

## 環境情報としての樹木年輪の定量解析(II)

丸谷, 知己

荒上, 和利

汰木, 達郎

<https://doi.org/10.15017/10822>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 57, pp.1-8, 1987-03-30. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :

## 環境情報としての樹木年輪の定量解析 (II)

丸谷 知己・荒上 和利・汰木 達郎

A Method for Analysis of Annual Rings  
Influenced by Environment (II)

Tomomi MARUTANI, Kazutoshi ARAGAMI and Tatsuro YURUKI

## 要 旨

丸谷らは、樹木の偏心生長をベクトルを用いた指標で表現し、その時系列パターンを分析することを提案した。本論では、この方法によって急傾斜地のヒノキと緩傾斜地のモミの生長パターンを分析し、環境条件との関係を考察した。指標は、毎年の4方向生長量  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  を断面高 1.3 m と 0.3 m とで計測し、式 (1) 生長量  $w$ , (2) 偏心量  $l$ , (3) 偏心方向  $d$ , (4) 歪率  $pd$  によって計算した。

その結果、急傾斜地のヒノキについて、次のことが明らかになった。偏心量と歪率とは、匍行斜面上のヒノキではほぼ一定であるが、洗滌斜面上のヒノキでは 15 年前に急激に増加している。これは、崖錐堆積物の移動に起因するものと推定された。また、偏心方向は、41~48 年の周期性が高い。

緩傾斜地のモミについて、次のことが明らかになった。生長量と偏心量とは、40 年前から健全木では増加しているのに対し、被圧木では減少している。また、偏心方向は、被圧木では、10~15 年間隔で変化している。

## は じ め に

気象学では、古くから樹木年輪が環境情報として利用されてきた (高田, 1985) (HEIKKEN, H, 1984) (真鍋ら, 1968)。その方法は、年輪生長を気象環境の応答現象と仮定して、数年単位の平均生長量について時系列解析するものである。これは、長期間の変化の分析には適しているが、年輪生長の毎年の変化、方向別の変化が平均化によって消去されるため、短期間の変化の分析には適さない。

一方、森林学や砂防学では、アテ、偏倚樹形、障害痕跡や個体発生の同時性などの偏倚樹幹が、土地の変動時代の推定に利用されてきた (東, 1968) (新谷, 1972)。その方法は、土地の変動現象と樹幹障害とが時間的・量的に線形関係にあると仮定して、変動の規模と年代とを推定するものである。これは、突発性の現象を編年するのに適しているが、環境変化の様に連続性のある現象の時間的変化を推定することには適さない。

そこで、丸谷ら (1986) は、樹木環境の連続的变化を推定するために、年輪の偏心生長を分析することを提案した。本論では、急傾斜地のヒノキ林と緩傾斜地のモミ・ツガ林とについて、この方法を用いて偏心生長のパターン分析をおこなった。その結果、2, 3 の偏

心生長パターンが明らかになったので、これと被圧環境(個体間競争)、地表変動環境との関係を考察した。

## 1. 偏心生長の分析方法

丸谷ら(1986)は、毎年の年輪生長がひとつの方向と量とを持つベクトルで指標できると考え、その経年変化を時系列データとして解析することを提案した。いま、樹木が髓の周囲に1年に1個の同心円状の年輪を形成する条件であれば、その生長状態は、(1)生長量、(2)生長の偏心率、(3)偏心方向の3種類のデータによって記述できる。すなわち指標として、(1)4方向スカラーの平均値  $w$  (mm)、(2)合成ベクトルのスカラー量  $l$  (mm)、(3)合成ベクトルの  $+x$  軸からの偏角の正弦値  $d$  によって表現した(図1)。

