

## 第 2 章

### 針葉樹材仮導管のイボ状構造に関する研究

#### 第 1 節 概 説

本章において述べようとするイボ状構造 (wart-like structure) とは、仮導管の細胞膜の膜層の区分上からは第 1 章第 2 節 6 においてふれた第 3 次膜に相当するものであるが、イボ状構造は電子顕微鏡的な研究によつてはじめて発見された針葉樹材仮導管の特徴的構造の 1 つであり、針葉樹材の分類学上や木材の利用上からも価値ある問題と考えられるので、ここに章をあらためて詳述するものである。

イボ状構造は最初小林と内海<sup>114)</sup>によつて、アカマツ材仮導管の内腔 (ルーメン) に接する細胞膜の表面すなわちルーメンサイドに発見されたのであるが、このときには特異構造とよばれ、これは従来針葉樹材仮導管には存在しないと考えられていた第 3 次膜であろうと報告された。ついで上村<sup>115)</sup>は、ヒノキ材の仮導管についてルーメンサイドのみでなく重孔紋の輪帯の表面 (孔紋膜に面する側) にも同様な構造を認めたが、エゾマツ材の仮導管のルーメンサイドにはそのような構造の存在は認められなかつたと報告した、ついで土倉<sup>116)</sup>はスギ材の、駒形と木村<sup>117)</sup>はアカマツ材のそれぞれの仮導管のルーメンサイドと重孔紋の輪帯表面に同様な構造の存在を認めた。筆者ら<sup>118)</sup>はヒノキ材の春、秋両材仮導管について、そのルーメンサイドのみでなく重孔紋の輪帯表面にもこのような特異な構造の存在を再確認し (Phot. 42, 43 および 44)、そのレプリカ写真の判断から粒状構造 (particle structure) とよぶことを提案した。しかしながらエゾマツ材の仮導管には、そのルーメンサイドにもまた重孔紋の輪帯表面にもともにいわゆる粒状構造は存在しないことを確認した (Phot. 12, 13, 15, 16, 23 および 26 参照)。それゆえに筆者らは以上の諸研究者の研究結果を総合して、このような粒状構造 (イボ状構造) が仮導管に存在することは針葉樹材の樹種の特徴を示すものであるかもしれぬと推定した<sup>118)</sup>。もしこの推定が正しいとすれば、針葉樹材の仮導管に粒状構造が存在するかしないかということは、樹種の材の微細構造的な特徴の 1 つとして、針葉樹材の分類 (識別) 上の 1 拠点 (指標) として価値あるものとなるであろうと考えるにいたつた。

以上の諸研究とは全く別個に、LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)</sup>は Kiefer (*Pinus silvestris* L.) 材の仮導管の重孔紋の輪帯表面に多数の小さな突起の存在を発見し、つづいてかれら<sup>120)</sup>はこのような小突起をもっている針葉樹材ともっていない針葉樹材とでは液体 (木材防腐剤を含めて) の注入性能に差異がある。すなわちこのような小突起を仮導管の重孔紋にもっている樹種 Kiefer 材では、もっていない樹種 Fichte (*Picea excelsa* LINK.), Douglasie (*Pseudotsuga taxifolia* BRITT.) および Lärche (*Larix decidua* MILL.) の各材と比較して液体の注入性能は良好である。いいかえれば、針葉樹材 (気乾材) については液体の注入性の良否は、このような小突起が存在する樹種の材であるか、あるいはそうでない樹種の材であるかという細胞膜の微細構造的な特質の差異によつて左右されることがすこぶる大きいと報告した。

さて LIESE と FAHNENBROCK<sup>119), 120)</sup>は、Kiefer 材の仮導管の重孔紋の輪帯表面に存在するこのような小突起をイボ状突起 (warzenförmige Erhebung; wart-like excrescence) の構造とよぶことを提案した。かれらのいうイボ状突起構造——略してイボ状構造 (wart-like structure)——は、小林と内海以下の研究<sup>114), 115), 116), 117)</sup>によつて特異構造とよばれ、筆者ら<sup>118)</sup>のいう粒状構造 (particle structure) と全く

同一のものであることは明らかである。それゆえに、このような同一構造に対して一は粒状構造といい、一はイボ状構造とよぶことは構造上の論議において複雑をきたすばかりでなく、誤解をまねくおそれもあるから、このような特異構造に関する概念を一致させるために、この特異構造の呼称にあたっては、前に筆者ら<sup>118)</sup>の提案したよび方、粒状構造をとりやめ、LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)</sup>によつて提唱されたよび方を支持し、しかもこれを簡略にしてこのようなある種の針葉樹材の仮導管の重孔紋の輪帯表面およびルーメンサイドに存在する特異構造全体をさしてイボ状構造 (wart-like structure) といい、この構造のうちの個々の小突起をイボ状突起 (wart-like excrescence) とよぶこととした<sup>121)</sup>。筆者ら<sup>118)</sup>が最初に提案したよび方をとりやめ LIESE と FAHNENBROCK<sup>120)</sup>の提案を支持した理由は、この特異構造を構成する小突起の構造がイボ (wart) とよぶのに最もふさわしいと考えられるからであるが、その詳細は第2節にゆずることとする。

ところで LIESE と FAHNENBROCK<sup>120)</sup>の報ずる針葉樹材中への液体の注入性と、仮導管の重孔紋の輪帯表面のイボ状構造との関連性に関する見解について考察するとき、かれらの主張するごとく、単に仮導管の重孔紋の輪帯表面にイボ状構造が存在するか、しないかということのみによつて、乾燥した針葉樹材中への液体の注入性能の良否が左右されるという考え方を、全面的に支持するわけにはゆかない。しかしながら、このような微細構造的な特質の差異が、木材中への液体の滲透性に影響する1因子であろうということは推定される場所である。このような推定が許されるならば、構造的な特質によつて木材の材質を分類するといういわゆる材質仕分けの見地からみても、主要な針葉樹材について、その仮導管にイボ状構造が存在するかあるいは存在しないかを調べ、樹種によるイボ状構造の存否に関する分類表を作成することは重要なことと考えられる。上述のような針葉樹材の分類学上の見地と針葉樹材の材質仕分けという利用上の見地との2つの面から考えて、イボ状構造の針葉樹材における存否を調べることは必要であるが、その前にこのような特徴的構造が仮導管の細胞膜に固有の構造として存在するのか、また針葉樹のある樹種の材の特徴となるのか、さらにまたその性質について検討しておくことは必要なことと考えられる。

本章においては、まず第2節においてイボ状構造の存在と性質とについて、第3節においてイボ状構造の針葉樹材における分類学上の価値について記述するものである。

## 第2節 イボ状構造の存在と性質

### 1. まえがき

小林と内海<sup>114)</sup>によるイボ状構造の発見以来、上村<sup>115)</sup>、土倉<sup>116)</sup>、駒形と木村<sup>117)</sup>、筆者ら<sup>118)</sup>および LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)120)</sup>によつてイボ状構造に関する報告がなされたのであるが、これらの研究はイボ状構造の存在や性質については系統的に追究されたものではなかつた。筆者らはイボ状構造に関する1つの報告<sup>121)</sup>において、イボ状構造の分類学的価値の検討にあたって、あらためてイボ状構造が針葉樹材仮導管に固有の構造として存在し、またその存在が1つの樹種の普遍的な特徴となるかおよびその形や大きさなど2,3の性質について系統的な考察を試みた。しかし、これらはいずれも上述の各研究者による研究結果と同じく、電子顕微鏡による観察方法としてはレプリカ法によつたものであつた。これまでの研究においてレプリカ法が用いられたということは電子顕微鏡用試料作製の技術上やむを得ないものであつた。しかし、レプリカ法でもつてはイボ状構造特にイボ状突起の縦断面の形をとらえることは不可能であるし、また超薄切片試料の方がレプリカ試料よりもイボ状構造そのものの原形を忠実にとらえるのである

うことは当然といわねばならぬ。それゆえに、筆者らはその後の報告<sup>122)123)</sup>において、超薄切片試料についてあらためてイボ状構造の存在や性質について再検討を試みた。

本節においては、まずイボ状構造の存在に関しては、イボ状構造は針葉樹材仮導管の細胞膜に固有の構造であるかどうか、また同一樹種の特徴として普遍的に存在するものであるかどうか、つぎにイボ状構造の性質に関しては、その形、化学組成および膜層上の区分について、すでに発表した報告をとりまとめて記述する。

## 2. 試料の作製

### 1) 供試材

- スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON)—(I) 秋田県産 樹令 50 年
- スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON)—(II) 宮崎県産 樹令 45 年
- ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.)—(I) 長野県産 樹令 250 年
- アカマツ (*Pinus densiflora* S. et Z.) 鹿児島県産 樹令 100 年
- エゾマツ (*Picea jezoensis* CARR.) 北海道産 樹令 93 年

以上の各材は、当场木材部木材材料科強度研究室において、強度試験用材として採取された正常材であるが、これらの材の第 20 年輪以上の部分から試片を選んだ。ただしスギ材については、ある一定の高さの円板について全年輪について調べるように試片を選んだ。またエゾマツ材の仮導管にはイボ状構造は存在しないのであるが、比較のため用いたものである。

- モミ (*Abies firma* S. et Z.) 産地不詳、樹令不詳

この材は当场林産化学部パルプ繊維板科繊維板研究室において、その実験材料としているものの一部を用いたものである。

- コノテガシワ (*Thuja orientalis* L.) 満州興安林白塔ワールマンハ東陵の遺存木材

この材は古材として、故京都大学教授尾中文彦氏が所蔵していた材片であるが、任意にその一部分から試片を選んだ。

- ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.)—(II) 法隆寺五重塔通肘木材

この材は、千葉大学工学部 (前西京大学農学部) 小原二郎助教授から供与された材片の一部から選んだ。レプリカ作製のためには、木材の次のような表面を試片として用いた。

i) 人工的に破壊して得た裂開面(柾目面)：このような裂開面においては、重孔紋の輪帯表面(孔紋膜に面する側)のレプリカを得ることができるから、重孔紋の輪帯表面におけるイボ状構造を調べるために用いた。

ii) 気乾材を蒸煮軟化し、ミクロトームで切斷作製した厚さ約 20~40 μ の切片の乾燥した表面(柾目および板目面)：仮導管のルーメンサイドにおけるイボ状構造を調べるために選んだ。

iii) 経木に化学処理を施した面(柾目および板目面)：イボ状構造の化学的性質を定性的に調べるために選んだ。化学処理は当场林産化学部パルプ繊維板科繊維板研究室において実施していただいた。

超薄切片作製のためには、スギ—(II)、ヒノキ—(I)、およびコノテガシワの各材を用いたが、小ブロック試片の作製方法は第 1 章第 2 節 2 において述べたものと全く同じである。

### 2) 検鏡用試料の作製

レプリカ法および超薄切片法によつたのであるが、試料の作製方法は第 1 章第 2 節 2 において述べたも

のと全く同じである。

### 3) 検 鏡

第 1 章第 2 節 2 において述べたものと全く同じである。

#### 3. イボ状構造の存在<sup>118) 121) 122) 123) 126)</sup>

##### 1) イボ状構造は仮導管の細胞膜に固有の構造か

この項目については 2 つの問題が考えられる。その 1 は、イボ状構造はレプリカ操作等によつて人工的に作られたものではないかということであり、その 2 は、イボ状構造は樹脂または心材化合物が細胞膜の上に堆積したものではないかということである。

