

広島県姥ヶ原国有林におけるクロマツ

幼 齢 林 施 肥 試 験

〔関西地方における林地施肥試験（第3報）〕

河 田 弘⁽¹⁾

衣 笠 忠 司⁽²⁾

1. は じ め に

関西地方の瀬戸内海沿岸部には、せき悪林地ないしせき悪林移行林地が広く分布している。これらの林地は天然生のアカマツ林によって占められている場合が多いが、その成長は土壌条件が不良なために、一般的にかなり低い。最近はこのアカマツ林を伐採したあとに、アカマツないしクロマツの人工植栽が行なわれている場合が多い。このような造林地では、一般に幼齢木の成長は不良であるが、前生樹の成長経過から見て、植栽木の今後の良好な成長を期待することは、一般に困難であるように思われる。

筆者らはこれらの林地に対する成長促進の一つの方法として、施肥の効果について検討することにした。さらに、前報⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾と同様に葉分析による林木の栄養診断についての基礎的な資料を、マツ類についてうために、針葉の養分濃度と成長との関係、およびこれらにおよぼす施肥の影響等についての検討もあわせて行なうことにした。

このような目的のために、筆者らは広島県西条営林署管内のクロマツ幼齢林を用いて、1964年秋から施肥試験を行ってきたが、すでに3か年を経過した。この試験地は今後もおお長期にわたって継続の予定であるが、いままでの結果を中間報告としてとりまとめることにした。

2. 試験地および試験方法

2-1. 試 験 地

位 置……広島県加茂郡大和町、西条営林署姥ヶ原国有林 1,026 に林小班。

気 候……年平均気温 15.3°C、年平均降水量 1,350 mm、温暖で雨の少ない地域に属する⁽⁵⁾⁽⁷⁾。

地 況……この試験地は瀬戸内海沿岸の三原市の西北約 12 km に位置する。海拔高は 250 m で、いわゆる里山地帯にあり、方位 S25°E。傾斜 20~22°。山脚の比較的短い丘陵性山地の中腹~斜面上部にかけ、各プロットを水平方向に併設した。この試験地の前生樹は天然生のアカマツ林であったが、伐根から推定するとその成長は不良であったと考えられる。

2-2. 試 験 方 法

この試験地は設定当時 2 年生のクロマツ人工林であった。これらのクロマツは 1963 年春に西条営林署

1968年8月5日受理

(1) 関西支場育林地部土壌研究室長・農学博士

(2) 関西支場育林地部土壌研究室

イラスケ苗畑で養苗された 1-1 苗を植栽したもので、植栽密度は 3,000 本/ha であった。

1964 年 12 月初旬に 2 ブロック、4 プロットの試験地を設定し、施肥区（プロット A および A'）および無施肥区（プロット B および B'）とした。

施肥は 3 年間連続して行ない、各年度いずれも住友森林化成 1 号（N 15%, P_2O_5 8%, K_2O 8%, 粒状）を 1 本あたり 100 g ずつ、クローネの周辺に深さ 5 cm に円状に行なった。施肥時期は初年度は 12 月初旬、第 2 および第 3 年度は 10 月下旬であった。

保育は下刈りを年 1 回夏に行なった。

2-3. 測定

成長量の測定は第 4 表に示した設定時およびその後の追肥時期に、樹高および根元直径（高さ 5 cm）の測定を行なった。試験期間中に生じた下刈り、その他の事故木はすべて測定から除外した。

2-4. 土壌および針葉の分析方法

分析方法はすべて第 2 報⁴⁶⁾と同様であった。

3. 土 壤

3-1. 母材料、土壌型、断面形態および植生

土壌の母材料は深層風化した黒雲母花こう岩であった。

土壌型は BA-Er 型土壌（乾性褐色森林土と受蝕土の中間型）に属していた。

土壌の断面形態は次のとおりであった。

Prof. 1 BA-Er 型土壌（ブロック 1）

L : 1 cm。

F : 2~3 cm。

A-(M) : 2~3 cm, 7.5YR4/3*, loose granular structure, 小角礫中, しょう, 乾, CL, 根系すこぶる多, B₁ との境界判。

B₁ : 20 cm, 7.5YR5/6~5/4, massive, 小角礫中, 軟~堅, 潤, CL, 根系多, B₂ との境界漸。

B₂ : 20 cm, 7.5YR5/6, massive, 小・中角礫中, 軟~堅, 潤, CL, 根系中, B₃ との境界漸。

B₃ : 25 cm+, 7.5YR5/8, massive, 小・中角礫少, 堅, 潤, CL, 根系少。

Prof. 2 BA-Er 型土壌（ブロック 2）

L : +~1 cm。

F : 1~2 cm。

A~(M) : 1~2 cm, 10YR5/2, loose granular structure, 小角礫中, しょう, 乾, CL, 根系すこぶる多, B₁ との境界明。