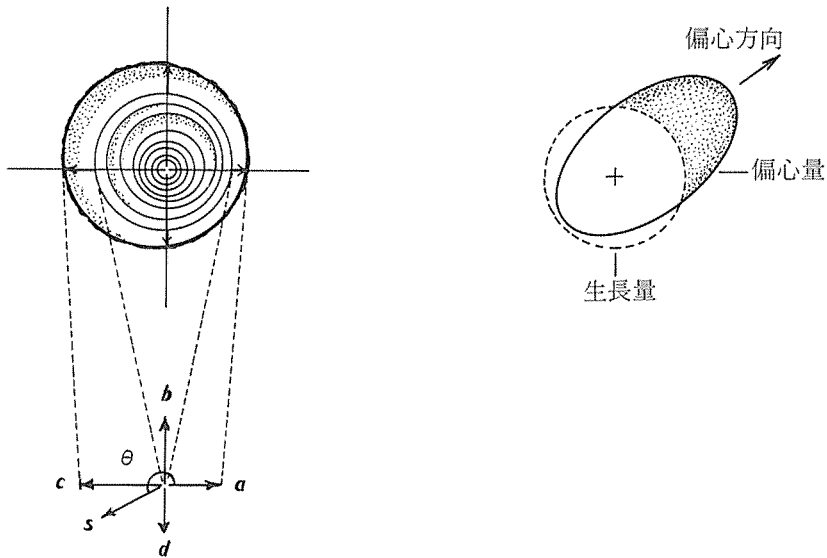


図1 解析方法

Fig. 1 A method of analysis.

データは、方位Nから反時計回り4方位における、1年毎に生長幅を測定した。すなわち直交座標系において、N方向を  $x$  軸、W方向を  $y$  軸、S方向を  $-x$  軸、E方向を  $-y$  軸として、1年毎の4方位生長量データを各軸上にベクトルで表現し、その合成ベクトル  $s$  をもとめ、指標(1)、(2)、(3)を計算した。

$$w = 1/4 \cdot (|a| + |b| + |c| + |d|), \quad (1)$$

$$l = |s| = |a + b + c + d|, \quad (2)$$

$$d = \sin \theta = sy/l = (|b| - |d|)/l. \quad (3)$$

ただし、

$$\theta = \arctan\left(\frac{|a|-|c|}{|b|-|d|}\right)$$

(sy: ベクトル  $s$  の  $y$  成分)

このうち偏心率  $l$  は、たとえ  $|a|, |b|, |c|, |d|$  の比が一定でも、生長量  $w$  の値によって変化する。そこで、樹木環境は、この比が一定の間は変化しないものと仮定し、その値を無次元指標 (4) 歪率  $pd$  で表現した。

$$pd = 1/w = \frac{4|a+b+c+d|}{|a|+|b|+|c|+|d|} \quad (4)$$

(1), (2), (4) については毎年の積算値 ( $W = \sum w, L = \sum l, Pd = \sum pd$ ) を、(3) については 1 年毎の値を図示した。

## 2. 偏心生長の分析

### 2.1. 環境条件

丸谷ら (1986) は、スギ・ヒノキの年輪幅が時間雨量に対して、モミの年輪幅が年間降水量に対して応答を示すことを明らかにしている。

本論では、地表変動との関係を考察するために、福岡県粕屋郡九大粕屋演習林の急傾斜地 (平均傾斜角 = 40°) に植栽された 72 年生ヒノキ人工林から、縦断面最大傾斜方向に 5 本をサンプリングした (図 2)。また、光環境との関係を考察するために、宮崎県椎葉村九州大学宮崎演習林の緩傾斜地 (平均傾斜角 = 10°) に生育した約 90 年生のモミ・ツガ天然林から、群状に 10 本をサンプリングした (図 3)。そして、これらのサンプルのうちから地上高 0.3 m と 1.3 m の円板について分析した。

