

アカマツ自然受粉家系における形質間の遺伝相関

明石 孝輝⁽¹⁾Takateru AKASHI: Genetic Correlation Between Traits in
Japanese Red Pine, *Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.

要旨：アカマツにおける形質間の遺伝相関、環境相関および表現型相関を、親子相関と家系の共分散分析によって解析した。樹高と胸高直径との遺伝相関は各種の形質相互間の関係を調べた多くの事例で認められた。また、胸高直径と仮道管長および胸高直径と木材の密度に関連する形質との遺伝相関が一部の事例で認められた。遺伝相関と環境相関および表現型相関からみると、木材の密度に関連する形質は晩材率で代表されることが確かめられた。球果と種子の大きさに遺伝相関のあることが明らかにされた。表現型相関と遺伝相関は、複数の形質を加味して選抜を行うさい、選抜指数の作成に用いられるものであり、本試験の結果はその目的に利用することができる。

はじめに

本報告は、1961年に開始された「材質育種に関する研究」²⁾³⁾の中で今回分担した「母樹とその家系における形質間の遺伝相関」について報告するもので、同時に求めた環境相関、表現型相関についても述べる。したがって、この研究の目的や材料等については、総論および個々の形質についての報告の中で述べられているので本報告では省略する。

遺伝相関は、当該2形質の各遺伝率が有意であるときに意味をもつものであり、有意でないときに、その大きさ等を論議することには疑問がある。しかし、この試験では遺伝率が統計的に有意である形質はきわめて少なかった。有意でない場合の遺伝相関も、今後得られるであろう情報とあわせて解析すれば役に立つ可能性もあるので、参考として一覧表に記載することにした。本報での有意でない遺伝率は、統計的有意性の有無ではなく、0%から10%未満の値をもつものとし、対応する遺伝相関を括弧で示した。また、各遺伝相関には必ず遺伝率を併記し、両者の値を対照しながら論議することにした。

遺伝相関は、同じ遺伝子または遺伝子群が2形質に発現する多面発現の場合と、2形質を支配する遺伝子、もしくは遺伝子群の間に強いリンケージが存在する場合に生じる。しかし本試験の材料は、ここで取り扱う形質に関しては無作為集団から抽出されたものと考えられるので、リンケージ平衡に達しているものとするれば、前者の多面発現の場合のみが考えられる。なお、Falconer¹⁾によれば多面発現による遺伝相関には、主働遺伝子によるものも考えられるとしているが、本試験での形質はポリジーン支配と考えられるので、遺伝相関が存在する場合は、複数の遺伝子が両形質に関与するものと判断される。

1 遺伝相関, 環境相関, 表現型相関の算出法

遺伝相関は次式で与えられるように 2 形質間における遺伝成分についての相関係数である。

遺伝相関

$$r_G = \text{cov} (G_1, G_2) / (\sigma_{G_1}, \sigma_{G_2})$$

ただし, $\text{cov} (G_1, G_2)$ は第 1 形質と第 2 形質の遺伝共分散であり, $\sigma_{G_1}^2$ は第 1 形質の遺伝分散, $\sigma_{G_2}^2$ は第 2 形質の遺伝分散である。

環境相関は次式で与えられるように 2 形質間における環境成分についての相関係数である。

環境相関

$$r_E = \text{cov} (E_1, E_2) / (\sigma_{E_1}, \sigma_{E_2})$$

ただし, $\text{cov} (E_1, E_2)$ は第 1 形質と第 2 形質の環境共分散であり, $\sigma_{E_1}^2$ は第 1 形質の環境分散, $\sigma_{E_2}^2$ は第 2 形質の環境分散である。

表現型相関は次式で与えられるように 2 形質間における表現型の相関係数である。

表現型相関

$$r_P = \text{cov} (P_1, P_2) / (\sigma_{P_1}, \sigma_{P_2})$$

ただし, $\text{cov} (P_1, P_2)$ は第 1 形質と第 2 形質の表現型共分散であり, $\sigma_{P_1}^2$ は第 1 形質の表現型分散, $\sigma_{P_2}^2$ は第 2 形質の表現型分散である。

以上述べた 3 種の相関の算出法は, 親子相関による方法と分散分析による方法があるので, それぞれについて説明する。

1) 親子相関による方法

第 1 形質を下つき 1, 第 2 形質を下つき 2 であらわし, 親を p, 子供を o であらわせば遺伝相関は次のとおりとなり, 相関係数を用いても回帰係数を用いても同様の値が得られる。すなわち, 同一形式についての親子相関に対する異形質間の相関係数の比率が遺伝相関である。

$$r_{G12} = \sqrt{\frac{\Gamma_{O2P2} \cdot \Gamma_{O2P1}}{\Gamma_{O1P1} \cdot \Gamma_{O1P2}}} = \sqrt{\frac{b_{O1P2} \cdot b_{O2P1}}{b_{O1P1} \cdot b_{O2P2}}}$$

環境相関は両形質についての遺伝率を求め, 前述の遺伝相関と, あとで述べる表現型相関 (r_{P12}) とから計算される。

第 1 形質の遺伝率

$$h_1^2 = 2\text{cov} (o_1, p_1) / \sqrt{\sigma_{o_1}^2, \sigma_{p_1}^2}$$

第 2 形質の遺伝率

$$h_2^2 = 2\text{cov} (o_2, p_2) / \sqrt{\sigma_{o_2}^2, \sigma_{p_2}^2}$$

環境相関

$$r_{E12} = (r_{P12} - r_{G12}h_1h_2) / \sqrt{(1-h_1^2)(1-h_2^2)}$$

表現型相関は, 子供の表現型について 2 形質について求めた相関係数と, 親の表現型について 2 形質について求めた相関係数との幾何平均として得られる。

$$r_{P12} = \sqrt{\frac{\text{cov} (o_1, o_2)}{\sigma_{o_1} \sigma_{o_2}}} \cdot \sqrt{\frac{\text{cov} (p_1, p_2)}{\sigma_{p_1} \sigma_{p_2}}}$$

2) 分散分析による方法

自然受粉の複数家系を乱塊法で植栽したときに得られたデータの分散分析にもとづき、家系の平均平方の期待成分にしたがい家系分散を求める。この家系分散の4倍が遺伝子分散に相当することは、一般の量的形質における遺伝率の算出で説明されるとおりである。

遺伝相関、環境相関、表現型相関を求めるために必要な各共分散は、遺伝子分散を求めると同様の考え方にもとづくものであり、Table 1に示すとおり共分散分析を行い、各共分散成分が求められる。

各相関を求めるさい、反復間にもとづく共分散は、マクロな環境的共分散とみなして除外した。家系間の共分散 $\text{cov}(s_x s_y)$ は、 F_2 集団の遺伝的共分散 $\text{cov}(G_x G_y)$ の4分の1であることから、その4倍を F_2 集団の遺伝的共分散とし、両形質の分散分析で得た家系間分散の4倍、すなわち、 F_2 集団の遺伝分散を用い次式により遺伝相関が求められる。

$$\begin{aligned} r_{GXV} &= 4\text{cov}(G_x G_y) / \sqrt{4\sigma_{sx}^2 4\sigma_{sy}^2} \\ &= \text{cov}(G_x G_y) / (\sigma_{sx} \sigma_{sy}) \end{aligned}$$

