

カラマツ精英樹の交配家系から試算した 幼齡期の成長形質の遺伝率

久保田正裕⁽¹⁾・河崎 久男⁽²⁾・大谷 賢二⁽¹⁾

Masahiro KUBOTA⁽¹⁾, Hisao KAWASAKI⁽²⁾ and Kenji OHYA⁽¹⁾

Heritabilities of Growth Traits in the Early Growth Stage of Controlled Pollinated Families of Japanese larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) Plus Trees

要旨：カラマツ精英樹間の人工交配で得られた苗木により造成した育種集団林の5年次調査データについて、成長形質の狭義の遺伝率を試算した。この集団林には12の親を用いた要因交配（6×6）、2セットの苗木が植栽されている。各家系の1反復あたりの本数は5本を原則とし、反復数は4である。樹高の平均値と標準偏差は、セット1が2.95±0.66m、セット2が2.74±0.66m、胸高直径では2.31±0.90cm、2.05±0.90cm、枝張りでは、1.59±0.36m、1.45±0.36mとセット1、セット2ではほぼ同じ成長であった。分散分析の結果、セット1は、対象とした樹高、胸高直径、枝張りの3形質とも雌親と雄親の交互作用は有意でなく、雌親間と雄親間は、ともに有意差が認められた、しかし、セット2では、3形質とも雌雄親間に有意差は認められなかった。セット1について狭義の遺伝率を試算し、樹高で0.193、胸高直径で0.187、枝張りで0.193という値を得た。

1 はじめに

カラマツ (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) は、中部山岳地方を中心とする比較的せまい範囲に天然分布するが、成長が速く痩せた土地にも容易に生育する樹種である²⁾。平成9年度の造林面積は2,496ha¹⁵⁾と少なく、寡雪地帯の高海拔地や寒冷地で多少の造林需要がある。カラマツには、材にねじれ狂いが生じやすいという欠点があるが、この点については遺伝的改良が可能であり¹²⁾、また、林木育種の海外技術協力において育種対象樹種の一つとされる¹⁰⁾ など、林木育種の分野では重要な樹種である。しかし、カラマツは、自然着花が少なく、着花促進技術として一般的に応用できるものがない¹¹⁾ ことから交配を行うことが難しい樹種であり、育種を進めていく上で必要な遺伝率などに関する情報は少ない⁶⁾⁷⁾。

林木育種センターでは、次世代の育種集団を形成する目的で1990年から「第二期交雑育種事業化プロジェクト」

(1) 林木育種センター

〒319-1301 茨城県多賀郡十王町伊師3809-1

Forest Tree Breeding Center

3809-1 Ishi, Juo, Toga, Ibaraki 319-1301 Japan

(2) インドネシア林木育種計画II

The Forest Tree Improvement Project (Phase 2) in The Republic of Indonesia

Ftirdi, JL.Palagan Tentara Pelajar Km.15 Purwobinangun, Pakem, Sleman,

Yogyakarta, Indonesia

として、各育種基本区の主要樹種について特性が明らかになった精英樹や各種抵抗性個体を用いて多くの交配を行い育種集団林の造成を行ってきた。本報告では、本プロジェクトの一環として設定された、カラマツ精英樹間の人工交配で得られた苗木による育種集団林の5年次調査データについて、成長形質の狭義の遺伝率を試算した。これらの育種集団林は、関東林木育種場長野事業場（現林木育種センター長野事業場）において交配、育苗を実行し、長野営林局（現中部森林管理局）、前橋営林局（現関東森林管理局）管内に設定されたものである。この場を借りて、関係者各位にお礼申し上げる。

2 材料と方法

交配の目的と計画、交配家系の育成経過と検定林の設定について、河崎ら⁷⁾が既に報告しているので、ここでは概略のみを示す。交配の目的は、成長が良好で材の繊維傾斜度の小さい特性をもつ個体を創出するための育種集団の育成である。1988年4月に長野事業場構内のカラマツ採種園において12の親を用いた要因交配（6×6）を2セットについて実行した。表1に交配に使用した親の精英樹名を示す。特性の項目が成長の精英樹は、10年次の次代検定林調査結果による評価⁵⁾に、材質の精英樹は採種園間伐木の繊維傾斜調査結果⁴⁾に基づいて選出した。（成長）、（材質）の精英樹は、着花量が多いために交配に供試された。生産された種子を1989年4月に長野事業場の苗畑に播きつけ養苗し、1991年4月に草津営林署（現吾妻森林管理署）及び上田営林署（現東信森林管理署）管内に、それぞれ関前69号、関長46号次代検定林として育種集団林を設定した。

