少がみられ、500°Cで概ね熱分解を終了し、数%の灰を残す。

d) ヒノキ生葉の粉末においては、第2ピークが420~430°Cにみられ、その終り頃に第3の小さい発熱ピークが465~470°Cに現われ、500°Cで終了する。

幹の上部の若い樹皮は熱分解がやや低温域より始まる。又、未成熟材である生枝は、熱分析曲線よりみる限りその熱分解は樹皮と殆んど変わらない。

(2) 地上高1.2~3.2m間の樹幹樹皮のワイレー・ミルによる砕製物(気乾)について、断熱熱量計によって発熱量を測定し、絶乾試料1g当りの値(cal/g)に換算した。

a) 調査した10~30年生ヒノキ樹幹樹皮については4,900~5,055 cal/gで同林齢のスギ樹皮より100~250 cal/g高かった。最高は15~20年生の樹皮にみられ5040~5055 cal/gであった。

b) 温水抽出によって13~19%に及ぶ或種の組成成分が失われ、明らかに原樹皮より林齢に関係なく、約150 cal/g程度の熱量を低下する。

c) ヒノキ30年生A標準木の樹幹樹皮の地上高による熱量分布についてはスギ樹幹樹皮におけるような一般的な傾向は見出せなかった。

## 引用文献

- 1) 島地岩根・吉村 貢・阿部 勲・武田明正・スギ(*Cryptomeria japonica* D. DON.) 樹皮の燃料資源的基礎研究, 三重大演報**12**, 1~25, 1983
- 2) 三好東一・高倉己三郎, 樹皮の構造に関する二, 三の考察, 日林誌, **17**, 577~594, 1935
- 3) 伊東隆夫・林昭三・貴島恒夫, Cambial Activity and Radial Growth in Sugi Trees (Japanese Cryptomeria) Wood Research. No.45, 23~35, 1968
- 4) 南光浩毅, 樹皮の構造—特に厚壁細胞について—, 木材工業 **37**, 3~8, 1982
- 5) 重松頼生, 針葉樹樹皮の構造に関する研究, 学位論文, 京農図166号, pp 93+写30 1965
- 6) 島地岩根・岡野 登・久保文良・岡野 久, 松本 清・日置 隆・日置忠司・谷郷政士・宮本成夫・久保チエル・田川美和子, 三重大学農学部附属平倉演習林気象報告 自1961年~至1980年, 三重大演報 **12**, 41~58, 1983
- 7) 河原輝彦・山本久仁雄, ヒノキ・アカマツ混交林に関する研究(I) 物質生産と分解速度について, 日林誌 **64**(9), 331~339, 1982
- 8) 河原輝彦・只木良也・竹内郁雄・佐藤 明・樋口国雄・加茂皓一, ブナ天然林とヒノキ人工林の物質生産とその循環, 日生態会誌 **29**(4), 387~395, 1979
- 9) 宮本倫仁・安藤 貴・谷本丈夫, 四国地方におけるヒノキ人工林の成長解析, 林試研報 **309**, 89~107, 1980
- 10) 山倉拓夫・斎藤秀樹・四手井綱英, ヒノキ人工林の物質生産の検討, 京大演報 **43**, 106~123, 1972
- 11) M.S. White・M.L. Cartis・R.L. Sarles and D.W. Green, Effects of outside storage on the energy potential of hardwood particulate fuels: Part II. Higher and net heating values, F.P.J. **33** No. 11/12, 61~65, 1983

## Summary

For the utilization of the stem bark of Hinoki as a local energy, a fundamental study of the biomass, and the physicochemical nature and thermal quality of the stem bark was carried out in Mie University Forest.

### 1. Dry biomass of Hinoki stem bark

(1) Mean dry weight of the stem bark for the Hinoki sample tree in the 10, 15, 20, 25 and 30 year stands were 0.298, 0.893, 1.533, 2.661 and 4.203kg.

(2) The biomass of the stem bark to the total in a unit area (ha) in each stand was 1.5t/25.3t in the 10 year, 4.2t/56.5t in the 15, 6.9t/72.7t in the 20, 8.6t/120.8t in the 25 and 10.3t/142.8t in the 30 year Hinoki stand; the percentages were 5.9, 7.4, 9.5, 7.1 and 7.2%, respectively.

The bark ratios for Hinoki stands are almost the same at 6 to 7% regardless of stand age, except that of the 20 year stand of Hinoki which was due to the poor site conditions.

