

外傷による放射柔細胞壊死過程の光学顕微鏡的観察

——短期間実験における着色の広がり——

野 淵 正

Light microscopy of the necrobiosis of ray parenchyma
cells by wounding.

——Extent of discoloration in short term experiments——

Tadashi NOBUCHI

目 次

1. はじめに.....152	3-2 時間的経過にともなう着色の広がり
2. 試料および実験方法.....153	3-3 着色部形成にともなう組織的特徴
3. 結果および考察.....153	文 献.....156
3-1 傷の大きさによる着色の広がり	Résumé156

要 旨

1. スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) を試料木とし、外傷による放射柔細胞の壊死過程を、短期間実験 (0—65日) の範囲で、光学顕微鏡により観察した。
2. 傷の大きさによる着色の広がりを見ると、T方向の着色幅は、傷のT方向幅にほぼ一致し、L・R方向には傷の大きさに関係なくほぼ一定値を示した。
3. 傷の大きさを一定にし、時間的経過を追って着色の広がりを見ると、処理後3日位から放射柔細胞中に着色物質が形成されはじめ、処理後の日数の増加とともに、広がり・濃さを増した。
4. 着色帯の周辺部に、人工白線帯が存在した。これは次に着色化してゆく部位と考えられる。

1. は じ め に

立木の一部に傷が与えられ、その後ある期間生育を続けると、傷を契機として材中の一部に着色した部位が形成される。しかもこの着色化は、生きている辺材部が部分的に死ぬ——壊死する——ことによりもたらされる一種の人工心材の形成と類似の現象と考えられている。実際このような現象は、自然界において天然・人為の種々の外傷のもとに発生しており、最近林業関係者の間で問題にされてきた「ボタン材」問題も、一つにはこのような現象が関係しているものと見ることが出来る^{1,2)}。この着色化は、外傷に対して生物体である樹木が反応した結果としての現象と考えられ、本来辺材部で生きている柔細胞群が、その寿命を早められて死にむかう過程の中で、柔細胞により形成された着色物質が、柔細胞内および周囲の細胞へと広がってゆくことによりもた

らされるものと推定される¹⁾。この現象の解明には、種々の問題の追究が必要と思われる。とくに外傷が与えられて後の柔細胞の変化過程、いいかえるならば柔細胞の死の動的なプロセスを観察することは、この現象の解明に有意義と考える。このような観点に立って、外傷が与えられて後の柔細胞の変化過程を追うことを試みた。しかも外傷がつけられた瞬間から比較的初期の段階における反応に重点をおいて観察する目的で、短期間の人為的処理を施した。また樹木側自体の条件、とりわけ季節的要因に起因する生理的な条件を出来る限り同一レベルにするため、今回は夏期（6月—8月）を選んで実験を行なった。

なお、本実験は「木材の質的生産技術に関する研究、グループの仕事の一環として、1974年6月から、愛媛県上浮穴郡久方町の山林で継続しつつある実験木の一部を用いて行なったものであり、今回の実験に際しては久方町の方々、とりわけ岡譲氏に、試料木の御提供及び実験木の処理等でお世話になりました。ここに記して感謝の意を表明します。

