

スギ樹幹における黒心材形成と灰分

小田, 一幸
九州大学農学部木材理学講座

松村, 順司
九州大学農学部木材理学講座

堤, 壽一
九州大学農学部木材理学講座

阿部, 善作
九州大学農学部木材化学工学講座

<https://doi.org/10.15017/23515>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 48 (3/4), pp.171-176, 1994-03. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

スギ樹幹における黒心材形成と灰分

小田 一幸・松村 順司
堤 壽一

九州大学農学部木材理学講座

阿部 善作

九州大学農学部木材化学工学講座

(1994年1月12日受理)

Black-Heartwood Formation and Ash Contents in the Stem of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don.).

Kazuyuki ODA, Junji MATSUMURA and Juichi TSUTSUMI

Laboratory of Wood Science, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-08, Fukuoka 812

Zensaku ABE

Laboratory of Industrial Chemistry of Wood, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-08, Fukuoka 812

結 言

スギの心材は、他樹種と比較すると色調の変異幅が大きく、淡桃色から黒褐色まで様々な色を示す。このうち、黒褐色の心材は、装飾的な用途や樫材としての利用に問題があるとされ、加えて生材含水率が高く、乾燥に時間と費用がかかる(久田, 1990)ので、従来から低品質材としての評価を受けている。このため、古くから遺伝と環境の両面から、スギの黒心材形成について検討されてきたが、未だその原因は解明されていない。しかも立木時に黒心材か否かも判定できない(渡辺, 1977)ので、適切な生産管理を行えないのが実状である。したがって、黒心材形成の原因を明らかにし、その発生を低減させる技術の確立が急がれている。

ところで、心材の黒変現象を観察すると、心材が立木時から黒褐色を示す例は少なく、伐採後時間の経過につれて心材の表面が黒く発色する例が多いことが経験的に知られている。すなわち、心材が黒褐色になるためには、(1)黒く発色する成分が存在すること、(2)空気にふれて酸化重合されること、(3)心材がアルカリ性であること、の3つの条件が必要と考えられ(基太村, 1962)、弱酸性である通常の心材が、何らか

の原因によってアルカリ側に傾き、空気にさらされたとき心材が黒変すると推定されている。

そこで、黒心材形成の原因解明の方法の1つとして、心材のアルカリ性化現象からのアプローチが考えられる。しかし、黒心材がアルカリ性を示す原因についての研究はほとんど見当たらない。幹の外傷部から侵入した微生物の酵素によって材中の蛋白質が分解して生成されるアンモニアによる報告(藤岡・高橋, 1918)があるが、他方では、遺伝的に黒心材とされる品種が存在し(関西材木育種場, 1979; 宮島, 1989)、これらの品種に属する個体のすべてが、都合よく微生物の侵入を受けるとは考えにくい。つまり、黒心材のアルカリ性化の原因は明らかになっているとは言えないのである。

以上のようなことから、この研究では、木部中に含まれる金属塩に注目し、灰分量を測定し心材色との関係を検討するとともに、灰分中の元素の定量分析を行い、心材のアルカリ性化現象を考察した。また、以前に行った実験の結果(河澄ら, 1991a; 河澄ら, 1991b)および既往の文献とも考え合わせ、黒心材形成についての考えを提案した。

この論文を作成するにあたり、本学名誉教授近藤民雄先生から貴重な示唆を受けた。ここに心から感謝申

し上げる。また、灰分の定量分析に、ご協力していただいた本学中央分析センターの渡辺美登理博士に深く謝意を表する。

材料および方法

1. 試験木と試料

九州大学福岡演習林および大分県上津江村の民有林から、赤心材から黒心材まで心材色が広く分布するように考慮して試験木を選んだ。その際、黒心材形成には、遺伝、環境（立地）および微生物が関与するとされているが、微生物の侵入によって黒変しているものは避けた。この結果、実生のものやさし木のもの、品種名がわかるものやわからないもの、合計 21 本の 29～45 年生スギを試験木とした。それぞれの試験木の胸高付近から長さが 20～30cm の円板を採取し、このあとの試料とした。なお、これらの円板には、伐倒後直ちに切り出したものもあれば約 1 箇月後に採取したものもあったので、円板は乾燥していないもの、すべての試験木で心材の生材含水率を測定することはできなかった。