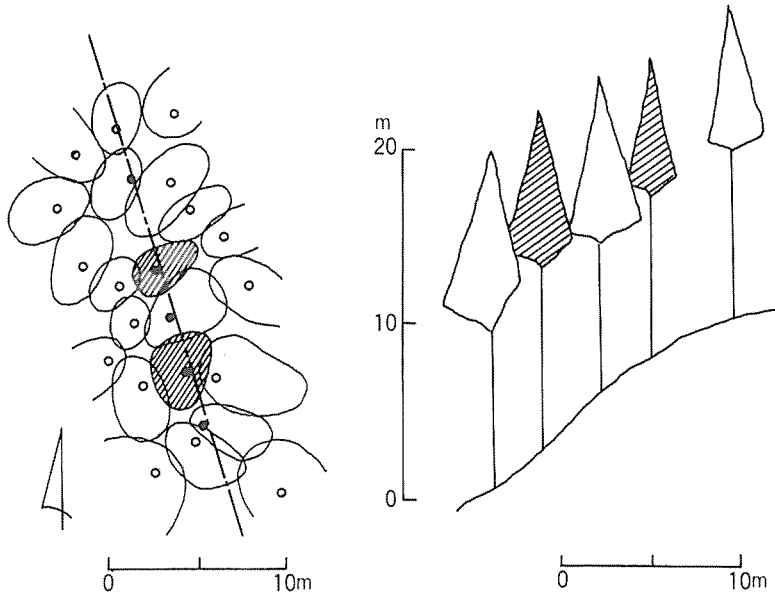


Fig. 2 A condition of sampling area (Hinoki).

図 2 試料採集地の環境 (ヒノキ)

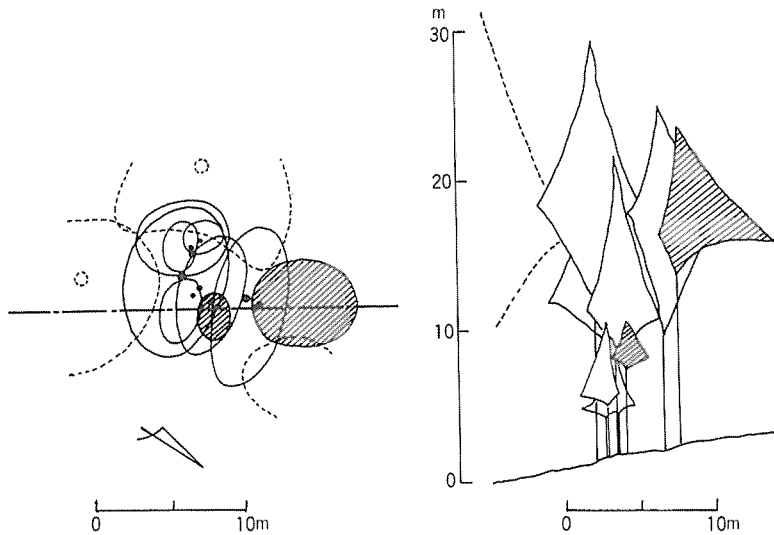


Fig. 3 A condition of sampling area (Momi).  
 図3 試料採集地の環境 (モミ)