まず第 1 の問題について述べる。小林と内海<sup>114)</sup> は、最初コロジオン 1 段レプリカ法を用い電子顕微鏡によつてイボ状構造を発見し、その後メチルメタクリル—シリカ 2 段レプリカ法によつてその結果を確認した。さらに、上村<sup>115)</sup> は同じくメチルメタクリル—アルミニウム 2 段法、土倉<sup>116)</sup> はブチルメタクリル—アルミニウム 2 段法、駒形と木村<sup>117)</sup> はコロジオン 1 段法、LIESE と FAHNENBROCK<sup>119) 120)</sup> はメチルメタクリル (半重合体、常温重合法) —シリカ 2 段法、筆者らは最初メチルメタクリル (半重合体、加熱重合法) —アルミニウム 2 段法、その後、エチルメタクリル—アルミニウム (またはカーボン) 2 段法とそれぞれ相異なるレプリカ法によつて作製した試料について、イボ状構造の存在について全く一致した結果を得ている (上村<sup>115)</sup>: Fig. 3, 4; 土倉<sup>116)</sup>: 第 44 図; 駒形, 木村<sup>117)</sup>: 第 8 図; LIESE, FAHNENBROCK<sup>119)</sup>: Bild 3, 4, 同<sup>120)</sup>: Fig. 1)。そしてまた同一方法によつて作製した試料についてスギ、ヒノキ、アカマツ等の諸材にはイボ状構造の存在が認められ、エゾマツ材には認められないということは不合理であつて、レプリカ操作による人工的産物とは考えられない。さらにまた、第 1 章第 2 節 2 においても若干ふれたように、レプリカが試料表面の形を写しとる忠実さの程度から判断して、イボ状構造のごときオーダーのものの観察には十分な精度ということが考えられるので、電子顕微鏡用試料の作製技術としてのレプリカ法の範囲内ではレプリカ操作によつて人工的に作製された産物とは考えられない。しかしながら前述のように、レプリカ法はあくまで間接的表面観察法であるから、これと平行して木材の切片そのものについて観察する必要があるが、上述の諸研究者の報告においても、また筆者らの初期の研究においても試料作製の技術上やむを得ないものであつた。

さて、小林と内海はその最初の報告<sup>114)</sup> およびそれらの研究をとりまとめたその後の報告<sup>124)</sup> において、次のように述べている。すなわち、このような特異構造がリグニン (細胞間層) の剝離面またはレプリカ作製時の人工的産物でないという証明は、位相差顕微鏡および反射顕微鏡によるアカマツ材の仮導管の細胞膜のルーメンサイドの観察により、全面的に粒状構造が存在することの確認によつて得られているというのである。このことは木材切片そのものについて観察したという点は注目に値するが、後述するようにイボ状構造の主体をなすイボ状突起の大きさ、特にその直径はアカマツ材の仮導管の場合でも 0.02—0.12—0.26 $\mu$  であり、光学顕微鏡でもつてはそれらのうちの大きいものはやつととらえられるが、小さいものについてはその存在を認めることはできないであろう。その後電子顕微鏡用試料作製方法として生物試料の超薄切片作製技術が進歩するにしたがい、木材にもこの手法を応用することができるようになった。

次にはスギ、ヒノキおよびコノテガシワ各材の超薄切片試料について観察を行つた結果について述べる。Phot. 62 はスギ材の、Phot. 63 はヒノキ材の、いずれもレプリカ写真であるが、前者は春材仮導管のルーメンサイドの、後者は同じく春材仮導管の重孔紋の輪帯表面のそれぞれイボ状構造を示すもの

で、Phot. 42, 43 および 44 と同様な構造を示すものである。**Phot. 64** および **65** はスギ材の超薄切片写真であるが、春材仮導管の細胞膜のある膜層の構造を示すものと推定される。Phot. 64 および 65 をみると、電子線が比較的良く透過していると推定される膜層中に、ほぼ円形の多数の黒点が存在するのであるが、この黒点の部分は他のベースの膜層の部分に比較して電子線の透過が困難であること、すなわち electron dense な構造であることを意味するものである。そして、この黒点の部分が electron dense であることの原因として考えられる点は、第 1 にはこの黒点の部分の密度が他のベースの膜層の部分に比較して大であること、第 2 にはこの黒点の部分の膜層が他のベースの膜層よりもその厚さが大であるということである。厚さが均等に切断されているはずの超薄切片において、この写真にみる黒点のように多数散在してその部分だけ厚さが大であることは不合理と考えられる。ところが **Phot. 66** および **67** はいずれもスギ材の超薄切片写真であつて、Phot. 64 と全く同様な構造を示すものであるが、Phot. 64 の場合と異なり超薄切片にあらかじめ真空蒸着装置中で 1/3 の角度でクロムシャドウイングを施したものである。Phot. 66 および 67 を Phot. 64 と比較すると、Phot. 66 および 67 ではいずれも黒点の下側にシャドウ(陰影)がみられる。すなわち、これは明らかに黒点の部分が他のベースの膜層の部分よりも 1 段隆起したある高さをもつ構造であることを示すものである。それゆえに、Phot. 64 および 65 において黒点像が見られることの 2 つの原因のうち、黒点の部分が他の膜層の部分に比較して密度が大であるということよりもむしろ厚さが大であると推定される。ところがいま一つの疑問は、均等な厚さに切断されたはずの超薄切片においてこのように不規則に多数存在する点の部分のみ厚さが大であるということがありうるかどうかということであるが、この疑問は、かりにこのような黒点部分の隆起が仮導管のルーメンサイド上においてルーメンの方向に突出存在している構造と仮定すると、このような超薄切片がミクロトームによる切断の結果として得られたとしても、なんら不思議でなくこの疑問も氷解するものと思われる。そしてこのことは **Phot. 68, 69** および **70** によつて証明された。Phot. 68 はコノテガシワ材の木口の、Phot. 69 はヒノキ材の板目の、Phot. 70 はスギ材の斜板目のそれぞれ超薄切片写真であるが、いずれも春材仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面のイボ状構造の縦断面の構造を示すものと判定される。すなわちここにみるように、ルーメンサイドや重孔紋輪帯表面における細胞膜の膜層の一部が、ルーメンや孔紋室の側に突出しているということが出来る。Phot. 62 および 63 のレプリカ写真と Phot. 64, 65, 66, 67, 68, 69 および 70 の超薄切片写真とを比較すると、仮導管のルーメンサイドや重孔紋の輪帯表面にはそれらの細胞膜の一部が突出した構造が存在するという点において、レプリカ、超薄切片両写真は全く同一構造を示すものと考えてさしつかえないものと思われる。すなわち前にレプリカ写真によつて得られたイボ状構造の存在が超薄切片写真によつて確認されたということが出来る。この観察は超薄切片作製が容易であるという点からスギ、ヒノキ両材の辺材の春材仮導管やコノテガシワ材の春材仮導管についてのみ行つたのであるが、ヒノキ、スギおよびコノテガシワ材の秋材仮導管や他のイボ状構造をもつている樹種の仮導管についてもほぼ同様と推定してさしつかえないであろう。次には比較のため、イボ状構造をもつていないと考えられているエゾマツ材の仮導管の超薄切片写真を示すことにしよう。**Phot. 71** はエゾマツ材の板目の超薄切片写真であるが、春材仮導管の細胞膜の縦断面の構造を示す。この写真にみるように細胞膜のルーメンサイドには、細胞膜層の一部が突出したようなイボ状構造の存在は明らかに認められない。

以上の観察の結果、レプリカ試料の観察によつてとらえられたイボ状構造の存在を超薄切片試料の観察

によつて確認することができたから、イボ状構造はレプリカ操作による人工的産物でないということは明らかである。

次には第 2 の問題について述べる。まず第 1 に、イボ状構造がある種の針葉樹（スギ、ヒノキ等）材の仮導管の細胞膜に本来固有の構造ではなく樹脂または心材化物質が細胞膜の上に堆積したものであるとすると、前述のように今まで記述した樹種のうちでスギ、ヒノキおよびアカマツというような材の仮導管にはイボ状構造が存在し、エゾマツ材には存在しないというようなことはあり得ないものと思われる。しかしながら、樹脂および心材化物質の堆積がある種の樹種においてのみ行われるかどうかということを検討した。イボ状構造がかりに仮導管の細胞膜上に堆積した樹脂物質であるとする、化学的な抽出処理によつて除かれるであろうし、また心材化物質であるとする、心材にはイボ状構造が存在するが辺材には存在しないであろうと推定される。

まず、スギおよびヒノキ両材の心材部と辺材部のレプリカ試料について、イボ状構造の存在を比較した。その結果、心材部の仮導管（Phot. 72）にも辺材部の仮導管（Phot. 73）にも、全く同一な構造としてイボ状構造の存在が確認された。ゆえにイボ状構造は心材化物質の堆積したものではないものと推定される。

つぎには、イボ状構造が樹脂物質でないかを検討するためには、スギ、ヒノキおよびモミの各材をえらんだ。これら 3 種類の材はすでにその仮導管にイボ状構造の存在を確認されているものである（なお LIESE と FAHNENBROCK はその最初の報告<sup>120)</sup>において欧州産の Tanne (*Abies alba* MILL.) 材の仮導管にはイボ状構造は存在しないと報じたが、筆者らの研究結果ではモミ (*Abies firma* S. et Z.) 材にはイボ状構造の存在を確認した。その後筆者らの指摘によつて LIESE と JOHANN<sup>125)</sup>も追試験の結果 Tanne 材にもイボ状構造の存在を認め最初の研究結果が試料作製の不手ぎわによる誤りであつたと述べている）。ヒノキ、スギおよびモミの各材片から厚さ約 100  $\mu$  のマイクロームおよび鉋削切片を作製し、これをアルコールおよびアルコール・ベンゾール（等容）中で 24 時間処理して樹脂抽出を行つた。このような化学処理によつて、少なくとも化学薬品と接触しやすい仮導管のルーメンサイドや重孔紋の輪帯表面は、他の表面に現われない細胞膜の部分に比してその化学処理をうける程度が著しいと推定される。このように抽出処理した切片を乾燥し、その表面のレプリカ試料について観察した結果、仮導管のルーメンサイドにもまた重孔紋の輪帯表面にもイボ状構造はいぜんとして明りように存在していることが認められた。すなわち、イボ状構造は樹脂抽出処理によつても除かれなれないといえる。その後 LIESE と JOHANN<sup>125)</sup>もまたこの問題をとりあげ、Kiefer 材について研究した結果、アセトンによる抽出処理や、また熱水処理を行つても、イボ状構造には変化がなかつたとし、さらにイボ状構造は辺材部にも心材部にもともに存在しているから、イボ状構造は木化した細胞膜にはまさしく存在するものと考えねばならぬと報じている。それゆえに、イボ状構造は樹脂または心材化物質が仮導管の細胞膜上に堆積したものとは考えられない。

