研 究 報 文

サラワク産広葉樹のパルプ化・漂白時の樹脂障害（第2報）
樹脂析出における樹脂道に対するチップ容積比の
重要性と“樹脂の出現頻度”の定量的基礎について

九州大学農学部 李 璜桂, 橘 燦郎, 住本昌之
台湾林業試験所 谷 雲川

**Pitch problems in the pulping and bleaching
Sarawak Hardwoods
Part 2. Significance of “the volume ratio of resin canals to chip”
in resin deposition, and the quantitative basis for
“appearance frequency of resin”**

Huang Kuei Lee, Sanro Tachibana and Masashi Sumimoto
Faculty of Agriculture, Kyushu University

Yun Chuan Ku
Taiwan Forestry Research Institute

In the previous paper¹⁾, the effects of wood extractives on resin speck formation in pulps, and resin deposition appeared as screen rejects were compared for bleached sulphate pulps from 24 *Dipterocarpaceae* woods grown in Sarawak. Taking consideration to the average diameter of vertical resin canals and the manner in which the canals were filled with resins and their distribution in the wood, the appearance frequency of resin was classified into four grades (Ⅲ, Ⅱ, +, ±) in the order of speck area.

Unfortunately, diameters of 24 wood discs used in the experiment were diversely distributed in the range from 20 to 85 cm. In the present report, therefore, speck area from 24 species were arranged in the descending order of disc diameter as shown in Fig.1 (B). In the five species with appearance frequency Ⅲ, four species were found to have the wood disk diameters larger than 40 cm. Conversely five species of seven species with ± had those less than 30 cm. Namely, the larger the disc diameter seemed to be higher grade of appearance frequency of resin, and *visé versa* as shown in Fig.1. This indicates that the relationships significant are found between wood disc diameter and resin speck formation.

Therefore, comparative studies on both speck formation and resin deposition as screen rejects were made by the use of *S. kunstleri* wood discs these diameter were 85 cm (L) and 50 cm (M) as shown in Fig.2 and 3. The results are shown in Table 1, 2, and 3. Highly concentrated distribution of resin canals having larger diameter was found in the disc L compared to those in the three M discs (Top, Mid., Bot.). Among the latter three from a straight wood stem M of about 10 m high

of *S. kunstleri*, the higher the location of the disc, the more number of series of resin canals with larger diameters were found. Surprisingly, no apparent series of vertical resin canals was found in both woods L and M within a range of disc diameter from zero to about 40 cm as shown in Fig. 6. This type of variation in canal distribution may happen to occur in other species of *Dipterocarpaceae* woods to cause significant effect on the appearance frequency of resin.

As shown in Table 2 and 3, the amounts of peculiar resins deposited as screen rejects in case of *S. kunstleri* were found to appear in the order of volume ratio of the canals having larger diameters to the chip volume. Total area of resin specks in pulp, however, appeared in the order of volume ratio of the canals to the chip.

Based on the mentioned above, trials were made to find out characteristic nature of the respective canals having the appearance frequency of resin # of two *Shorea* species (No. 11 and 8) and two *Anisoptera* species (No. 23 and 24), and # of five *Shorea* species (No. 18, 9, 16, 14, and 10) as shown in Fig. 7. Among them, two *Anisoptera* species contain numerous diffuse vertical resin canals besides the normal ones. Each sample of 9 species, having canal volume ratio of about 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8% to the chip were prepared by the same method as shown in Fig. 2-3, and then cooked and bleached to see the total speck area. The results were shown in Fig. 8-a. The each speck area was divided by the corresponding canal ratio to find out "the deposition index of resin speck" as shown by the dotted line in Fig. 8-b. Because of dispersion of these data, "the average deposition index of resin speck" was calculated and finally shown by the solid line to be 532 for *S. kunstleri*, 80-111 for other three species with appearance frequency of resin #, and 8-34 for five species with +. Total resin speck area qualitatively shown in terms of "the appearance frequency of resin" in the previous paper has been found to coincide almost with the order of "the average deposition index of resin speck", which is specific to species. In other words, the quantitative basis has been thus given to the qualitative concept, "appearance frequency of resin".

Keywords : *Dipterocarpaceae* woods, *Shorea Kunstleri*, Sulphate pulping and bleaching, Speck area, Resin deposition, Appearance frequency of resin, Volume ratio of canals to chip, Average deposition index of resin speck

1. はじめに

ラワン、メランチなどフタバガキ科の樹木は東南アジアに広く分布するが、日本では特に合板その他の建築・家具用に供され、背板などの廃材はパルプ原料としても使用される。最近マレーシア最大のクラフトパルプ工場がサバ州で稼動し始めたが、この工場ではチップ用材は60%以上がフタバガキ科とされている²⁾。しかしこの科の樹種を蒸解漂白すると、得られたパルプ上に樹脂斑点が生成するだけでなく、製造工程中においてもパイプ、スクリーン、ワイヤー、ドライヤーその他に樹脂が析出付着するなど激しい樹脂障害を引き起こすことが知られている³⁾。このような樹脂障害の原因となる樹脂の凝集にはフタバガキ科材抽出物の中性成分⁴⁾、特にトリテルペン系成分⁵⁻⁷⁾が析出樹脂の主要成分であるとされている。また我妻ら⁸⁾はある種の *Shorea* 属 UKP での樹脂斑点発現がフタバガキ科

