

熱帯産樹種の樹木気候学的解析

米延仁志¹、葛原有紀子¹、
木方洋二¹、渡辺拓¹、
スリ・ヌグロホ・マルスム²

¹ 名古屋大学農学部生物材料物理学講座 〒464-01 名古屋市千種区不老町

² ガジャマダ大学林学部、Bulaksumur, Yogyakarta 55564, Indonesia

1 はじめに

樹木が肥大成長していく際、形成層から母細胞が分裂する。この分化の連続に何らかの周期が存在し、その間に形成され、木口面において観察される環状部分を成長輪という。その周期が1年であれば、これを年輪という。年輪はその定義通り1年間に1つだけ形成されるものだが、通常の成長期間においても不利な環境条件により、形成層の分化が全周あるいは部分的に停止することがある。この結果生じたものが偽年輪である。

温帯域より高緯度地域の樹木では、主として気温が制限因子となり年輪が形成される。一方、熱帯域で生育する樹木では成長を妨げる環境要因が少なく、明確な成長輪を持たない種が多くを占める。森林破壊が、特に熱帯域において問題となっている昨今、この地域でのバイオマス生産量推定のために不可欠な連年の樹幹蓄積量に関する十分な知見が得られていないのが現状である。

本研究では、メルクシーマツの偽年輪の木材組織学的特徴から、年輪と偽年輪との識別法について検討を加えた。さらに偽年輪の形成要因を、気象データとの対応から探った。また年輪年代を決定するため、核実験起源の¹⁴C濃度変動を本学年代測定資料研究センター設置のタンデロン加速器質量分析計を用いて測定した。

2 試料

試料としてインドネシアのジャワ島中南部の Purworejo (7°48'S, 110°18'E, 海拔 78m) で採集したメルクシーマツ (*Pinus Merkusii* JUNGH. et DE VRIESE) を用いた。採集地の林分はメルクシーマツ占有率 98%以上の人工植栽林である。試料はすべて同一の林分から採集した。伐採は 1992 年 10 月下旬に行われた。試料は高さ別に 3 ~ 4 枚の木口円板を採取した。伐採年は例年より雨期の開始が早く、9 月上旬から始まったので、雨期の初期に伐採したことになる。形成層帯付近の木口面観察から、円板最外部に早材が一部すでに形成されていたことが確認された。

気象データには採集地点が含まれる Yogyakarta 管区のものを用いた。データには 1981 年から 1991 年までの月平均気温と月降水量が含まれている (Fig. 1)。当地は、Köppen の気候区分で熱帯雨林気候 (Am) 帯にあり、雨期と乾期が比較的明確である。

樹木の成長に対する気温の影響について、15°C 以下での低温障害が指摘されているが、試料採集地の気温は年間を通じてほぼ一定 (27.5 ± 0.7°C) であるため、気温が成長阻害因子とはな