以上の観察および考察の結果、イボ状構造はレプリカ操作による人工的産物でもなく、また樹脂または心材化物質が細胞膜の上に堆積したのもでもなく、ある種の針葉樹材の仮導管の細胞膜に本来固有の構造として存在するものであるということが明らかになつた。

## 2) イボ状構造は同一樹種に普遍的に存在するか

1) における検討の結果、イボ状構造は少なくともスギ、ヒノキ、アカマツ、モミおよびコノテガシワの各材では仮導管の細胞膜に本来固有の構造として存在するものであることが明らかとなつた。次にはイボ状構造は同一樹種の材に普遍的に存在するものであるのかどうか、すなわちその材の生育時における立

地条件や、単一木中の樹体の部分(樹令、樹高等)によつて存在したり存在しないというようなことがあるのではないかという点について調べなければならない。

すでに述べたように、小林と内海をはじめとする諸研究者の研究によつて、まずアカマツ材については小林と内海<sup>114)</sup>、駒形と木村<sup>117)</sup>および筆者らによつて、ヒノキ材については上村<sup>118)</sup>、筆者らによつて、さらにスギ材については土倉<sup>116)</sup> および筆者らによつていずれもその仮導管にイボ状構造の存在が確認されたのであるが、これらの供試材は同一樹種であつてもその立地、樹体の部分等多くの点において全くその条件を異にしているものと考えられる。それにもかかわらず、同一樹種の材について行われた諸研究において全く一致してイボ状構造が存在するという結果が得られているという点から考えると、これらは全く偶然の一致とは思われない。

次にはイボ状構造が同一樹種に普遍的に存在するかどうかを確かめるために、次の実験を行つた。供試材は実験の都合上樹種としてはスギ材のみをえらんだが、これは當場木材部木材材料科強度研究室から供与されたものであつて、樹幹析解を行つた各1本のオビスギおよびアキタスギの各材(円板)である。この両材は同研究室において、両品種スギ材の標準強度試験用材として現地で選択採取されたうちの1本の樹幹から得られたものであるから、標準的な正常材であるといえよう。これらのオビおよびアキタスギ材中からまず地上高0.3 mの円板については、ある一方向の全年輪(第3~45年および第3~50年)について、次に全円板(11コ)の樹皮に近い特定年輪について得られた柁目のマイクローム切片のレプリカ試料について、イボ状構造の存在を調べた。その結果、1円板の全年輪および全円板の特定年輪の仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面には、例外なくすべてイボ状構造の存在を認めた。すなわちまず第1には品種や立地条件を異にするオビスギおよびアキタスギの両材にとともに一致してイボ状構造が存在すること、第2には地上高0.3 mの円板の1方向の全年輪に樹令に関係なくイボ状構造が存在すること、第3には辺材部の特定年輪については樹高とは無関係にイボ状構造の存在を確認することができた。もちろんこの観察はスギのうち特定な2品種のわずかに1本の供試木の材のみについて行つたにすぎないのであるが、これらの供試材がスギ材として標準的な材と目されている点からすると、少なくともスギ材に関するかぎりイボ状構造の存在が樹種の特徴として普遍的なものともみなしてもよいのではないかと考える。

さらに興味あることは、第1章第4節3において述べたように、ヒノキおよびアカマツのアテ材(compression wood)の仮導管にもイボ状構造の存在を確認している(Phot. 60)。このように、細胞膜の構造上特異であるアテ材においても、イボ状構造の存在は樹種の特徴となつている。一方エゾマツアテ材の仮導管には、イボ状構造は存在しない(Phot. 59)。

その後 LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> は後述するような *Pinus* および *Abies* 属の材のイボ状構造の研究の際、樹木の幹のみでなく枝の部分からも供試材片を採取して研究を行い、同一樹種内では全個体の供試材全部に一致してイボ状構造の存在を確認したから、これらの研究の範囲内では、同一樹種について供試材として特定の樹幹をえらんだからイボ状構造があらわれたというようなものではなく、素性の異なつたものでも一致してイボ状構造は存在するものであり、筆者らの見解<sup>121)</sup> を支持すると報告している。

以上の観察および考察の結果、供試材の種類、個数および範囲等についてはまだ満足すべきものではないが、筆者らおよび他の研究者の研究の範囲内では、イボ状構造は針葉樹材の樹種の特徴として普遍的に存在するものとみなしてよいであろう。

次にはイボ状構造は、仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面に一致して存在するかどうかと

いう点について付記する。小林と内海<sup>124)</sup>はアカマツ材について、上村<sup>115)</sup>はヒノキ材についてイボ状構造は仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面に一致して存在することを確認している。筆者らの研究においてもアカマツ、ヒノキおよびスギの各材について全く同一の結果を確認しているが、エゾマツ材の仮導管においてはイボ状構造が存在しないということがルーメンサイドと重孔紋の輪帯表面とでは一致していることは明らかである (Phot. 12, 15 および 23)。そしてこのようなイボ状構造の存在するか存在しないかが、仮導管のルーメンサイドと重孔紋の輪帯表面とで一致するという事は、第3節において述べるように筆者らの調べた針葉樹材の全樹種の材についても確認された。さらに射出柔細胞との間に半重孔紋対を形成する仮導管側の重孔紋の輪帯表面にもイボ状構造の存在は確認された (Phot. 74)。またこれと反対側のルーメンサイドのイボ状構造を示すと Phot. 75 のとおりである (Phot. 26 参照)。この点については LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> も筆者らと同じ見解を得たとしている。それゆえにイボ状構造は、仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯の表面とに一致して存在するということができる。

また本章においては、仮導管のイボ状構造の存在について論議しているのであるが、柔細胞や射出柔細胞にはイボ状構造が存在するかどうかという点にふれておかねばならない。筆者らはスギおよびヒノキ両材の柔細胞や射出柔細胞の観察の結果、そのルーメンサイドには堆積物質の直下に網目状のマイクロフィブリル構造の存在を認めた (Phot. 54 参照) が、イボ状構造の存在は認められなかつた。また鋸歯状縁 (dentate margin) をもつアカマツ材の射出仮導管にもイボ状構造の存在は認められなかつた。ゆえにイボ状構造は、ある種の針葉樹材の仮導管にのみ、特徴的に存在するということができる。

#### 4. イボ状構造の性質<sup>118) 121) 122) 123)</sup>

##### 1) 形態

##### a) 概要

イボ状構造の形態については、小林と内海<sup>114)</sup> は単に特異な構造をもつ第3次層と述べたのみであり、上村<sup>115)</sup>、駒形と木村<sup>117)</sup> もこの表現を踏襲引用したのであるが、いずれもレプリカ写真からの判定によつて、イボ状構造は仮導管のルーメンサイドや重孔紋の輪帯の表面をおおっている薄膜と、その一部が突出している多数の突起の部分とからなる構造であると推定していた。最初筆者らはヒノキ材のレプリカ試料についての観察結果に基づいて、このような多数の突起はこれを表面からみると、平滑な薄膜の上に粒子を散布したように見えるとの考えから、この構造を粒状構造 (particle structure) とよぶことを提案した。その後 LIESE と FAHNENBROCK<sup>119) 120)</sup> は小林と内海<sup>114) 115) 116)</sup> および筆者らとは別個に研究し、すでに第1節においてふれたように、この構造全体をさしてイボ状突起の構造と名づけ、個々の突起をイボ状突起と名づけた。しかし以上の研究は、いずれもレプリカ試料についてなされたものである。すでに第1章第2節3においてもふれたように、木材からレプリカを得る場合には次のような欠点が存在する。すなわち、ラメラ構造をもっている仮導管の細胞膜を、ラメラごとに分離することは容易であるから、この表面のレプリカ写真では木材の細胞膜の微細構造を詳しくとらえることはできるが、ラメラの横断または縦断面のレプリカ写真ではその微細構造をとらえることはできないということである。以上の理由によつて、レプリカ法を用いるかぎりイボ状構造特にイボ状突起の平面的な形はとらえることができたが、縦断面の形をとらえることはできなかつた。

それゆえに、イボ状構造の形態をより正しくとらえることを目的として超薄切片試料を作製し、それについて観察を試みたのでその結果について述べる。写真の判定については3において詳述したので、ここ

には省略する。Phot. 64, 65, 66 および 67 に見るように平面像すなわち細胞膜の表面からみると、イボ状構造とは細胞膜のうちの比較的薄い一部の膜層とその膜層中の一部が散在突出したイボ状突起とからなっており、イボ状突起は薄膜層上にはほぼ円形の大小の粒子状の形でもつて不規則に分布しており、また今までレプリカ写真によつては直接に得られなかつたイボ状突起の縦断面の形も超薄切片写真によつてとらえられた。すなわち **Phot. 68, 69, 70** および **76** にみるように、平らな薄い細胞膜の膜層上に、仮導管のルーメンサイドではルーメン方向に、また重孔紋の輪帯表面ではその孔紋室の方向にそれぞれ突出したイボ状の隆起(突起)として認められる。イボ状突起の縦断面の写真をみると、LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)120)</sup> によつて提案されたイボ状突起というよび方がこの形態を説明するのに最も適切であることを証明するように思われる。このような理由から、筆者らはその最初の報告において提案したよび方粒状構造 (particle-structure) よりもイボ状構造 (wart-like structure) の方が適切であることを認め、さらに概念の一致のためにも筆者らによるよび方を撤回し、LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)120)</sup> による提案を支持したのである。

以上の観察および考察の結果、イボ状構造は仮導管のルーメンサイドまたは重孔紋の輪帯表面をおおう薄い細胞膜層と、それが部分的に突出隆起してイボ状の形態をもついわゆるイボ状突起とから構成されているというレプリカ写真による推定を、超薄切片写真によつて実証することができた。

#### b) イボ状突起の分布

イボ状突起の分布については初期の研究<sup>114)115)116)117)</sup> においてはふれられていなかった。筆者らはアカマツ、スギおよびヒノキ材の観察の結果、重孔紋の輪帯表面ではアカマツ材 (Phot. 44) とヒノキおよびスギ材 (Phot. 63 および 65) とを比較するとわかるように、アカマツ材ではその分布は輪帯表面の周縁に近い領域においては密であるが、孔紋口に近づくに従つて順次疎となり、孔紋口の周縁ではほとんど存在しないのであるが、ヒノキやスギ材では輪帯表面全面にわたつて比較的一様にかつ密に分布存在しており、両者には分布上の差があることを認めた。ところが、ルーメンサイドにおいてはそのような差は認められなく、また多くの種類の針葉樹材について調べた結果、その分布密度には著しいバラツキがあるから初期の報告においては、概括的にイボ状突起は一般に様に分布するが、その排列には一定の型式が認められないと報告した。その後 LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> は Kiefer 材について観察した結果、重孔紋の輪帯表面では一様に分布するのではなくて、その単位面積当りの数は大きなバラツキがあるが、イボ状突起の数が少ない場合にはイボ状突起は輪帯表面の周縁部に存在しており、イボ状突起の分布密度は樹幹の個体差よりも同一樹幹内の方がバラツキは少ない。さらに仮導管のルーメンサイドにおいては重孔紋の輪帯表面におけるよりも多少一様に分布していると考えられるが、その分布密度は著しく大きな範囲内でバラツキがあると報告している。