環境相関を求めるためには、まず環境共分散を全共分散 $\text{cov}(W_x W_y) + \text{cov}(e_x e_y) + \text{cov}(S_x S_y)$ と遺伝共分散 $4\text{cov}(s_x s_y)$ との差として求められる。

$$\text{cov}(p_x p_y) = \text{cov}(W_x W_y) + \text{cov}(e_x e_y) + \text{cov}(S_x S_y) - 4\text{cov}(s_x s_y)$$

両形質についての環境分散を分散分析の期待成分にもとづき、同様に全分散から遺伝分散を差し引いて求め、その幾何平均を求める。この値を分母として前に述べた環境共分散を分子として次式で環境相関が求められる。

$$r_{exy} = \{ \text{cov}(W_x W_y) + \text{cov}(e_x e_y) / \sqrt{\sigma_{wx}^2 + \sigma_{ex}^2 + \sigma_{sx}^2 - 4\sigma_{sx}^2} + \text{cov}(s_x s_y) - 4\text{cov}(s_x s_y) \} / \sqrt{\sigma_{wy}^2 + \sigma_{ey}^2 + \sigma_{sy}^2 - 4\sigma_{sy}^2}$$

この式の σ_{wx}^2 と σ_{wy}^2 はプロット内個体分散、 σ_{ex}^2 と σ_{ey}^2 はプロット間分散である。

表現型相関は、環境と遺伝を含めた相関であるから、環境と遺伝についての分散と共分散を含め

Table 1. 共分散分析の自由度と平均積和の期待成分
Degrees of freedom and expected components of mean sum product in the analysis of covariance.

要因 Factors	自由度 d.f.	平均積和の共分散成分 Expected component of mean sum product
反復 Replications	r-1	
系統 Families	s-1	$\text{cov}(W_x W_y) + n \text{cov}(e_x e_y) + n r s \text{cov}(s_x s_y)$
プロット Plot	(r-1)(s-1)	$\text{cov}(W_x W_y) + n \text{cov}(e_x e_y)$
誤差 Error	rs(n-1)	$\text{cov}(W_x W_y)$

Note)

n : プロット内個体数
Number of individuals in each plot

s : 系統数
Number of families

r : 反復数
Number of replications

$\text{cov}(W_x W_y)$: プロット内個体間共分散
Covariance within plots

$\text{cov}(e_x e_y)$: プロット間共分散
Covariance between plots

$\text{cov}(s_x s_y)$: 家系間共分散
Covariance between families

Table 3. 親子相関と共分散分析に用いた関西産についての形質別家系
Families of Kansai provenance and their traits used for parent-offspring correlation and analysis of covariance.

形質 Traits 家系名 Family No.	親子相関 Parent-offspring correlation											
	H	D	MXS	MS	TL	RW	MD	LP	ED	LD	MXD	MND
K- 31	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 34	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
K- 35	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 36	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 39	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 40	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
K- 41	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 44	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 46	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
K- 47	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 52	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
K- 54	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
K- 55	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
K- 56	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
K- 59	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Note)

* は分析に用いた家系

* : Families for analysis of the traits

H : Tree height

D : Diameter at breast height

MS : Mean slope of grain

TL : Tracheid length

MD : Mean density of annual ring

LP : Percentage of latewood

LD : Mean density of latewood

MXD : Maximum density of annual ring

Table 4. 樹高と胸高直径との遺伝相関、環境相関、表現型相関
Estimated genetic correlations, environmental correlations and phenotypic correlations between the tree height and diameter at breast height.

産地 Provenances	分析法 Method	遺伝相関 Genetic correlations	環境相関 Environmental correlations	表現型相関 Phenotypic correlations	樹高遺伝率 Tree height Heritabilities(%)	直径遺伝率 Diameter Heritabilities(%)
東北 Tohoku	親子相関 A	(-0.147)	0.485	0.404	20	6
	共分散分析 B	(0.320)	0.722	0.552	50	5
関西 Kansai	親子相関 A	(0.0)	0.727	0.727	0	0
	共分散分析 B	0.76	0.889	0.868	47	23

Note)

() 内数値は有意でない

Parentheses show non significance

A : Parent-offspring correlation

B : Analysis of covariance

共分散分析 Analysis of covariance											
H	D	MXS	MS	TL	RW	MD	LP	ED	LD	MXD	MND
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

MXS : Maximum slope of grain
 RW : Mean width of annual ring
 ED : Mean density of earlywood
 MND : Minimum density of annual ring

あらためて表示しない。このデータはプロットごとの本数が不揃いであり、このため共分散分析は、前述した共分散分析と異なり、次の方法で行った。

前述した共分散分析 (Table 1) は、プロットごとの個体数 (反復ごとと家系列の個体数) が一定の場合のモデルであった。しかし、この樹高と胸高直径のデータは、3反復の全数調査にもとづくデータであるため、プロットごとの個体数が不揃いである。したがって、当初にプロットを要因とした1元分類の共分散分析を行い、プロット内個体の共分散を推定した。一方でプロット平均値をデータとした2元分類の共分散分析を行い、家系の共分散を求めた。この共分散分析で求めた誤差分散は、プロット間共分散と、先の1元分類の共分散分析で求めたプロット内個体共分散の、プロットごと本数分の1を含むので、その値を差し引きプロット間共分散を求めた。こうして求めた家系間共分散とプロット間共分散およびプロット内個体共分散を基礎数値として、Table 1について説明したと同様の方法で各相関を求めた。

親子相関による遺伝相関のマイナス値は東北産の-0.147であるが、胸高直径の遺伝率が6%と小さいので信頼性は低い。関西産はゼロであるが、両形質とも遺伝率がゼロ%であるための結果で

Table 5. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の親子相関による遺伝相関 (東北産)
Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlations between the traits on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain. (Tohoku provenance)

形 質 Traits	樹 高 (H)	胸 高 直 径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	遺伝率 Heritabilities (%)
樹 高 (H)		(>1)	-0.164	0.302	(0.0)	21
胸高直径 (D)			(<-1)	(>1)	(0.0)	3
仮道管長 (TL)				0.893	(0.0)	10
最大繊維傾斜度 (MXS)					(0.0)	23
平均繊維傾斜度 (MS)						0

Note)

() 内数値は有意でない

Parentheses show non significance

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

Table 6. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の親子相関による遺伝相関 (関西産)
Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlations between the traits on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain. (Kansai provenance)

形 質 Traits	樹 高 (H)	胸 高 直 径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	遺伝率 Heritabilities (%)
樹 高 (H)		(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
胸高直径 (D)			(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
仮道管長 (TL)				-0.471	-0.320	50
最大繊維傾斜度 (MXS)					0.956	12
平均繊維傾斜度 (MS)						22