表1. 人工交配に用いたカラマツ精英樹

特 性	雌 親	特 性	雄 親
セット1			
成長	岩村田 2	材質	吉 田16
(材質)	南佐久 4	材質	上 田 4
(材質)	南都留 1	成長	岩村田32
成長	草 津 5	(成長)	岩村田20
(成長)	南佐久12	(成長)	草 津 8
成長	南佐久14	(成長)	上伊那 1
セット2			
成長	臼 田 6	材質	岩村田 1
(成長)	南佐久25	(材質)	南佐久27
成長	中之条 2	(成長)	吉 城 3
(材質)	南佐久29	(成長)	岩村田 9
材質	南佐久31	成長	吉 田17
(成長)	月夜野 1	成長	草 津 6

注) 特性が成長の精英樹は10年次の次代検定林調査結果、材質は採種園間伐木の調査結果に基づいて選出した。（成長）、（材質）は着花量が多いために交配に供試されたもので、必ずしも成長または材質が優れているとは限らない。

セット1は36組合せすべてで苗木が得られたが、セット2は苗木が得られなかったり、本数の少ない交配組合せがあったため、植栽した苗木の家系数は、関前69号で67家系、関長46号で70家系であった。1つの反復には20列×12行の計240本の苗木を2.0×2.0m間隔に単木混交で植栽した。各家系の1反復あたりの本数は5本を原則としたが、得られた苗木の本数にしたがって1～5本であった。反復数は、関前69号で4、関長46号で6であった。

1995年10月に5年生次の定期調査を行った。調査した形質は、樹高、胸高直径、枝張りの3形質である。枝張りは、等高線に平行と直角の2方向を測定し、その平均値を解析に用いた。関長46号の5年次の調査結果は、既に報告しており⁷⁾、本報告では、草津宮林署に設定された関前69号の調査結果について解析を行った。

解析にあたっては、各個体の測定値が以下の線形モデルに従うものと仮定し、それぞれの分散成分を推定した。

$$Y_{aijk} = \mu + b_a + f_i + m_j + (fm)_{ij} + e_{aijk}$$

Y_{aijk} は i 番目の雌親と j 番目の雄親との交配によって得られた k 番目の個体のブロック a における測定値であり、 e_{aijk} はこの個体に伴う誤差である。また、 μ は全平均であり $(fm)_{ij}$ は i 番目の雌親と j 番目の雄親との交互作用を表す。ブロックは母数効果であり、雌親、雄親および雌親と雄親との交互作用は変量効果とみなすので、全体としては混合モデルになる。実際の計算は農林計算センターのアプリケーションサーバーを利用し、統計解析パッケージソフト「SAS」の GLM プロシジャを用いて行った。欠測組合せのあるデータであり、交互作用を含めたモデルであることから、平方和は Type II の結果を使用した。

