

樹幹の振動および固定がハンノキ属2種の成長におよぼす影響

齋藤秀樹・川田 丘*・竹岡政治

Hideki SAITO, Takashi KAWADA and Masaji TAKEOKA

Effects of shaking and staying of stems on growth of two alder trees

要旨：落葉広葉樹ハンノキ属の2樹種の若木について、3とおりの機械的刺激：振動，固定，および自然（対照）を樹幹に与えて、約1生育期間の成長への影響を調べた。実験結果を要約するとつぎのとおりである。

1) 振動によって樹高成長は減少，直径成長は増加し，そして H/D は減少した。生枝下部の幹断面積成長は，振動で下方ほど著しく促進された。しかし樹冠内では振動の影響はあらわれない。固定すると生枝下部で減少し，樹冠内での増加が著しい。

2) 処理期間中の年輪成長幅は，振動方向の増加が樹幹全体であらわれた。この傾向は下方ほど大きい。

3) 根重および根の割合は振動によって増加した。とくに支持根で著しい傾向があり，しかも振動方向に発達して耐振動性が大きくなった。

4) 全樹体，地上部，幹枝葉の各重量に対する処理の影響はばらばらであったが，振動で乾物生産が減少することはなかった。幹枝葉のしめる割合は振動によって顕著な変化があらわれない。 T/R はヤシャブシで処理効果がなく，ヤマハンノキの実験では振動<自然<固定となった。

5) 固定処理後に支柱を取去ると幹は曲って倒れた。幹比重は振動>自然>固定で各10%差だった。

植物に対する接触刺激によって形態的または生理的な反応があらわれる¹⁾。これらをまとめて JAFFE (1973)²⁾ は “thigmomorphogenesis” (接触形態形成¹⁾) と呼び，新しい研究分野を開発した。本報告に関係がある反応を例としてあげると；樹高成長の抑制^{3),4)}，直径成長の促進^{3),4)}，道管の縮小⁵⁾ などである。これは植物への振動や接触による物理的刺激によって植物体が生成するエチレンが増大して，このエチレンが成長を調節するものである^{1),5)-7)}。林学においては，風による樹体の振動が幹の成長に関係があり，山陽と山陰のアカマツでは樹高/直径の比にちがいがあらわれたり；樹冠相互間にすき間が形成される原因になると考えられている⁸⁾。

本実験では樹幹を一定方向に振動する処理，および

樹幹を支柱に固定して頂端附近の一部をのぞく樹幹への振動刺激を除去した処理を行って約1生育期間のあいだの成長への影響を調べた。樹木を対象とした同様の実験には，JACOBS (1954)⁹⁾ や LARSON (1965)¹⁰⁾ の注目に値する研究がある。しかし彼らは物理的刺激によって樹体各器官の量的関係に変化がおこるかどうかの問題にはふれていない。これは林学や生産生態学では重要で興味深いことがらである。

今回の実験の一部を終了したあとに ASHBY et al. (1979)¹¹⁾ によって三つの広葉樹の稚樹に対して50~60日間の振動処理(日陰処理も組合せている)を行った報告がでた。この実験で，彼らは振動が光合成に直接影響を与えないことを指摘した。われわれの実験にも同じ広葉樹を用いたが，接触刺激への反応は種によっ

京都府立大学農学部造林学研究室

Laboratory of Silviculture, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

* 現在，京都府京北地方振興局

昭和58年7月20日受理

て異なる²⁾という。本実験では処理期間を約1生育期間(72~148日)と長くし、個体重を大きくして結果をみた。なお、ハンノキ属の樹種を供試木に用いた理由は、若い時期の個体成長が大きいから、処理の差が明白にでることを期待したためである。

実験の方法

落葉広葉樹ハンノキ属の2樹種の若木について、3とおりの機械的刺激;振動,固定および自然(対照)

(Fig.1)を樹幹に与えながら約1生育期間のあいだ育てた。3カ年間にわたって3とおりの実験I~IIIを行ったが、中心となる研究目的のちがいでによってその処理が少し異なる。