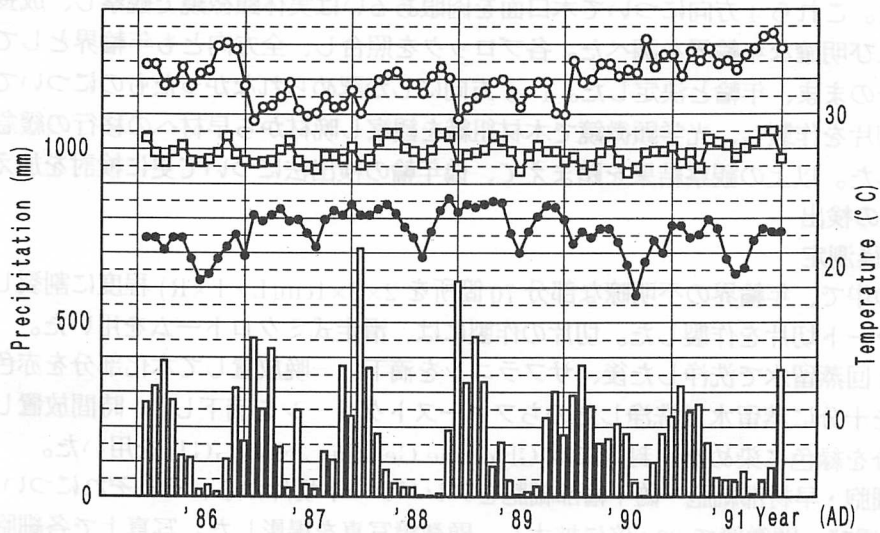


Fig. 1: Monthly temperature and precipitation (1956-1991) at Yogyakarta

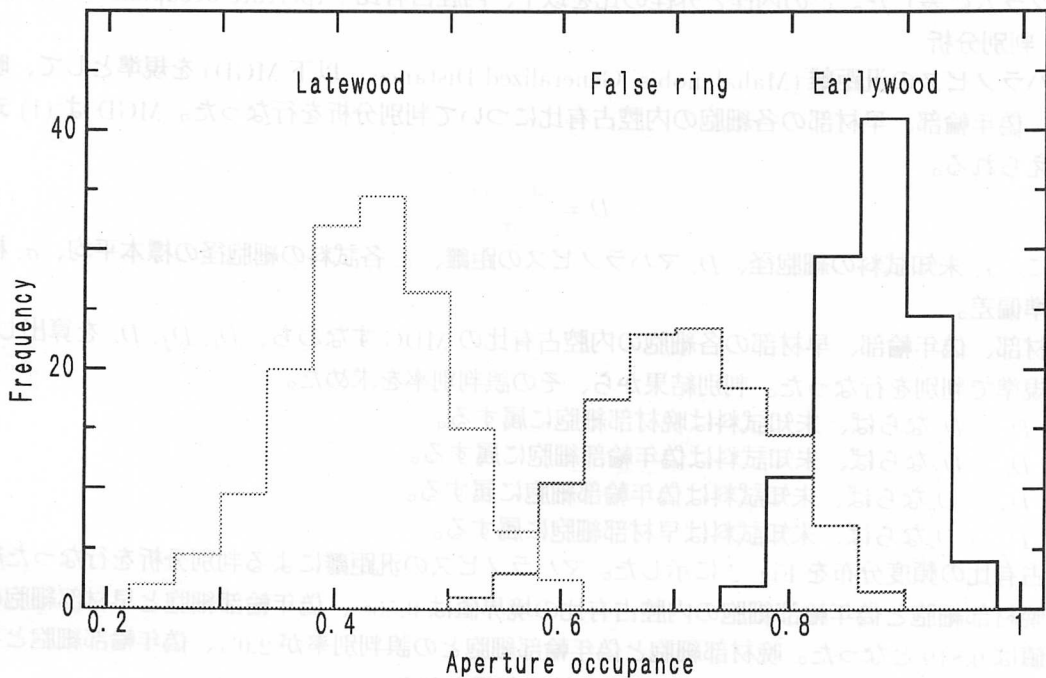


Fig. 2: Frequency distributions of aperture occupancy

りえない。試料の木部観察のために、円板内で髄を含んで最も長い軸（長軸）とこれに垂直で髄を含む軸（短軸）を決定した。この軸に沿って幅 2 cm でブロック型に整形した試料を合計 4 方向採取した。これら 4 方向について木口面を肉眼あるいは実体顕微鏡で観察し、成長輪の不連続部分および明確な年輪界を調べた。各ブロックを照合し、全方向とも年輪界として認められたものはそのまま、年輪と決定した。1~3 方向にしか認められなかったものについては、プレパラート切片を作製し、光学顕微鏡で木材組織を観察し晩材から早材への移行の緩急から年輪界を判断した。以上の観察結果を踏まえて、偽年輪の検出法について更に検討を加えた。

3 偽年輪の検出

3.1 細胞径測定

全試料の中で、年輪界の不明瞭な部分 70 箇所を $2 \times 2 \times 1 \text{ cm}$ (L×T×R) 程度に割裂し、木口面のプレパラート切片を作製した。切片の作製には、滑走式マイクロトームを用いた。

切片を 2 回蒸留水で洗浄した後、サフラニンを滴下、一晚放置して木化部分を赤色に染色した。これを十分に蒸留水で洗浄したのちファーストグリーンを滴下し、1 時間放置し木化していない部分を緑色に染めた。封入には Glycerine Gelatine Jelly (GGJ) を用いた。

晩材部細胞・早材部細胞・偽年輪部細胞をプレパラート切片から、それぞれについて 4 箇所、計 12 箇所選び、顕微鏡で 200 倍に拡大し、顕微鏡写真を撮影した。写真上で各細胞約 400 個の放射方向の外径および内径をノギスで測定し実長に換算した。各細胞について内径と外径の比 (内径/外径) を算出し、晩材部細胞・早材部細胞・偽年輪部細胞別にて頻度分布を調べ、ヒストグラムに表した。この内径と外径の比を以下、内腔占有比 (Aperture occupance) とする。