Note)

() 内数値は有意でない

Parentheses show non significance

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

ある。環境相関や表現型相関は、両産地ともに 0.4 以上の値であり樹高と胸高直径は平行して成長することによるものと理解される。

共分散分析による遺伝相関はプラス値で、東北産で 0.32, 関西産で 0.76 である。関西産は樹高の遺伝率 47%, 胸高直径 23% と認められているので関西産の遺伝相関 0.76 の信頼性は高い。環境相関と表現型相関は、東北産の表現型相関の 0.552 を最低としてそれよりも大きい。これは前述したとおり樹高と胸高直径が平行して成長することによる。なお、環境相関が表現型相関よりも大きい値を示す場合がある。これは表現型相関が遺伝相関と環境相関の和であたえられるのではないため、計算の過程で生じるものである。ただし、遺伝率がゼロの場合は、当然、表現型相関は環境的原因にもとづくものであり環境相関と表現型相関は一致すべきである。したがって、もしもこのような場合に、環境相関と表現型相関に数値の違いが生じれば、単に計算過程で生じた誤差として認識すべきである。以下に述べる各形質間においてもこのことは同様である。

Table 7. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の親子相関による環境相関と表現型相関 (東北産)

Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of parent-offspring correlations between the traits on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain (Tohoku provenance).

形 質 Traits	樹 高 (H)	胸 高 直 径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維 傾 斜 度 (MXS)	平均繊維 傾 斜 度 (MS)	遺 伝 率 Heritabilities (%)
樹 高 (H)		0.573	-0.267	-0.045	-0.227	21
胸高直径 (D)	0.579		-0.286	0.002	0.044	3
仮道管長 (TL)	-0.249	-0.332		-0.051	0.088	10
最大繊維傾斜度 (MXS)	0.031	0.116	0.089		0.806	23
平均繊維傾斜度 (MS)	-0.202	0.044	0.084	0.708		0

Note)

対角線の右上は環境相関, 対角線の左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line in the table respectively.

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

Table 8. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の親子相関による環境相関と表現型相関 (関西産)

Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of parent-offspring correlations between the traits on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain (Kansai provenance).

形 質 Traits	樹 高 (H)	胸 高 直 径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維 傾 斜 度 (MXS)	平均繊維 傾 斜 度 (MS)	遺 伝 率 Heritabilities (%)
樹 高 (H)		0.639	0.254	-0.247	-0.264	0
胸高直径 (D)	0.639		-0.085	0.040	0.057	0
仮道管長 (TL)	0.180	-0.060		0.292	0.259	50
最大繊維傾斜度 (MXS)	-0.232	0.038	0.080		0.862	12
平均繊維傾斜度 (MS)	-0.232	0.050	0.055	0.869		22

Note)

対角線の右上は環境相関, 対角線の左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line in the table respectively.

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

2) 仮道管長, 繊維傾斜度, 樹高, 胸高直径の各相関

仮道管長と繊維傾斜度との各相関は, 仮道管長は10年生時のデータについて, 繊維傾斜度は平均傾斜度と最大傾斜度関係について行った。また, 成長量との関係も明らかにするため, 両形質と樹高および胸高直径との相関も求めた。東北産について親子相関から求めた遺伝率と遺伝相関は, Table 5のとおりである。遺伝率が20%を超えるものは, 樹高と最大繊維傾斜度であり, この両形質間の遺伝相関は0.302である。仮道管長と最大繊維傾斜度との遺伝相関は0.893と大きい, 仮

Table 9. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の共分散分析による遺伝相関 (東北産)
Estimated genetic correlations by means of analysis of covariance between the traits
on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain.
(Tohoku provenance)

形 質 Traits	樹 高 (H)	胸 高 直 径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維 傾 斜 度 (MXS)	平均繊維 傾 斜 度 (MS)	遺 伝 率 Heritabilities (%)
樹 高 (H)		(0.977)	0.267	(-0.613)	-0.594	22
胸高直径 (D)			(>-1)	(0.851)	(-0.048)	2
仮道管長 (TL)				(0.258)	0.174	26
最大繊維傾斜度 (MXS)					(>1)	7
平均繊維傾斜度 (MS)						32

Note)

() 内数値は有意でない

Parentheses show non significance.

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

Table 10. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の共分散分析による遺伝相関 (関西産)
Estimated genetic correlations by means of analysis of covariance between the traits
on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain. (Kansai
provenance)

形 質 Traits	樹 高 (H)	胸 高 直 径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維 傾 斜 度 (MXS)	平均繊維 傾 斜 度 (MS)	遺 伝 率 Heritabilities (%)
樹 高 (H)		(0.564)	(0.734)	(<-1)	(<-1)	4
胸高直径 (D)			-0.436	-0.545	-0.224	10
仮道管長 (TL)				-0.268	0.162	62
最大繊維傾斜度 (MXS)					>1	26
平均繊維傾斜度 (MS)						40

Note)

() 内数値は有意でない

Parentheses show non significance.

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

道管長の遺伝率は10%と小さいので信頼性は低い。平均繊維傾斜度の遺伝率はゼロであったため、その他の形質との遺伝相関は全てゼロとなった。

関西産について親子相関から求めた遺伝率と遺伝相関は、Table 6 のとおりである。遺伝率の20%を超えるものは、仮道管長と平均繊維傾斜度であり、その間の遺伝相関は-0.32である。仮道管長と最大繊維傾斜度の遺伝相関は-0.471と平均繊維傾斜度の場合と似た値を示した。平均繊維傾斜度と最大繊維傾斜度との遺伝相関は0.956ときわめて大きい。樹高と胸高直径の遺伝率はゼロであり、したがって、他の形質との遺伝相関は全てゼロとなった。

環境相関と表現型相関はTable 7 (東北産) と、Table 8 (関西産) に示すとおりである。両表を通じ環境相関と表現型相関をみると、両相関とも樹高と胸高直径および最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度のプラス相関が大きい。後者の2形質間の値が大きいことは同類の形質であり当然の結果であると考えられる。

Table 11. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の共分散分析による環境相関と表現型相関(東北産)

Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of analysis of covariance between the traits on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain. (Tohoku provenance)

形質 Traits	樹高 (H)	胸高直径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	遺伝率 Heritabilities (%)
樹高 (H)		0.299	0.081	0.155	0.282	22
胸高直径 (D)	0.330		-0.177	0.115	0.228	2
仮道管長 (TL)	0.127	0.067		-0.109	-0.036	26
最大繊維傾斜度 (MXD)	0.052	0.144	-0.053		0.664	7
平均繊維傾斜度 (MD)	0.046	0.182	0.026	0.697		32

Note)

対角線の右上は環境相関, 対角線の左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line in the table respectively.