その後筆者らの超薄切片試料についての研究結果によつても、Phot. 64, 65, 66 および 67 にみるように単一面積当り同一樹種においても著しいバラツキがあり、分布密度には一定の型式は認められない。

以上の観察および考察の結果、イボ状突起の分布については、分布密度には著しいバラツキが存在していることが明らかになつた。

#### c) イボ状突起の大きさ (直径および高さ)

LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)</sup> は最初 Kiefer 材のレプリカ写真の測定結果から、重孔紋の輪帯表面のイボ状突起の直径を  $0.2\mu$  と報告した。その後筆者らは約 26 樹種の針葉樹材の観察の結果、イボ状突起の直径は  $0.1\sim 0.3\mu$  の範囲にあらうと報告した。さらにその後 LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> は Kiefer 材のレ

レプリカ試料について詳細な研究を行い、次のような結果を報告している。すなわち、重孔紋の輪帯表面においてもまたルーメンサイドにおいても、イボ状突起の直径には著しいバラツキがあるが、前者については  $0.01\sim 0.28\mu$  (算術平均値  $0.12\mu$ )、後者については  $0.01\sim 0.25\mu$  (算術平均値  $0.11\mu$ ) であつたとしている。

しかしながら、その直径はレプリカ写真によつて調べることはできても、その高さを測定することはレプリカ写真によつては困難であるので、高さについてはなんら報告されていなかった。筆者らはスギおよびヒノキ材の超薄切片試料について  $\times 15,000$  の写真を用い、イボ状突起の大きさについてその平面像に見られるイボ状突起の基部の直径と縦断面におけるイボ状突起の基部からの高さとを、ヒノキおよびスギ両材の重孔紋の輪帯表面およびルーメンサイドについてそれぞれ400個ずつ測定したところ、その直径は  $0.04\sim 0.28\mu$ 、高さは  $0.02\sim 0.20\mu$  となり一つの大きな範囲内で大きなバラツキがあるが、その直径については、超薄切片試料を採取した試材の近くの部位から採取した試材のレプリカ写真から得られた結果とほぼ一致した。

以上の観察および考察の結果、イボ状構造は仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面上をおおう薄い膜層とその一部が突出したイボ状の突起とからなり、そのなかのイボ状突起の分布や大きさには著しいバラツキがあるが、ヒノキ、スギ両材ではその直径は  $0.04\sim 0.28\mu$ 、高さは  $0.02\sim 0.20\mu$  であつた。

## 2) 化学組成

小林と内海<sup>14)</sup> は最初、イボ状構造は一般にフィブリル状に伸長しないセルロースと変性蛋白よりなるものであらうと報じた。駒形と木村<sup>15)</sup> はアカマツ材の漂白したサルファイトパルプの仮導管の重孔紋の輪帯表面にはイボ状構造が消失しているが、同じくサルファイトパルプのノットパルプの針先でどうかほぐしうる程度の仮導管の重孔紋の輪帯表面にはフィブリルとは全く様子の異なつた膜層が存在し、これはべつとりとした膜層に粒状のものがうずまつているとし、これはイボ状突起の溶解状態を推定させるものであつて、おそらくイボ状構造はリグニンであらうと報告した。

筆者らはその化学組成をレプリカ試料の電子顕微鏡的観察によつて確かめることを目的として、モミ材の切片(厚さ約  $100\mu$ ) について、次の3種類の化学処理を施し、その前後のレプリカについてイボ状構造の変化を検討した。

(イ) 樹脂抽出: アルコールおよびアルコール・ベンゼール(等容)中で24時間(重量減少率 1.50%)。

(ロ) 脱リグニン処理: アルコールで(イ)の処理後、亜塩素酸ソーダで4回繰返し処理(重量減少率 18.0%)、切片は顕微化学的には光学顕微鏡下で塩化亜鉛沃度で著しいセルロース反応を呈する(注: この処理は当場林産化学部パルプ繊維板科繊維板研究室において実施していただいた)。

(ハ) 脱ヘミセルロース処理: (イ)の処理後、5% 苛性ソーダで8時間、常温処理(重量減少率 10.5%)。

未処理切片のレプリカ写真と(イ)、(ロ)および(ハ)の各処理後の切片のレプリカ写真とを比較した結果、各化学処理を行つた切片のレプリカ写真でもイボ状構造は、なんら未処理切片のレプリカ写真におけるイボ状構造とは変化なく明りように認められた。もちろんこの実験はあくまで定性的な処理切片のしかもレプリカによる観察の結果であるため、その化学組成を究明することはできなかつたが、少なくともレプリカが表面の構造を写しとるとする点からみて、仮導管のルーメンサイドや重孔紋の輪帯表面に存在するイボ状構造は、最も著しく化学処理をうけておるはずであるという点から考えると、樹脂、リグニンおよびヘミセルロースのような化学組成をもつとは考えられず、このような化学処理に対してすこぶる安定なも

のといえるかもしれない。さらに (ロ) 処理切片のように顕微化学的には著しいセルローズ呈色反応を呈するものでも、イボ状構造に変化がないとすると小林と内海<sup>111)</sup> の推定に近いのかも知れない。なお、長年月の経過によつて老化した材すなわち古材 (ヒノキおよびコノテガシワ) についてもイボ状構造は顕著に認められた (Phot. 68 および 77)。小林と内海<sup>124)</sup> はその後の報告において、イボ状構造は突起構造であるから明らかに他のセルローズ膜層と区別できるが、イボ状突起の間をおおう被膜内には不明りようながらマイクロフィブリルのようなものが認められるから、いくらかはセルローズを含んでいるかもしれない。しかし、大部分は非セルローズ物質でありホロセルローズ中の繊維素を硫酸で溶出した残渣に窒素分が検出されたから、おそらく原形質の変性沈着したものではないかと思われるとしているが、まだその化学組成をきわめるところまでいつていない。

以上の観察および考察の結果からでは、イボ状構造の化学組成をきわめるところまでいつていないが、上述の化学処理に対して比較的安定な化学成分であるということが出来る。

### 3) 膜層上の区分

すでに第 1 章においてもふれたように、小林と内海<sup>144)</sup> は、イボ状構造は明らかに第 2 次膜内層よりも後に形成されたものであるから、第 2 次膜内層とは区別して第 3 次膜とよぶことを提案した。その後、駒形と木村<sup>177)</sup> は、アカマツ材のマイクローム切片のレプリカ写真 (駒形、木村<sup>177)</sup>: 第 8 図) から、仮導管のルーメンサイドのイボ状構造の内部に第 2 次膜内層と考えられる層を確認し、小林と内海<sup>144)</sup> の見解を支持した。

筆者らはこれらの見解を追試する目的で、アカマツ、スギ、ヒノキ、コノテガシワおよびモミの各材についてレプリカまたは超薄切片試料について観察を行った。Phot. 78 はアカマツ材のレーヨン・バルブのレプリカ写真であるが、春材仮導管の重孔紋の輪帯表面 ( $S_1$ ) および孔紋口からみえる仮導管のルーメンサイド ( $S_2$ ) の構造を示すものと判定される。Phot. 78 では Phot. 44 の重孔紋の輪帯表面や Phot. 42 のルーメンサイドに見られたイボ状構造は全く消失しており、重孔紋の輪帯表面における第 2 次膜外層 ( $S_1$ ) の円状構造やルーメンサイドの第 2 次膜内層 ( $S_2$ ) のいわゆる横巻き構造が認められる。さらに Phot. 79 はモミ材のレプリカ写真であるが、春材仮導管のルーメンサイドのイボ状構造およびイボ状構造の膜層 (T) が剝離反転して第 2 次膜の内層 ( $S_2$ ) のいわゆる横巻き構造が現われたものと判定される。また Phot. 80 はコノテガシワ材の裂開面のレプリカ写真であるが、春材仮導管の重孔紋の輪帯表面のイボ状構造 (T) およびその一部が剝離し内部すなわち第 2 次膜外層 ( $S_1$ ) の円状構造があばきだされたものと判定される。すなわち以上の写真に示されるように、イボ状構造はいわゆる横巻き構造をもつ第 2 次膜の内層 (ルーメンサイドの場合) および円状構造をもつ第 2 次膜外層 (重孔紋の輪帯表面の場合) 上をおおう構造であつて、第 2 次膜より後に形成されたものということは明らかである。

次には超薄切片写真である Phot. 64, 65, 66 および 67 を見ると、まず第 1 にイボ状構造の膜層には全くフィブリル状構造が認められないということ、第 2 には比較的容易にその直下の膜層すなわち第 2 次膜内層および第 2 次膜外層 (重孔紋輪帯部) から剝離する (このことは Phot. 79 および 80 のレプリカ写真からも明らかである) ことが認められた。このような点からみてもイボ状構造は第 2 次膜より後に形成されたものであつて、第 2 次膜とは全く別個のものとも見ることが出来る。さらに Phot. 70 および 81 をみると、重孔紋の輪帯の部分においてはイボ状構造はルーメンサイドと輪帯表面とで連続して存在するものであることが明らかになった。さて重孔紋輪帯表面は細胞膜の膜層上の区分からは第 2 次膜の外層と

みなされておるから、それをおおつて存在する構造を第3次膜と考えることには問題があるように思われる。しかしながら、重孔紋は細胞膜の形成の過程において、その水分通導という樹木の生理的要求をみたすために変形形成されたものと考えられ、しかも重孔紋の輪帯表面の領域を外層とみなしたとしても第2次的に肥厚した膜層の一部であることは疑いのないところである。それゆえに、ルーメンサイドの延長としてイボ状構造が輪帯表面に存在するとしても、なんら異論のないことと思われる。

**Phot. 82** はヒノキ材の超薄切片写真であるが、春材仮導管の重孔紋の板目の断面の構造を示すものである。細胞膜を透過した電子線の濃淡によつて左上の模式図に示すような  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  および  $T$  の各層を区別できるように思われる。これを既述の針葉樹材仮導管の細胞膜の膜層構造の概念にしたがつて区別すると、 $S_1$  は第2次膜外層、 $S_2$  は同中層、 $S_3$  は同内層に相当すると考えられる。なぜなら  $S_1$  および  $S_3$  両層が  $S_2$  層に比して electron dense であるとみられるのは、その膜層内のマイクロフィブリル排列の差とその含む化学成分の差によるものと推定されるからである。そしてこのことについてはすでに述べた。そして  $T$  のイボ状構造は  $S_1$  および  $S_3$  層をおおつて存在している。すなわちイボ状構造は第2次膜より後成的なものであるといえる。LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> は、Kiefer 材のレプリカ写真からイボ状構造の直下にマイクロフィブリル排列をもつ第2次膜を確認しているが、このいわゆる第2次膜内層(かれらは膜層上の区分から第3次膜とよんでいる)をもイボ状構造の被膜の中にあると考えている。しかしながら、エゾマツ材のようにイボ状構造をもたない仮導管においても横巻きの第2次膜内層は確認されているのであり、しかも上述のようにその諸性質の特殊性や第2次膜層から容易に分離しようという点からして、イボ状構造の膜層を第2次膜内層と区分して第3次膜とよぶことは妥当と思われる。