2. 心材色および灰分の測定

測色面がまさ目になるように、円板から辺材を含む試験片を切り出し、適宜、pH 試験紙で心材の pH を測定したあと天然乾燥した。試験片が気乾状態に達したのち、表面を鉋削し一昼夜放置してから、色彩色差計を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系で心材色を測定した。

また、心材色を測定したすべての試験片の心材と、一部の試験片の辺材からそれぞれ灰分測定用試料を製作した。マッフル炉を使って初期温度 250°C で炭化し、その後 300°C、500°C と段階的に温度を上げ、最終的には 700°C で灰化した。ついで、得られた灰分のうち、典型的な黒心材、典型的な赤心材、それらの中間的な心材および辺材の灰分についてそれぞれ 2～4 点ずつ、九州大学中央分析センターの ICP 質量分析装置を利用して組成元素を分析し、定量した。

結果と考察

1. 心材の明度と灰分量

色は、色相（色あい）、明度（明るさ）および彩度（あざやかさ）の 3 つの組み合わせで表現されるが、赤心材と黒心材を問題にすると、明るさの指数である明度が、心材色の違いを最も適切に表すと考えられている。そこで、心材色の指標として明度を用いることにし、同一の試験片で測定した明度と灰分量との関係を、Fig. 1 に示した。

Fig. 1 からわかるように、心材の灰分量は、明度が 65 以上の典型的な赤心材では 0.5% 程度であるが、明度が 50 以下の典型的な黒心材では 1% 前後の値に達し、赤心材よりも黒心材の方が灰分量が多い。この結果は、赤心材と黒心材の灰分量に大きな差異が認められたとする甲斐（1974）の報告とも一致する。

また、心材の灰分量を測定した試験片の一部で辺材の灰分量を測り、心材と辺材との灰分量の関係を Fig. 2 に示した。すなわち、辺材の灰分量は、0.2～0.4% 程度を示し、心材よりもはるかに少ないが、両者の灰分量の間には正の相関関係（相関係数 0.68、5% 水準で有意）が存在し、心材の灰分量が多い試験木ほど、辺材でも灰分量が多い傾向が認められた。

以上の結果から、赤心材と黒心材の試験木の間で心

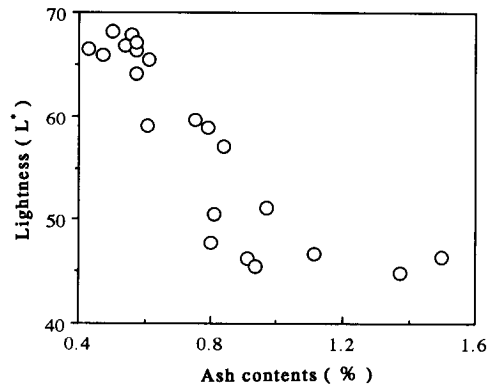


Fig. 1. Relationships between ash contents and lightnesses in heartwoods.

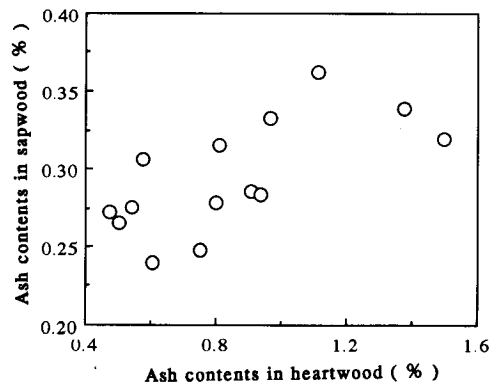


Fig. 2. Relationships between ash contents in heartwoods and in sapwoods at the breast height.