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

Table 12. 樹高, 胸高直径, 仮道管長, 繊維傾斜度相互の共分散分析による環境相関と表現型相関(関西産)

Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of analysis of covariance between the traits on tree height, diameter at breast height, tracheid length and slope of grain. (Kansai provenance)

形質 Traits	樹高 (H)	胸高直径 (D)	仮道管長 (TL)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	遺伝率 Heritabilities (%)
樹高 (H)		0.372	0.010	0.385	0.298	4
胸高直径 (D)	0.381		0.265	0.162	0.204	10
仮道管長 (TL)	0.125	0.041		0.081	-0.003	62
最大繊維傾斜度 (MXS)	-0.065	0.043	-0.066		0.449	26
平均繊維傾斜度 (MS)	0.003	0.104	0.080	0.688		40

Note)

対角線の右上は環境相関, 左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line in the table respectively.

H : Tree height

D : Diameter at breast height

TL : Tracheid length

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

分散分析より求めた遺伝相関はTable 9(東北産)およびTable 10(関西産)に示すとおりである。東北産については、遺伝率の低かった胸高直径と最大繊維傾斜度の関連を除くと、残りは樹高、仮道管長、平均繊維傾斜度相互の遺伝相関であるが、大きい値は樹高と平均繊維傾斜度のマイナス相関で-0.594である。関西産の遺伝相関については樹高と胸高直径の遺伝率が小さいので、両形質を除いてみると、平均繊維傾斜度と最大繊維傾斜度との遺伝相関が>1ときわめて大きい。

分散分析より求めた環境相関と表現型相関は、Table 11(東北産)およびTable 12(関西産)に示すとおりである。両表で環境相関と表現型相関をみると、両相関とも樹高と胸高直径および最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度にプラス相関がみられる。後者の値が大きいことは、先に述べた親子相関から求めた結果と同様である。

Table 13. 年輪密度を主とした形質相互間の親子相関による遺伝相関 (東北産)
 Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlations
 tree height and diameter at breast height (Tohoku provenance).

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩材率 (LP)
平均密度 (MD)		0.686	0.942	0.793	(0.0)	> 1
最大密度 (MXD)			-0.467	-0.545	(0.0)	0.859
最小密度 (MND)				> 1	(0.0)	0.970
早材密度 (ED)					(0.0)	0.851
晩材密度 (LD)						(0.0)
晩材率 (LP)						
平均年輪幅 (RW)						
最大繊維傾斜度 (MXS)						
平均繊維傾斜度 (MS)						
仮道管長 (TL)						
樹 高 (H)						
胸高直径 (D)						

Note)

()内数値は有意でない

Parentheses show non significance

MD : Mean density of annual ring ED : Mean density of earlywood
 MXD : Maximum density of annual ring LD : Mean density of latewood
 MND : Minimum density of annual ring LP : Percentage of latewood

Table 14. 年輪密度を主とした形質相互間の親子相関による遺伝相関 (関西産)
 Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlations
 tree height and diameter at breast height (Kansai provenance).

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩材率 (LP)
平均密度 (MD)		(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
最大密度 (MXD)			(0.0)	(0.0)	(> 1)	(< -1)
最小密度 (MND)				(0.0)	(0.0)	(0.0)
早材密度 (ED)					(0.0)	(0.0)
晩材密度 (LD)						(< -1)
晩材率 (LP)						
平均年輪幅 (RW)						
最大繊維傾斜度 (MXS)						
平均繊維傾斜度 (MS)						
仮道管長 (TL)						
樹 高 (H)						
胸高直径 (D)						

Note)

()内数値は有意でない

Parentheses show non significance

MD : Mean density of annual ring ED : Mean density of earlywood
 MXD : Maximum density of annual ring LD : Mean density of latewood
 MND : Minimum density of annual ring LP : Percentage of latewood

between the traits on annual ring density, tracheid length, slope of grain,

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
(0.0)	0.692	(0.0)	(> 1)	0.180	0.261	30
(0.0)	0.947	(0.0)	(< - 1)	0.560	-0.462	29
(0.0)	0.354	(0.0)	(> 1)	-0.579	0.409	28
(0.0)	0.625	(0.0)	(> 1)	-0.494	-0.318	38
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	-0.035	(0.0)	(0.774)	-0.381	0.638	17
	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
		(0.0)	(0.657)	0.277	0.936	24
			(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
				(-0.353)	(< - 1)	8
					0.979	25
						44

RW : Mean width of annual ring
 MXS : Maximum slope of grain
 MS : Mean slope of grain
 TL : Tracheid length
 H : Tree height
 D : Diameter at breast height

between the traits on annual ring density, tracheid length, slope of grain,

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(> 1)	(> 1)	(> 1)	(0.0)	(0.961)	5
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	0.292	0.544	0.611	(0.0)	0.936	18
(0.0)	(> 1)	(> 1)	(< 1)	(0.0)	(< - 1)	1
	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
		0.909	-0.139	(0.0)	> 1	14
			-0.210	(0.0)	0.412	22
				(0.0)	> 1	44
					(0.0)	0
						21

RW : Mean width of annual ring
 MXS : Maximum slope of grain
 MS : Mean slope of grain
 TL : Tracheid length
 H : Tree height
 D : Diameter at breast height

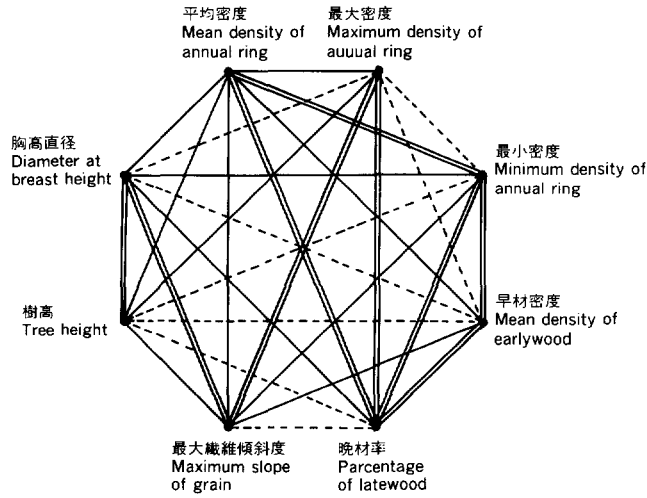


Fig.1. 形質相互間の親子相関による遺伝相関図 (東北産)

Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlation between the traits (Tohoku provenance).