以上の観察および考察の結果、イボ状構造の膜層は第2次膜層とは区別して、第2次膜よりも後成的な膜層であるという点において、第3次膜とよぶ小林と内海<sup>114)</sup> の見解を支持する。

### 第3節 イボ状構造の針葉樹材における分類学的価値

#### 1. まえがき

イボ状構造は電子顕微鏡的研究によつてはじめて発見されたものであるが、小林と内海<sup>114)</sup> 以下の諸研究<sup>115)116)117)118)</sup> によつて針葉樹材のうちその仮導管にイボ状構造をもつ樹種とまたない樹種とあることが明らかになり、筆者らはこのイボ状構造が仮導管に存在するかしないかということは、針葉樹材の樹種の特徴であるかもしれぬと推定した<sup>118)</sup> ことについてはすでに述べた。その後 LIESE と FAHNENBROCK<sup>119)120)</sup> の研究を知るにおよんで、筆者らの推定の誤りでないことを認め、しかも第2節において述べたようにイボ状構造の存在することおよび存在しないことが、筆者らの研究の範囲内では樹種の特徴として普遍的なものであることを確かめ得たので、針葉樹材の分類学(識別)上および材質仕分けという見地から、本邦産の主要針葉樹材(24属35樹種)についてイボ状構造が存在するか存在しないかを調べ、その分類表を作成した<sup>121)</sup>。その後 LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> は、同じく針葉樹材の分類学的な立場から欧州産の6属42樹種について研究し、筆者らの結果を追証するとともにこのイボ状構造存否の分類表を拡大した。さらに FREY-WYSSLING と MÜHLETHALER と BOSSHARD<sup>127)128)</sup> は、後述するように筆者ら<sup>121)</sup> の報告のうち、*Pinus* 属のうちではイボ状構造の存在するか存在しないかということが属の特徴とはならず例外となっており、いわゆる hard pine にはイボ状構造は存在し、soft pine にはイボ状構造が存在しないという点に注目し、これらの樹材の射出仮導管に鋸歯状縁が存在するか存在しないということと、イボ状構造の

存在するか存在しないかということと一致するとして、*Pinus* 属の 35 樹種についてイボ状構造の存否を調べ分類表を作成している。

本節においてはイボ状構造の分類学的価値に関する筆者らの既往の報告を中心とし、その後拡張研究し未発表の成績を加え、これらを取りまとめて記述する。

## 2. 試料の作成

### 1) 供試材

- イ チ ヨ ウ (*Ginkgo biloba* L.)
- イ チ イ (*Taxus cuspidata* S. et Z.)
- アメリカチイ (*T. floridana* CHAPMAN)
- カ ヤ (*Torreya nucifera* S. et Z.)
- イヌガヤ (*Cephalotaxus drupacea* S. et Z.)
- マ キ (*Podocarpus macrophyllus* D. DON)
- ナ ギ (*P. Nagi* PILG.)
- チリアラウカリア (*Araucaria araucana* K. KOCH)
- カウリコパール (*Agathis australis* SALISB.)
- モ ミ (*Abies firma* S. et Z.)
- ベ イ モ ミ (*A. grandis* LINDL.)
- ウラジロモミ (*A. homolepis* S. et Z.)
- ト ド マ ツ (*A. Mayriana* MIYABE et KUDO)
- トガサワラ (*Pseudotsuga japonica* BEISSN.)
- ベ イ マ ツ (*P. taxifolia* BRITT.)
- カナダツガ (*Tsuga Canadensis* CARR.)
- ツ ガ (*T. sieboldii* CARR.)
- アカエゾマツ (*Picea Glehnii* MAST.)
- エゾマツ (*P. jezoensis* CARR.)
- トウヒ (*P. jezoensis* var. *hondoensis* REHD.)
- ヤツガタケトウヒ (*P. Koyamai* SHIRASAWA)
- ヒメバラモミ (*P. Maximowiczii* REGEL)
- モリンドトウヒ (*P. morinda* LINK.)
- カラマツ (*Larix Kaempferi* SARG.)
- アカマツ (*Pinus densiflora* S. et Z.)
- クロマツ (*P. Thunbergii* PARL.)
- ヒメコマツ (*P. parviflora* S. et Z.)
- ゴヨウマツ (*P. pentaphylla* MAYR)
- ヒマラヤスギ (*Cedrus Libani* var. *Deodara* HOOK. f.)
- イヌカラマツ (*Pseudolarix Fortunei* MAYR)
- ユ サ ヌ (*Keteleeria Davidiana* BEISSN)

- コ ウ ヤ マ キ (*Sciadopitys verticillata* S. et Z.)  
 ス ギ (*Cryptomeria japonica* D. DON)  
 コ ウ ヨ ウ ザ ン (*Cunninghamia lauceolata* HOOK.)  
 ラ ン ダ イ ス ギ (*C. lanceolata* var. *Konishii* FUJITA)  
 ラ ク ウ シ ヨ ウ (*Taxodium distichum* RICH.)  
*T. mucronatum* TEN.  
 セ コ イ ヤ (*Sequoia sempervirens* ENDL.)  
 ス イ シ ヨ ウ (*Glyptostrobus heterophylla* ENDL.)  
 タ イ ワ ン ス ギ (*Taiwania Cryptomerioides* HAYATA)  
 ヒ ノ キ (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.)  
 ベ ニ ヒ (*C. formosensis* MATSUM.)  
 ベ イ ヒ (*C. Lawsoniana* PARL.)  
 サ ワ ラ (*C. pisifera* S. et Z.)  
 ニ オ イ ヒ バ (*Thuja occidentalis* L.)  
 コ ノ テ ガ シ ワ (*T. orientalis* L.)  
 ベ イ ス ギ (*T. plicata* D. DON)  
 ネ ズ コ (*T. Standishii* CARR.)  
 ア ス ナ ロ (*Thujopsis dolabrata* S. et Z.)  
 ビ ャ ク シ ン (*Juniperus chinensis* L.)  
 ネ ズ (*J. rigida* S. et Z.)  
 シ マ ビ ャ ク シ ン (*J. Sargentii* HENRY)  
 エ ン ビ ツ ビ ャ ク シ ン (*J. virginiana* L.)  
 オ ニ ヒ バ (*Libocedrus decurrens* TORR.)  
 シ ダ レ イ ト ス ギ (*Cupressus funebris* ENDL.)

以上の各材は当场木材部木材材料科当組織研究室，東京大学農学部森林植物学教室，および京都大学木材研究所生物第一研究所蔵の材鑑，ならびに京都大学農学部付属演習林上賀茂試験地の植栽見本材から，その一部を得たものである。その採取地，樹令，採取部位等は明らかであり（省略する），木材の識別用の標準サンプルまたは樹種の見本樹として用いられているものであつて，正常かつ標準的なものと考えられる。

これらの気乾材からはほぼ  $1 \times 1 \times 1.5$  cm のブロックを二方柾木取として作製した。レプリカ作製のためには，木材の次のような表面を試片として用いた。

i) 気乾材を蒸煮軟化し，マイクロームで切断作製した厚さ約  $20 \sim 40 \mu$  の切片の乾燥した表面（柾目および板目面）：仮導管のルーメンサイドにおいてイボ状構造の存在するか存在しないかを調べるために選んだ。

ii) 人工的に破壊して得た裂開面（柾目面）：仮導管の重孔紋の輪帯表面においてイボ状構造が存在するか存在しないかを調べることを目的として選んだ。

## 2) 検鏡試料の作製

レプリカ法によつたが、レプリカ作製の方法は第1章第2節2において述べたものと全く同じである。

検鏡試料としてレプリカを用いた理由は、まず第1にはイボ状構造の存在がレプリカ操作によつて人工的につくられたものでないことが明らかにされたこと、第2には仮導管のルーメンサイドや重孔紋の輪帯表面のイボ状構造の存在するか存在しないかを調べるには、レプリカ法は試料作製の操作がきわめて容易であり、しかもその表面(ルーメンおよび孔紋室に接する面)の構造をとらえるためには最も適切な方法であることによる。

観察は、仮導管のルーメンサイドのみでなく重孔紋の輪帯表面についてもあわせてこれを行つた。

### 3) 検 鏡

第1章第2節2において述べたものと全く同じである。

#### 3. イボ状構造の存否による針葉樹材の系統的分類<sup>121) 122) 129)</sup>

この実験に用いた供試材についてイボ状構造の存在するかまたは存在しないか(存否)を調べた結果は、Table. 2 に示すとおりである。第1行には科名(family)、第2行には属名(genus)、第3行目には樹種(学名を含む)、第4行目にはイボ状構造の存否を仮導管のルーメンサイドと重孔紋の輪帯表面とにわけて、第5行目には樹脂蔕の存否を、第6行目には螺旋状肥厚の存否をそれぞれ記入した(なお、科属の分類はおおむね岩田と草下<sup>130)</sup>によつた)。

まず *Ginkgoaceae* については、*Ginkgo* 属の1樹種について調べたが、イボ状構造が存在しており、イボ状構造の存在することが、樹種、属および科の特徴となつている。

*Taxaceae* のうちでは、*Taxus*、*Torreya*、および *Cephalotaxus* の3属について計4樹種を調べた。この科にはイボ状構造は存在せず、しかもイボ状構造が存在しないことは、各樹種の特徴であるばかりでなく、3属の特徴であり、したがつて科の特徴となつている。

*Podocarpaceae* については、*Podocarpus* 属の2樹種について調べたが、これらにもイボ状構造は存在しなかつた。調べた樹種は2樹種、属は1属であるが、この調査の範囲内ではイボ状構造の存在しないということが樹種、属および科の特徴となつている。

*Araucariaceae* については、*Araucaria*、*Agathis* の2属について各属1樹種ずつを調べたが、これらの樹種にはイボ状構造が存在し、これは樹種、属のみでなく科の特徴となつている。

*Pinaceae* については、*Abies*、*Pseudotsuga*、*Tsuga*、*Picea*、*Larix*、*Pinus*、*Cedrus*、*Pseudolarix* および *Keteleeria* の9属について調べ、各属の中では *Abies* 属については4樹種、*Pseudotsuga* 属については2樹種、*Tsuga* 属については2樹種、*Picea* 属については6樹種、*Larix* 属については1樹種、*Pinus* 属については4樹種、*Cedrus*、*Pseudolarix*、*Keteleeria* の各属についてはそれぞれ1樹種を調べた。ところが、これらのうち *Abies*、*Tsuga*、*Cedrus* および *Keteleeria* の4属については調べた樹種にはいずれもイボ状構造が存在し、そしてイボ状構造の存在することが樹種および属の特徴となつている。ところが、*Pseudotsuga*、*Picea*、*Larix* および *Pseudolarix* の4属では調べた樹種にはいずれもイボ状構造は存在しない、イボ状構造の存在しないということが樹種のみでなく属のそれぞれ特徴となつている。しかるに *Pinus* 属をみると、アカマツ (*P. densiflora*)、クロマツ (*P. Thunbergii*) の2樹種にはイボ状構造が存在するが、ヒメコマツ (*P. parviflora*)、ゴヨウマツ (*P. pentaphylla*) の2樹種にはイボ状構造は存在しない。すなわち *Pinus* 属の中ではイボ状構造の存在するということがある樹種の特徴とはなつているが、属の特徴とはなりえない。詳しくいえばアカマツおよびクロマツは二葉松