実験I: 個体成長量とくに幹枝葉根の量的関係におよぼす影響を中心に計画した。開葉前の1978年3月24日に、1年生のヤシャブシ *Alnus filma* S. et Z. (平均樹高20.6 cm)を本学苗畑(京都市左京区下鴨)に植えた。東西方向に設けた90 cm幅の苗床3本に、秋まで孤立木の状態であるように、70 cm間隔で一列に植栽した。旺盛な生育を確認した同年5月26日に、つぎの3処理を開始した。振動処理:SHは、電動攪拌機を用いて東西の一定方向にだけ水平運動できる木製わくを振動し(32回/1分)、このわくと供試木の樹幹とを発泡スチロールと針金を使って連結して振動を樹幹につたえた。樹幹の固定箇所は地上高10 cmで、樹幹の中央部にあたり、ここでの振幅は約3 cmである。振動は1日2回、午前と午後の4時0分~4時45分まで行った。成長にともなって9月上旬から、樹幹の固定箇所を地上高20 cmに上げた。これで振幅は約4 cmである。この処理は苗床1本の供試木を対象にした。固定処理:STは、供試木を植栽したときに設けておいた

支柱(針金で動揺しないように支持してある)に発泡スチロールを介して樹幹を、傷をつけないようにまた肥大成長を妨げないように注意して固定した。この固定箇所の間隔は10~20 cmとし、樹高成長にともない順次上方も固定していった。この処理には隣接する苗床2本の東半分を対象とした。なお樹幹はその先端部約15 cmを除いてまったく振動しないように固定したが枝葉は自然状態のままなので風によって自由に動揺する。自然(対照):Cは、樹幹に人為的な刺激を与えずに自然の環境下で生育させたもので、前記2処理の対照処理である。この処理には固定処理を設定した苗床2本の西半分をあてた。

以上の3処理は、つぎに述べる収穫調査を行った1978年10月30日まで続けた。

堀取りは細根の切断をさけるためにできるだけいねいに行い、根系は水洗した。そして樹高を測定し、樹幹の地ぎわ直径を振動方向の D_0^* とその直角方向の D_0 、樹高の1割高部の直径も同様に二方向につき、それぞれ測定した。つぎに樹体を幹、枝、葉、直径 $\phi \geq 0.2$ cmの根、および $\phi < 0.2$ cmの根の各部分にわけ、それぞれの生重量および乾重量(85°Cで十分に乾燥)を測った。また地上高0~5 cm部の樹幹について、50 cm³メスシリンダーを用いて容積を測ったあと乾重量を測り、幹比重を求めた。

以上のほかに、処理効果のあらわれかたをみるために、1978年4月27日~10月30日まで半月間隔で樹高、幹直径である D_0^* と D_0 を、できるだけ接触を少なくするように心がけながら測定した。

実験II: 樹幹の肥大成長におよぼす影響をみるのが主な目的である。実験Iで使用した同じ苗床に、1979年3月、1年生ヤマハンノキ *A. hirsuta* TURCZ. var. *sibirica* C.K.SCHNEID. を80 cm間隔で植栽した。この年は実験を行わないで育てた。このために、実験をはじめた翌年の1980年3月26日には隣接木の樹冠は互いに接し、孤立木の状態ではなくなった。実験処理は、まず供試木の樹高(平均114 cm)の半分の高さまで生枝を取り去った。振動処理は、生枝直下の樹幹を軽く手でにぎって一定方向(南北)に、1日1回、正午頃に5往復を振動させた。振幅はFig.1に示すように約60度で、これは根株周辺の地面が少し盛り上がる様に感じる程度だ。固定および自然処理は実験Iと同様である。3本の苗床をほぼ中央で東西にわけて6ブロックとして、上記の3処理を配置した。そのさい、振動の影響が隣接木におよばないように組み合わせた。本実験も樹幹に対する処理のほかは自然の生育環境で行った。

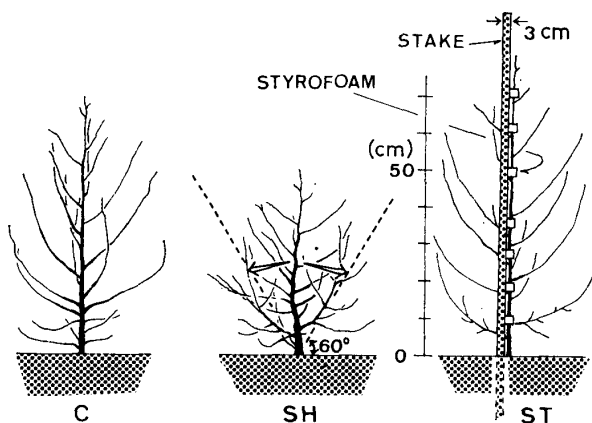


Fig. 1. Mechanical stresses for stem bole
SH: shaking. ST: staying. C: free-swaying(control).