特有の垂直樹脂道の存在と密接に関っていることを示すと共に、テルペン系ポリマーとしての β -レゼンの重要性を指摘した⁹⁾。後者について重本ら¹⁰⁾はカダレン系セスキテルペンポリマーであることを明らかにした。つまり UPK での樹脂斑点は樹脂道中の疎水性成分が蒸解・漂白後にも分解することなく、疎水結合の力で凝集した成分の集団であり、 β -レゼンはその凝集析出を促進することが見出された。

筆者らはサラワク州林務局との共同研究として、*Shorea* 属 19 種を含むフタバガキ科 24 樹種についてパルプ化および漂白を行い、樹脂斑点の発現を体系的に検討する機会を得た。その第 1 報¹⁾にフタバガキ科 BKP 上に現れる樹脂斑点発現の程度は、材中の「樹脂の出現頻度」(appearance frequency of resin)、つまり「垂直樹脂道の径」、「樹脂道分布の仕方」および「樹脂道の樹脂の詰まり具合」などに大きく依存することを一般則として示した。

本報ではこの一般則の内容とその根拠をより具体的に、より鮮明に描き出すことを目的として、サラワク産フタバガキ科9樹種(*Shorea* 属7種, *Anisoptera* 属2種)について新たな検討を加えた。最も激しい樹脂障害を示した *Shorea kunstleri* については、特別な試料の提供を受け詳細な実験を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

マレーシア、サラワク州林務局より先に供与された *Shorea kunstleri* (No.11) 大径木の円板 (wood disc) (直径約 85 cm) 1 枚 (図2) の他、新たに送付された単木からの樹高を異にする3部位、上部 (Top)、中部 (Middle)、下部 (bottom) の円板 (wood disc) 3 枚 (各直径約 50 cm : 図3) を検討の対象とした。この他、*Anisoptera grossivenia* (No.23), *S. parvifolia* (No.8), *A. marginata* (No.24), *S. argentifolia* (No.18), *S. rugosa* (No.9), *S. acuminatissima* (No.16), *S. laevis* (No.14), *S. amplexicaulis* (No.10) を含め計8種の円板 (wood disc) について検討した。なお上記の No. は全て前報¹⁾ 記載の樹種 No. で示した。

2.2 チップの調製

蒸解規模に合わせて2種類のチップを調製した。4 l 容電熱回転式オートクレープ用 (例、図2-1、又は図3) として 20 mm×15 mm×2 mm, 30 ml 容ミニオートクレープ用 (例、図2-2 又は図2-3) として 20 mm×8 mm×2 mm 程度のチップをチップパーおよびノミでそれぞれ調製し、蒸解に供した。

2.3 蒸解および漂白

蒸解条件は、活性アルカリ 40 g/l, 硫化度 25%, 液比 5 l/kg, 昇温時間 90 分, 保持時間 90 分, 最高温度 (保持温度) 170°C にて行った。パルプの漂白は前報同様、CED₁ ED₂ の5段漂白の他、下記 ClO₂ の1段漂白も行った。絶乾 4 g を蒸解して得たパルプは対パルプ 1% の ClO₂ で 60°C, 3 時間の1段漂白を行った。

2.4 スクリーン粕への析出樹脂と斑点面積の測定

晒パルプシート上の斑点面積は前報に記した方法で測定したチップ 400 g を、蒸解した場合は8カットのフラットスクリーン上に残留した樹脂粒を分離し真空乾燥して定量し、スクリーン粕中への析出樹脂量とした。4 g 蒸解の場合はブフナーロートロ紙 (径 7 cm) のろ紙上のパルプ中に肉眼で見える析出樹脂を集めて乾燥秤量した。

2.5 *S. kunstleri* の大径木と中径木

S. kunstleri の大径木 (85 cm) および中径木 (50 cm)

の上部、中部、下部計4枚の円板をそれぞれ扇型に切り取り、チップ化した後 4 l 容オートクレープで蒸解、ついで5段漂白した、また比較のため、両者とも ClO₂ の1段漂白も行った。結果を表1に示す。また大径木、中径木の樹脂道分布を実体顕微鏡下で求め図6に示した。

2.6 *S. kunstleri* の垂直樹脂道分布と樹脂析出

(1) 樹脂道径を異にするチップからの樹脂析出

図1の(A)には *S. kunstleri* 大径木の樹脂道直径を 0.3 mm と記したが、これは、大凡の平均直径であり、実際には 0.05~0.55 mm の範囲の樹脂道を含んでいる。*S. kunstleri* 大径木の木口面上の「樹脂で満たされた垂直樹脂道の径」を実体顕微鏡下で丹念に測定し、a: 樹脂道直径 0.55 mm 1 本を含むチップ (辺材部), b: 0.22 mm 2 本を含むチップ (辺材部に近い心材部), c: 0.36 mm 1 本を含むチップ (心材部), d: 樹脂で満たされた樹脂道を欠くチップ (心材中央部) 計4種を図2-2のように調製し、これらの実体顕微鏡写真を図5 (a, b, c, d) に示した。また各区分の樹脂道の対チップ容積比 [図2-2: R_v (樹脂道の容積)/ C_v (チップの容積) = $lmh/nmh = l/n = V_r$ (樹脂道の対チップ容積比)] を求めた後、蒸解漂白し、スクリーン粕への析出樹脂量と樹脂斑点面積を求めて表3に示した。

(2) 円板の径別チップからの樹脂析出

図2-3に示したように *S. kunstleri* の大径木 (85 cm) の中心から辺材へ向けての薄板を A (径 0-25 cm 相当部), B (25-40 cm 部), C (40-55 cm 部), D (55-70 cm 部) および E (70-85 cm 部) と5分割し、ミニオートクレープで蒸解、ついで ClO₂ で1段漂白し、結果を表3に示した。