3.2 判別分析

マハラノビスの汎距離 (Mahalanobis' Generalized Distance、以下 MGD) を規準として、晩材部、偽年輪部、早材部の各細胞の内腔占有比について判別分析を行なった。MGD は (1) 式で与えられる。

$$D = \frac{|x - \bar{x}|}{\sigma} \quad (1)$$

ここに、 x : 未知試料の細胞径、 D : マハラノビスの距離、 \bar{x} : 各試料の細胞径の標本平均、 σ : 標本標準偏差。

晩材部、偽年輪部、早材部の各細胞の内腔占有比の MDG すなわち、 D_l 、 D_f 、 D_e を算出し、次の規準で判別を行なった。判別結果から、その誤判別率を求めた。

$D_l < D_f$ ならば、未知試料は晩材部細胞に属する。

$D_l > D_f$ ならば、未知試料は偽年輪部細胞に属する。

$D_f < D_e$ ならば、未知試料は偽年輪部細胞に属する。

$D_f > D_e$ ならば、未知試料は早材部細胞に属する。

内腔占有比の頻度分布を Fig. 2 に示した。マハラノビスの汎距離による判別分析を行なった結果、晩材部細胞と偽年輪部細胞の内腔占有比の境界値は 0.568、偽年輪部細胞と早材部細胞の境界値は 0.819 となった。晩材部細胞と偽年輪部細胞との誤判別率が 2.0%、偽年輪部細胞と早材部細胞との誤判別率が 5.8% と共に良好な結果が得られた。

3.3 ^{14}C 濃度測定

年輪の ^{14}C 濃度を名古屋大学年代測定資料研究センターのタンデトロン加速器質量分析計を用いて測定した。試料は各年輪の最外部から放射方向に 1 mm 幅をマイクロトームを用いて採

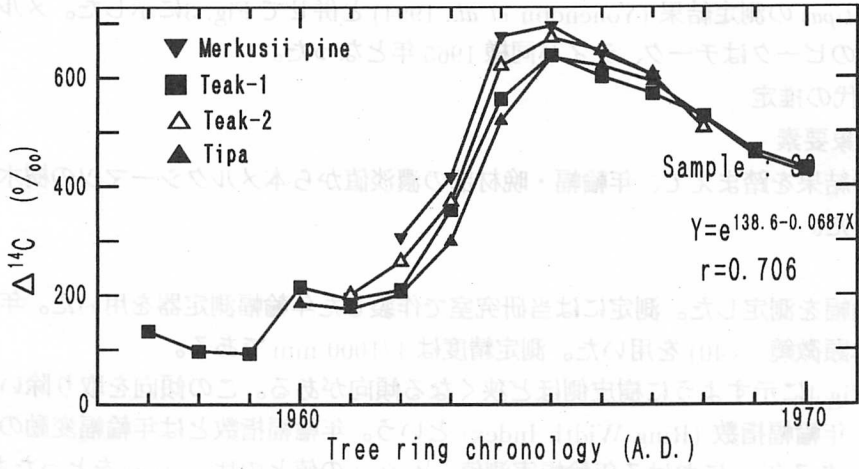


Fig. 3: ^{14}C concentration variations in tropical species.