材と辺材の両方の灰分量に違いがあることが明らかである。そこで次に、得られた灰分の一部を使って、灰分を構成している主な元素を明らかにするとともに、木材の単位重量当たりのそれらの量を求めた。

2. 灰分の定量分析

ところで、あらかじめ行った定性分析の結果では、灰分から29~35種類の元素が検出され、Na, Mg, KおよびCaが多いことがわかった。他方、灰分中の重金属類は黒心材形成の直接原因ではないと考えられている(甲斐, 1974)ものの、金属イオンの中でも特にFeイオンとCuイオンは、スギ心材成分とキレート結合を形成し心材を変色させるとされている。また、久保ら(1993)は、黒心材の形成にMnイオンがかかわっている可能性が強いとしている。したがってまず、Caを除くこれらの金属にPを加え、Table 1に示すような明度と灰分量を持った心材4点について、灰分の元素分析を行った。

Table 1には、灰分を水に溶かして行った7種類の元素の分析結果を、全乾木材1kgに含まれるモル数に換算して示している。この結果から、心材に含まれる金属の中では、Na, Mg, Kの量が多いこと、他

の金属の量は非常に少ないうえに心材間で大差がないことがわかる。つまり、金属イオンが黒心材形成に関係するならば、それは、FeやCuなどの重金属イオンではなく、Na, Kなどのアルカリ金属イオンであろうと推測された。

このことを踏まえて、Na, Mg, CaおよびKの4種類の金属イオンに絞り、灰分を0.1N硝酸に溶かして定量分析した結果をTable 2に示した。Table 2によると、灰分中に存在する金属イオンのうち、一番多いのはKイオンで、次はCaイオンである。また、心材と辺材ではKイオンとMgイオンが心材に多い。ついで、黒心材、赤心材および辺材を比較すると、Kイオンの量に顕著な違いがあり、特に黒心材にKイオンが多い。さらに、4種類の金属イオンの合計モル数は辺材、赤心材、黒心材の順に大きくなっている。すなわち、黒心材には、これらの金属(特にカリウム)が赤心材よりも多量に蓄積されている。陰イオンを測定していないので断定できないが、このために、黒心材はアルカリ性を示すのであろうと推測された。

なお、試験片のpHを測定し、典型的な黒心材では弱アルカリ性を、典型的な赤心材では弱酸性を示すこ

Table 1. Concentrations of trace elements in heartwoods (mmol/kg).

Sample number	Lightness (L*)	Ashes (%)	Na	Mg	P	K	Mn	Fe	Cu
1	44.9	1.37	10.5	6.60	0.156	30.9	0.0033	0.057	0.0054
2	58.9	0.79	4.86	4.62	0.122	16.8	0.0053	0.038	0.0089
3	66.5	0.43	1.69	3.83	0.037	7.94	0.0033	0.041	0.0028
4	67.1	0.57	4.46	3.91	0.102	12.3	0.0039	0.090	0.0090

Table 2. Concentrations of trace elements in heartwoods and sapwoods (mmol/kg).

Sample	Lightness (L*)	Ashes (%)	Na	Mg	K	Ca	Total
H1	44.5	0.94	6.0	9.5	97.5	14.3	127.3
H2	46.8	1.11	2.9	12.2	62.7	29.1	106.9
H3	50.5	0.81	2.5	7.6	80.0	18.2	108.3
H4	57.1	0.84	2.9	5.6	59.6	13.2	81.3
H5	58.9	0.78	2.9	5.4	65.8	13.0	87.1
H6	65.5	0.61	2.8	6.4	35.9	21.1	66.2
H7	67.1	0.57	1.9	5.1	31.6	13.2	51.8
H8	67.8	0.56	9.2	5.8	48.4	12.9	76.3
S1	—	0.21	0.4	1.9	14.6	18.2	35.1
S2	—	0.32	2.2	2.0	11.2	13.8	29.2
S3	—	0.24	1.4	1.7	17.4	15.0	35.5

H : Heartwood ; S : Sapwood

とを確かめている。

ところが、Na, Ma, K, Ca のような元素は土壌にごく普通に含まれ、どこにでも存在する。にもかかわらず、同一林分内で、樹体中へ取り込まれるこれらの金属元素量に個体間で違いが生じ、灰分が多い心材（黒心材）と少ない心材（赤心材）が形成される。次に、この理由を考察した。

3. 黒心材形成についての考察

一般に、黒心材は生材含水率が高いとされ、心材色と心材の生材含水率との関係についての研究は多い。例えば、矢沢ら（1956）は赤心材よりも黒心材の方が生材含水率が高いことを認め、藤原ら（1989）は心材の生材含水率と心材色の彩度および明度との間に負の相関関係を認めている。また河澄ら（1991a）は、九州大学福岡演習林に設置されている品種試験地（20年生）で、6品種を対象に、1品種につき5個体ずつの心材の生材含水率と明度を測定し、Fig. 3 に示すように、藤原らと同様な結果を得ている。