Table 2. 各種の針葉樹材仮導管  
Sorting table of the wart-like

科 Family	属 Genus
<i>Ginkgoaceae</i> (イチョウ科)	<i>Ginkgo</i> (イチョウ属)
<i>Taxaceae</i> (イチイ科)	<i>Taxus</i> (イチイ属)
"	"
"	<i>Torreya</i> (カヤ属)
"	<i>Cephalotaxus</i> (イヌガヤ属)
<i>Podocarpaceae</i> (マキ科)	<i>Podocarpus</i> (マキ属)
"	"
<i>Araucariaceae</i> (ナンヨウスギ科)	<i>Araucaria</i> (ナンヨウスギ属)
"	<i>Agathis</i> (ナギモドキ属)
<i>Pinaceae</i> (マツ科)	<i>Abies</i> (モミ属)
"	"
"	"
"	<i>Pseudotsuga</i> (トガサワラ属)
"	"
"	<i>Tsuga</i> (ツガ属)
"	"
"	<i>Picea</i> (トウヒ属)
"	"
"	"
"	"
"	"
"	<i>Larix</i> (カラマツ属)
"	<i>Pinus</i> (マツ属)
"	"
"	"
"	"
"	<i>Cedrus</i> (ヒマラヤスギ属)
"	<i>Pseudolarix</i> (イヌカラマツ属)
"	<i>Keteleeria</i> (ユサン属)
<i>Sciadopitaceae</i> (コウヤマキ科)	<i>Sciadopitys</i> (コウヤマキ属)
<i>Taxodiaceae</i> (スギ科)	<i>Cryptomeria</i> (スギ属)
"	<i>Cunninghamia</i> (コウヨウザン属)
"	"
"	<i>Taxodium</i> (ヌマスギ属)
"	"
"	<i>Sequoia</i> (セコイヤ属)
"	<i>Glyptostrobus</i> (スイショウ属)
"	<i>Taiwania</i> (タイワンスギ属)
"	"
<i>Cupressaceae</i> (ヒノキ科)	<i>Chamaecyparis</i> (ヒノキ属)
"	"
"	"
"	<i>Thuja</i> (ネズコ属)
"	"
"	"
"	"
"	<i>Thujopsis</i> (アスナロ属)
"	<i>Juniperus</i> (ネズミサン属)
"	"
"	"
"	"
"	<i>Libocedrus</i> (シヨウナンボク属)
"	<i>Cupressus</i> (イトスギ属)

註：+は存在を，-は存在しないことを示す。(Note: +=Feature Present, -=Feature Absent)

におけるイボ状構造の検索表  
structure in tracheids of softwood

樹種 Species	イボ状構造 Wart-like structure		樹脂溝 Resin- duct	螺旋状肥厚 Spiral thickening in tracheid
	ルーメン サイド Inner surface	重孔紋 輪帯表面 Pit border		
イ チ ヨ ウ ( <i>Ginkgo biloba</i> L.)	+	+	-	-
イ チ イ ( <i>Taxus cuspidata</i> S. et Z.)	-	-	-	+
ア メ リ カ イ チ イ ( <i>T. floridana</i> CHAPMAN)	-	-	-	+
カ ヤ ( <i>Torreya nucifera</i> S. et Z.)	-	-	-	+
イ ス ガ ヤ ( <i>Cephalotaxus drupacea</i> S. et Z.)	-	-	-	+
マ キ ( <i>Podocarpus maerophyllus</i> D. DON)	-	-	-	-
ナ ギ ( <i>P. Nagi</i> PILG.)	-	-	-	-
チ リ ・ ア ラ ウ カ リ ア ( <i>Araucaria araucana</i> K. KOCH)	+	+	-	-
カ ウ リ コ バ ー ル ( <i>Agathis australis</i> SALISB.)	+	+	-	-
モ ミ ( <i>Abies firma</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ベ イ モ ミ ( <i>A. grandis</i> LINDL.)	+	+	-	-
ウ ラ ジ ロ モ ミ ( <i>A. homolepis</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ト ド マ ツ ( <i>A. Mayriana</i> MIYABE et KUDO)	+	+	-	-
ト ガ サ ワ ラ ( <i>Pseudotsuga japonica</i> BEISSN.)	-	-	+	+
ベ イ マ ツ ( <i>P. taxifolia</i> BRITT.)	-	-	+	+
カ ナ ダ ツ ガ ( <i>Tsuga Canadensis</i> CARR.)	+	+	-	-
ツ ガ ( <i>T. Sieboldii</i> CARR.)	+	+	-	-
ア カ エ ズ マ ツ ( <i>Picea Glehnii</i> MAST.)	-	-	+	-
エ ズ マ ツ ( <i>P. jezoensis</i> CARR.)	-	-	+	-
ト ウ ヒ ( <i>P. jezoensis</i> var. <i>hondoensis</i> REHD.)	-	-	+	-
ヤ ツ ガ タ ケ ト ウ ヒ ( <i>P. Koyamai</i> SHIRASAWA)	-	-	+	-
ヒ メ バ ラ モ ミ ( <i>P. Maximowiczii</i> REGEL)	-	-	+	-
モ リ ン ド ト ウ ヒ ( <i>P. Morinda</i> LINK.)	-	-	+	-
カ ラ マ ツ ( <i>Larix Kaempferi</i> SARG.)	-	-	+	-
ア カ マ ツ ( <i>Pinus densiflora</i> S. et Z.)	+	+	+	-
ク ロ マ ツ ( <i>P. Thunbergii</i> PARL.)	+	+	+	-
ヒ メ コ マ ツ ( <i>P. parviflora</i> S. et Z.)	-	-	+	-
ゴ ヨ ウ マ ツ ( <i>P. pentaphylla</i> MAYR.)	-	-	+	-
ヒ マ ラ ヤ ス ギ ( <i>Cedrus Libani</i> var. <i>Deodara</i> HOOK. f.)	+	+	-	-
イ ス カ ラ マ ツ ( <i>Pseudolarix Fortunei</i> MAYR.)	-	-	-	-
ユ サ ン ( <i>Keteleeria Davidiana</i> BEISSN.)	+	+	+	-
コ ウ ヤ マ キ ( <i>Sciadopitys verticillata</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ス ギ ( <i>Cryptomeria japonica</i> D. DON)	+	+	-	-
コ ウ ヨ ウ ザ ン ( <i>Cunninghamia lanceolata</i> HOOK.)	+	+	-	-
ラ ン ダ イ ス ギ ( <i>C. lanceolata</i> var. <i>Konishii</i> FUJITA)	+	+	-	-
ラ ク ウ シ ヨ ウ ( <i>Taxodium distichum</i> RICH.)	+	+	-	-
( <i>T. mucronatum</i> TEN.)	+	+	-	-
セ コ イ ヤ ( <i>Sequoia sempervirens</i> ENDL.)	+	+	-	-
ス イ シ ヨ ウ ( <i>Glyptostrobus heterophylla</i> ENDL.)	+	+	-	-
タ イ ワ ン ス ギ ( <i>Taiwania Cryptomerioides</i> HAYATA)	+	+	-	-
ヒ ノ キ ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ベ ニ ヒ ( <i>C. formosensis</i> MATSUM.)	+	+	-	-
ベ イ ヒ ( <i>C. Lawsoniana</i> PARL.)	+	+	-	-
サ ワ ラ ( <i>C. pisifera</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ニ オ イ ヒ バ ( <i>Thuja occidentalis</i> L.)	+	+	-	-
コ ノ テ ガ シ ワ ( <i>T. orientalis</i> L.)	+	+	-	-
ベ イ ス ギ ( <i>T. plicata</i> D. DON)	+	+	-	-
ネ ズ コ ( <i>T. Standishii</i> CARR.)	+	+	-	-
ア ス ナ ロ ( <i>Thujopsis dolabrata</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ビ ヤ ク シ ン ( <i>Juniperus chinensis</i> L.)	+	+	-	-
ネ ズ ( <i>J. rigida</i> S. et Z.)	+	+	-	-
ミ ヤ マ ビ ヤ ク シ ン ( <i>J. Sargentii</i> HENRY)	+	+	-	-
エ ン ビ ツ ビ ヤ ク シ ン ( <i>J. virginiana</i> L.)	+	+	-	-
オ ニ ヒ バ ( <i>Libocedrus decurrens</i> TORR.)	+	+	-	-
シ ダ レ イ ト ス ギ ( <i>Cupressus funebris</i> ENDL.)	+	+	-	-

(hard pine) に属し、ヒメコマツおよびゴヨウマツは五葉松 (soft pine) に属するから、hard pine にはイボ状構造が存在し、soft pine にはイボ状構造は存在しないということが出来る。したがって *Pinus* 属のなかでは、イボ状構造が存在するという特徴と、存在しないという特徴との2つをもっているが、*Pinus* 属としてみた場合にはイボ状構造の存在するか存在しないかは属の特徴とはならない。

*Pinaceae* としてみた場合、イボ状構造が存在する属と存在しない属にわかれるから、イボ状構造が存在するか存在しないかということは科の特徴を示すものとはならない。

*Sciadopitaceae* については、*Sciadopitys* 属の1樹種のみについて調べたが、これにはイボ状構造が存在しており、これは属および科の特徴と考えられる。

*Taxodiaceae* については *Cryptomeria*, *Cunninghamia*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Glyptostrobus* および *Taiwania* の6属について、計8樹種について調べたが、全樹種には一致してイボ状構造は存在し、ここに調べた範囲内では、イボ状構造の存在することは、樹種、属および科の特徴となつている。

次に *Cupressaceae* については、*Chamaecyparis*, *Thuja*, *Thujopsis*, *Juniperus*, *Libocedrus* および *Cupressus* の6属について調べ、各属のうちでは *Chamaecyparis* 属については4樹種、*Thuja* 属については4樹種、*Juniperus* 属については4樹種、その他の3属についてはそれぞれ1樹種ずつについて調べた。その結果、全樹種にイボ状構造は存在しており、イボ状構造の存在することは樹種、属および科の特徴となつている (Phot. 83)。

以上個々について述べたことをまとめると次のような結果となる。

1) 1つの樹種においてはイボ状構造は、仮導管のルーメンサイドと重孔紋の輪帯表面とに一致し存在する。

2) イボ状構造が仮導管に存在するか存在しないかということは、樹種の特徴となつている。

3) イボ状構造が仮導管に存在するか存在しないかということは、属の特徴となつている (ただし *Pinus* 属は例外である)。

4) イボ状構造が仮導管に存在するか存在しないかということは、科の特徴となつている (ただし、*Pinaceae* のみは例外である)。イボ状構造の存在する科は、*Ginkgoaceae*, *Araucariaceae*, *Sciadopitaceae*, *Taxodiaceae*, および *Cupressaceae* の各科であり、イボ状構造の存在しない科は *Taxaceae*, *Podocarpaceae* の両科である。