B₁ : 14 cm, 10YR4/4, massive, 小角礫中, 軟, 潤, CL, 根系多, B₂ との境界判。

B₂ : 27 cm, 10YR5/6, massive, 小角礫少, 軟, 潤, CL, 根系中, B₃ との境界漸。

B₃ : 20 cm+, 10YR5/8, massive, 中角礫少, 軟~堅, 潤, CL, 根系少。

地表植生はコシダが群状に広く地表をおおい、その他ワラビ等のシダ類、ヒサカキ、ソヨゴ、ネジキ、

* 色名は農林水産技術会議編 標準色名帳（1960）を用いた。

シャシャンボ、コナラ、イヌツゲ等の低木が見られ、乾性型の植生が主体をなしていた。

このような断面形態から明らかなように、この試験地の土壌は A 層の発達が悪く、腐植に乏しい受蝕型の土壌といえよう。また、中国地方の瀬戸内海沿岸部に広く分布している、せき悪移行林地の典型的な型に属するといえるであろう。植生の面からは、橋本⁴⁰⁾の分類にしたがうと、コンダ型のせき悪林地に相当する。

3-2. 土性および土壌の理化学的性質

試験地の土壌の土性および土壌の理化学的性質は第 1～3 表および第 1 図に示すとおりであった。

両断面の各層位はいずれも埴壌土に属し、埴質であった。孔隙量は少なく、容積組成において細土の占める割合が大きく、容積重もきわめて大きかった。

これらの諸点は、両断面の土壌はいずれも未熟で、いわゆる“つまり型の土壌”であることを示していた。したがって、この両断面の土壌の理学的性質は不良であったといえよう。

土壌の化学的性質については次のとおりであった。両断面を相互に比較すると、Prof. 1 は Prof. 2 よりも置換性 Ca 含有率はかなり高かった。しかしながら、全般的に両断面はいずれも置換性 Ca および Mg 含有率、0.2N HCl 可溶 P_2O_5 含有率はかなり低いレベル—とくに B_1 層以下では—にあったといえよう。これに対して、0.2N HCl 可溶 K_2O 含有率はとくに低い値ではなかった。また、腐植 (C) 含有率は低く、C-N 率はかなり高い値を示した。

以上の諸点から見て、両断面の化学的性質はいずれも良好とはいえない難かった。また、林木に対する養分

第 1 表 土 性

Table 1. Texture of soil

| 断面番号 Prof. No. | 層 位 Horizon | 砂 Sand | | | 微 砂 Silt | 粘 土 Clay | 土 性 Texture |
|----------------------|----------------|--------------------|------------------|------------|-------------|-------------|----------------|
| | | 粗 砂 Coarse sand | 細 砂 Fine sand | 計 Total | | | |
| 1 | A—M | 33 | 21 | 54 | 27 | 19 | CL |
| | B_1 | 34 | 21 | 55 | 24 | 21 | CL |
| | B_2 | 38 | 21 | 59 | 24 | 17 | CL |
| | B_3 | 34 | 19 | 53 | 23 | 24 | CL |
| 2 | A—M | 32 | 22 | 54 | 29 | 17 | CL |
| | B_1 | 32 | 19 | 51 | 28 | 21 | CL |
| | B_2 | 28 | 16 | 44 | 32 | 24 | CL |
| | B_3 | 30 | 17 | 47 | 30 | 23 | CL |