(3) The percent of stem bark to the stem per a sample tree, were ca. 10-20% either on dry weight or on volume. As the stand age increased, these bark percentages decreased.

(4) Allometric relation between D.B.H. and each part of a sample tree (stem, living leaves, living branches, and bark) were examined and the following regressions are obtained :

|                 |   |
|-----------------|---|
| Stem            | : $\text{Log } Y_1 = -1,828 + 2,965 \text{ Log } X$ ( $r^2 = 0,996$ ) |
| Living leaves   | : $\text{Log } Y_2 = -0,630 + 1,259 \text{ Log } X$ ( $r^2 = 0,935$ ) |
| Living branches | : $\text{Log } Y_3 = -0,853 + 1,353 \text{ Log } X$ ( $r^2 = 0,903$ ) |
| Bark            | : $\text{Log } Y_4 = -1,164 + 2,428 \text{ Log } X$ ( $r^2 = 0,975$ ) |

Here,  $Y_i$  is each part of a sample tree in kg,  $X$  is D.B.H. in cm,

### 2. Physicochemical and molding properties of Hinoki stem bark

(1) The weight ratio of the inner bark to the whole bark on Hinoki stems was varied with the ages of the stand. The proportions of the inner bark in stem barks between 1.2 and 3.2 m leves in living trees were 42 to 68 %. They were a little higher than those of Sugi barks which showed the values ranging from 34 to 61 %. The reducibility into powder of the samples was different by a type of pulverizer. By a Wiley mill, the barks from all Hinoki trees tested could be ground easily than Sugi barks. But, inconvenient result was showed for the grinding of Hinoki bark in the case of the using a porcelain ball mill.

(2) The hot-water and the 1% sodium hydroxide extractives of the air-dried powder of Hinoki barks were contained in a range from 12.4 to 20.7% and from 42.4 to 51.5%, respectively. These values were about twice to triple those of Sugi samples, and related to the stand ages to some extent. However, tree to tree differences in the quantities of the extractives within the same age stand were very wide like as Sugi barks, so that the variations among the individual samples in nature should be taken into consideration to the practical use. The pH values for Hinoki bark extractives ranged from 4.0 to 4.4, indicated that the acidity was slightly higher than Sugi bark.

(3) To evaluate the molding property, the boards were made from Sugi, Hinoki and Karamatsu bark powders prepared by a wiley mill and the tensile strength perpendicular to the surface of the boards was measured. From the results it appears that the stem barks on Hinoki and Karamatsu trees having much larger quantities of the extractives were of great advantage than Sugi bark in making the solid fuel by the pressure molding. Furthermore, an important contribution of the outer bark to the strength of Sugi whole bark was also demonstrated.

### 3. Thermal properties of Hinoki stem bark

(1) Two to three mg of an air-dried fine powder of Hinoki stem bark at a certain height, lived twigs and lived leaves were thermally analyzed using the Mettler thermoanalyzer type I upto 600°C by raising temperature of 10°/min under static atmosphere and the curves for T, TG, DTG, DTA were recorded simultaneously.

- a) Around 60°C, an endothermic peak was observed due to loss of the absorbed water and about 10% weight loss was recorded.
- b) Thermal degradation of the substance started around 200°C and the first exothermic peak was observed at around 320-330°C. During this pyrolytic stage about 50% of the weight of material was decomposed and concomitantly the remaining skeleton of the wood substance was rearranged to carbonize.
- c) The second exothermic reaction, which was vigorous and firing sometimes, began from around 380°C and reached the peak at around 420-450°C. During this stage about 30% of sample weight was lost and the pyrolysis was ended about 500°C with the ash of several percents remained.
- d) The case of the lived leaves, nearly end of the above c) stage, however, a small third exothermic peak was added and ended at about the same 500°C as the other materials.

A young bark covered the upper trunk was decomposed a little easily. A lived twig debarked which was composed mostly juvenile xylem tissue was fundamentally exhibited the same thermal curves as the stem bark.

(2) A calorie was determined by means of a bomb calorimeter using the pulverized bark or twig flour and expressed as cal/g of an oven-dried material. The heat values were 4,900-5,055 cal/g for Hinoki stem bark in the height of 1.2-3.2m above ground of 15-30 year stand. The highest value was obtained around 15-20 year stand with the 5,040-5,055 cal/g. In general, Hinoki bark has 100-250 cal/g higher calorific value than that of Sugi.

The extraction with hot-water lost some extractives and resulted in a reduction of calorie by around 150 cal/g.

The fuel value distribution in a bole bark at different height was not observed in any definit pattern.