以上の3処理は、つぎに述べる収穫調査を行った1980年8月21日まで継続して行った。

供試木の堀取りだが、根系が大きくなったので細根まで高精度で堀り出せなかった。しかし、 $\phi \geq 0.2$ cmの根は完全に堀り出した。収穫調査時の測定項目は実験Iで実施したことのほかに、地上高0~5, 50~55, 100~105 cm部の幹比重、および生枝下部と樹冠内部の樹幹をそれぞれ8等分して切断し、各断面における年輪の当年成長幅を4方向(東西南北: Fig. 4)について測定した。

実験III: 無風の環境のなかで枝葉の動揺をなくし、また土壌および日射の条件もできるだけ均一にして行った。1981年春にヤマハンノキの1年生苗木(樹高15 cm)をワグネルポット(1/2000a)に1本づつ植えておき、同年の5月14日に温室内に移した。さらに無風環境を完全につくるために、ワグネルポットを配置したその周囲を1.8 m幅の透明ビニールシートで囲った。振動処理は樹高のほぼ中央部を手でかくるくにぎって行ったが、その詳しい方法は実験IIと同じである。また固定処理、自然処理も実験IIと同様にした。これらの処理は1981年5月19日~7月30日まで行った。この期間中は供試木を孤立木の状態で生育させた。またこの間、供試木の枝葉への接触をさけ、2日に1度のかん水時にも極力枝葉を動揺させないように配慮した。1981年7月30日に収穫調査を行い、実験Iと同じ項目を調べた。ほかに幹と枝における節間長を測った。

以上の3実験に供した個体数は実験Iが36本で、この1/3にあたる12本を各処理に用いた。実験IIは39

本、実験IIIは21本であり、各処理には同じ本数をあてた。しかし実験中にゴマダラカミキリによって樹幹が被害をうけたり、処理の影響とは別の原因によって成長がほかの個体より極端に悪いもの; 1処理で最大1~3本(Table 1)あったが、これらは実験結果からのぞいた。

樹高および直径成長

処理期間中の樹高成長速度を処理ごとに、供試木の平均値に標準偏差をつけて示すとTable 1のとおりになり、樹幹の固定処理の値が最も大きくて振動処理の値が最も小さくなった。実験Iでは自然処理が振動処理よりも小さな値を示す。これは実験IIおよびIIIの結果や既報^{1), 5), 11), 12)}の結果と異なる。これは供試したヤシャブシの特長と考えることもできるが、ほかに自然処理に苗床の西側半分をあてたことによる日射条件のちがいが、自然処理の個体が風によって強く動揺したことなども原因と考えられる。実験IIIでは自然処理と固定処理の樹高成長速度にほとんど差がない。これは実験IIIを無風環境で行ったので、自然処理の個体もほとんど動揺しなかったために、固定処理と同じ効果が得たのだと考える。

樹幹の地ぎわ直径の成長速度(Table 1)は、振動処理が最も大きくて固定処理が最も小さくなった。地ぎわ直径は2方向の直径 D_0^* と D_0 の平均値として求めてある。苗畑の自然環境で行った実験IおよびIIの自然処理の値は固定処理に比較して明らかに大きい。一方、無風環境下の実験IIIでは両者の値がほぼ一致し

Table 1. Growth of trees (mean \pm standard deviation)

Exper.	Treat.	n	ΔH (cm)	$\Delta \bar{D}_0$ (mm)	$L_{IN)S}$ (cm)	$L_{IN)B}$ (cm)
I	C	12	32.3 \pm 15.0	9.3 \pm 2.3	—	—
	SH	11	45.3 \pm 14.8	11.9 \pm 2.1	—	—
	ST	11	48.9 \pm 23.4	7.7 \pm 2.2	—	—
II	C	13	240 \pm 30	20.7 \pm 4.0	—	—
	SH	10	196 \pm 44	28.4 \pm 5.1	—	—
	ST	10	280 \pm 23	18.1 \pm 5.6	—	—
III	C	7	60.6 \pm 4.4	8.9 \pm 0.7 ¹⁾	4.0 \pm 0.7	3.7 \pm 0.4
	SH	6	37.7 \pm 5.2	11.5 \pm 1.1 ¹⁾	2.9 \pm 0.5	2.9 \pm 0.5
	ST	7	64.4 \pm 8.4	9.0 \pm 0.9 ¹⁾	5.0 \pm 0.8	4.4 \pm 0.7

Experiment I: 2-year-old *Alnus firma* S. et Z. grown in nursery. Exper II: 3-year-old *A. hirsuta* TURCZ. var. *sibirica* C.K.SCHNEID. grown in nursery. Exper III: 2-year-old *A. hirsuta* var. *sibirica* grown in a no-wind environment in greenhouse. C: Control. SH: Shaking. ST: Staying. n: Number of trees sampled. ΔH : Stem elongation rate. $\Delta \bar{D}_0$: Average value of stem diameter growth rate at ground level. $L_{IN)S}$ and $L_{IN)B}$: Internode length on stem and branches, respectively. 1) Average value of stem diameter D_0^* and D_0 at ground level (see Fig. 4).