2. 試料および実験方法

愛媛県上浮穴郡久方町下畑野川に生育するスギの人工林の中から、約25年生の試料木（樹高：14.8m，胸高直径：13 cm）を選んだ。

傷のつけ方には、①傷の大小による着色化の比較、②傷の大きさは一定にし、外傷を与えて後の日数のちがいによる着色化の比較、の2点に重点をおいた。ところで着色の広がりを観察する時、傷により影響をうける木部の柔細胞自体は、半径方向（以下R方向と呼ぶ）での形成層からの距離により生理的条件が異なる。この点を考慮に入れ、①、②いずれの場合も傷のR方向の深さは形成層近辺（当年生の最外部）までとした（Fig.1参照）。この方法によると、形成層近辺から内部にいたる変化過程をおさえることが出来る。①用には傷の面積——接線方向（以下T方向という）×繊維軸方向（以下L方向という）——を、0.5 cm 平方、1 cm 平方、2 cm 平方、3 cm 平方各1ヶ6月8日に処理し、8月12日伐木まで放置した（地上高、2.8 m 位置）。②用にはT×Lを1 cm 平方とし、6月8日、6月25日、7月15日、7月31日、8月9日に処理し、8月12日伐木まで放置した（地上高、0.8 m、1.8 m 位置で各々1シリーズづつ）。

8月12日伐木後、処理部を中心に樹皮から髓までを含むブロックを取り、直ちに固定（FAA Iまたは3%グルタルアルデヒド）した。この固定ブロックより、常法に従って切片（厚さ約20 μ ）を取り、(i)サフランin、ライトグリーン2重染色、(ii)無染色、(iii)スーダンIV染色、(iv)ヨウ素ヨウ化カリウム染色を施し、主として光学顕微鏡で観察した。

3. 結果および考察

傷に対する柔細胞の壊死は、一般に結果的に着色物質の形成をとまう。この着色物質の形成そのものの機構あるいは細胞の死そのものの判断は今回の実験のみからはおさえられないが、細胞の壊死と着色物質の形成は、ほぼともなって現れてくると考えられる。たとえば、細胞の生命現象の中心と考えられる核の形態を見ると、無処理試料（Photo. 1—a）で放射柔細胞中の細長い核が、処理試料（Photo. 1—b, c）では変形して丸くなり、あるいは収縮した状態を示している。これらの核を含む細胞では、スーダンIVによる脂質の染色、ヨウ素ヨウ化カリウムによるでんぷんの染色から判断すると、貯蔵物質も存在しなかった。すなわちこれらの細胞群は壊死ないしはその方向にあるものと考えられる。一方無染色切片で見ると、これらの細胞中には着色物質が存在している。従って、傷に対する柔細胞の壊死過程を、今回は結果的に形成された着色物質

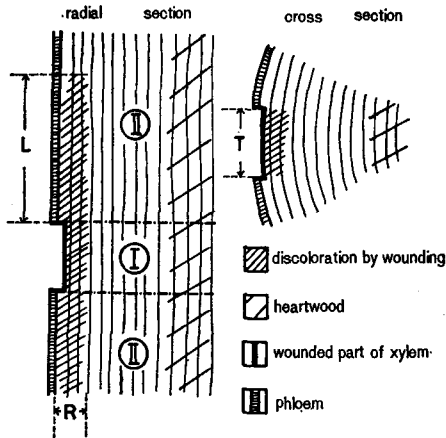


Fig. 1 Schematic representation of the extent of discoloration.

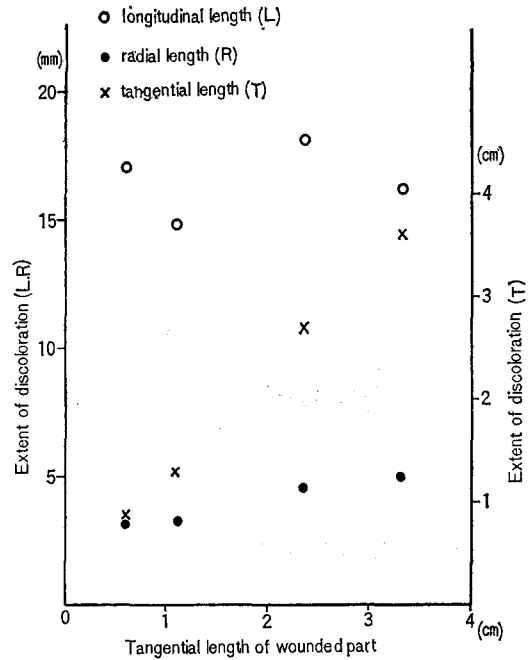


Fig. 2 Extent of discoloration with the samples of different size of wounding.