- Note) — : 0.8より大きい
Greater than 0.8
- - - : 0より大きく0.8より小さい
Greater than 0 and less than 0.8
..... : -0.8より大きく0より小さい
Greater than -0.8 and less than 0
- · - · - : -0.8より小さい
Less than -0.8

Table 15. 年輪密度を主とした形質相互間の親子相関による環境相関と表現型相関 (東北産)
Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of ring, tracheid length, slope of grain, tree height and diameter at breast

形質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩材率 (LP)
平均密度 (MD)		0.819	0.828	0.823	-0.236	0.860
最大密度 (MXD)	0.780		> 1	> 1	0.499	0.518
最小密度 (MND)	0.861	0.629		0.916	-0.391	0.690
早材密度 (ED)	0.807	0.595	0.942		-0.292	0.593
晩材密度 (LD)	-0.198	0.422	-0.332	-0.230		-0.273
晩材率 (LP)	0.885	0.587	0.744	0.636	-0.249	
平均年輪幅 (RW)	-0.458	-0.251	-0.442	-0.415	0.124	-0.388
最大繊維傾斜度 (MXS)	0.274	0.350	0.242	0.321	-0.042	0.191
平均繊維傾斜度 (MS)	0.331	0.257	0.192	0.279	0.114	0.320
仮道管長 (TL)	0.022	0.031	0.110	0.117	0.178	0.114
樹高 (H)	-0.113	0.092	-0.070	0.084	0.024	-0.274
胸高直径 (D)	-0.317	-0.299	-0.247	-0.199	0.231	-0.321

Note)

対角線の右上は環境相関, 左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line

- MD : Mean density of annual ring ED : Mean density of earlywood
MXD : Maximum density of annual ring LD : Mean density of latewood
MND : Minimum density of annual ring LP : Percentage of latewood

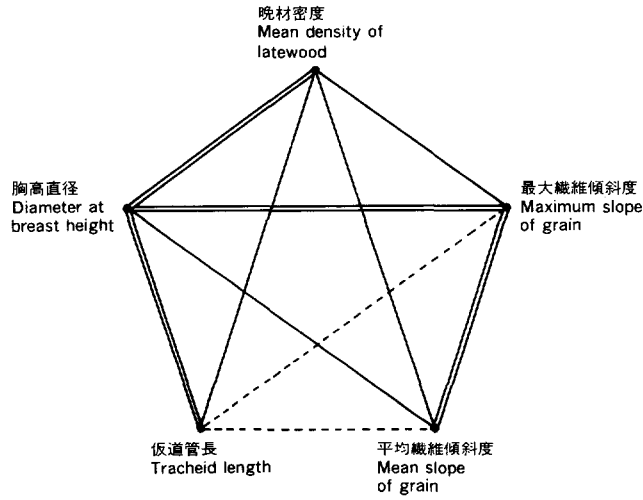


Fig. 2. 形質相互間の親子相関による遺伝相関図 (関西産)

Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlation between the traits (Kansai provenance).

Note) — : 0.8より大きい
Greater than 0.8
—— : 0より大きく0.8より小さい
Greater than 0 and less than 0.8
- - - : -0.8より大きく0より小さい
Greater than -0.8 and less than 0
..... : -0.8より小さい
Less than -0.8

of parent-offspring correlations between the traits on density of annual height (Tohoku provenance).

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 (Heritabilities(%))
-0.547	0.124	0.395	-0.190	-0.223	-0.496	0
-0.297	0.141	0.304	0.252	-0.079	-0.299	30
-0.520	0.204	0.227	-0.136	0.112	-0.352	28
-0.527	0.183	0.355	-0.268	0.339	-0.207	17
0.124	-0.048	0.114	0.185	0.027	0.237	38
-0.425	0.248	0.351	0.032	-0.248	-0.421	0
	0.082	-0.286	0.339	0.526	0.256	29
0.072		0.823	-0.342	0.033	-0.261	25
-0.286	0.720		-0.094	-0.266	-0.295	44
0.326	-0.200	-0.091		-0.221	-0.211	24
0.456	0.092	-0.230	-0.233		-0.643	0
0.250	-0.128	-0.289	-0.285	0.647		8

in the table respectively.

RW : Mean width of annual ring

MXS : Maximum slope of grain

MS : Mean slope of grain

TL : Tracheid length

H : Tree height

D : Diameter at breast height

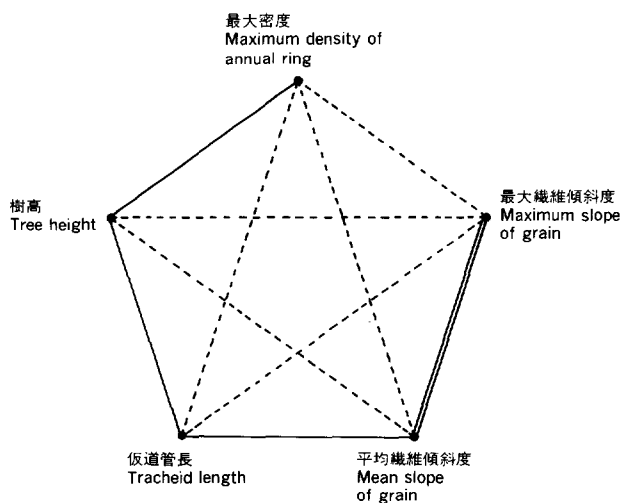


Fig. 3. 形質相互間の分散分析による遺伝相関図 (東北産)

Estimated genetic correlations by means of analysis of covariance between the traits (Tohoku provenance).

- Note) — : 0.8より大きい
Greater than 0.8
- - : 0より大きく0.8より小さい
Greater than 0 and less than 0.8
..... : -0.8より大きく0より小さい
Greater than -0.8 and less than 0
..... : -0.8より小さい
Less than -0.8

Table 16. 年輪密度を主とした形質相互間の親子相関による環境相関と表現型相関 (関西産)
Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of ring, tracheid length, slope of grain, tree height and diameter at breast

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩材率 (LP)
平均密度 (MD)		0.546	0.535	0.576	0.281	0.900
最大密度 (MXD)	0.532		0.048	0.447	0.821	0.747
最小密度 (MND)	0.535	0.047		0.455	-0.069	0.498
早材密度 (ED)	0.576	0.436	0.455		0.149	0.376
晩材密度 (LD)	0.254	0.853	-0.063	0.135		0.586
晩材率 (LP)	0.895	0.494	0.495	0.374	0.344	
平均年輪幅 (RW)	0.554	0.185	0.481	-0.291	0.316	0.690
最大繊維傾斜度 (MXS)	-0.293	0.040	-0.335	-0.148	-0.080	-0.272
平均繊維傾斜度 (MS)	-0.312	0.097	-0.159	-0.158	0.184	-0.240
仮道管長 (TL)	-0.045	-0.214	0.267	0.073	-0.138	-0.010
樹 高 (H)	0.400	0.315	-0.400	-0.248	0.297	0.234
胸高直径 (D)	0.629	0.508	0.507	0.228	0.469	0.579

Note)

対角線の右上は環境相関, 左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line

- MD : Mean density of annual ring ED : Mean density of earlywood
MXD : Maximum density of annual ring LD : Mean density of latewood
MND : Minimum density of annual ring LP : Percentage of latewood

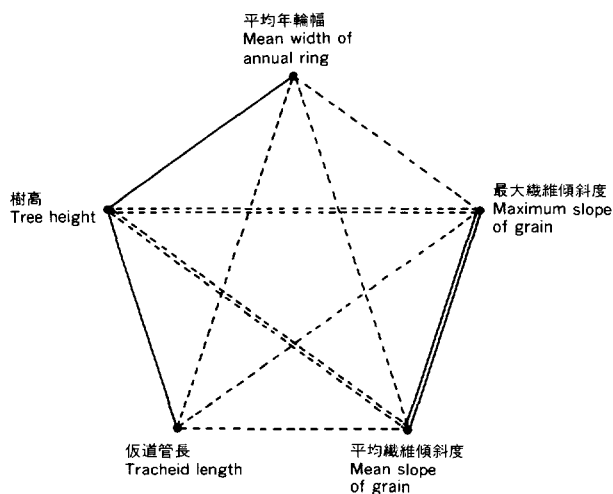


Fig. 4. 形質相互間の分散分析による遺伝相関図(関西産)

Estimated genetic correlations by means of analysis of covariance between the traits (Kansai provenance).