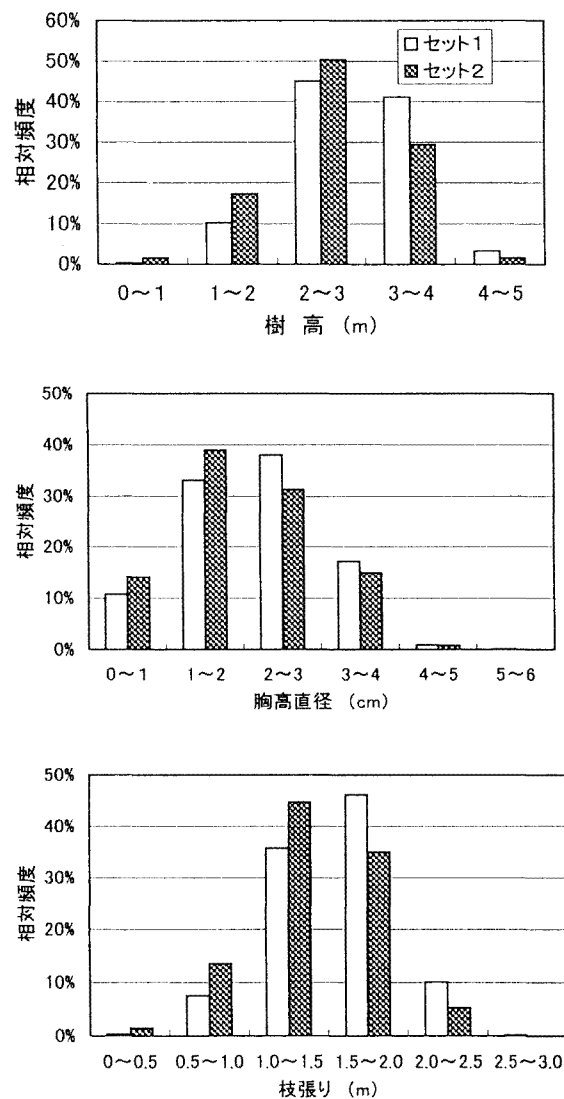


図1. 形質ごとの全個体の頻度分布

3 結果と考察

図1に形質ごとの個体の測定値の頻度分布を、すべてのブロックを込みにして示す。いずれの形質もセット1, 2ともに同様の頻度分布を示している。また、各形質の平均値と標準偏差は、樹高ではセット1が 2.95 ± 0.66 m, セット2が 2.74 ± 0.66 m, 胸高直径では 2.31 ± 0.90 cm, 2.05 ± 0.90 cm, 枝張りでは, 1.59 ± 0.36 m, 1.45 ± 0.36 mとセット1, セット2ではほぼ同じ成長結果であった。

表2には交配組合せごとの調査本数を、表3には各形質についての交配組合せごとの平均値を示す。セット1では、36組合せ中32組合せで組合せあたり15本以上のデータを得ることができたが、セット2では、植栽されていないか、または植栽本数の少ない交配組合せが多く、15本以上のデータを得ることができたのは36組合せ中6組合せであった。平均値の最大値と最小値の範囲は、樹高ではセット1が2.43~3.49 m, セット2が1.75~3.25 m, 胸高直径では1.57~3.21 cm, 0.85~2.85 cm, 枝張りでは, 1.28~1.95 m, 0.90~1.80 mと、セット2でとくに成長の劣る組合せがあった。また、セット1では、雌親である草津5は、いずれの雄親の組合せでも最も良い成長を示し、雄親の上伊那1も1つの雌親を除き、良い成長を示す等、親間の成長の優劣に一定の傾向が見られた。それに対しセット2には、そのような傾向は見られなかった。

分散分析結果を表4に示す。セット1では、樹高、胸高直径、枝張り3形質とも雌親と雄親の交互作用は有意でなく、雌親間と雄親間は、ともに有意差が認められた。セット2では、3形質とも雌親と雄親の交互作用が有意で、その他有意差が認められたのは、枝張りの雄親間だけであった。そこで、雌親間と雄親間に有意差が認められたセット1について狭義の遺伝率を試算した。

両親の近交係数が0の場合に、総当たり交雑から推定される σ^2_F , σ^2_M 及び $\sigma^2_{F \times M}$ の各分散成分と相加的遺伝分散(σ^2_a)と優性分散(σ^2_d)との間には次の関係がある¹⁴⁾。

$$\sigma^2_a = 2 \times \sigma^2_F + 2 \times \sigma^2_M \quad : \quad \sigma^2_d = 4 \times \sigma^2_{F \times M}$$

狭義の遺伝率は以上の分散成分から以下の式によって求めることができる。

$$h^2 = \sigma^2_a / (\sigma^2_a + \sigma^2_d + \sigma^2_e)$$

推定した分散成分及び試算した遺伝率の結果を表5に示す。樹高で0.193, 胸高直径で0.187, 枝張りで0.193という値を得た。

セット1では、雌雄親間に有意差が認められたが、セット2では、認められなかった。誤差分散は、セット1, 2ともほぼ同じであったことから、セット2における雌雄親間の分散が小さいことが主な要因と考えられる(表4)。両セットは、同一区画内に一緒に単木混交植栽されているので環境条件はほぼ等しく、誤差分散が同程度であったと推察された。セット2の雌雄親間の分散が小さかったのは、交配親の選択が雌雄親間の変異が少なくなるように作用したか、または、欠測や植栽本数の少ない交配組合せが多かったことが原因かと考えられるが確かなことは現時点ではわからない。また、テーダマツでは、個体の遺伝率が5年次から増加に転じ、15年生次に最大値を取るという報告があり³⁾、スギにおいても類似した傾向が示されている¹³⁾。今回の調査は樹齢が低いため、雌雄親間の有意性を検出するほどには変異が少なかったとも考えられ、さらに調査を進める必要がある。