他方、河澄ら（1991b）は、Fig. 3 と同じ試験地において胸高直径と心材含水率との関係を調べている。Fig. 4 はそのときの結果の一例である。すなわち、品種ごとに胸高直径と心材含水率との関係をプロットしたとき、多くの品種で、両者の間に1%ないしは5%水準で正の相関関係を認め、成長の良否は心材含水率に影響するとしている。

また、渡辺（1977）は、林齢69年の実生林分で、生材および気乾材の木口面とまさ目面における心材色（辺材色からの色差）と、樹幹の外部形態との関係を調べている。この結果、生材では、木口面色差は樹高

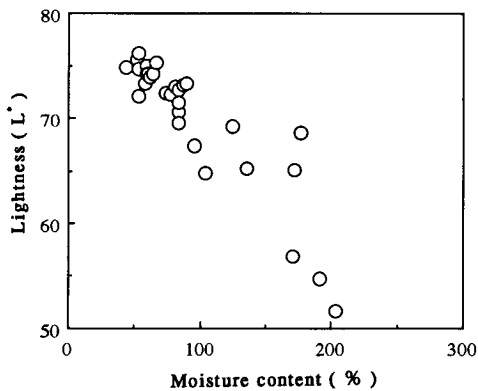


Fig. 3. Relationships between green moisture contents and lightnesses in heartwoods (Kawazumi *et al.*, 1991a).

および樹皮の厚さ、まさ目面色差は胸高直径と樹皮の厚さ、また気乾材では、木口面色差は胸高直径と樹皮の厚さ、まさ目面色差は樹皮の厚さ、との間にそれぞれ1%水準で有意な相関関係を認めている。

以上の報告を総合すると、成長の良否と黒心材形成は無関係とは言い切れない。このことと黒心材ではKやCaなどの金属元素が多いことと考え合わせると、次のように推論できる。

すなわち、胸高直径が大きく成長の良い木は、大きな樹冠を持ち、そこでの水の蒸散量が多いであろう。樹冠での水の需要が多ければ多いほど、根は多量の水分を吸収しなければならないが、水の吸収量に応じて樹体に取り込まれるKやCaなどの量も多くなる。蒸散流によって樹幹ないしは樹冠に達したこれらの元素のうち、生活に不要な余剰なものは心材に蓄積される。そして、蓄積されるK, Caなどの量がある限度を越えると、心材はアルカリ性になり、ひいては黒心材になる。

このように推論すると、蒸散量の多い木が黒心材を

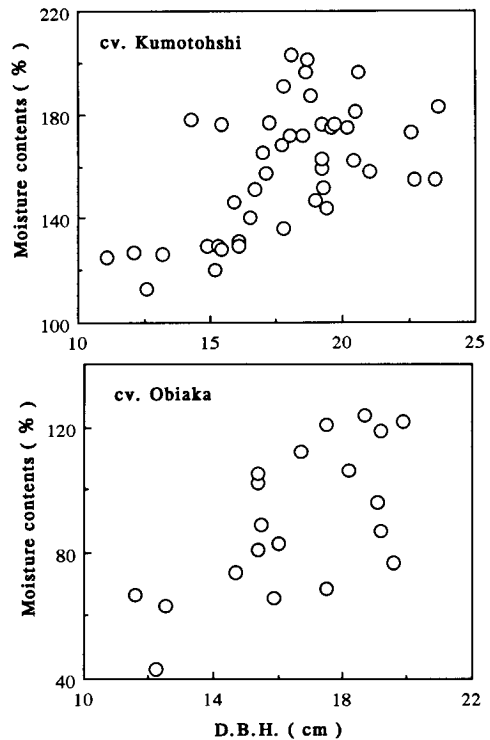


Fig. 4. Relationships between diameters at the breast height and green moisture contents of the heartwoods in a 20-year-old stand.