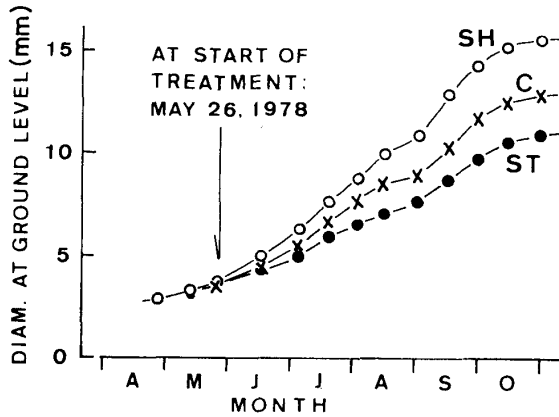


Fig. 2. Cumulative diameter growth of stem at ground level (Exper I)

ている。この結果は、上記の樹高成長のばあいと同様に、自然処理の個体に機械的的刺激がほとんどなかったことに原因がありそうだ。

樹幹の振動および固定処理に対する成長への影響は、地ぎわ直径で処理開始後1カ月で、また樹高で約2カ月後にあらわれた。Fig. 2は実験Iにおける地ぎわ直径の成長経過を示すものである。振動開始後の約半月間で、直径がほかの2処理に比べて大きくなった。さらに半月後、処理を開始してから1カ月後には三つの処理の値は明らかな差が生じている。樹高成長については処理開始後の1.5~2カ月の間にその影響がみられたが、地ぎわ直径のように顕著なものではなかった。

実験IIIで測定した樹幹における平均節間長 (Table 1) は大きい順に固定、自然、振動の処理となった。固定と振動処理の間には2.1 cmの差がみられる。枝に

おける平均節間長でも樹幹におけるのと同じ傾向を示した。これらは機械的的刺激の影響^{1), 3)}によるものだ。

樹幹形の発達

樹幹形に対する影響を示したのが Table 2 および Fig. 3~4である。

地ぎわの樹幹の平均直径 \bar{D}_0 (D_0^* と D_0 の平均値) に対する樹高 H の比: H/\bar{D}_0 についてみると、処理を終了した収穫調査時点 t_2 の値は固定処理が最も大きく、振動処理が最も小さい傾向がある。処理開始時点 t_1 の H/\bar{D}_0 の値が3処理間にほとんど差がないから、時点 t_2 におけるこの比のちがいは実験処理の影響とみなせる。これは前章で述べた樹高および地ぎわ直径の成長速度を反映しているわけだ。樹高の1割高部における幹直径の平均値に対する樹高の比: $H/\bar{D}_{0.1H}$ (Table 2) についても、 H/\bar{D}_0 でみられた処理間の傾向と同じであった。

つぎに、この処理による樹幹形の発達のちがいを幹断面積成長速度の垂直分布から検討する。Fig. 3は、実験IIの結果を示すもので、処理期間中の断面積成長速度は各処理の生枝直下の平均値を基準1として、またたて軸は生枝下部および樹冠内の幹をそれぞれ8等分して測定した値を、 t_1 時点の各処理の平均樹高を基準1として図示したものである。

生枝下部では断面積成長は下方で増加する傾向を示した。この傾向は、とくに振動処理で顕著にあらわれた。固定処理のばあいには、地ぎわ附近での若干の増加がある以外は地上高の変化に対してほぼ一定である。一方、樹冠内での変化についてみると、固定処理

Table 2. Stem form development (mean \pm standard deviation)

Exper.	Treat.	H/\bar{D}_0 (cm/mm)		$H/\bar{D}_{0.1H}$ (cm/mm)		D_0^*/D_0 (mm/mm)
		t_1	t_2	t_1	t_2	
I	C	69 \pm 12	44 \pm 9.0	—	53 \pm 11	1.01 \pm 0.05
	SH	69 \pm 23	45 \pm 6.7	—	56 \pm 8.9	1.27 \pm 0.11
	ST	65 \pm 8.8	62 \pm 9.3	—	77 \pm 13	1.00 \pm 0.04
II	C	94 \pm 6.2	106 \pm 12	109 \pm 7.7	125 \pm 13	1.06 \pm 0.10
	SH	89 \pm 8.7	77 \pm 11	106 \pm 10	104 \pm 20	1.27 \pm 0.21
	ST	91 \pm 8.7	125 \pm 13	107 \pm 9.5	145 \pm 11	1.02 \pm 0.10
III	C	—	85 \pm 10	—	—	1.02 \pm 0.10
	SH	—	46 \pm 3.2	—	—	1.13 \pm 0.05
	ST	—	89 \pm 14	—	—	0.99 \pm 0.06