得られた5年次の遺伝率は、樹高、胸高直径、枝張りとも、0.2に近い値であった。樹高は、苗畑でのスギの例^{1) 16)} (0.162~0.171) や、成長初期にアカマツ、ラジアータマツ、スギで推定された例^{8) 9) 13)} (0.204~0.379) と比較して妥当なところであると考えられる。胸高直径の遺伝率は、樹高の遺伝率に比べ年次に伴う増加が遅い傾向

表 2. 解析に用いた交配組合せごとの本数

セット1	吉 田16	上 田 4	岩村田32	岩村田20	草 津 8	上伊那 1
岩村田 2	15	4	4	4	19	17
南佐久 4	20	22	17	6	21	18
南都留 1	19	19	19	20	19	19
草 津 5	18	19	20	18	17	19
南佐久12	17	17	19	17	17	19
南佐久14	18	20	19	20	16	19

セット2	岩村田 1	南佐久27	吉 城 3	岩村田 9	吉 田17	草 津 6
臼 田 6	20	10	4	14	4	7
南佐久25	20	15	14	2	12	19
中之条 2	8	—	6	4	—	6
南佐久29	1	1	15	4	8	15
南佐久31	4	4	14	7	—	4
月夜野 1	4	2	7	—	—	8

表 3. 交配組合せごとの各形質の平均値

樹 高(m)						
セット1	吉 田16	上 田 4	岩村田32	岩村田20	草 津 8	上伊那 1
岩村田 2	2.82	2.43	2.80	2.95	3.20	2.89
南佐久 4	2.46	2.85	2.76	2.75	2.96	3.02
南都留 1	2.84	2.83	2.70	2.93	2.99	3.18
草 津 5	3.14	3.01	3.19	3.18	3.37	3.49
南佐久12	2.74	2.71	2.96	2.49	2.99	3.34
南佐久14	2.95	2.80	2.72	2.91	3.07	3.04

セット2	岩村田 1	南佐久27	吉 城 3	岩村田 9	吉 田17	草 津 6
臼 田 6	2.66	2.94	2.48	2.74	2.80	2.87
南佐久25	2.91	2.47	3.00	2.70	2.95	3.15
中之条 2	2.81	—	2.48	3.25	—	3.07
南佐久29	2.70	3.10	2.87	2.05	2.16	2.84
南佐久31	2.80	1.75	2.63	2.60	—	3.10
月夜野 1	2.10	2.70	2.29	—	—	2.51

胸高直径(cm)						
セット1	吉 田16	上 田 4	岩村田32	岩村田20	草 津 8	上伊那 1
岩村田 2	2.09	1.73	1.60	2.33	2.49	2.29
南佐久 4	1.57	2.23	2.12	2.35	2.35	2.43
南都留 1	2.22	2.01	2.09	2.41	2.21	2.54
草 津 5	2.61	2.43	2.98	2.97	2.69	3.21
南佐久12	2.29	1.86	2.35	1.69	1.91	2.67
南佐久14	2.23	1.91	2.02	2.39	2.27	2.42

セット2	岩村田 1	南佐久27	吉 城 3	岩村田 9	吉 田17	草 津 6
臼 田 6	1.98	2.11	1.60	1.91	2.85	2.14
南佐久25	2.21	1.70	2.49	1.90	2.44	2.55
中之条 2	2.09	—	1.60	2.75	—	2.43
南佐久29	1.50	2.50	2.21	1.10	1.31	2.37
南佐久31	1.90	0.85	2.02	1.79	—	2.35
月夜野 1	1.28	2.00	1.44	—	—	1.66