形成しやすく、また、そのような環境条件の林分で黒心材が発生しやすいことになる。このような考えを実証するためには、今後同一林分で、少なくとも胸高直径、心材色、心材含水率、灰分および心材の pH を測定する必要がある。

要 約

スギの黒心材形成への灰分の関与を検討するために、心材色ができるだけ広範囲に分布するように考慮しながら採取した、樹幹の胸高付近からの円板を用いて、心材色、灰分および材の pH を測定した。

- 1) 典型的な黒心材では弱アルカリ性を、典型的な赤心材では弱酸性を示した。
- 2) 心材の灰分量は、典型的な赤心材では 0.5% 程度であるが、典型的な黒心材では 1% 前後の値を示し、赤心材よりも黒心材で灰分が多かった。また、心材の灰分量が多い試験木では、辺材の灰分量も多い傾向がみられた。
- 3) 灰分の定量元素分析の結果、灰分中には K, Ca, Mg および Na が多く含まれていることがわかった。また、心材の単位重量当たりのこれらアルカリ金属イオンの合計モル数は、赤心材よりも黒心材で大きな値を示した。このために、黒心材はアルカリ性を示すのであろうと推測された。
- 4) 以上の結果と既往の研究報告とを考え合わせ、黒心材形成の原因について考察し、黒心材形成への蒸散量の関与を提案した。

文 献

- 藤岡光長・高橋憲三 1918 スギ心材黒変に関する研究, 林業試験場報告, **16**: 1-78
- 久田卓興 1990 SUGI・情報ネットワーク, スギ並材研究会, 東京, 123-128 頁
- 藤原新二・岩神正郎 1989 スギおよびヒノキ材の生材含水率と心材色の関係について, 高大農演報, **16**: 19-23
- 甲斐勇二 1974 スギ材の色のフェノール成分, 第 24 回日本木材学会大会発表要旨, 277-278 頁
- 甲斐勇二 1975 木材の色について, 木材工業, **30** (7): 6-9
- 河澄恭輔・小田一幸・堤 壽一 1991a スギ心材の性質-生材含水率, 温水抽出物および明度を中心に-, 九大演報, **64**: 29-39
- 河澄恭輔・小田一幸・堤 壽一 1991b 同一林分で生育したスギ品種の心材含水率, 九大農学芸誌, **46**(1・2): 79-84
- 関西林木育種場 1979 スギ心材色に関する調査, 林木の育種, **106**: 17-20
- 基太村洋子 1962 スギ材の黒変現象について, 林業試験場報告, **146**: 133-141
- 久保隆文ら 1993 奥多摩のスギ人工林における黒心の出現性と成因, 第 43 回日本木材学会大会発表要旨, 457 頁
- 宮島 寛 1989 九州のスギとヒノキ, 九州大学出版会, 福岡, 164-166 頁
- 渡辺 操 1977 スギの心材色の調査について, 材木の育種, **105**: 21-24
- 矢沢亀吉・深沢和三 1956 中部地方における人工植栽スギ材の生長状況と理学的性質との関係 (第 1 報), 木材学会誌, **2**(5): 204-209

Summary

Variation in heartwood color of sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don.) is wide from pale red to black. In this study 21 trees of 29-45 years old were sampled to examine the effects of ash contents on black-heartwood formation. About 20 cm thick disk was taken from the breast height of each tree and pH of the heartwood was measured in green condition. After seasoning of the disks at room temperature, lightnesses in the radial sections of the heartwoods, ash contents in the heartwoods and in the sapwoods were determined. The results obtained are summarized as follows:

- 1) Ash contents were ca. 0.5% in the typical red-heartwoods having lightness values of 65 or more, and ca. 1.0% in the typical black-heartwoods having lightness values of 50 or less. As a result high correlations between ash contents and lightnesses in heartwoods were recognized. There were also significant correlations between ash contents in heartwoods and in sapwoods at the breast height of tree stems.
- 2) The pH values of typical black-heartwoods showed weak alkali, although the values of normal red-heartwoods indicated weak acid. On the other side, total contents of K, Ca, Mg and Na were more in black-heartwoods than in red-heartwoods. This suggested that heartwood of sugi was

alkalized when the accumulation of these metals in the heartwood exceeded the permitted amount.

3) The mechanism of black-heartwood formation was discussed. From the relationship between diameter growth and heartwood lightness, it was presumed that the amount of transpiration took part in the formation of black-heartwood.