5) *Pinus* 属のうち、二葉松といわれる hard pine の系統すなわち *Diploxylon* 亜属の樹種の材の仮導管にはイボ状構造が存在するが、五葉松といわれる soft pine の系統すなわち *Haploxylon* 亜属の樹種の材の仮導管にはイボ状構造は存在しない。すなわち、*Pinus* 属中では、イボ状構造が存在するか存在しないかということが、亜属の特徴となつている。

6) *Pinaceae* のうちにはイボ状構造の存在する属と存在しない属とがある (ただし *Pinus* 属は例外) が、イボ状構造の存在する属は、*Abies*, *Tsuga*, *Cedrus* および *Keteleeria* の4属、イボ状構造の存在しない属は *Pseudotsuga*, *Picea*, *Larix* および *Pseudolarix* の3属である。

次には従来光学顕微鏡によつてなされた解剖学的識別資料<sup>131)132)</sup>を基礎として、樹種によるイボ状構造の存否について考察する。

(1) *Ginkgo*, *Araucaria*, *Agathis*, *Abies*, *Tsuga*, *Cedrus*, *Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Cunninghamia*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Taiwania*, *Chamaecyparis*, *Thuja*,

*Thujaopsis*, *Juniperus*, *Libocedrus* および *Cupressus* の各属のようにイボ状構造がその仮導管に存在している樹種は、樹脂溝 (resin duct) が存在しないで、*Pseudotsuga*, *Picea* および *Larix* の各属のようにイボ状構造が、その仮導管に存在しない樹種は樹脂溝が存在しているという一致が認められるのであるが、この一致を説明するような根拠が考えられず、また *Taxaceae*, *Podocarpaceae* の両科に属する属の全樹種および *Pinaceae* のうちの *Pinus* 属中の *Diploxyton* 亜属に属する樹種については、その仮導管にイボ状構造が存在するか存在しないかということ、材に樹脂溝が存在するか存在しないかということとが一致しているという例外があるので、このような関連性も偶然の一致であるかもしれない。

(2) 次にはイボ状構造の存在するか存在しないかということ、仮導管の螺旋状肥厚 (spiral thickening) が存在するか存在しないかという特徴との間の関係を考察してみる。イボ状構造は第2節において述べたように、仮導管細胞膜の膜層の区分上第2次膜よりも後に形成されたという点からみて、第3次膜という区分に入れるという考え方を支持したわけである。ところで螺旋状肥厚は、仮導管のルーメンサイドに螺旋状にその細胞膜の一部が肥厚したものと考えられているが、HODGE と WARDROP<sup>133)</sup> および LIESE と FAHNENBROCK<sup>130)</sup> は螺旋状肥厚はマイクロフィブリル構造をもつ膜層としている。

さて、*Ginkgo*, *Araucaria*, *Agathis*, *Abies*, *Tsuga*, *Pinus* の一部、*Cedrus*, *Keteleeria*, *Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Cunninghamia*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Chamaecyparis*, *Thuja*, *Thujaopsis*, *Juniperus*, *Libocedrus*, *Cupressus* の諸属の樹種にはイボ状構造が存在するが、これらの樹種の仮導管には螺旋状肥厚が存在していない。また *Taxus*, *Torreya*, *Cephalotaxus*, *Pseudotsuga* の諸属の仮導管にはイボ状構造が存在しないが、これらの樹種の仮導管には螺旋状肥厚が存在している。このように以上の諸属に属する樹種については、イボ状構造の存在するか存在しないかということと螺旋状肥厚が存在しないか存在するかということが一致している。このような特徴の一致からみると、イボ状構造および螺旋状肥厚が、第2次膜の内層よりも後に形成されたという点においてその性質が一致しているのであるが、イボ状構造はフィブリル状に伸長しない特異構造であるのに対し、螺旋状肥厚はマイクロフィブリル構造をもつ膜層であるという点においてその性質は著しく異なる。しかも螺旋状肥厚を、第2次膜とは別個のものとして考えるかどうかという点については、なお疑問の存するところである。ところが *Podocarpus*, *Picea*, *Larix*, *Pinus* (一部) の諸属の樹種については、イボ状構造が存在しないと同時に螺旋状肥厚もまた存在しない。すなわち、上述の事項の例外となつているといえる。ゆえに現在の研究の段階においてはこのような仮導管のイボ状構造の存否と螺旋状肥厚の存否との関連性を、法則づけて説明する根拠には乏しいように思われる。

(3) *Pinus* 属の中で *Diploxyton* 亜属の樹種にはイボ状構造が存在し、*Haploxyton* 亜属の樹種にはイボ状構造が存在しないという点については、筆者らはなんらの考察を加えなかつたが、これについては FREY-WYSSLING と MÜHLETHALER と BOSSHARD<sup>127)</sup> の詳しい報告があるのでここでは省略する。

以上の考察からでは、針葉樹材仮導管のイボ状構造の樹種による存否と、その解剖学的諸性質との関連性を説明づける理由が見い出せないのであるが、筆者らの実験の範囲内ではイボ状構造が存在するか存在しないかということが分類学上の特徴となつている点から考えて、細胞膜の形成となんらかの関連をもつものではなからうか。本実験に用いた供試材は各科および各属内の樹種の種類が少ないくらいはあるが、調べた8科のうちで、イボ状構造が存在するか存在しないかということが *Pinaceae* では科の特徴とはならないこと、すなわち属によつてイボ状構造をもつものもたないものがあること、さらにそのうち

Table 3. *Pinaceae* の各樹種の仮導管におけるイボ状構造の検索表  
 Sorting table of the wart-like structure in tracheids of *Pinaceae* Wood

属 Genus	亜属 Subgenus	樹種 Species	イボ状 構造 Wart- like struc- ture	研究者 Author
<i>Abies</i>		<i>Abies alba</i> MILLER	+	LIESE, JOHANN
"		<i>A. firma</i> S. et Z.	+	原田, LIESE, JOHANN
"		<i>A. grandis</i> LINDL.	+	原田
"		<i>A. homolepis</i> S. et Z.	+	"
"		<i>A. Mayriana</i> MIYABE et KUDO	+	"
"		<i>A. nobilis</i> LINDL.	+	LIESE, JOHANN
"		<i>A. Nordmannia</i> SPACH	+	"
"		<i>A. numidica</i> De LANOY	+	"
"		<i>A. pinsapo</i> BOISS.	+	"
<i>Pseudotsuga</i>		<i>Pseudotsuga japonica</i> BEISSN.	-	原田
"		<i>P. taxifolia</i> BRITT.	-	{原田, LIESE, FAHNEN- BROCK
<i>Tsuga</i>		<i>Tsuga Canadensis</i> CARR.	+	原田
"		<i>T. Sieboldii</i> CARR.	+	"
<i>Picea</i>		<i>Picea asperata</i> MASTERS	-	LIESE, FAHNENBROCK
"		<i>P. excelsa</i> LINK.	-	"
"		<i>P. falcata</i> VALCK	-	"
"		<i>P. Glehnii</i> MAST.	-	原田
"		<i>P. jezoensis</i> CARR.	-	{原田, LIESE, FAHNEN- BROCK
"		<i>P. jezoensis</i> var. <i>hondoensis</i> REHD.	-	原田
"		<i>P. Koyamai</i> SHIRASAWA	-	"
"		<i>P. mariana</i> BRITT.	-	LIESE, JOHANN
"		<i>P. Maximowiczii</i> REGEL	-	原田, LIESE, JOHANN
"		<i>P. Morinda</i> LINK.	-	原田
"		<i>P. omorica</i> WILLK.	-	LIESE, JOHANN
"		<i>P. orientalis</i> LINK.	-	"
"		<i>P. polita</i> CARR.	-	"
"		<i>P. Schrenkiana</i> FISCH. et MEYER	-	"
<i>Larix</i>		<i>Larix decidua</i> MILL.	-	LIESE, JOHANN
"		<i>L. Kaempferi</i> SARG.	-	原田, LIESE, JOHANN
"		<i>L. occidentalis</i> NUTT.	-	LIESE, JOHANN
"		<i>L. sibirica</i> LEDEB.	-	"
<i>Pinus</i>	<i>Haploxyylon</i>	<i>Pinus ajacuhuite</i> EHRENB.	-	"
"	"	<i>P. cembra</i> L.	-	"
"	"	<i>P. excelsa</i> WALL.	-	"
"	"	{ <i>P. excelsa</i> var. <i>Wallichiana</i> A. B. JACK- SON	-	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. koraiensis</i> S. et Z.	-	"
"	"	<i>P. Lambertiana</i> DOUGL.	-	"
"	"	<i>P. monticola</i> DOUGL.	-	"
"	"	<i>P. parviflora</i> S. et Z.	-	{原田, FREY-WYSSLING, MÜHLETHALER, BOSS- HARD
"	"	<i>P. pentaphylla</i> MAYR.	-	原田
"	"	<i>P. peuce</i> GRISEB.	-	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD

Table 3. (つづき)

属 Genus	亜属 Subgenus	樹種 Species	イボ状 構造 Wart- like struc- ture	研究者 Author
<i>Pinus</i>	<i>Haploxyylon</i>	<i>Pinus strobus</i> L.	—	LIESE, JOHANN
"	<i>Diploxyylon</i>	<i>P. Banksiana</i> LAMB.	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. canariensis</i> S. A. SM.	+	"
"	"	<i>P. caribaea</i> MORELET	+	"
"	"	<i>P. contorta</i> DOUGL.	+	LIESE, JOHANN
"	"	<i>P. densiflora</i> S. et Z.	+	原田
"	"	<i>P. echinata</i> MILL.	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. glabra</i> WALTER	+	"
"	"	<i>P. halepensis</i> MILL.	+	"
"	"	<i>P. insularis</i> ENDL.	+	"
"	"	<i>P. Jeffreyi</i> BALF.	+	"
"	"	<i>P. khasya</i> ROYLE	+	"
"	"	<i>P. leucodermis</i> AIT.	+	LIESE, JOHANN
"	"	<i>P. longifolia</i> ROXB.	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. maritima</i> LAM.	+	LIESE, JOHANN
"	"	<i>P. mercusii</i> TUNGH. et De VRIESE	±	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. montana</i> MILL.	+	LIESE, JOHANN
"	"	<i>P. Montezumae</i> LAMB.	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. Montezumae</i> var. <i>Hartwegii</i> ENGELM.	+	"
"	"	<i>P. nigra</i> ARNOLD	+	"
"	"	<i>P. nigra</i> var. <i>austriaca</i> PILGER	+	LIESE, JOHANN
"	"	<i>P. nigra</i> var. <i>calabrica</i> SCHNEID.	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. nigra</i> var. <i>laricio</i> PILGER	+	LIESE, JOHANN
"	"	<i>P. oocarpa</i> SCHIEDE	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. palustris</i> MILL.	+	"
"	"	<i>P. pinaster</i> SOL.	+	"
"	"	<i>P. ponderosa</i> DOUGL.	+	"
"	"	<i>P. pseudostrobus</i> LINDL.	+	"
"	"	<i>P. radiata</i> D. DON	+	"
"	"	<i>P. resinosa</i> AIT.	+	"
"	"	<i>P. rigida</i> MILL.	+	"
"	"	<i>P. rudis</i> ENDL.	+	"
"	"	<i>P. Sabiniana</i> DOUGL.	+	"
"	"	<i>P. serotina</i> MICHX.	+	"
"	"	<i>P. silvestris</i> L.	+	LIESE, FAHNENBROCK
"	"	<i>P. taeda</i> L.	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
"	"	<i>P. teocote</i> SCHLECHT. et CHAM.	+	"
"	"	<i>P. Thunbergii</i> PARL.	+	原田
"	"	<i>P. Torreyana</i> PARRY	+	{FREY-WYSSLING, MÜH- LETHALER, BOSSHARD
<i>Cedrus</i>	"	<i>Cedrus Libanii</i> var. <i>Deodara</i> HOOK.	+	原田
<i>Pseudolarix</i>	"	<i>Pseudolarix Fortunei</i> MAYR	—	"
<i>Keteleeria</i>	"	<i>Keteleeria Davidiana</i> BEISSN.	+	"

注：+は存在を，-は存在しないことを示す。(Note: +=Feature Present, -=Feature Absent.)