枝張り(m)						
セット1	吉 田16	上 田 4	岩村田32	岩村田20	草 津 8	上伊那 1
岩村田 2	1.54	1.45	1.58	1.68	1.75	1.62
南佐久 4	1.36	1.58	1.49	1.45	1.56	1.61
南都留 1	1.50	1.56	1.36	1.51	1.64	1.62
草 津 5	1.76	1.63	1.75	1.74	1.82	1.95
南佐久12	1.51	1.55	1.64	1.28	1.57	1.71
南佐久14	1.63	1.56	1.39	1.53	1.69	1.65

セット2	岩村田 1	南佐久27	吉 城 3	岩村田 9	吉 田17	草 津 6
臼 田 6	1.42	1.43	1.38	1.44	1.55	1.61
南佐久25	1.48	1.27	1.55	1.25	1.48	1.68
中之条 2	1.44	—	1.18	1.63	—	1.58
南佐久29	1.30	1.80	1.53	1.05	1.18	1.67
南佐久31	1.45	0.90	1.43	1.39	—	1.63
月夜野 1	1.20	1.80	1.33	—	—	1.33

表4. カラマツ精英樹交配家系における5年次成長形質の分散分析結果

要 因	自由度	平方和			平均平方			平均平方の期待値
		樹高	胸高直径	枝張り	樹高	胸高直径	枝張り	
セット1								
雌 親	5	12.474	36.828	5.105	2.495 **	7.366 **	1.021 **	$\sigma_e^2 + 17.76 \sigma_{F \times M}^2 + 100.33 \sigma_F^2$
雄 親	5	13.114	17.437	3.193	2.623 **	3.487 *	0.639 **	$\sigma_e^2 + 18.03 \sigma_{F \times M}^2 + 100.56 \sigma_M^2$
雌×雄	25	8.530	25.337	3.346	0.341 NS	1.013 NS	0.134 NS	$\sigma_e^2 + 16.51 \sigma_{F \times M}^2$
誤 差	572	211.298	389.523	62.753	0.369	0.681	0.110	σ_e^2
セット2								
雌 親	5	8.672	15.321	1.069	1.734 NS	3.064 NS	0.214 NS	$\sigma_e^2 + 9.68 \sigma_{F \times M}^2 + 38.47 \sigma_F^2$
雄 親	5	5.704	10.820	2.677	1.141 NS	2.164 NS	0.535 *	$\sigma_e^2 + 11.01 \sigma_{F \times M}^2 + 39.86 \sigma_M^2$
雌×雄	20	13.232	24.203	3.921	0.662 *	1.210 *	0.196 *	$\sigma_e^2 + 7.20 \sigma_{F \times M}^2$
誤 差	229	81.510	149.451	25.962	0.356	0.653	0.113	σ_e^2

* : 5%水準で有意, ** : 1%水準で有意, NS : 有意差なし

表5. カラマツ精英樹交配家系（セット1）から推定した
5年次成長形質の分散成分と遺伝率

	樹高	胸高直径	枝張り
雌親間分散 (σ_F^2)	0.02149	0.06306	0.00882
雄親間分散 (σ_M^2)	0.02272	0.02430	0.00500
雌×雄の交互作用分散 ($\sigma_{F \times M}^2$)	-0.00171	0.02014	0.00146
相加的遺伝分散 (σ_a^2)	0.08842	0.17472	0.02764
優性分散 (σ_d^2)	0.00000	0.08057	0.00584
誤差分散 (σ_e^2)	0.36940	0.68098	0.10971
表現型分散 ($\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2$)	0.45782	0.93627	0.14319
遺伝率 ($h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2$)	0.19313	0.18661	0.19304

注) 分散成分の推定値が負の場合には, 0 として計算を行った。

があり, ラジアータマツ, スギで0.07~0.086と樹高より小さい値が報告されている^{9) 13)}。今回の結果は, 樹高とほぼ同じ程度の大きな値であった。これが, カラマツの一般的な傾向なのかどうか, 検討する必要がある。

4 おわりに

カラマツは着花促進の困難な樹種であるので, 今回解析対象とした24クローンの要因交配で得られた家系は貴重な育種材料である。家系内個体数は多くないが基礎的な遺伝情報を得ることができると考えられる。今後, 継続して調査を行い, 年次による遺伝率の変化等, さらに遺伝情報の収集を行っていく必要があると考える。