の存在を主な指標として観察してゆくことにした。

3-1 傷の大きさによる着色の広がり

試料①のシリーズを用いて、傷の大きさによる着色の広がりを観察した。着色の広がりを模式的に示すと、Fig. 1 のようになる。すなわち、傷を中心にして上・下両方向にほぼ同様に着色は広がっている。ここで着色帯の最大長さを $R \cdot T \cdot L$ 3 方向について測定した結果が Fig. 2 である。今回の試料数は限られており、また傷の大きさの取り方にも限りがあるが、着色の広がり方には一つの法則性が見られる。すなわち、 $L \cdot R$ 方向の値は傷の大小に無関係にほぼ等しく、また T 方向の値は、傷の T 方向長にほぼ比例するといえる。たとえば Photo. 2 で見るように、傷面に接した放射柔細胞の列では着色が見られるが、それからはなれた放射柔細胞には着色は見られない。すなわち、 T 方向において直接傷面に接した放射柔細胞および仮道管の範囲内に着色化はおさまっていると考えられる。このように接線面において、直接傷を受けた細胞群がまず第一段階としての影響を受け、その後 T 方向の幅が制限された形で、 $R \cdot L$ 方向に着色化が進行するものと考えられる。

3-2 時間的経過にともなう着色の広がり

傷の大きさを一定にし、時間的経過を追って着色帯の広がりを追跡した。前述したように T 方向の広がり、は、少なくとも短期間実験の範囲内では、ほぼ傷の T 方向長に一致するからこれは除外し、 $R \cdot L$ 方向の広がりを顕微鏡で測定した。外傷を与えて後の日数を横軸に対数目盛でプロットすると、着色帯の最大長は、Fig. 3 のような増加を示した。すなわち処理後約 3 日で、処理部に近い細胞から着色化をはじめ、その後 $R \cdot L$ 方向に広がり、65 日間では L 方向に 20mm 近く、また R 方向に約 5 mm (形成層から 3 年目) まで着色は広がっている。また今回の短期間実験の範囲では、 $R \cdot L$ 両方向への時間的な広がり方は、ほぼ同様の割合で進行しているものと思われる。

これらのプロセスを顕微鏡写真で見る。Photo. 1—a～c に各々無処理、8月9日処理（伐木まで3日間）、6月25日処理（伐木まで48日間）の1例を示した。b, c では切片の左はしが傷面に相当するが、処理後3日間の試料では、無処理サンプルと比べて、傷に近い放射柔細胞群中のいくつかの核が丸く収縮し始めている。またこれらの細胞中には着色物質が存在し、最初の着色化が始まっていると考えられる。一方同様の部位が処理後48日間の試料ではさらに変化し、核は濃色の小さいかたまりのように見え、すでに残骸化しているものと推定される。また Fig. 3 では、着色化した細胞を同等のものとして整理したが、実際には着色は処理後の日数が増加するほど濃色になる傾向を示した。この結果は、人工心材実験において、処理後長期間経過した試料ほど濃い人工心材部が得られるとする矢沢らの報告と一致していると考えられる。