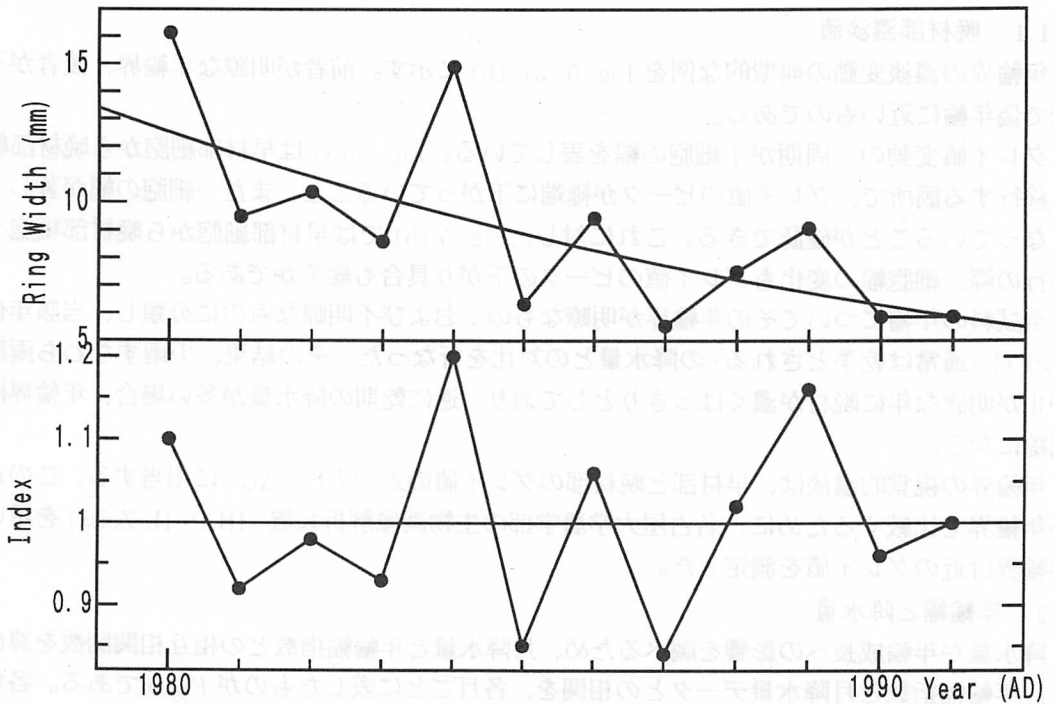


Fig. 4: Measured ring widths and its standardized indices

取 (Yonenobu *et al.*, 1993a, b)、常法により洗浄し (Nakamura *et al.*, 1987)、測定に供した。メルクシーマツの¹⁴C 濃度変動を同じ熱帯域で採取したチーク (*Tectona grandis* Linn.)、ティパ (*Tipuana tipu*) の測定結果 (Yonenobu *et al.*, 1994) と併せて Fig. 3 に示した。メルクシーマツの¹⁴C 濃度のピークはチーク、ティパ同様 1965 年となった。

3.4 年輪年代の推定

4 年輪と気象要素

前節までの結果を踏まえて、年輪幅・晩材部の濃淡値から本メルクシーマツの樹木気候学的解析を行なった。

4.1 年輪幅

試料の年輪幅を測定した。測定には当研究室で作製した年輪幅測定器を用いた。年輪界の識別には、実体顕微鏡 (×40) を用いた。測定精度は 1/1000 mm である。

年輪幅は Fig. 4 に示すように樹皮側ほど狭くなる傾向がある。この傾向を取り除いて標準化したものを、年輪幅指数 (Ring Width Index) という。年輪幅指数とは年輪幅変動の予測曲線 $f(x)$ を求め、ある年 p における年輪幅実測値 q と $f(p)$ の値との比 $q/f(p)$ をとったものがある。関数 $f(x)$ には、樹木の成長関数である Mitcherlich 成長曲線の一階微分形を用いた (2式)。

$$y = f(x) = Me^{-kt} = e^{a-kt} \quad (2)$$

4.1.1 晩材部濃淡値

年輪界の濃淡変動の典型的な例を Fig. 5-(a), (b) に示す。前者が明瞭な年輪界、後者が不明瞭で偽年輪に近いものである。

グレイ値変動の一周期が 1 細胞の幅を表している。Fig. 5-(a) は早材部細胞から晩材部細胞に移行する箇所で、グレイ値のピークが極端に下がっていること、また一細胞の幅が著しく狭くなっていることが確認できる。これに対し、Fig. 5-(b) では早材部細胞から晩材部細胞への移行の際、細胞幅の変化もグレイ値のピークの下がり具合も緩やかである。

全試料の年輪についてその年輪界が明瞭なもの、および不明瞭なものに分類し、当該年代の 5~9 月 (通常は乾季とされる) の降水量との対比を行なった。その結果、少雨すなわち雨期の停止が明確な年に晩材が濃くはっきりとしており、逆に乾期の降水量が多い場合、年輪界は不明瞭になる。

年輪界の視覚的濃淡は、早材部と晩材部のグレイ値の差 (以下、 ΔG) に相当する。この差を各年輪界で比較するために、名古屋大学農学部生物画像解析装置 (IBAS-II, Zeiss) を用いて年輪界付近のグレイ値を測定した。