H : Tree height. \bar{D}_0 : Average value of stem diameter at ground level. $\bar{D}_{0.1H}$: Average of stem diameter at one-tenth tree height. D_0^* and D_0 : Stem diameter at ground level in the direction to the shaking and in the direction perpendicular to it (see the inset of Fig. 4). t_1 and t_2 : At the beginning and the end of a treatment.

の断面積成長が大きいのがめだち、ほかの2処理の垂直分布とは明らかにちがった形になった。振動処理と自然処理とは同じ垂直分布の形を示し、樹冠内の肥大成長には振動の影響があらわれなかった。

振動処理によって樹幹の断面が円形から楕円形に発達した。地ぎわ直径について、振動方向とこれに直角方向との比： D_0^*/D_0 を Table 2 に示す。固定および自然処理では D_0^*/D_0 がほぼ1 となって円形である

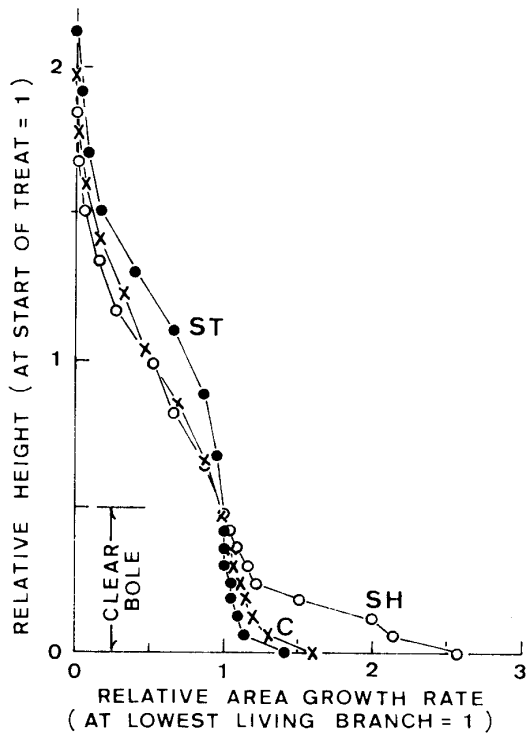


Fig. 3. Vertical changes of stem area growth (Exper II)

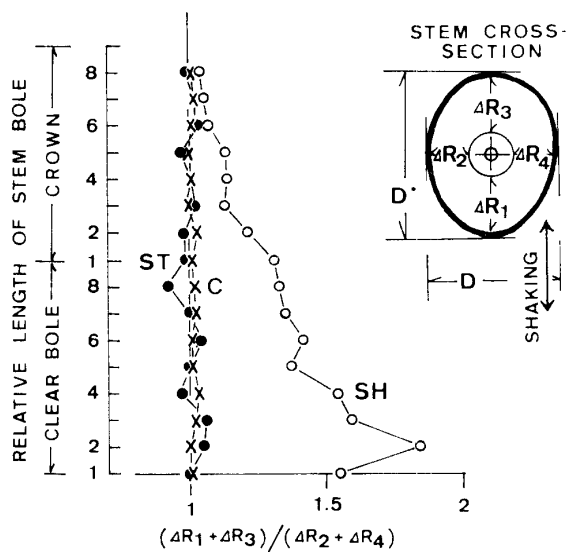


Fig. 4. Vertical changes of stem diameter growth rate (Exper II)

が、振動処理では1.13~1.27で、樹幹の肥大成長は振動の方向に大きかった。なお実験Ⅱの自然処理の値が1.06になったのは、供試木を一列に植栽したためにおこる“線密度”の影響と考えた。

つぎに、幹断面の形状の変化が地上のどの高さまでおよんでいるかを図示したのが Fig. 4 である。この図では当年(処理期間)の振動方向の年輪幅成長： $\Delta R_1 + \Delta R_3$ をその直角方向の値： $\Delta R_2 + \Delta R_4$ でわった値を、生枝下部と樹冠内部をそれぞれ8等分して示してある。固定および自然処理ではどの高さ部位においてもほぼ1で、幹断面が円形で成長していることがわかる。一方、振動処理のこの値はすべての高さ部位で1より大きく、振動処理によって樹幹全体にわたって肥大成長が振動方向に促進されたことを示す。また、この傾向は地ぎわにちかいほど著しかった。