3—3 着色部形成にともなう組織的特徴

以上に傷の大小および短期間実験の範囲内での時間的経過を追った着色の広がり の概略を見てきた。

これらの中で組織的に見た 2, 3 の特徴を次に述べる。

Fig. 1 において、直接傷を受けた部位 I と、その上・下の部位 II とを比較してみる。各々の 1 例を Photo. 3—a, b に示した。写真からわかるように、核の残骸化の相違をはじめ、多少の異なる点が観察される。I の場合、傷に開口した細胞の内容物がなくなっているのは、流出等により説明出来るが、それに隣接した細胞において、着色化にむらがあり、一方 II においては細胞内にはほぼ均一に着色物質が存在している。着色物質形成のメカニズムについては解明すべき問題が多いが、師部を通して柔細胞に運ばれてきた同化生成物を原料として、その細胞の生理的条件下に支配されて着色物質が形成されるとの考えに基づくと、I の場合師部側からの直接的な物質供給の道は切断されることになる。つまり、柔細胞自体が持っている貯蔵物質ないしは内部の柔細胞群からの成分の供給という制限された条件下で着色物質が形成されることになる。一方、II の部位では柔細胞は、直接的には傷を受けていず、柔細胞の織りなすネットワーク自体は存在する中で、柔細胞をとりまく仮道管等の通導組織の状態変化（含水率や空気量の変化）あるいは柔細胞のネットワークを通しての、直接影響を受けた柔細胞からの何らかの物質移動という間接的な影響により壊死するものと考えられる。従って結果的に着色化する仕方には両部位での相違が生じるものと考えられる。たとえば、人工心材において、傷に囲まれた部位が白っぽい変色を示し、傷から離れると天然心材の色に近づく傾向を示す場合が多いが、これは傷に囲まれた部分における着色物質形成の特異性・不完全さに起因するものと考えられる。

次に着色帯の周辺細胞に、Photo. 4—a, b に示すような形態の細胞内要素が存在する傾向を示した。これらは種々の大きさの球状を示し、サフランINで赤色に染色されスダンIVには染色されなかった。これらの形態的特徴が何かは決定出来なかったが、着色帯周辺の未着色の放射柔細胞中に存在する傾向を示し、着色化の前段階の細胞の一つの形態的な特徴を示しているものと推定された。処理ブロックを肉眼で見る時、天然心材周辺部の、いわゆる白線帯に類似の帯が着色部

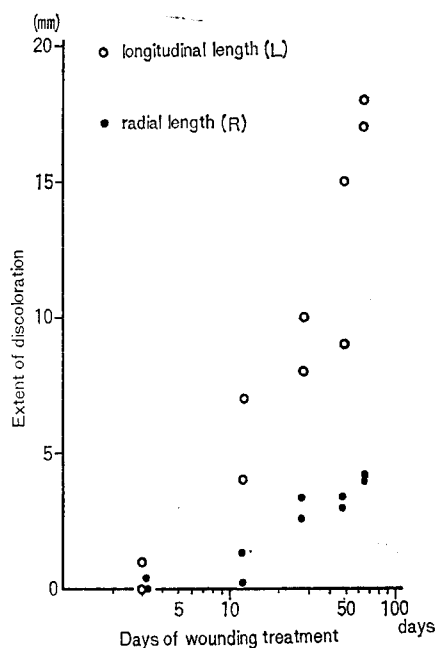


Fig. 3 Extent of discoloration with the time sequent treatment sample.

周辺に存在する場合があったが、Photo. 4 に示した特徴は、処理によるいわば「人工白線帯」³⁾における特徴の一つではないかと考える。

ところで、①・②両処理サンプルにおいて、着色の広がり是比较的小さい値を示した。今回の観察が着色物の存在を中心にしているため、傷の影響は実際にはさらに広範囲に、たとえば前述の白線带状の部分に進行し、次の段階として広い着色化を示すことは考えられる。しかし今回の処理がR方向に比較的小さい処理であった点を考えると、傷の影響は直接的には形成層近辺の細胞に限られていることになる。R方向での放射線細胞の生理的条件は、心材形成等の立場から報告されているように形成層からの距離により異なり、形成層に近いほど生理現象は活発に行なわれているものと考えられる。たとえば人工心材実験等において、生長錐により部材から心材部に⁵⁾いたる孔がけられた場合、一般に心材部に近づくほど着色帯の広がりは大くなる傾向を示すが、これは心材部に近い放射線細胞ほど着色化しやすい状態下にあることを裏づけているものと思われる。すなわち今回の処理では、活発な生理的条件下での傷の作用を観察したことになり、従って樹木の傷に対する回復力も強いものと考えられる。このことは着色の広がり狭い一つの理由と思われる。一方、今回の実験のように着色が狭い範囲におこった場合でも、着色に囲まれた髄側の放射線細胞群は結果的に壊死する可能性が高く、長期の間には、第二段階としての放射線細胞の壊死およびそれにとまなう着色化のおこることが推定される。