4.2 年輪幅と降水量

降水量が年輪成長への影響を調べるため、月降水量と年輪幅指数との相互相関関数を算出した。年輪幅指数と月降水量データとの相関を、各月ごとに表したものが Fig. 6 である。各年輪幅が形成された時期と一致している月は、前年の 10 月から当年の 4 月頃の範囲である。このため相関もこの範囲で高い値をとる。しかし雨期の期間中常に高い相関を示しているわけではなく、雨期の始めまたは終わりは相関が高いが、雨期の最中には降水量と年輪幅指数との相関

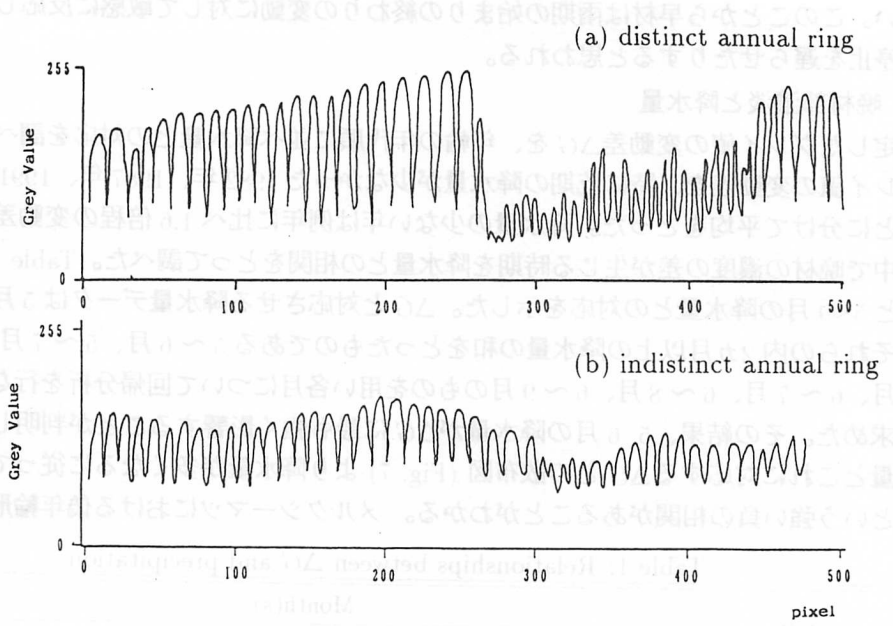


Fig. 5: Grey level variation of annual ring boundaries.