2.7 樹脂の出現頻度と斑点析出指数

「樹脂の出現頻度」 $\equiv$ 4 樹種 (No.11, 23, 24, 8) + 5 樹種 (No.18, 16, 14, 9, 10) について、図2-3と同様の方法で各円板の中心を通るプレートを切りだし、樹脂道の対チップ容積比がほぼ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8% 程度のチップを調製し、蒸解漂白 (ClO₂) して樹脂斑点面積を求め、図8-aに示した。ついでそれぞれの樹脂道の単位容積比当たりの樹脂斑点形成能を下式で算出して、樹脂斑点析出指数を求め図8-bに点線で示す。4点の平均値を「平均樹脂斑点析出指数」(Average deposition index of resin specks) として、図8-bに実線で示した。

[樹脂斑点析出指数]

$$= \frac{[\text{樹脂斑点面積}] (\text{mm}^2/\text{g})}{[\text{樹脂道の容積比}] (\%) } = \frac{S}{V_r}$$

3. 結果と考察

3.1 樹脂障害に直結するフタバガキ科樹脂の天然分布について

フタバガキ科のクラフトパルプ化に際して通常発生する UKP, BKP 中への樹脂斑点析出には, チップ中の樹脂が垂直樹脂道内に連続して満たされていることが重要な因子であることが報告された⁸⁾。 *S. kunstleri* の樹脂障害は前報に示したサラワク産フタバガキ科 24 樹種中特別に激しいものであったが, 2 種類の障害形態つまり, ①スクリーン粕中への析出樹脂粒, ② BKP への樹脂斑点, として現われる。しかし 24 樹種中, ①の例は少なく, ②が一般的であった。また前報¹⁾でこれら 24 樹種の“樹脂の出現頻度”を“材中の垂直樹脂道の径と分布の仕方”, および“樹脂のつまり具合”を比較することにより, 4 等級(Ⅲ, Ⅱ, +, ±)に区分

し, これが上記②の樹脂斑点面積を一義的に規定することを示した。更に樹脂道樹脂中に特殊な成分, たとえば β -レゼンのような親油性のポリマーが存在すれば, 樹脂の析出はこれによって二義的に規定されようと述べた。しかしフタバガキ科特有の“樹脂と樹脂道の天然分布”については, これまで詳細な報告はなされていないように思われる。前報では 24 樹種を 4 等級に区分したが, 果たしてこれは絶対的なものであろうか? 現地で精査したことのない筆者らにとってそれは深刻な不安であった。そこで“樹脂の出現頻度”の内容を可能な限り手持ちの試料で深めようと考えた。

材の抽出成分含量は一般に若齢木より老齢木に多いことが知られている¹¹⁾。フタバガキ科材は年輪を欠き, 老若をにわかには判定できないので¹²⁾, 成長の遅速を無視して, 前報 24 種の“樹脂の出現頻度”の図を, 実験に供した円板の直径 (85-20 cm) 順に配置換えして

Fig. 1 Resin speck area (C), appearance frequency of resin (C), and average diameter of resin canals (A) arranged in the descending order of wood disc diameter (B)

Note : Appearance frequency of resin, (Ⅲ) canals completely filled with resin, (Ⅱ) well filled, (+) with some resin, (±) very little resin.

図1に示した。A欄は樹脂道の平均直径と4等級に分類した樹脂の出現頻度, B欄は円板の直径, C欄は樹脂斑点面積を出現頻度のマークと共に示した。

樹脂斑点面積の多かった●: Ⅲ5種のうち4種は円板径40 cm以上に集中し, 他の1種は特殊な分散型樹脂道を持つ *Vatica oblongifolia* であった。逆に○: ±7種のうち5種は30 cm以下に集中した。●: Ⅲ8種は60-25 cmに, ●: +4種は35-20 cmに分散した。全体として40 cm以上の7種は全てⅢ, Ⅳであった。逆に30 cm以下は8種のうち5種が±であり, Ⅳが2種, +が1種であった。また径31 cmの2種はそれぞれ+, ±であった。このように樹脂で満たされた大径の樹脂道は明らかに大径木に多く, 小径木には樹脂道が少ないか, 存在したとしても樹脂で満たされないものが多いと言えよう。また図1は小径木からのパルプに

樹脂斑点面積の小さいものが多いことを示しており, これら是对應する事実と思われる。その詳細をまず *S. kunstleri* の場合について次節に記す。

3.2 *S. kunstleri* (大径木と中径木— 樹脂道分布の違い

前報で *S. kunstleri* の“樹脂の出現頻度”をⅢ, Ⅳとしたが, 本報では前報と同じ大径木—直径85 cmの円板1枚 (図2) と, 図3に示した単一の通直な中径木の樹高を異にする円板3枚 [上部 (Top), 中部 (Mid.), 下部 (Bot.): いずれの円板径もほぼ50 cm] を使用した。これらの放射断面上の垂直樹脂道分布の概要を (径) 0.05-0.35 mm は細線で, 0.35-0.55 mm は太線で示した。図6は中心(0)から25, 40, …, 85 cmと記しているがこれらは直径を表しているの, 実際の中心からの距離はそれぞれの1/2に当たる。

Fig. 2 Preparation of sample chips from the wood disc having diameter of 85 cm

Fig. 3 Preparation of sample chips from three wood discs (Top, Mid, Bot.) having diameter of ca. 50 cm.