以上に外傷処理による短期間実験の範囲内での、着色帯形成の概略を見てきたが、長期的な条件下での現象、季節的要因、またこれらの基底に存在する壊死自体のメカニズム等、今後問題を残しているものと考えられる。

文 献

- 1) 大迫靖雄, 堤 利夫, 野淵 正, 森田 学: 木材の質的生産技術に関する研究, (1) ボタン材について 京大演報, **44**, 159 (1972)
- 2) 大迫靖雄, 堤 利夫, 野淵 正, 森田 学: 木材の質的生産技術に関する研究, (2) 枝打ちとボタン材 京大演報, **46**, 103 (1974)
- 3) 矢沢亀吉, 石田茂雄, 大谷 諄: 心材の人工形成に関する研究, 北大演報, **25** (1), 9 (1967)
- 4) 樋口隆昌: 心材形成の機構, 木材誌, **16** (3), 99 (1970)
- 5) FREY-WYSSLING, A. and BOSSHARD, H. H.: Cytology of the ray cells in sapwood and heartwood, *Holzforsch.*, **13** (5), 129 (1959)

Résumé

1. Necrobiosis of the ray parenchyma cells in Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) following their wounding was observed by a light microscope. Wounds were inflicted for 0-65 days.
2. The tangential length of the discolored xylem corresponded to the tangential length of wounded area. The longitudinal and radial length of the discoloration showed almost an equal value in the different size of wounded area.
3. In the time sequent treatment sample, the first discoloration was found after 3 days and the degree and the depth of discoloration increased when the length of treatment increased.
4. In the inner part of the discoloration, an artificial white zone was observed. This specialized zone might become discolored in the next stage of growth.

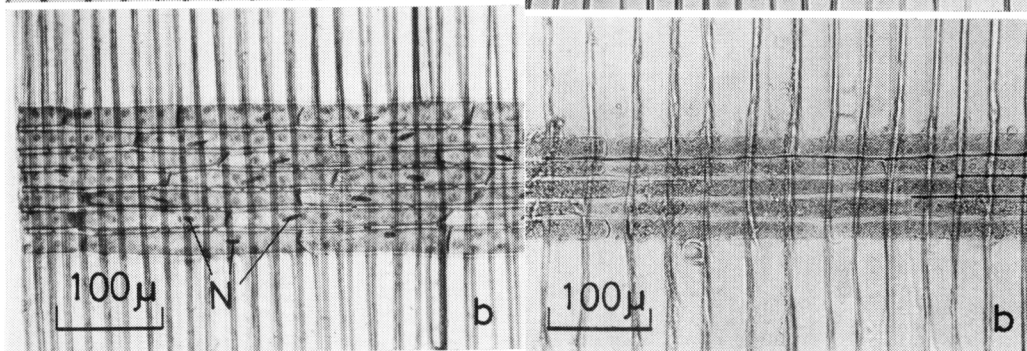
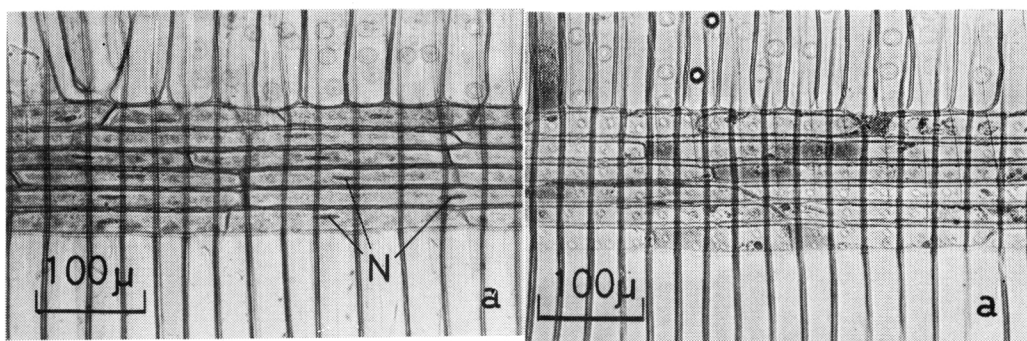