の一属 *Pinus* 属では、イボ状構造の存否は属の特徴とはならないで亜属の特徴となつていることなど、*Pinaceae* にこのような例外が多いという点から考えて、イボ状構造の存否が系統発生学の面になんらかの暗示を与えるものではないかと推定される。

その後 LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> は最も多くの属および樹種を含み、かつ筆者らの結果からして最も例外の多いと考えられる *Pinaceae* に属する *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Larix*, *Pseudotsuga* の5属の40樹種および *Taxodiaceae* のうちの *Sequoia* 属の1樹種について、イボ状構造の存否を調べ筆者らの結果を追試した。さらに FREY-WYSSLING と MÜHLETHALER と BOSSHARD<sup>127),128)</sup> は、筆者らの報告<sup>121)</sup> のうち、*Pinus* 属中の hard pine すなわち *Diploxyylon* 亜属の樹種にはイボ状構造が存在し、soft pine すなわち *Haploxyylon* 亜属の樹種にはイボ状構造が存在しないという点に関心をもち、*Pinus* 属のみの35樹種についてイボ状構造の存否を調べた。ゆえに次には *Pinaceae* の属および樹種について、筆者らの得た結果を中心としてこれに LIESE と JOHANN<sup>125)</sup>, FRAY-WYSSLING と MÜHLETHALER と BOSSHARD<sup>127),128)</sup> の結果をつけ加えて一覧表とすると **Table 3** のとおりである。

Table 3 の第1行目は属、第2行目は亜属、第3行目は樹種、第4行目はイボ状構造の存否、第5行目は研究者名を記した(ただし、亜属は *Pinus* 属のみについて記した)。まず LIESE と JOHANN<sup>125)</sup> の研究結果をみると、*Abies* 属については6樹種について調べ、いずれもイボ状構造の存在することを確かめ、そのうち1樹種については筆者らの結果を確証したものであり、イボ状構造の存在が *Abies* 属の特徴であることについての証拠をましたといえる。また *Pseudotsuga* 属については1樹種について調べ、筆者らと全く同じ結果すなわちイボ状構造が存在しないことを確認している。次に *Picea* 属については10樹種について調べているが、いずれもイボ状構造が存在しないとしている。このうちの2樹種については筆者らがすでに報じた結果を追証し、他の7樹種についてはイボ状構造が存在しないことが *Picea* 属の特徴であることに対する証拠を確実にしたこととなる。また *Larix* 属については、4樹種について調べ、いずれもイボ状構造の存在しないことを確認、うち1樹種については筆者らの結果を確認している。このように *Pseudotsuga*, *Picea* および *Larix* の各属についてはイボ状構造が存在しないことが、*Abies* 属についてはイボ状構造が存在することが、それぞれの属の特徴となつているという筆者らの結果を確認している。また *Pinus* 属については16樹種について調べ、そのうち *Diploxyylon* 亜属すなわち hard pine といわれる7樹種についてはイボ状構造が存在しており、*Haploxyylon* 亜属すなわち soft pine に属する4樹種にはイボ状構造は存在しないことを確証し、筆者らの指摘したごとく *Pinus* 属のうちではイボ状構造が存在するか、または存在しないかということが属の特徴とはならず、亜属の特徴となつているのであるが、残りの5樹種については必ずしもこの法則に従わないが、今後の研究にまつべきであるとしている。

次に FREY-WYSSLING と MÜHLETHALER と BOSSHARD<sup>127),128)</sup> の研究の結果、*Pinus* 属の樹材については射出仮導管に鋸歯状縁が存在するか存在しないかが重要な識別上の拠点となつており、しかもこの射出仮導管に鋸歯状縁が存在すること(+)と、仮導管にイボ状構造が存在すること(+)とが一致し、また存在しないという点についても一致する(—)という事実に着目し、*Diploxyylon* 亜属29樹種についてイボ状構造を調べた結果、*P. mercusii* 1樹種のみは(±)という例外があつたが、他の樹種にはイボ状構造の存在することを確認し、*Diploxyylon* 亜属の材についてはイボ状構造が存在するということが亜属の特徴となつていることを証拠だてた。

さらに興味あることは、調べた 29 樹種のうち、例外である *P. mercusii* を除き他の 28 樹種はいずれもイボ状突起の存在すること、射出仮導管に鋸歯状縁が存在していることと一致していたが、*P. khasya*, *P. insularis* の 2 樹種のみは PILGER<sup>124)</sup> の分類によると、*Pinus* 属の *Sekt. 9, Khasia Mayr* に属するにもかかわらず、それらの材の仮導管には鋸歯状縁が存在しておらず例外的存在であった。しかし、この実験によつて、仮導管にはイボ状構造が存在することが認められ、イボ状構造の存在という特徴からすると、この両樹種は *Diploxylon* 亜属に入れるべきであるといえる。すなわちイボ状構造の存在が *Diploxylon* 亜属の樹種の決定に役だつとみることができるとしている。つぎに *Haploxylon* 亜属については 6 樹種について調べ、いずれの樹種についてもその仮導管にはイボ状構造が存在しないことを認め、イボ状構造の存在しないということが *Haploxylon* 亜属の特徴となつていることを確認している。

以上詳しく述べたように LIESE と JOHANN<sup>125)</sup>, FREY-WYSSLING と MÜHLETHALER と BOSSHARD<sup>127), 128)</sup> の研究によつて *Pinaceae* 中の *Abies*, *Pseudotsuga*, *Picea*, *Larix* および *Taxodiaceae* 中の *Sequoia* の各属については、それぞれの仮導管にイボ状構造が存在するか存在しないかということが属の特徴となつているという筆者らの見解がさらに多くの樹種の調査によつて追証された。また *Pinus* 属についても、仮導管にイボ状構造が存在するか存在しないかということは属の特徴とはならないこと、そして *Pinus* 属については、その亜属すなわち *Diploxylon* 亜属では、イボ状構造が存在すること、*Haploxylon* 亜属ではイボ状構造が存在しないというように亜属の特徴となるという筆者らの見解が確認されたといふことができよう。

以上の観察および考察の結果、筆者らの研究した範囲内では、針葉樹材仮導管にイボ状構造が存在するか、存在しないかということは樹種の特徴であつて、針葉樹材の分類学的価値をもつものということが明らかとなつた。すなわち、(1)イボ状構造の存在するか存在しないかは *Pinus* 属のみを除いて属(genus)の特徴となつている。(2) *Pinus* 属ではイボ状構造が存在するか存在しないかは亜属(subgenus)の特徴となつている。(3)イボ状構造が存在する科(属)は、*Ginkgoaceae* (*Ginkgo*), *Araucariaceae* (*Araucaria*, *Agathis*), *Sciadopitaceae* (*Sciadopitys*), *Taxodiaceae* (*Cryptomeria*, *Cunninghamia*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Glyptostrobus* および *Taiwania*), *Cupressaceae* (*Chamaecyparis*, *Thuja*, *Thujopsis*, *Juniperus*, *Libocedrus* および *Cupressus*), *Pinaceae* の一部 (*Abies*, *Tsuga*, *Cedrus* および *Pinus* (ただし、*Diploxylon* 亜属のみ))。

イボ状構造をもたない科(属)は、*Taxaceae* (*Taxus Torreyana*, および *Cephalotaxus*), *Podocarpaceae* (*Podocarpus*), *Pinaceae* の一部 (*Pseudotsuga*, *Picea*, *Larix*, *Pseudolarix* および *Pinus* (ただし、*Haploxylon* 亜属のみ)) である。

#### 第 4 節 要 約

本章の結果を要約すると次のとおりである。

1. 針葉樹材仮導管のイボ状構造をレプリカおよび超薄切片試料について研究した結果、次のことが明らかになつた。

1) イボ状構造はある種の針葉樹材の仮導管の細胞膜に固有の構造として、仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面に存在する。

2) イボ状構造はある種の針葉樹材の樹種の特徴として、同一樹種に普遍的に存在する。

3) イボ状構造は、仮導管のルーメンサイドおよび重孔紋の輪帯表面をおおうフィブリル状でない薄膜と、それが部分的に突出したいわゆるイボ状突起とから構成されており、そのうち特にイボ状突起の分布密度には著しいバラツキがある。またイボ状突起の大きさについては同一樹種内でも大きなバラツキがあるが、ヒノキおよびスギ両材について計測した結果、その直径は、 $0.04\sim 0.28\ \mu$ 、高さは、 $0.02\sim 0.20\ \mu$ であつた。

4) 仮導管の細胞膜の膜層の区分上からは、イボ状構造は第2次膜よりも後に形成され、しかもその性質が全く第2次膜と異なるという点から、第3次膜とみなすという小林と内海<sup>14)</sup>の見解を支持する。

2. 針葉樹 29 属 55 樹種の材について、レプリカ試料によつてイボ状構造の存否を調べ、その分類表を作成した。その結果次のことが明らかになつた。

1) 針葉樹材の仮導管にイボ状構造が存在するか存在しないかということは樹種の特徴として針葉樹材の分類学的価値をもっている。

2) 仮導管にイボ状構造が存在するか存在しないかということは、*Pinus* 属を除いては針葉樹材の属(genus)の特徴となつている。

3) *Pinus* 属内ではイボ状構造が存在するか存在しないかは亜属(subgenus)の特徴となつている。

4) イボ状構造が存在する科(属)は、*Ginkgoaceae* (*Ginkgo*), *Araucariaceae* (*Araucaria*, *Agathis*), *Sciadopitaceae* (*Sciadopitys*), *Taxodiaceae* (*Cryptomeria*), *Cunninghamia*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Glyptostrobus* および *Taiwania*), *Cupressaceae* (*Chamaecyparis*, *Thuja*, *Thujopsis*, *Juniperus*, *Libocedrus* および *Cupressus*) *Pinaceae* の一部 (*Abies*, *Tsuga*, *Cedrus*, *Keteleeria* および *Pinus*, ただし *Diploxylon* 亜属のみ)。

5) イボ状構造が存在しない科(属)は、*Taxaceae* (*Taxus*, *Torreya* および *Cephalotaxus*), *Podocarpaceae* (*Podocarpus*), *Pinaceae* の一部 (*Pseudotsuga*, *Picea*, *Larix*, *Pseudolarix* および *Pinus* (ただし *Haploxylon* 亜属のみ)) である。