大径木, 中径木の両方とも直径約 40 cm 附近迄は, 樹脂に満たされた樹脂道は見出されなかった。しかし, この部分の一部には樹脂を欠く微小な樹脂道の連なりが存在することを光学顕微鏡下で検出した。径 40 cm 付近から樹脂に満たされた樹脂道が現れるが, その分布は大径木 (計 32 列: 但し中径木と同一の範囲では 12 列) の方が中径木より密であった。また大径の樹脂道 (0.35-0.55 mm) は大径木に限り 11 列が見出されたが, 中径木には全く見出されなかった。また中径木での樹脂道分布密度 Top (9 列), Mid. (7 列), Bot. (4 列) と下部に向かうほど減少した。また大径木では円板の外側に向けて大径, 内部へ向けて小径の樹脂道が多く分布するが, この傾向は中径木でも Top → Mid. → Bot. の順にほぼ一致する。この詳細は樹脂斑点面積との関係上, 3.4 の表 3 に示した。以上, 大径木と中径木の共通点と相違点から「通直な樹幹を有する *S. kunstleri* では上部に向かう程樹脂道分布は密となり, その径は大きくなる。但し樹幹の中心部には上下を貫く径 40 cm 程度の「樹脂に満たされた樹脂道」を殆ど欠く部分が存在する」可能性が高いと言えよう。

上記 *S. kunstleri* 大径木の円板中心部は径 8 cm 程度が脆心材として欠落していた。次報に記す通り, *S. kunstleri* 樹脂道樹脂は大量のフェノール性成分 (抗菌性成分) の他, 水をはじくテルペノイドを含む。その欠落部分が高温多湿の年月の推移と共に脆心材化するのは当然のことと考えられる。フタバガキ科材に脆心材化するものが多いことは, 上記 *S. kunstleri* での観察が孤立した事実でないことを示唆している¹³⁾。また樹種不明の大径木が大径の樹脂道を多く有し, それらが材の周辺部により多く分布することは合板工場の工場などでも観察される。以上の事実と考察は, 前項に述べた「相対的に小径木程パルプ中への樹脂斑点の析出が少ないことへの推論」が妥当であることを支持していると言えよう。同時に上記の事実は, 前報に記し

た「樹脂の出現頻度」(appearance frequency of resin) Ⅲ, Ⅱ, Ⅰ, Ⅳの区分が必ずしも絶対的なものでなく, 樹齢 (径級) により, また樹幹の位置により変化し得ることを示唆したものととも言えよう。

3.3 *S. kunstleri* の大径木—5 段漂白と

1 段漂白

S. kunstleri の大径木円板 1 枚と中径木の樹高を異にする 3 枚の円板 (Top, Mid., Bot.) を図 2-1 および図 3 のように扇型にカットしてチップを作成し蒸解した後, それぞれ通常の 5 段漂白は ClO_2 1 段漂白を行った。結果を表 1 に示した。前項に述べたように, 大径木 (L) に見られる樹脂道の分布密度と径の大きさは, 中径木のそれより遙かに多くまた大きい。Top, Mid., Bot. の間でも分布密度と径の大きさ双方とも $\text{Top (T)} > \text{Mid. (M)} > \text{Bot. (B)}$ の順であった。蒸解後にスクリーン粕中に析出する樹脂量は $\text{L} > \text{T} = \text{M} > \text{B}$ の順であった。漂白後, パルプ中に析出する樹脂斑点面積は $\text{L} > \text{T} > \text{M} > \text{B}$ の順であり, 表 1 に示した樹脂道の分布密度の順に一致する。しかし分布密度の差は斑点面積ではそれ程大きくないが, 析出樹脂量では顕著な差として表れた。3.2 に示したように大径木は中径木に比べ, 樹脂道の分布密度 (列数) が高いだけでなく, 中径木にない大径の樹脂道を多く含む。スクリーン粕として析出する大径の樹脂粒 (図 4) は大径の樹脂道樹脂に由来すると考えるのが妥当であろう。樹脂斑点面積の大小とスクリーン粕としての析出樹脂量, および樹脂道の分布密度と径の大きさ等との関係については更に 3.4, 3.5 で論ずる。大径木と中径木とでの, もう一つの大きな差は BKP の白色度と色戻り (PC 価) に表れている。今回の大径木の BKP でも白色度 74.5, PC 価 5.0 と前報同様異常な値となっているが, 中径木 (Top, Mid., Bot.) はいずれもほぼ正常な値を示した。大径木中の大量の樹脂道樹脂の存在が漂白効果を大きく妨げていると言えよう。

Table 1 Relationships among canal diameter, deposited resin, speck area, and brightness

	Diameter		Deposited resin* (%) to chip	BKP		
	Wood disc(cm)	Resin canal(mm)		Speck area(mm ² /g)	Brightness	P. C. No.
L.	85	0.05—0.55	0.45 (0.53)**	298.5 (305.1)***	74.5	5.0
Top	50	0.05—0.25	0.11 (0.15)	218.0 (233.5)	83.8	1.5
Mid.	50	0.05—0.25	0.11 (0.15)	198.2 (206.0)	84.5	1.2
Bot.	50	0.05—0.18	0.02 (0.08)	145.3 (153.1)	84.3	1.3

Note: *Deposited resin as screen rejects.

**Results from cooking in mini-autoclave.

***Speck area in the pulp bleached with 1.0% ClO_2 for 3 h.

また、前報では *Vatica oblongifolia* の樹脂斑点面積が通常の5段漂白よりも ClO_2 の1段漂白でより大きな値となることを示した。これは *S. kunstleri* でも同

Fig. 4 Deposited resin particle as screen rejects.