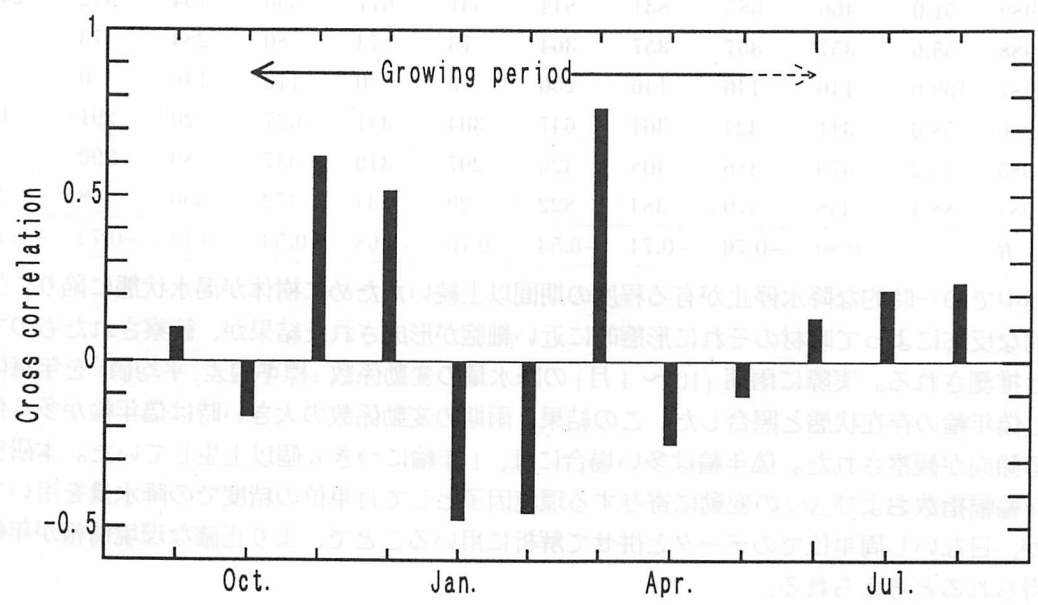


Fig. 6: Cross Correlation between Ring Width Indices and Monthly Precipitation

は低い。このことから早材は雨期の始まりの終わりの変動に対して敏感に反応し成長を始めたり、停止を遅らせたりすると思われる。

4.3 晩材部濃淡と降水量

測定したグレイ値の変動差 ΔG を、年輪の年代順に並べ降水量との対応を調べた。年輪界でのグレイ値の変動差を、特に乾期の降水量が少なかった1982年、1987年、1991年とそれ以外の年とに分けて平均をとった。降水量の少ない年は例年に比べ1.6倍程の変動差がある。この期間中で晩材の濃度の差が生じる時期を降水量との相関をとって調べた。Table 1に各供試木の ΔG と5~9月の降水量との対応を示した。 ΔG と対応させる降水量データは5月、6月、7月、またそれらの内2ヵ月以上の降水量の和をとったものである5~6月、5~7月、5~8月、5~9月、6~7月、6~8月、6~9月のものを用い各月について回帰分析を行ない ΔG との相関を求めた。その結果、5、6月の降水量が ΔG に最も強く影響することが判明した。5、6月の降水量とこれに対応する ΔG との散布図 (Fig. 7) より降水量が多くなるに従って ΔG が小さくなるという強い負の相関があることがわかる。メルクシーマツにおける偽年輪形成は、成長期

Table 1: Relationships between ΔG and precipitation

Year	ΔG	Month(s)									
		5-6	5-7	5-8	5-9	6-7	6-8	6-9	5	6	7
1991	108.9	22	22	22	0	0	0	22	0	0	0
1990	60.3	273	284	305	311	138	159	165	146	127	11
1989	51.0	466	685	831	844	531	677	690	154	312	249
1988	55.6	357	357	357	364	73	73	80	284	73	0
1987	109.0	146	146	146	256	0	0	110	146	0	0
1986	58.0	311	324	361	647	304	341	627	20	291	13
1985	74.2	379	386	408	426	297	319	337	89	290	7
1984	88.1	358	379	384	822	29	34	472	350	8	21
<i>R</i>		-0.80	-0.76	-0.74	-0.53	-0.70	-0.68	-0.53	-0.12	-0.72	-0.44

間途中での一時的な降水停止が有る程度の期間以上続いたために樹体が渇水状態に陥り、生化学的な反応によって晩材のそれに形態的に近い細胞が形成された結果が、観察されたものであると推測される。実際に雨期 (10 ~ 4月) の降水量の変動係数 (標準偏差/平均値) を年毎に算出し偽年輪の存在状態と照合した。この結果、雨期の変動係数の大きい時は偽年輪が多く作られる傾向が観察された。偽年輪は多い場合には、1年輪につき6個以上生じていた。本研究では年輪幅指数および ΔG の変動に寄与する環境因子として月単位の精度での降水量を用いているが、日ないし周単位でのデータと併せて解析に用いることで、より正確な環境情報が年輪から得られると考えられる。

5 まとめ

本研究ではタンデトロン加速器質量分析計を用い核実験起源の ^{14}C 濃度を測定し、木材組織の特徴を加味することにより、年輪年代を確定した。その結果、肉眼での観察に加え、画像解析装置による木口面放射方向のグレイ値測定および細胞の内腔占有比の判別分析により、年輪と偽年輪の区別をすることができた。また確定した年輪界を基に、年輪幅指数を算出し降水量