2.2. 急傾斜地ヒノキ林での分析

図4には、ヒノキ0.3m高と1.3m高のサンプルの分析結果を示した。実線が急傾斜部 No. 4, 破線が傾斜変換部 No. 2である。

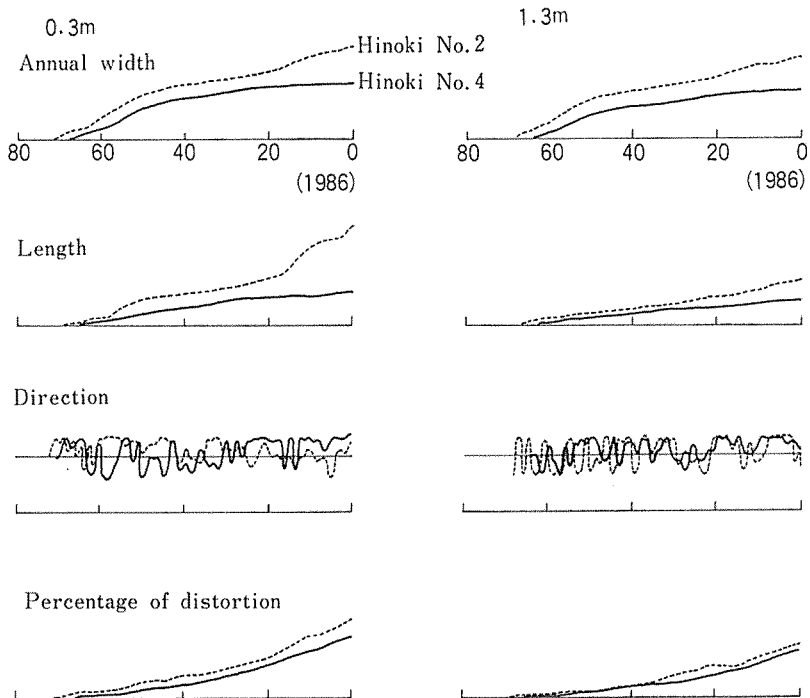


Fig. 4 Patterns of annual rings of Hinoki in steep slope.  
 図4 急傾斜におけるヒノキ年輪パターン

(1) 指標  $W$  の曲線勾配は、急傾斜部 No.4 では、20 年目で増加した後一定となるが、傾斜交換部 No.2 では、58 年目 (0.3 m) で減少し、40 年目 (1.3 m) で再度増加している。

(2) 指標  $L$  の曲線勾配は、急傾斜部では全生長期間中一定であるが、傾斜交換部では 15 年目と 58 年目 (0.3 m) で増加している。

(3) 指標  $d$  の曲線勾配は、図 4 では明瞭な傾向がみられない。そこで、周期性の存在を仮定して、時系列の自己相関係数をもとめた。表 1 には、係数値の高いものから順に 3 位までのタイムラグとそのときの自己相関係数を示した。全体的には 41 年～48 年で比較的周期性が強く、その傾向は 0.3 m よりも 1.3 m において、より明瞭である。

(4) 指標  $Pd$  の曲線勾配は、傾斜交換部で 50 年目 (0.3 m) から増加している。

表 1 時系列指標  $d$  の自己相関係数と遅れ時間

Table 1 Self correlation coefficient of time series indicator  $d$  and time lag.

Sample number	Time lag (Self correlation coefficient)	
	0.3 m	1.3 m
Hinoki no. 1	44(0.51), 46(0.43), 1(0.34)	42(0.48), 48(0.33), 27(0.31)
No. 2	1(0.37), 12(0.36), 2(0.36)	48(0.37), 13(0.29), 39(0.27)
No. 3	1(0.36), 41(0.27), 2(0.23)	43(0.49), 37(0.43), 50(0.38)
no. 4	43(0.35), 3(0.34), 1(0.31)	34(0.62), 45(0.49), 43(0.42)
No. 5	41(0.38), 47(0.29), 40(0.21)	48(0.78), 47(0.38), 26(0.27)
Momi No. 1	1(0.34), 4(0.33), 29(0.32)	11(0.56), 35(0.51), 46(0.44)
No. 2	1(0.66), 2(0.49), 10(0.29)	2(0.51), 1(0.46), 42(0.32)
No. 3	1(0.53), 50(0.41), 43(0.35)	2(0.77), 1(0.75), 3(0.68)
No. 7	39(0.41), 38(0.33), 21(0.30)	1(0.43), 3(0.37), 2(0.31)

### 2.3. 緩傾斜地モミ・ツガ林での分析

図 5 には、モミ 0.3 m 高と 1.3 m 高のサンプルの分析結果を示した。いずれも破線は標準的な生長を示す (中尾, 1985) 健全木 No.1, 実際は被圧木 No.3 である。

(1) 指標  $W$  の曲線勾配は、健全木では、初期の 10 年間で小さい (0.3 m) が、被圧木では、逆に 20 年目以後 (1.3 m) と 30 年目以後 (0.3 m) で小さくなっている。

(2) 指標  $L$  の曲線勾配は、健全木よりも被圧木の方が大きくなっている。特に 0.3 m では 40 年目さらに大きくなっている。

(3) 指標  $d$  の曲線勾配は、健全木では一定の規則性はないが、被圧木では 10～15 年毎に、偏心方向が変化している。特に 1.3 m では、その間、ほとんど方向が固定している。自己相関係数についてみると、ヒノキの場合の様な、共通したタイムラグはみられない。