乾物生産への影響

収穫調査の結果から各器官：幹、枝、葉、根、および $\phi \geq 0.2$ cmの根、の乾重をまとめると Table 3 のとおりである。また全樹体重に対する器官重の割合を%で示した。掘取り作業のていねいさのちがいで、とくに実験Ⅱの細根が過少になっているから、実験間での比較にはあまり意味がない。

今回の実験では、処理の影響は地下部で顕著にあらわれた。根重で比較すると振動処理が最大でついで大きいのが自然処理、固定処理の順になる。しかし最後の2処理の差はわずかであった。根重のしめる割合では、実験Ⅱでは上記の傾向が明らかであるが、実験ⅠおよびⅢでは処理間の差は小さい。根系のなかで樹体支持の機能をはたす $\phi \geq 0.2$ cmの根については、重量および割合はともに振動>自然>固定の処理の順序とみなせる。なお、実験Ⅲの自然処理と固定処理の値に差がないのは、無風環境で実験したことに起因すると考える。

Fig. 5 には振動処理した供試木の根系 ($\phi \geq 0.2$ cm) の二例を示す。振動によって、振動方向に伸びる根が発達した。また垂直方向の根系の発達も、振動に抵抗する形と考えられる。一方、固定処理では一定方向への根の伸びがなく、また根系の発達も悪かった。

つぎに全樹体、地上部、地上部各器官の諸量に対する処理の影響は地下部のばあい比べて著しい傾向はみられなかった。まず無風条件で行った実験Ⅲの結果についてみると、全樹体および地上部重の平均値は固定>振動>自然の順となった。処理間の差は5~10%である。幹および枝重は固定処理が最大で、振動処理が最小であった。実験Ⅱの全樹体重は振動>固定>自

Table 3. Dry weight (mean \pm standard deviation) and percentage composition of each organ per tree

Exper.	Treat.	Stems (g)	Branches (g)	Leaves (g)	Above-ground (g)	Roots (g)	Roots ($\phi \geq 0.2$ cm) (g)	Total (g)	T/R (g/g)
I	C	12.5 \pm 6.3 (12)	18.4 \pm 10.1 (18)	42.0 \pm 17.5 (41)	72.8 \pm 33.0 (71)	29.4 \pm 11.4 (29)	18.7 \pm 7.5 (18)	102.2 \pm 44.0 (100)	2.4 \pm 0.4
	SH	19.2 \pm 6.4 (14)	26.5 \pm 11.1 (19)	55.0 \pm 10.6 (39)	101.7 \pm 26.4 (72)	39.5 \pm 12.2 (28)	23.9 \pm 11.0 (19)	140.2 \pm 37.0 (100)	2.6 \pm 0.5
	ST	11.7 \pm 7.3 (13)	17.1 \pm 12.9 (19)	34.9 \pm 17.7 (39)	63.7 \pm 37.3 (71)	25.8 \pm 14.3 (29)	15.4 \pm 7.9 (17)	89.5 \pm 50.4 (100)	2.5 \pm 0.8
II ¹⁾	C	728 \pm 225 (43)	—629 \pm 218— (37)	—	1357 \pm 438 (80)	345 \pm 124 (20)	263 \pm 101 (15)	1701 \pm 553 (100)	4.0 \pm 0.5
	SH	794 \pm 226 (37)	—774 \pm 141— (35)	—	1568 \pm 316 (72)	610 \pm 112 (28)	458 \pm 94 (21)	2178 \pm 405 (100)	2.6 \pm 0.4
	ST	780 \pm 175 (40)	—825 \pm 290— (43)	—	1606 \pm 460 (83)	332 \pm 112 (17)	241 \pm 97 (12)	1938 \pm 566 (100)	4.9 \pm 0.6
III	C	5.3 \pm 0.8 (14)	5.5 \pm 1.2 (15)	18.5 \pm 4.1 (50)	29.3 \pm 5.6 (79)	7.8 \pm 3.4 (21)	1.8 \pm 0.5 (4.9)	37.1 \pm 8.1 (100)	4.1 \pm 1.2
	SH	4.6 \pm 1.0 (12)	5.3 \pm 1.0 (13)	21.2 \pm 2.8 (54)	31.2 \pm 4.4 (79)	8.5 \pm 3.0 (21)	3.5 \pm 1.4 (8.9)	39.7 \pm 7.4 (100)	3.9 \pm 0.8
	ST	6.1 \pm 1.2 (15)	6.6 \pm 1.7 (16)	21.4 \pm 3.4 (51)	34.1 \pm 5.4 (82)	7.6 \pm 1.6 (18)	2.0 \pm 0.8 (4.7)	41.7 \pm 6.5 (100)	4.6 \pm 0.8

Figures in parentheses represent percentage of total dry weight. 1) : Lower branches up to 50 percent of a tree height at the beginning of the treatment were removed.