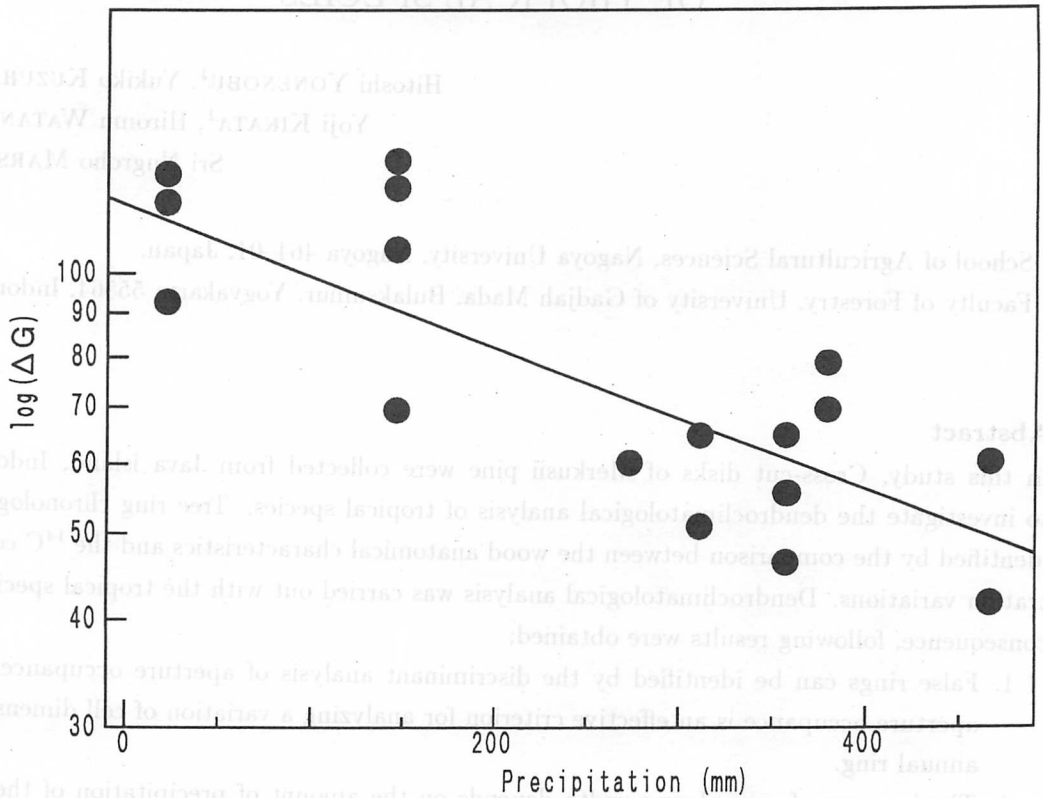


Fig. 7: Relationship between ΔG and total precipitation of May and June

データとの対応を取った結果、成長期初期および後期の降水量が成長量に影響を及ぼしている。また、年輪界の濃淡と成長期末期の降水量との比較により、5、6月の降水量の多寡が晩材部の濃淡値に影響している。さらに、画像解析装置を用いてグレイ値を測定することにより、年輪界の濃淡を定量化することができた。以上より偽年輪の発生原因を推測することができた。

引用文献

- Nakamura T., N. Nakai, and Ohishi. Applications of Environmental ^{14}C measured by AMS as a Carbon Tracer, *Nuclear. Instruments. and Methods*, **B29**, 1987, 355-360.
- Yonenobu H., K. Mitsui, and Y. Kikata. Radiocarbon Dating of the Rotten Wood Materials, *Bull. Nagoya Univ. Furukawa Museum*, **9**, 1993, 91-96.
- Yonenobu H., S. Yamada, and Y. Kikata. Wood Identification and Radiocarbon Dates of Excavated Logs, *Bull. Nagoya Univ. Furukawa Museum*, **9**, 1993, 97-106.
- Yonenobu H., Y. Kikata, F. Morishita, Y. Hattori, and S. N. Marsoem. ^{14}C Concentrations in Tree Stems II, *Mokuzai Gakkaishi*, 1994, **40**(6), 627-630.

DENDROCLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF TROPICAL SPECIES

Hitoshi YONENOBU¹, Yukiko KUZUHARA¹,
Yoji KIKATA¹, Hiromu WATANABE¹,
Sri Nugroho MARSOEM²

¹ School of Agricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-01, Japan.

² Faculty of Forestry, University of Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55564, Indonesia.

Abstract

In this study, Cross-cut disks of Merkusii pine were collected from Java island, Indonesia, to investigate the dendroclimatological analysis of tropical species. Tree ring chronology was identified by the comparison between the wood anatomical characteristics and the ¹⁴C concentration variations. Dendroclimatological analysis was carried out with the tropical species. In consequence, following results were obtained;

1. False rings can be identified by the discriminant analysis of aperture occupance. The aperture occupance is an effective criterion for analyzing a variation of cell dimension in annual ring.
2. The increase of annual ring width depends on the amount of precipitation of the early and late stage of stem growth.
3. The difference of grey value between early- and latewood (ΔG) shows rather significant correlation with the amount of precipitation of May to June, which suggest the possibility to reconstruct the past climate in the tropical areas.
4. The ¹⁴C concentration measured with Tandetron mass spectrometer is an effective key to estimate the period of xylem formation.