様と考えられたが、以後の「少量パルプ化：1段漂白」と対応させるため、先に記した L, Top, Mid., Bot. の全てについて1段漂白後に肉眼で検出し得る樹脂粒を秤量して、4 l 蒸解でのスクリーン粕中への析出樹脂に対応させた。また樹脂斑点面積は実体顕微鏡下で定量し、それぞれ表1の括弧内に示した。両者ともやや高目ではあるが、5段漂白にはほぼ対応する結果となっており、前報 *V. oblongifolia* の場合に比べて、1段漂白と5段漂白との差は僅かであった。

3.4 *S. kunstleri* の樹脂道径と対チップ

容積比—析出樹脂量と樹脂斑点面積

前報で *S. kunstleri* の“樹脂の出現頻度”を $\#$ としたが、樹脂斑点面積は垂直樹脂道の直径の大小によって規定される。*S. kunstleri* についてこれを確認するため、図2-2のように1枚の円板(径85 cm, 厚さ2 cm)から、図5の顕微鏡写真(a: 0.55 mm, b: 0.22 mm $\times$ 2, c: 0.35 mm, d: 0) に示した樹脂道径の大きさを異にする4種のチップを調製し、モデル実験に供した。但し4種のチップのうち、bでは2列の小径樹脂道が併列したため、樹脂道の対チップ容積比の順序は表2

Fig. 5 Resin canals on the cross section of chip samples of *S. kunstleri* : (a) having a series of vertical resin canals of 0.55 mm, (b) two series of canals of 0.22 mm, (c) those of 0.36 mm, and (d) no resin canal.

Table 2 Diameter size and volume ratio of resin canals define the order of deposited resin and speck area, respectively

	Resin canals		Deposited resin as screen rejects (%) to chip	Speck area (mm ² /g) in BKP
	Diameter (mm)	Volume ratio (%) to chip		
a	0.55	5.8	0.56	310.2
b	(0.22)×2	4.8	0.39	235.5
c	0.36	3.2	0.53	198.3
d	—	—	0	0.9

に示すように $a > b > c > d$ となった。それぞれのチップ蒸解後のスクリーン粕中への析出樹脂量は対チップ $a : 0.56$, $b : 0.39$, $c : 0.53$ および $d : 0\%$ であった。この順序は前項 3.3 で唆した垂直樹脂道の径の大きさの順に一致した。さらにこのパルプを ClO_2 漂白して得たパルプ中の樹脂斑点面積は垂直樹脂道の対チップ容積比の順 $a > b > c > d$ に一致した。「垂直樹脂道の径と対チップ容積比」は前報の「樹脂の出現頻度」の中に両者とも概念としては盛りこまれていたが、その重要性が双方共改めて確認されたことになる。一方、 d の析出樹脂がゼロであり、微量の斑点面積しか認められなかったことは、 d が木口面の同心円状に連続する垂直樹脂道を欠くが、同心円状にも垂直方向にも断続した樹脂道が僅かではあるが存在する事実に対応する。つまり同一樹種の場合、垂直樹脂道への樹脂のつまり具合がほぼ同じならば、樹脂道径の大きさと樹脂道の対チップ容積比によってスクリーン粕中への析出樹脂量と晒パルプ中の樹脂斑点面積がそれぞれ規定されることになる。我妻ら⁸⁾ はアルカリ性蒸解時に主としてセスキテルペン系ポリマー (β -レゼン) と樹脂道樹脂中の中性成分との間に働く疎水性結合の力による会合が大量の樹脂斑点形成の要因であることを示している。次報に述べるように *S. kunstleri* も β -レゼンを含んでおり、これがスクリーン粕中への樹脂析出とパルプ中への樹脂斑点の形成、ないし保持に大きく寄与するものと思われる。*S. macrantha* でオートクレーブ器壁への樹脂析出が見られるが、その性状は *S. kunstleri* や我妻ら⁸⁾ の例とは大きく異なっている。前報¹⁾ では小径木が用いられたので、その障害は小さく見えたが、Davies ら¹⁴⁾ および Logan ら^{15,16)} は 37–73 cm の大径木使用で激しい障害例を報告している。今後検討されるべき問題であろう。

3.5 *S. kunstleri* 大径木 (L) 円板の分割分析について

大径木 (L) と中径木 (Top, Mid., Bot.) の円板を

それぞれ蒸解漂白した結果を 3.3 に述べた。両者の樹脂障害の程度は異なり、大径木からの①スクリーン粕への析出樹脂、②晒パルプ中の樹脂斑点面積、双方とも中径木を上回った。このうち①はチップに含まれる樹脂道径の大きさに依存する可能性を示したが、3.4 ではモデル実験により①を再確認すると共に、②は樹脂道の対チップ容積比に依存することを示した。ここではその内容をさらに鮮明にしようとして、*S. kunstleri* 大径木の円板より図 2-3 の薄板を切出し A, B, C, D, E に 5 分割した。各分画の横断面上への樹脂道分布の概要を図 6 に、また各分画中に含まれる樹脂道のサイズを表 3 に示した。また各分画 A–E が含まれる樹脂道容積の対チップ容積比、A–E をそれぞれ蒸解漂白して得られるスクリーン粕への析出樹脂量、およびパルプ中の樹脂斑点面積を合わせて記した。A–E についての蒸解はミニオートクレーブ、漂白は ClO_2 であるが、併列して示した中径木 (Top, Mid., Bot.) の樹脂道分布に続く蒸解・漂白 (ClO_2) 結果の項は表

Fig. 6 Distribution of resin canals on the cross section of wood discs with diameter of 85 cm (L), and 50 cm (Top, Mid., and Bot.).

Note : *Numbers demonstrate diameter size, and therefore real half of the numbers.