(4) 指標  $Pd$  の曲線勾配は、健全木では 20 年目 (0.3 m) 減少しているが、他は一定である。

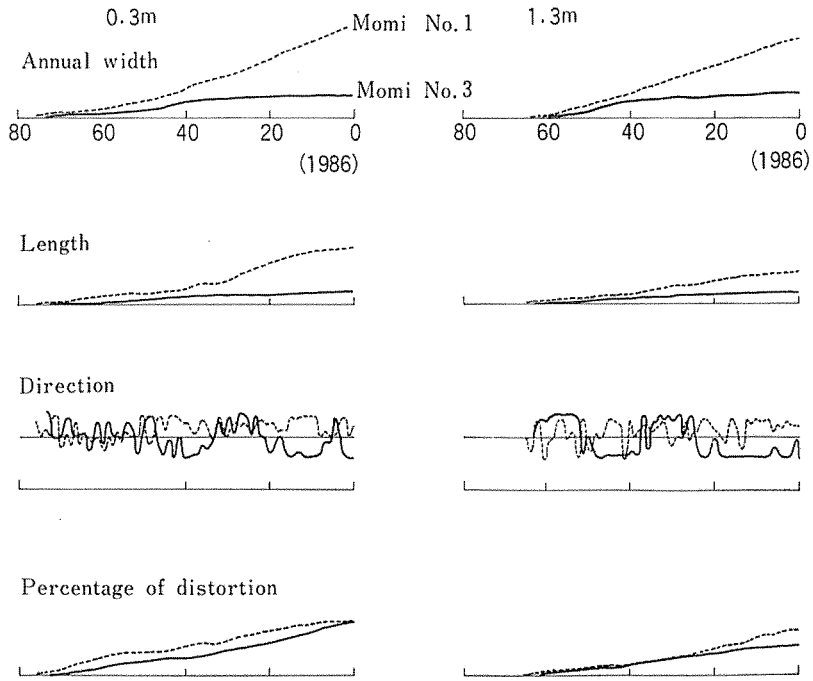


Fig. 5 Patterns of annual rings of Momi in loose slope.  
 図5 緩傾斜地におけるモミ年輪パターン

### 3. 樹幹変形現象と偏心生長パターン

偏心生長は、直接的には樹幹変形現象によって生じる。筆者らは、この樹幹変形現象が、被圧環境（個体間競争と地表変動環境とによって最も強く影響されると考えた。そこで、これらの環境条件から、偏心生長パターンを説明した（表2）。

表2 樹幹傾斜現象と偏心生長パターン

Table 2 Phenomenon in stem transformation and excentric growth patterns.

Stem transformation indicators	Suppressing by upper crowns	mass-wasting	
		creep	gride
$w$	↓	↑	constant
$l$	↑	↑	↑
$d$	constant	unconstant	constant
$pd$	↑	↑	↑↑

↑ : increase    ↑↑ : increase (rapidly)    ↓ : decrease

(A) 被圧環境：被圧によって、生長量 ( $w$ ) が小さくなるので、偏心量 ( $l$ ) が小さくて

も歪率 ( $pd$ ) は大きくなる。また、緩傾斜地では、樹幹生長は光環境にのみ影響されるため、個体同士の空間的位置関係が変化するまで偏心方向は一定となる。

(B) 地表変動環境：樹幹傾斜は、慢性の土壌クリープと慢性の風衝、または、急性の表層すべり(グライド)と台風などの突風とによって発生する。前者の場合は、生長量 ( $w$ ) は小さく、偏心方向 ( $d$ ) 一定である。しかし、歪率と偏心方向とは同時に変動し、クリープおよび風衝の経年変動に応答する。後者の場合は、生長量 ( $w$ )、偏心量 ( $l$ ) が同時にしかも急激に変動し、立ち上がり点が表層すべり、突風の発生年に応答する。