Note) — : 0.8より大きい
Greater than 0.8
—— : 0より大きく0.8より小さい
Greater than 0 and less than 0.8
- - - : -0.8より大きく0より小さい
Greater than -0.8 and less than 0
..... : -0.8より小さい
Less than -0.8

of parent-offspring correlations between the traits on density of annual height(Kansai provenance).

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
0.544	-0.317	-0.353	-0.060	0.400	0.636	0
0.190	-0.091	-0.101	-0.516	0.323	0.494	5
0.481	-0.363	-0.180	0.358	-0.400	0.512	0
-0.291	-0.160	-0.178	0.098	-0.248	0.231	0
0.349	-0.151	0.096	-0.459	0.328	0.459	18
0.694	-0.507	-0.456	0.407	0.235	0.688	1
	0.032	0.009	0.168	0.180	0.670	0
0.030		0.842	0.179	-0.130	-0.189	14
0.008	0.848		0.002	-0.218	-0.083	22
0.125	0.088	-0.064		0.099	-0.131	44
0.180	-0.120	-0.192	0.074		0.596	0
0.663	-0.109	-0.045	0.157	0.590		21

in the table respectively.

RW : Mean width of annual ring
MXS : Maximum slope of grain
MS : Mean slope of grain

TL : Tracheid length
H : Tree height
D : Diameter at breast height

Table 17. 形質相互間の共分散分析による遺伝相関 (東北産)

Estimated genetic correlations by means of analysis of covariance between height and diameter at breast height (Tohoku provenance).

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩 材 率 (LP)
平均密度 (MD)		(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
最大密度 (MXD)			(0.0)	(0.0)	(> 1)	(0.0)
最小密度 (MND)				(0.0)	(0.0)	(0.0)
早材密度 (ED)					(0.0)	(0.0)
晩材密度 (LD)						(0.0)
晩 材 率 (LP)						
平均年輪幅 (RW)						
最大繊維傾斜度 (MXS)						
平均繊維傾斜度 (MS)						
仮道管長 (TL)						
樹 高 (H)						
胸高直径 (D)						

Note)

()内数値は有意でない

Parentheses show non significance

MD : Mean density of annual ring

ED : Mean density of earlywood

MXD : Maximum density of annual ring

LD : Mean density of latewood

MND : Minimum density of annual ring

LP : Percentage of latewood

Table 18. 年輪密度を主とした形質相互間の共分散分析による遺伝相関 (関西産)

Estimated genetic correlations by means of analysis of covariance between tree height and diameter at breast height (Kansai provenance).

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩 材 率 (LP)
平均密度 (MD)		(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
最大密度 (MXD)			(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
最小密度 (MND)				(0.0)	(0.0)	(0.0)
早材密度 (ED)					(0.0)	(0.0)
晩材密度 (LD)						(0.0)
晩 材 率 (LP)						
平均年輪幅 (RW)						
最大繊維傾斜度 (MXS)						
平均繊維傾斜度 (MS)						
仮道管長 (TL)						
樹 高 (H)						
胸高直径 (D)						

Note)

()内数値は有意でない

Parentheses show non significance

MD : Mean density of annual ring

ED : Mean density of earlywood

MXD : Maximum density of annual ring

LD : Mean density of latewood

MND : Minimum density of annual ring

LP : Percentage of latewood

the traits on density of annual ring, tracheid length, slope of grain, tree

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	-0.377	-0.559	-0.327	0.355	(0.0)	22
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(0.953)	(0.392)	(0.343)	(< -1)	(0.0)	4
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
		> 1	-0.164	-0.491	(0.0)	10
			0.089	-0.566	(0.0)	35
				0.015	(0.0)	27
					(0.0)	26
					(0.0)	0

RW : Mean width of annual ring TL : Tracheid length
 MXS : Maximum slope of grain H : Tree height
 MS : Mean slope of grain D : Diameter at breast height

the traits on density of annual ring, tracheid length, slope of grain,

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
(0.486)	(-0.303)	(-0.741)	(-0.009)	(> 1)	(> 1)	7
(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
	-0.326	-0.071	-0.645	0.304	(> 1)	31
		> 1	-0.446	< -1	(< -1)	29
			-0.052	< -1	(< -1)	50
				0.628	(< -1)	84
					(-0.029)	30
						3

RW : Mean width of annual ring TL : Tracheid length
 MXS : Maximum slope of grain H : Tree height
 MS : Mean slope of grain D : Diameter at breast height

Table 19. 年輪を主とした形質相互間の共分散分析による環境相関と表現型相関 (東北産)
Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of tracheid length, slope of grain, tree height and diameter at breast height.

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩材率 (LP)
平均密度 (MD)		0.744	0.883	0.830	0.481	0.873
最大密度 (MXD)	0.661		0.559	0.523	0.701	0.667
最小密度 (MND)	0.738	0.514		0.931	0.251	0.637
早材密度 (ED)	0.662	0.462	0.689		0.213	0.567
晩材密度 (LD)	0.448	0.732	0.268	0.228		0.405
晩材率 (LP)	0.831	0.542	0.562	0.497	0.309	
平均年輪幅 (RW)	-0.183	-0.160	0.050	0.073	-0.329	-0.317
最大繊維傾斜度 (MXS)	-0.064	-0.115	0.020	0.064	-0.134	-0.117
平均繊維傾斜度 (MS)	-0.171	-0.130	-0.106	-0.034	-0.144	-0.202
仮道管長 (TL)	-0.057	0.051	-0.096	-0.038	0.033	-0.005
樹 高 (H)	0.049	0.127	0.051	0.092	0.011	-0.001
胸高直径 (D)	-0.153	-0.054	0.016	0.026	-0.134	-0.288

Note)

対角線の右上は環境相関, 左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal

MD : Mean density of annual ring ED : Mean density of earlywood
 MXD : Maximum density of annual ring LD : Mean density of latewood
 MND : Minimum density of annual ring LP : Percentage of latewood

Table 20. 年輪密度を主とした形質相互間の共分散分析による環境相関と表現型相関
Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of tracheid length, slope of grain, tree height and diameter at breast height