Table 3 Resin deposition from the resin canals distributed in the division A—E(L), Top, Mid., and Bot. (M).

Diameter of resin canal	85 cm						50 cm		
	A*	B*	C*	D*	E*	Total	Top	Mid.	Bot.
1) 0.05—0.15(mm)	0	0	2	2	2	6	3	1	3
2) 0.15—0.25	0	0	2	2	2	6	4	4	1
3) 0.25—0.35	0	1	3	3	2	9	2	2	0
4) 0.35—0.45	0	0	3	2	1	6	0	0	0
5) 0.45—0.55	0	0	1	2	2	5	0	0	0
Volume ratio to chip (%)	0	0.47	4.3	4.4	3.5		—	—	—
Speck area (mm ² /g)	2.3	114.4	346.6	457.2	234.1		233.5	206.0	153.1
Screen reject to chip (%)	0	0.04	0.75	0.83	0.61		0.15	0.15	0.08

Note : *Five chip samples A—E were prepared as shown in Fig. 2 and 6.

3より転載した。また中径木樹脂道の対チップ容積比は算出しなかったが、Top>Mid.>Bot.の順である。

大径木での直径25 cmまでの部分(A)は垂直樹脂道を欠く。25—40 cmの部分(B)は垂直樹脂道1列(径0.35 mm)で(C), (D), (E)にはそれぞれ11, 11, 9列(径0.05—0.55 mm)の樹脂道が見られる。それぞれを蒸解漂白した結果、表3に示すようにスクリーン粕中への樹脂析出量はA) 0, B) 0.04, C) 0.75, D) 0.83, E) 0.61% (D>C>E>B>A), 樹脂斑点面積はA) 2.3, B) 114.4, C) 346.6, D) 457.2, E) 234.1 mm²/g (D>C>E>B>A)であった。前者ではD, C, E, とB, Aとの間に大差が見られたが、後者も同じ順でありB>Aを除き相互の差は小さい。両者の順序は樹脂道の対チップ容積比の順に一致するが、同時に大径樹脂道の分布密度(=容積比)の順に一致する。

前項3.4と併せ考えれば、樹脂斑点面積の順位は3.4記載通りであるが、スクリーン粕への析出樹脂量は上記の通り大径樹脂道の分布密度(容積比)の順と改めるべきであろう。つまりD, C, Eの順に大径の樹脂道が集中し、多量の大径樹脂粒が生産されたことを示す。中径木については樹脂道の正確な対チップ容積比を算出できなかったが、Top>Mid.>Bot.の順に違いはない。但し中径木内での樹脂道の径別分布(Top 2, 4, 3, : Mid. 2, 4, 1 : Bot. 0, 1, 3)から、径を考慮に入れた分布密度はTop≒Mid.>Bot.で表現し得るが、スクリーン粕への析出樹脂量はその順に一致した。大量処理した表1の結果はより正確にこの差を

示していると言えよう。従って定性的ではあるが、スクリーン粕またはパルプへ析出する樹脂量と樹脂道の径を含めた対チップ容積比との関係がほぼ確立されたものと思われる。

以上に述べた通り、少なくとも*S. kunstleri*の場合、より大径の樹脂道樹脂が蒸解中により会合し易く、スクリーン粕中への析出樹脂となるのに対して、より小径の樹脂道樹脂は分散してパルプ上に小型の多数の樹脂斑点となることがここでも示された。このような会合による樹脂の析出が特例であることは前項3.4に述べたが、大量の樹脂斑点発現も異常な現象である。図6、表3に示す通り大径木(L)は小径1)から大径5)を含む32本の樹脂道を有するに対し、中径木(Bot.)は1)と2)併せて4本の小径樹脂道を含むに過ぎない。しかしこのようなBot.からも少量のスクリーン粕への析出樹脂と、パルプ中への著量の樹脂斑点が現れる。前報によれば、24種中1位の*S. kunstleri*からの斑点面積249.8 mm²/gに次ぐ*V. oblongifolia* (No.20 冊)の68.9はBot.の145.3(表1)の半分にも達しない。*S. kunstleri*の樹脂障害がフタバガキ科の中でも異常な現象であることは、僅か4列の比較的小きな樹脂道しか有しない中径木によって端的に示されている。つまりBot.の樹脂道の中にも、前項3.4のdで光学顕微鏡下に漸く検出された不完全な樹脂道の中にも対応する微量のβ-レゼンの存在を示唆するものと言えよう。

3.6 激しい障害を起こす9樹種の樹脂道分布と斑点面積

前報ではフタバガキ科24樹種の蒸解漂白後、全てのパルプに現れる樹脂斑点のそれぞれの総面積 (249.8-0.6 mm²/g) とそれぞれの樹脂道樹脂との関連について考察した。樹脂道の径とその分布の仕方、樹脂道への樹脂のつまり具合などを総合的に判断して、“樹脂の出現頻度” (Appearance frequency of resin) を4等級 (Ⅲ, Ⅱ, +, Ⅰ) に区分し、これがパルプ中の樹脂斑点面積を一義的に規定することを述べ、二義的には含有される成分にも規定されると記した。例えば (Ⅲ) の5樹種中、*S. kunstleri* (No.11) の斑点面積が突出すること、樹脂の出現頻度としては明らかに (+) に属する *S. uliginosa* (No.12) が斑点面積としては (Ⅰ) 6種の中間に位置することなどが顕著な例と思われる。