引用文献

- 1) 明石孝輝・戸田忠雄・西村慶二：スギ苗木の高さと根元直径についての遺伝子分散と優性分散の分割，日林誌54，12～16（1972）
- 2) 浅田節夫・佐藤大七郎：カラマツ造林学，289pp，農林出版，東京（1981）
- 3) BALOCCHI, C.E., BRIDGWATER, F.E., ZOBEL, B.J. and JAHROMI, S.: Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of loblolly pine, For.Sci.39, 231-251 (1993)
- 4) 金子富吉：昭和55年度からまつ材質育種事業，関東林育年報15，116～134（1983）
- 5) 金子富吉・栗延 晋：最小2乗法を用いた林木次代検定林の解析（Ⅱ）－カラマツ精英樹10年目の事例－，日林論97，409～410（1986）
- 6) 河崎久男・栗延 晋・大谷賢二：カラマツ精英樹交配家系から試算した2年生苗における苗高の遺伝率，日林東北支誌44，227～228（1992）
- 7) 河崎久男・久保田正裕・大谷賢二：カラマツ精英樹交配家系から試算した成長形質の遺伝率－5年次の調査結果から－，林木の育種「特別号」1997，36～39（1997）
- 8) 川村忠士：アカマツ精英樹の分断ダイアレルによる実生採種園の設定と樹高の組合せ能力の推定，林育研報9，93～111（1991）
- 9) KING, J.N., CARSON, M.J., and JHONSON, G.R.: Analysis of disconnected diallel mating designs - Results from a third generation progeny test of the New Zealand radiata pine improvement programme, Silv. Gen. 47, 80-87 (1998)
- 10) 河野耕蔵：海外プロジェクトの実績と現状（2）－中国湖北省の林木育種－，林木の育種190，18～22，1999
- 11) 三上 進・浅川澄彦・飯塚三男ら：カラマツの着花促進，林試研報 307，9～24（1979）
- 12) 三上 進：カラマツの材質育種に関する研究－旋回木理の遺伝的改良－，林育研報 6，47～152（1988）
- 13) 宮浦富保・栗延晋・蓬田英俊：スギモデル実生採種林における樹高と胸高直径の遺伝パラメーターの成長初期の年次変化，林育研報17，87～94（2000）
- 14) 向井輝美：集団遺伝学，274pp，講談社，東京（1978）
- 15) 林 野 庁：林業統計要覧（1999），191pp，林野弘済会，東京（1999）
- 16) 佐々木研・河村嘉一郎・千葉幸弘：スギ交雑苗木の1－1年生時における苗高についての組合せ能力と遺伝率の推定，林育研報 9，37～46（1991）

Heritabilities of Growth Traits in the Early Growth Stage of Controlled Pollinated Families of Japanese larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) Plus Trees

Masahiro KUBOTA ⁽¹⁾, Hisao KAWASAKI ⁽²⁾ and Kenji OHYA ⁽¹⁾

Summary : Narrow-sense heritabilities of tree height, diameter at breast height and branch spread were estimated based on the data in a test site of Japanese larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) passed 5 growth periods. The test site was established using the seedlings derived from 2 sets of 6×6 factorial mating among plus trees. In principal, 20 trees per each cross were placed with 4 replications of 5 trees per plot. Mean and standard deviation for height were 2.95 ± 0.66 m for set1 and 2.74 ± 0.66 m for set2. Those for diameter were 2.31 ± 0.90 cm for set1 and 2.05 ± 0.90 cm for set2. Those for branch spread were 1.59 ± 0.36 m for set1 and 1.45 ± 0.36 m for set2. Male effect and female effect for the three traits observed were significant at 5 % or 1 % level for the data of set1, but were not significant for the data of set2. Therefore the heritabilities were calculated for the set1. The heritabilities were 0.193 for height, 0.187 for diameter and 0.193 for branch spread.

(1) Forest Tree Breeding Center

3809-1 Ishi, Juo, Taga, Ibaraki 319-1301 Japan

(2) The Forest Tree Improvement Project (Phase2) in The Republic of Indonesia

Ftirdi, J.L.Palagan Tentara Pelajar Km.15 Purwobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta, Indonesia