形 質 Traits	平均密度 (MD)	最大密度 (MXD)	最小密度 (MND)	早材密度 (ED)	晩材密度 (LD)	晩材率 (LP)
平均密度 (MD)		0.612	0.462	0.776	0.362	0.774
最大密度 (MXD)	0.416		0.453	0.434	0.542	0.513
最小密度 (MND)	0.275	0.175		0.436	0.079	0.432
早材密度 (ED)	0.686	0.292	0.390		0.131	0.535
晩材密度 (LD)	0.255	0.660	0.008	0.025		0.220
晩材率 (LP)	0.689	0.334	0.220	0.500	0.178	
平均年輪幅 (RW)	-0.184	-0.055	-0.028	0.124	-0.242	-0.361
最大繊維傾斜度 (MXS)	-0.053	-0.044	0.025	-0.005	-0.045	-0.030
平均繊維傾斜度 (MS)	-0.082	-0.008	-0.024	-0.108	0.005	-0.058
仮道管長 (TL)	-0.118	-0.076	-0.150	-0.236	0.047	-0.064
樹 高 (H)	-0.122	0.151	-0.162	-0.150	0.167	-0.113
胸高直径 (D)	-0.235	-0.084	-0.165	-0.063	-0.096	-0.294

Note)

対角線の右上は環境相関, 左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal

MD : Mean density of annual ring ED : Mean density of earlywood
 MXD : Maximum density of annual ring LD : Mean density of latewood
 MND : Minimum density LP : Percentage of latewood

of analysis of covariance between the traits on density of annual ring,
(Tohoku provenance)

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹 高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
-0.130	0.060	0.012	0.109	-0.011	-0.150	0
-0.225	-0.070	0.037	0.174	0.055	-0.145	22
0.205	0.187	0.151	0.068	0.035	0.115	0
0.257	0.187	0.105	0.131	0.106	0.193	0
-0.386	-0.210	-0.241	-0.003	0.156	-0.229	4
-0.348	-0.003	-0.044	0.175	-0.074	-0.333	0
	0.293	0.409	-0.062	0.014	0.656	0
0.103		0.677	-0.042	0.151	0.098	10
0.088	0.709		0.007	0.288	0.241	35
-0.135	-0.061	0.032		0.122	-0.136	27
0.184	0.044	0.028	0.094		0.290	26
0.547	0.140	0.187	0.041	0.348		0

line in the table respectively.

RW : Mean width of annual ring TL : Tracheid length
 MXS : Maximum slope of grain H : Tree height
 MS : Mean slope of grain D : Diameter at breast height

(関西産)

of analysis of covariance between the traits on density of annual ring,
(Kansai provenance).

平均年輪幅 (RW)	最大繊維傾斜度 (MXS)	平均繊維傾斜度 (MS)	仮道管長 (TL)	樹 高 (H)	胸高直径 (D)	遺伝率 Heritabilities(%)
-0.116	-0.241	-0.543	-0.254	0.280	-0.188	0
-0.235	-0.146	-0.124	-0.053	0.137	-0.295	0
0.318	-0.277	-0.296	0.176	0.551	0.303	0
0.239	-0.285	-0.596	-0.293	0.287	-0.009	0
-0.394	-0.002	0.209	0.129	0.008	-0.162	7
-0.288	-0.290	-0.515	-0.240	0.231	-0.191	0
	0.242	0.124	0.246	0.139	0.459	31
0.071		0.398	0.294	0.646	0.256	29
0.045	0.668		0.146	0.620	0.334	50
-0.250	-0.121	0.008		-0.472	0.591	84
0.190	-0.113	-0.054	0.156		0.397	30
0.518	0.077	0.097	0.016	0.326		3

line in the table respectively.

RW : Mean width of annual ring TL : Tracheid length
 MXS : Maximum slope of grain H : Tree height
 MS : Mean slope of grain D : Diameter at breast height

3) 材質についての諸形質と樹高、胸高直径についての各相関

東北産についての親子相関による遺伝相関をTable 13に示す。このデータをわかりやすいように図化したものがFig.1である。同図は遺伝率10%以上の形質だけについて2形質間の相関が0以上、0.8未満の場合を実線で示し、0.8以上の場合を二重の実線で示し、ゼロ以下マイナス0.8までの場合を点線で示し、-0.8以下を二重の点線で示した。予想されたとおり、木材の密度についての形質、例えば平均密度と最小密度、早材密度、晩材率の相互間にプラスの相関の大きい値が得られ、最大密度と最小密度および最大密度と早材密度にマイナスの相関がみられる。晩材密度は遺伝率が0であったので論議の対象とならない。また、この晩材密度と晩材率を除いた密度についての形質と、最大繊維傾斜度とにプラスの相関(平均密度と0.692、最小密度と0.354、早材密度と0.625、最大密度と0.947)がみられる。晩材率と胸高直径にも0.638のプラスの相関がある。また最大繊維傾斜度と胸高直径にもきわめて大きいプラス相関0.936がみられる。樹高と胸高直径にもきわめて大きいプラス相関0.979がみられる。

関西産についての親子相関による遺伝相関をTable 14に示し、東北産と同様に形質間の遺伝相関を図化してFig.2に示した。晩材密度と胸高直径の相関はきわめて大きくプラス相関0.936である。また、仮道管長と胸高直径の相関はきわめて大きくプラス相関>1であり、最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度との相関もきわめて大きく0.901である。

Table 21. 球果や種子の形質間の親子相関による遺伝相関(東北産)
Estimated genetic correlations by means of parent-offspring correlations in the traits of seeds and cones (Tohoku provenance).

形質 Traits	着果数 No. of cones	球果長 Length of cones	球果 形状比 Diameter/ length of cones	球果あたり 種子数 No. of seeds/ cone	種子 充実率 Propo- tion of filled seeds(%)	種子 1000 粒重 Weight of 1000 seeds(g)	遺伝率 Herita- bilities(%)
着果数 No. of cones		(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	0
球果長 Length of cones			0.586	0.029	(0.0)	0.598	66
球果状比 Diameter/ length of cones				0.153	(0.0)	-0.289	56
球果形あたり 種子数 No. of seeds/ cone					(0.0)	-0.364	95
種子充実率 Propotion of filled seeds (%)						(0.0)	0
種子1000 粒重 Weight of 1000 seeds(g)							36

Note)

()内数値は有意でない

Parentheses show non significance

親子相関による環境相関と表現型相関を東北産についてTable 15, 関西産についてTable 16に示す。東北産については環境相関, 表現型相関は木材の密度関係の形質相互間で大きく, 関西産もそれにやや近い傾向が認められる。また, 最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度との相関もきわめて大きい。両産地で異なることは, 木材の密度関係の形質と胸高直径との環境相関と表現型相関が, 東北産についてはマイナス値であるのに対し, 関西産についてはプラス値であることである。

東北産についての分散分析による遺伝相関をTable 17に示し, 前述と同様に形質間の遺伝相関を図化してFig.3に示した。関西産についての分散分析による遺伝相関をTable 18に示し, 図化したものをFig.4に示した。木材の密度関係の形質で遺伝率が10%以上になる形質は, 東北産については最大密度だけであり, 関西産については得られなかった。このため, 遺伝相関についての情報もまた得られなかった。また, 両産地について樹高と最大繊維傾斜度および樹高と平均繊維傾斜度との間の遺伝相関がマイナス値であり, また, 最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度とのプラス相関は大きく >1 であった。

分散分析による環境相関と表現型相関を東北産についてTable 19, 関西産についてTable 20に示す。親子相関による場合と同様, 東北産についても関西産についても木材の密度関係の形質相互間で両相関の値が大きい傾向がみられるが親子相関のときほどではない。また, 最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度との相関はすべてプラス値である。

Table 22. 球果や種子の形質間の親子相関による環境相関と表現型相関(東北産)
Estimated environmental correlations and phenotypic correlations by means of
parent-offspring correlations in the traits of seeds and cones (Tohoku provenance).