前項3.5まで専ら *S. kunstleri* (Ⅲ) について述べたが、ここではまず他の4種の (Ⅲ) のうち分散型樹脂道を有する *V. oblongifolia* (No.20) を除く3種、*A. grossivenia* (No.23), *S. parvifolia* (No.8), *A. marginata* (No.24)、および8種の (Ⅱ) のうち5種、*S. argentifolia* (No.18), *S. rugosa* (No.9), *S. acuminatissima* (No.16), *S. laevis* (No.14), *S. amplexicaulis* (No.10) の性状を表4に、横断面上の垂直樹脂道分布の概要を図7に示したが、*S. kunstleri* は図6の大径木 (L) の分布図を転載し、以下斑点面積順に (Ⅲ) No.23, 8, 24, (Ⅱ) No.18, 9, 16, 14, 10の分布図を示した。

以上の9種はフタバガキ科の中でも樹脂斑点面積の大きいものを選んだことになるが、まず顕著な点は(1)

直径40 cmに及ぶ樹脂道の空白は *S. kunstleri* のみであること、(2) No.18, 9, 14, 16の4種が約10 cmあるいはそれ以上のところ迄樹脂道を欠くこと、(3) *Anisoptera* 属の2種 (No.23, 24) は他の *Shorea* 属8種と異なり、連続した垂直樹脂道の他に多数の断続した垂直樹脂道を円板の中心から辺材の先端まで含んでいること、(4) Ⅲの中でも *S. kunstleri* は例外的に大きな樹脂道を有すること、(5) *S. parvifolia* の樹脂道径は他のⅢの種に比べて小さいが、列数が多いこと、(6) No.14と10では樹脂道径と列数のみから考えれば、斑点面積の逆転が起きているように見えることなどであろう。

3.3において、*S. kunstleri* パルプ中の樹脂斑点面積が樹脂道の対チップ容積比 (R_v/C_v) の順に一致することを示したが、これはその他の樹種についても同様であることが期待される。これを確認するため、*S. kunstleri* を含む上記9種について、樹脂道の対チップ容積比がそれぞれほぼ0.2, 0.4, 0.6, 0.8%となるよう調製したチップを蒸解・漂白して樹脂斑点面積を求め、結果を図8-aに示した。この際 *Anisoptera* 属2種については特に注意を払い、連続した垂直樹脂道のみを含むチップを調製した。図8-aで明らかな通り、全ての樹種で斑点面積は樹脂道の対チップ容積比 ($V_r=R_v/C_v$) が増加する程ほぼ直線的に増加したが、No.11 (*S. kunstleri*) だけは特別に大きな斑点面積となったので、縮尺してこれを示した。また全ての樹種で直線の傾斜が異なったが、上位4者 No.11, 23, 8, 24) に“樹脂の出現頻度”Ⅲが集中し、下位5者 (No.18, 16, 9, 14, 10) にⅡが集中した。上位4者は円板を扇型に切

Table 4 Characterization of nine species in relation to : "Average deposition index of resin specks"

Species No.		Wood disc	A. f. r.*	Resin canal		Speck area (mm ² /g)	Av. deposition index of resin specks
		Diameter (cm)		Av. diameter (mm)	Number		
11	<i>S. kunstleri</i>	85	≡	0.30	32	249.8	532
23	<i>A. grassivenia</i>	50	≡	0.10	18**	66.6	111
8	<i>S. parvifolia</i>	40	≡	0.07	51	59.5	89
24	<i>A. marginata</i>	48	≡	0.10	16**	45.8	80
18	<i>S. argentifolia</i>	60	≡	0.10	38	38.7	33
9	<i>S. rugosa</i>	38	≡	0.12	22	25.1	30
16	<i>S. acuminatissima</i>	46	≡	0.05	33	18.8	34
14	<i>S. laevis</i>	44	≡	0.07	13	16.8	14
10	<i>S. amplexicaulis</i>	25	≡	0.08	30	12.8	8

Note : *A. f. r.=Appearance frequency of resin.

**Accompanied by numerous but intermittently distributed vertical resin canals.

Fig. 7 Distribution of vertical resin canals on the cross section of 9 species of woods.

Note : *Numbers demonstrate diameter size, and therefore real distance from the centre of a disc corresponds to the half of the numbers.

Fig. 8 a) Relationships between speck area and volume ratio of resin canals to chip.
b) Average deposition index of resin speck.

取って蒸解・漂白した場合の総斑点面積の順に一致したが, Ⅲの場合は総斑点面積の順 (No.18, 9, 16, 14, 10) に対して, No.16 と 9 の間での小差の逆転を除き一致した。このことはそれぞれの樹脂道の容積が同じでも, 樹種が異なれば斑点面積が異なることを示している。そこでそれぞれの樹種につき, 4 点での“樹脂道の対チップ単位容積比当たりの斑点面積 (S/V_r)”を算出して図 8-b に点線で示した。またそれぞれ 4 点で求めた S/V_r は実験誤差を含むので 4 者の平均値を求めて, それぞれの種に固有な恒数として“平均樹脂斑点析出指数 (Average deposition index of resin speck)”を求め, 図 8-b に実線で示した。