Photo. 3

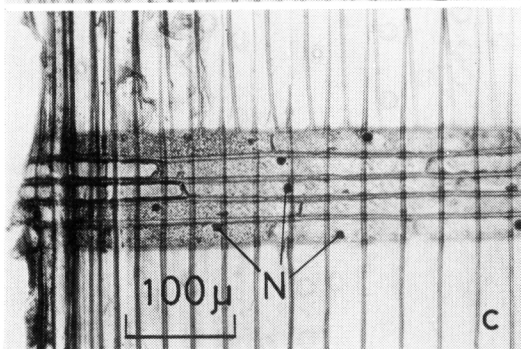


Photo. 1

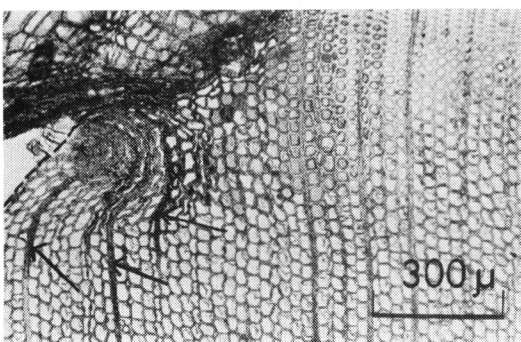
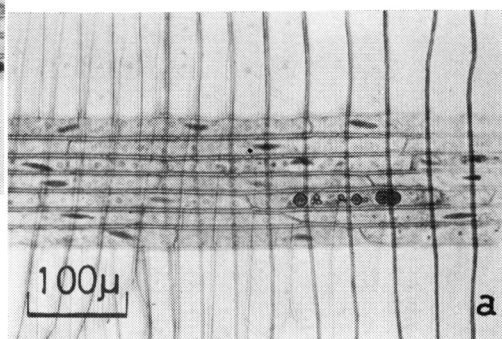


Photo. 2

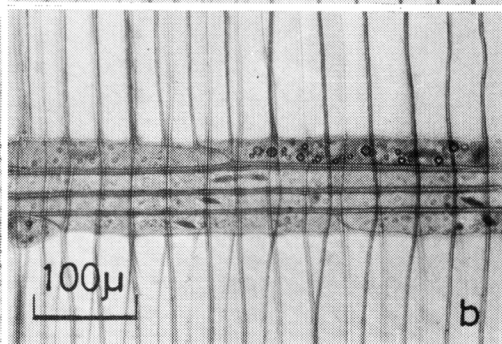


Photo. 4

Photo. 1 light micrographs of radial sections showing the necrobiosis of the ray parenchyma cells. Stained with safranin and light-green. N: nucleus. a: control sample, b: 3 days after treatment, c: 48 days after treatment.

Photo. 2 Light micrograph of the cross section with no staining. Dotted line shows the wounded part and the arrows show the discolored ray parenchyma cells. 65 days after treatment.

Photo. 3 Light micrographs of the radial sections with no staining. 48 days after treatment. a: sample from the position I in Fig. 1, b: sample from the position II in Fig. 1.

Photo. 4 Light micrographs of the radial sections from the artificial white zone. Stained with safranin and light-green. 65 days after treatment.