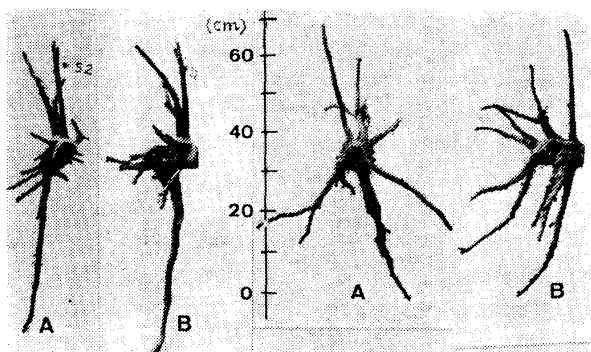


Fig. 5. Development of root system ($\phi \geq 0.2$ cm) by shaking the stem (Exper II)
A: under-view. B: side-view.

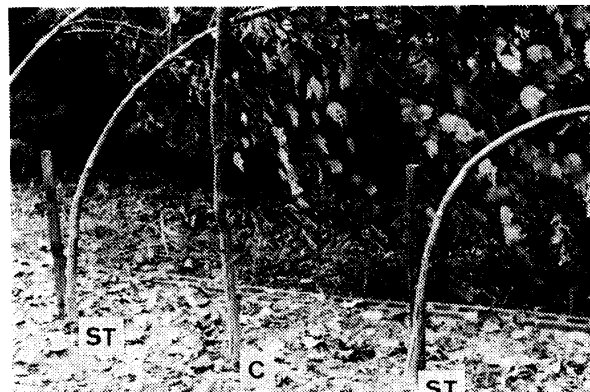


Fig. 6. Stem bending after the tree stakes were removed (Exper II)

然の処理の順で、地上部の各器官重では振動>固定>自然または固定>振動>自然であった。ヤジャブシを用いた実験Iの処理効果を乾重からみると、振動>自然>固定の順となる。

全樹体にしめる各器官割合においては、地上部重が振動処理によって減少(実験II), 固定によって増加(実験II, III)した。幹および枝重の割合は振動によって減少(実験II, III)し、葉の増加が実験IIIでみられた。実験Iでは各器官重の割合に処理の影響があらわれていない。地上部と地下部の割合に対する処理効果についてT/R比(Table 3)でみると、ヤマハンノキを用いた実験IIとIIIでは振動によって地上部が減少し固定によって増加する。しかし、ヤジャブシの実験Iではほとんど影響がなかった。

本実験における3段階の機械的刺激をあたえたばあいの影響のちがいを既報¹⁾⁵⁾⁻⁷⁾から考えると、振動 \leq 自然 \leq 固定の順か、またはこの逆の順序になると推測できる。しかし今回の実験結果では根をのぞくとこの順序にあてはまらないばあが多かった。各処理の平均値間に統計的に有意でないばあが多いことを考慮すると、今回の3処理が個体の乾物生産に与える影響は、根以外では、ほとんどなかったと解釈することも

できる。ASHBY, et al.(1979)¹¹⁾の実験結果によると、振動処理によって個体重が対照より減少するか、または種によっては変化しないようだ。また草本植物：テッポウユリ⁵⁾と *Cucurbita melopepo*¹²⁾ に対する接触刺激でも、地上部生重は少なくなったという。

樹幹を固定するとその物理的な強度に大きな差ができた。Fig. 6は、実験IIの収穫調査のときに、固定処理の個体から支柱を取り去ったところ風力2(ビューフォート風力階級)程度の風によって樹幹が曲って倒れた様子を示している。固定処理した13個体は、曲りの程度差はあったが、支柱の撤去後は自立できなかった。

幹の容積に対する乾重の比である幹比重(Table 4)を処理間で比較すると、実験IIでは振動>自然>固定の処理の順になる。各処理の間には10%のちがいが、振動と固定の処理間には20%の差があった。振動によって道管および木繊維が小さくなり³⁾、固定による仮道管の壁厚の増大¹⁰⁾と対応する結果だと思う。Table 4には実験Iでえた樹幹の含水率(樹幹全体での平均)を添記したが、処理によってわずかであるがちがいがあ

以上述べたように今回の実験では供試樹種、生育段

Table 4. Bulk density of stem wood (dry weight/volume)