形 質 Traits	着果数 No. of cones	球果長 Length of cones	球 果 形状比 Diameter /length of cones	球果あた り種子数 No. of seeds/ cone	種 子 充実率 Propo- tion of filled seeds(%)	種 子 1000 粒 重 Weight of 1000 seeds(g)	遺伝率 Herita- bilities(%)
着果数 No. of cones		0.484	0.317	<-1	-0.266	-0.230	0
球果長 Length of cones	0.283		0.321	>1	-0.158	0.684	66
球果形状比 Diameter/ length of cones	0.211	0.480		<-1	0.036	0.669	56
球果あたり 種子数 No. of seeds/ cone	-0.279	0.309	-0.049		0.0	0.196	95
種子充実率 Propo- tion of filled seeds (%)	-0.266	-0.092	0.024	-0.143		-0.101	0
種子1000 粒重 Weight of 1000 seeds(g)	-0.184	0.614	0.216	-0.175	-0.081		36

Note)

対角線の右上は環境相関, 対角線の左下は表現型相関

Environmental correlations and phenotypic correlations are shown above and below the diagonal line in the table respectively.

4) 球果や種子の諸形質についての各相関

東北産の着果数、球果の長さ、球果の形状比、球果あたり種子数、種子の充実率、種子の 1000 粒重の相互間について、親子相関から求めた遺伝相関を Table 21 に示す。なお、このデータは、乱塊法で設定された試験地で反復を無視して得られたデータである。その詳細については、当該形質の遺伝率の報告の中で述べられているので本報告では説明を省略する。全形質中、着果数と種子の充実率の遺伝率はゼロであるから、残り 4 形質間の遺伝相関について論議する。大きい遺伝相関は、球果長と球果形状比の値 (0.586) および球果長と種子 1000 粒重との値 (0.598) である。球果の形状比と球果あたり種子数の遺伝相関は 0.153 と小さい。また、球果の形状比と種子の 1000 粒重のマイナス相関 -0.289 についても注目するような値ではない。球果あたり種子数と種子の 1000 粒重は、マイナス相関 -0.364 である。

東北産についての環境相関と表現型相関を Table 22 に示す。環境相関は、球果長と球果あたり種子数と、種子 1000 粒重と球果長および種子 1000 粒重と球果形状比が大きく、表現型相関は種子 1000 粒重と球果長でやや大きい。

3 考 察

樹高と胸高直径との遺伝相関は、関西産の分散分析 (Table 4) からの場合だけでなく、その他の形質間での遺伝相関の算出のさい得られたデータ (Table 13) からも大きいことが明らかにされた。繊維傾斜度の最大値と平均値の遺伝相関については、同じ形質についての代表値のとりかたの違いであり、大きい遺伝相関が予想されたがそのとおりの結果であった (Table 9,10,14,17,18)。

木材の密度に関する形質についての遺伝率は、東北産の親子相関 (Table 13) による解析で得られた。その結果、木材の密度形質相互間の値は、すべて大きかった。この理由は、さきに最大繊維傾斜度と平均繊維傾斜度の関連で説明したのと同様に代表値のとりかたの問題である。なお、Fig.1 で明瞭のように、晩材率と平均、最大、最小、早材の各密度は 0.8 以上と大きかった。また、この組み合わせは Table 15 に示した環境相関および表現型相関でも大きかった。したがって、この 5 形質については、晩材率によって代表できることが示唆された。また、この木材の密度関連形質の相互の組み合わせは、プラス、マイナスの違いはあるが予想どおり顕著であった。

独立した形質相互間でのプラスの遺伝相関で注目されるのは、東北産の親子相関 (Table 13) における胸高直径と最大繊維傾斜度および最大繊維傾斜度と最大密度である。また関西産の親子相関 (Table 14) における胸高直径と仮道管長および胸高直径と最大繊維傾斜度も大きい。後者は最大繊維傾斜度の遺伝率が小さいので偶然に大きく生じた可能性がある。マイナスの遺伝相関では、東北産の分散分析 (Table 18) における樹高と最大繊維傾斜度および樹高と平均繊維傾斜度である。この形質間のマイナス相関は Table 17 の東北産でもみられ注目される。

球果と種子の諸形質における遺伝相関 (Table 21) では、プラス相関として、球果長と球果形状比 0.586 および球果長と種子 1000 粒重 0.598 がやや大きかった。前者は、球果形状比に球果長が用

いられているので当然の結果であるが、後者には、球果と種子の大きさに関与する遺伝子群のある可能性が示唆される。この形質群の環境相関はTable 22で、プラス相関の大きい値やマイナス相関の顕著なものがあるが理由の説明は困難である。

林木の諸形質についての遺伝相関の試験例は少なく、この試験データだけで多くの論議を行い情報を得ることは困難である。本試験の結果は、今後、得られるであろうデータとあわせ詳細な検討を行うことが望まれる。

引用文献

- 1) FALCONER, D.S. : Introduction to quantitative genetics (2nd ed.), Longman, 340 pp, (1981)
- 2) 材質育種研究班：材質育種に関する研究 第2報, 東北地方アカマツ, 林試研報, **222**, 1～113, (1969)
- 3) ——：材質育種に関する研究 第1報, 関西地方アカマツ, 林試研報, **244**, 17～114, (1972)

**Genetic Correlation Between Traits in Japanese Red Pine,
Pinus Densiflora SIEB. et ZUCC**

Takateru AKASI⁽¹⁾

Summary

Genetic correlations, environmental correlations and phenotypic correlations between the traits of growth and wood properties in Japanese red pine were estimated based on parent-offspring correlation and analysis of covariance among families. The results were as follows:

- 1) Genetic correlation between tree height and diameter at breast height were recognized in many of the analyses.
- 2) Genetic correlation between diameter at breast height and tracheid length, and between diameter at breast height and traits concerning the density of woods were recognized in some of the analyses.
- 3) From genetic correlation, environmental correlation, and phenotypic correlation between traits it was effective to use late wood percentage as an index for the traits concerning density of woods.
- 4) There seemed to be genetic correlation between cone size and seed size.