これらから、傾斜変換部のヒノキと被圧部のモミのパターン形成過程を推定した。

ヒノキ林は、急傾斜部では土壌量が少ないため生長が比較的早く鈍化する。これに対して、傾斜変換部(破線)以下では崩積土壌が多いため生長は良好であるが、約15年前に歪率、偏心量が同時に増加する様な崩積物の滑動が発生した。

モミ・ツガ林は、健全木と被圧木とでは、約40年前から光環境の差が大きくなり、約10~15年毎に上層木による光環境変化が生じた。とくに、0.3mよりも、1.3mに方向変化が明瞭に表れていることから、この現象は根系発達の影響ではないことがわかる。

最後に、本論では、偏心生長量指標をもちいて、樹木個体のゆがみを表現したが、実際の偏心体積との関係や、偏心量と環境条件との量的応答関係については、今後サンプリングデータの増大とともにさらに検討しなければならない。

## 謝 辞

ヒノキ林のサンプリングに協力していただいた九州大学粕屋演習林職員、およびモミ・ツガ林のサンプリングに協力していただいた九州大学宮崎演習林職員に感謝します。また、貴重な示唆をいただいた林学科教授竹下敬司博士に謝意を表します。

## 引 用 文 献

- 新谷 融 (1972)：溪床土石の移動過程調査の方法，新砂防 83：6~13  
 高田和彦 (1985)：スギ直径生長における key year について，日林誌 67 (6)：240~242  
 中尾登志雄 (1985)：九州におけるモミ，ツガ林の生態学的研究，宮大演報 11：1~165  
 HEIKKEN, H (1984)：Tree-ring patterns—A key year technique for crossdating. J. For 82：302~305  
 東 三郎 (1968)：山腹崩壊と異常年輪，北海道林試報 6：19~39  
 真鍋大覚・川勝紀美子 (1968)：屋久杉の年輪から解析された誇大気象の永年変化と大風の変遷，九大演集報 22：127~165  
 丸谷知己・荒上和利 (1986)：環境情報としての樹木年輪の定量解析 (I)，日林論 97：609~610



## Summary

Marutani *et al.* proposed a method of analysis for time series patterns by representing the eccentric growth with vector. In this paper, relations between patterns and environment of trees are considered. Figure 1 shows the measurement of vector  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  of annual rings. All measurements were made at 0.3 m and 1.3 m height of trees. And we calculated indicators  $w$  (width),  $l$  (length),  $d$  (direction),  $pd$  (percentage of distortion) with vector as follows.

$$w = 1/4 \cdot (|a| + |b| + |c| + |d|) \quad (1)$$

$$l = |s| = |a + b + c + d| \quad (2)$$

$$d = \sin \theta = (|b| - |d|) / l \quad (3)$$

$$pd = l/w = \frac{4 \cdot |a + b + c + d|}{|a| + |b| + |c| + |d|} \quad (4)$$

$$(W = \sum w, L = \sum l, Pd = \sum pd)$$

The results for Hinoki trees are shown in Figure 4. Indicator  $W$  and  $L$  of No. 4 on convex slope increase gradually, and indicator  $d$  shows high auto-correlation in cycle of 41~48 years. Indicator  $W$  of No. 2 on concave slope increases gradually, and indicator  $L$  and  $Pd$  begin to increasing since 15 years ago.

The results for Momi trees are shown in Figure 5. Indicator  $W$  of No. 1 increases for early 20 years. Indicator  $W$  of No. 3 begins to increasing gradually since 20 years ago, and indicator  $d$  shows the alternation at interval of 10~15 years.

The stem transformation is caused by the light environment and the physiographical environment. Relations between these environments and indicators is shown in Table 2. The above results may be explained as follows.

In steep slope No. 4 tree is directly fixed on the base rock because of poor soil on convex slope. But No. 2 tree is not fixed because of wealthy talus on concave slope, and stem has inclined caused by talus slip 15 years ago. In loose slope, No. 1 tree has been a stable and equilibristic growth. But No. 3 tree has been suppressing by upper crowns, changing the eccentric direction every 10~15 years.