Exper.	Treat.	Above-ground height (cm)			Water content (%)
		0-5 (g/cm ³)	50-55 (g/cm ³)	100-105 (g/cm ³)	
I	C	0.61	—	—	56.5
	SH	0.64	—	—	55.5
	ST	0.61	—	—	57.9
II	C	0.34	0.34	0.33	—
	SH	0.37	0.37	0.36	—
	ST	0.33	0.31	0.31	—

階, 風の影響が異なるので, 乾物生産に対する処理効果は明白な結論がだせなかった。しかしながら, 振動によって根系が発達すること, 固定によって樹幹の物理的な強さが劣ることは林学における基礎知識として重要である。風害や積雪害を防ぐための立木本数の決定, 公園木や街路樹を移植したときの支柱, とくに温室室内のように強い風が当たらない環境では注意が必要になる。

引用文献

- 1) 太田保夫(1975): 植物に対する接触刺激と生長抑制。植物の化学調節, 10, 90-94.
- 2) JAFFE, M.J. (1973): Thigmomorphogenesis: The response of plant growth and development to mechanical stimulation. *Planta*, 114, 143-157.
- 3) NEEL, P.L. and HARRIS, R.W. (1971): Motion-induced inhibition of elongation and induction of dormancy in *Liquidambar*. *Science*, 173, 58-59.
- 4) 松川時晴・柏木征夫(1971): 園芸植物のわい化に及ぼす屈触性に関する研究(第1報) 接触によるユリのわい化について, 園芸学会研究発表要旨(昭和46年秋期大会), 286-287.
- 5) HIRAKI, Y. and OTA, Y. (1975): The rela-

- tionship between growth inhibition and ethylene production by mechanical stimulation in *Lilium longiflorum*. *Plant & Cell Physiol.*, 16, 185-189.
- 6) GOESCHL, J.D., RAPPAPORT, L. and PRATT, H.K. (1966): Ethylene as a factor regulating the growth of pea epicotyls subjected to physical stress. *Plant Physiol.*, 41, 877-884.
- 7) ROBITAILLE, H.A. and LEOPOLD, A.C. (1974): Ethylene and the regulation of apple stem growth under stress. *Physiol. Plant.*, 32, 301-304.
- 8) 四手井綱英(1974): ヒノキ林の生態学。"ヒノキ林", 地球社, 1-48.
- 9) JACOBS, M.R. (1954): The effect of wind sway on the form and development of *Pinus radiata* D. DON. *Australian J. Bot.*, 2, 35-41.
- 10) LARSON, P.R. (1965): Stem form of young *Larix* as influenced by wind and pruning. *For. Sci.*, 11, 412-424.
- 11) ASHBY, W.C., KOLAR, C.A., HENDRICKS, T.R. and PHARES, R.E. (1979): Effects of shaking and shading on growth of three hardwood species. *For. Sci.*, 25, 212-216.
- 12) TURGEON, R. and WEBB, J.A. (1971): Growth inhibition by mechanical stress. *Science*, 174, 961-962.

Summary

The effects of three mechanical stimulations: shaking, staying, and free-swaying (control), on the growth and development of young alder trees were studied. The period of the treatments was from 72 to 108 days. The summary of the results are as follows.

1) The shaking reduced height growth, enhanced diameter growth, and consequently decreased the ratio of height to diameter. Stem crosssectional area increment on clear bole was markedly increased by shaking, with the increase toward the stem base. The stayed trees showed a pronounced upward shift of increment, at the expense of downward stem parts.

2) Trees responded to unidirectional shaking by producing larger diameter increment along the shaking direction throughout their length, with increasing on the lower stem.

3) The effects of shaking affected growth by altering weight and percentage of roots, especially for larger roots more than 0.2 cm in diameter.

The root system was reflected by the development in direction to the stem shaking.

4) Although the evident tendency of the effects of the mechanical treatments on the dry weight of stem, branches, leaves, above-ground parts, and a whole tree has not become visible, the shaking did not reduced dry matter production. With the exception of root growth, the shaken and stayed trees did not alter the distribution of dry weight of each organ within the tree. The ratio of above-ground parts to root of a *Alnus firma* tree was not affected by shaking, but for *A. hirsuta* var. *sibirica*, the value resulted in decrease for shaken trees and in increase for stayed.

5) In the stayed treatment where *A. hirsuta* var. *sibirica* trees were prevented from swaying throughout their length, the stem bending was observed after the tree stakes were removed. Mean bulk density of stems spaned a range from 0.37 g/cm³ for shaking to 0.31 g/cm³ for staying.