3.5 で *S. kunstleri* について述べた通り, 樹脂道の分布密度は径により, また 1 本の通直な材の高さによって大きく異なる。フタバガキ科の他の樹種でも類似のことが起り得ると思われる。従って種に個有の恒数として“平均樹脂斑点析出指数”を知ることは, パルプ原料としての種の特性を知り, 適切な対応につなぐことであり重要と思われる。“樹脂の出現頻度”Ⅲの中で *S. kunstleri* が特別であることを既に述べたが, 他のⅢは前者の平均樹脂斑点析出指数 532 に対し, ほぼ 111-80 の範囲にあり, Ⅲはほぼ 34-8 の範囲にある。このような差が現れる理由として 2 点が挙げられよう。一つは [樹脂道の容積 (R_v)] = [樹脂道の直径 (l)] × [チップの長さ (m)] × [チップの厚さ (h)] としている点にある。樹脂道のつまり具合に疎密があることを無視し, 全て連続したものとして計算されるので, 当然密なものは高く, 疎なものは低く出るはずである。これは“樹脂の出現頻度”にも定性的にとりこまれているので, “平均樹脂斑点析出指数”がⅢ, Ⅲで鮮明に分れる理由の一つであろう。他の一つは成分的なもの, β -レゼン程ではないにしても, トリテルペン, ステロイドなど中性で多環式の疎水性成分の多いものは分散しにくく, 親水性ないしアルカリ可溶性成分が多ければ分散し易いことになる。このような問題点があるにも拘わらず, 樹脂斑点面積の動きと樹脂道の観察から描き出された“樹脂の出現頻度”Ⅲ, Ⅲなどの分類と, 実験的に見出された“平均樹脂斑点析出指数”とはこの範囲で良く一致した。樹脂斑点析出に関わるこの二つの概念は, 恐らくより広汎なフタバガキ科に適用し得るものと期待される。つまりフタバガキ科パルプの樹脂斑点は始めから樹脂道の中に規則的に用意されているということである。しかし他方では 3.2 に記した *S. kunstleri* のような例もあるので, 図 1 の径級が小さくⅢに属するものが, 成長してⅢ, Ⅲなどに変り得る可能性は否定できない。

従って“樹脂の出現頻度”についての概念とこれ迄に知られた樹脂斑点構成成分についての情報を併せ考えることにより, フタバガキ科パルプの樹脂障害防除について新しい視点を確立し, それに沿った新しい提案がなされるべきであろう。

4. 結 論

前報¹⁾でフタバガキ科 BKP 中の樹脂斑点発現の程度は, 材中の 4 階級に分けた“樹脂の出現頻度”つまり「垂直樹脂道の径」, 「樹脂道分布の仕方」および「樹脂道への樹脂の詰まり具合」に一義的に依存することを示した。ここでは前報 24 種をまず径級順に配列し直し, 大径木にⅢ, Ⅲが, 小径木に+, Ⅲが集中する傾向を認めた。次に最も激しい樹脂析出を示した *S. kunstleri* の樹脂道分布を検討し, 大径木の円板は中径木に比べてより多くの, またより大径の樹脂道を含むこと, また通直な単木では高位置の円板ほど樹脂道分布が密となること, しかも, 直径はほぼ 40 cm 以内では樹脂道が殆ど存在しないことなどを示した。このような変異は他のフタバガキ科樹種でも起り得る変異であり, “樹脂の出現頻度”にも深く関わる今後の検討課題と思われる。またこの樹種特有のパルプ化後にスクリーン粕中へ析出する樹脂量は「大径樹脂道の対チップ容積比」の順となるが, パルプ中の総斑点面積は「全樹脂道の対チップ容積比」の順となることを示し, それぞれの重要性を明らかにした。

上記の知見を基に, “樹脂の出現頻度”Ⅲの *Shorea* 属 2 種, *Anisoptera* 属 2 種, とⅢの *Shorea* 属 5 種について, “平均樹脂斑点析出指数”を求めた。*S. kunstleri* 532, 他の 3 種のⅢ: 80-111, 5 種のⅢ: 8-34 となり, 前報での“樹脂の出現頻度”がそれぞれの樹種個有の“平均樹脂斑点析出指数”の順にほぼ一致することを証明した。この結果はこれまで定性的であった“樹脂の出現頻度”に定量的な根拠を与えたものと言える。

謝 辞

この研究報告はマレーシア, サラワク州林業試験場との共同研究の一部であり, 御協力頂いた同試験場 Nigel Lim 氏, Tan Yaw Kang 氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Lee, H. K., Lim, N. and Sumimoto, M.: Appita 40 (5), 351 (1987)
- 2) Bayliss, M.: Paper Asia, March, 14 (1987)

- 3) 香山 彊：紙パ技術タイムス, 13 (3), 1 (1970) (1983)
- 4) 屋我嗣良, 住本昌之, 近藤民雄：紙パ技協誌, 21 (12), 749 (1967) 12) Richards, P.W.：植松, 吉良訳。The Tropical Rain Forest, p.45, 共立出版 (1976)
- 5) 島田謹爾：木材誌, 15, 126 (1969) 13) 呂 福原, 欧 辰雄, 廖 秋成：南洋材, p.181, 紅豆出版, 台湾 (1987)
- 6) 李 璜桂, 住本昌之：第 52 回紙パ研究会要旨集, 2 (1985) 14) Davies, G. W., Logan, A. F.：Holzforschung 38 (1), 25 (1984)
- 7) 小島康夫, サヌシ・ジャマル, 香山 彊：木材誌, 31, 312 (1985) 15) Logan, A. F., Balodis, V., Tan Y. K. and Phillips, F. H.：The Malaysian Forester 47 (1), 3 (1984)
- 8) 我妻 哲, 橘 燦郎, 住本昌之：木材誌, 32 (1), 34 (1986) 16) Logan, A. F., Balodis, V., Tan Y. K. and Phillips, F. H.：ibid 47 (2), 89 (1984)
- 9) 我妻 哲：九州大学修士論文 (1980)
- 10) Shigemoto, T., Ohtani, Y., Okagawa, A. and Sumimoto, M.：Cell. Chem. Techn. 21, 249 (1987) (受理 '88.9.29)
- 11) 今村博之：木材利用の化学, p.76：共立出版