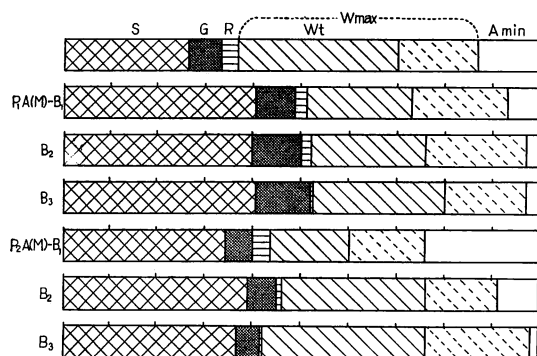
第 2 表 土壌の自然状態の理学的性質

Table 2. Physical properties of soil in natural condition

| 断面番号 Prof. No. | 層位 Horizon | 深さ Depth from sur- face (cm) | 透水性 Water percolation rate (cc/min) | | | 容積重 Volu- me weig- ht | 孔 隙 量 Porosity (%) | | | 最大含水量 Water holding capacity (%) | | 最小容 Air mini- mum | 採取時含水量 Moisture con- tent of fresh soil % | |
|----------------------|---------------|---|---|-------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|------------|--|-------------------|----------------------------|--|-------------------|
| | | | 5分後 After 5min. | 15分後 After 15min. | 平均 Ave- rage | | 細孔 Fine pore | 粗孔 Coarse pore | 計 Total | 容積 Volu- me | 重量 Wei- ght | | 容積 Volu- me | 重量 Wei- ght |
| 1 | A—M | 1~5 | 23 | 22 | 23 | 106 | 22 | 27 | 49 | 42 | 44 | 7 | 22 | 24 |
| | B_1 | 25~29 | 22 | 21 | 22 | 112 | 19 | 29 | 48 | 45 | 46 | 3 | 24 | 25 |
| | B_2 | 45~49 | 10 | 10 | 10 | 116 | 20 | 28 | 48 | 45 | 44 | 3 | 28 | 27 |
| 2 | A—M | 1~5 | 29 | 27 | 28 | 92 | 16 | 40 | 56 | 32 | 38 | 24 | 16 | 19 |
| | B_1 | 20~24 | 32 | 29 | 31 | 106 | 21 | 33 | 54 | 45 | 46 | 9 | 26 | 26 |
| | B_2 | 46~40 | 19 | 19 | 19 | 93 | 24 | 34 | 58 | 56 | 63 | 2 | 34 | 39 |

第3表 土 壌 の 化 学 的 性 質
Table 3. Chemical properties of soil

| 断面 番号 Prof. No. | 層 位 Horizon | 深 さ Depth from surface (cm) | C % | N % | C/N | 置 換 性 Exchangeable (m.e./100 g) | | 0.2N HCl 可溶 Soluble (ppm) | | P ₂ O ₅ 吸 収係数 absorp- tion's coefficient | 置 換 酸度 Exch. acidity Y ₁ | pH | |
|--------------------------|----------------|---|--------|--------|------|---------------------------------------|------|---------------------------------|------------------|--|---|------------------|------|
| | | | | | | CaO | MgO | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | | H ₂ O | KCl |
| 1 | A—M | 1~3 | 4.60 | 0.19 | 24.4 | 3.20 | 0.79 | 17 | 133 | 920 | 4.6 | 5.10 | 3.95 |
| | B ₁ | 5~15 | 2.56 | 0.08 | 32.0 | 1.32 | 0.44 | 4 | 100 | 630 | 7.0 | 5.05 | 4.10 |
| | B ₂ | 25~35 | 0.64 | 0.02 | 32.0 | 0.85 | 0.30 | trace | 111 | 340 | 5.6 | 5.25 | 4.10 |
| | B ₃ | 45~55 | 0.34 | 0.02 | 17.0 | 0.28 | 0.29 | trace | 56 | 600 | 8.3 | 5.00 | 3.80 |
| 2 | A—M | 1~2 | 4.18 | 0.15 | 27.9 | 1.63 | 0.77 | 14 | 109 | 810 | 6.9 | 4.95 | 3.75 |
| | B ₁ | 4~14 | 1.83 | 0.08 | 22.9 | 0.45 | 0.32 | 3 | 68 | 610 | 8.1 | 5.00 | 3.95 |
| | B ₂ | 18~28 | 1.17 | 0.07 | 16.7 | 0.34 | 0.12 | 1 | 90 | 490 | 7.4 | 5.00 | 4.05 |
| | B ₃ | 45~55 | 0.62 | 0.04 | 15.5 | 0.18 | 0.14 | 2 | 101 | 880 | 7.8 | 4.95 | 4.00 |



[S : Fine soil, G : Gravel, R : Root,
Wmax : Water holding capacity,
Wt : Moisture content of fresh soil,
Amin : Air minimum]

第 1 図 土 壌 の 自 然 状 態 の 理 学 的 性 質
Fig. 1 Physical properties of soil
in natural condition

の供給の面では、N、P₂O₅、CaO—とくに
P₂O₅—等の少ないことが、大きな影響をお
よぼすのではないかと予想された。

4. 結果および考察

4-1. クロマツの成長におよぼす施肥 の影響

4-1-1. 成 長 経 過

各測定時期におけるクロマツの樹高およ
び根元直径、および各年度別の樹高および
直径成長は第 4 および 5 表、および第 2 図
に示すとおりであった。

4-1-2. クロマツに対する施肥効果

この試験地におけるクロマツの無施肥区

の成長はきわめて不良で、5 年生の平均樹高は 101 および 113 cm に過ぎなかった。さらに、試験地設定
後の樹高成長は年々わずかずつではあったが低下を示していたことは、今後の成林に対して暗い見とおし
を与えているといえよう。

クロマツに対する施肥効果は初年度から明りょうに認められた。肥効指数* の面では、初年度は樹高成
長よりも直径成長の方が肥効が大きかったが、第 2~3 年度は樹高成長が直径成長を上回った。

施肥区における施肥後 3 か年間の全成長量 (平均) は無施肥区に比べると樹高成長で 84 cm (168%*)、
直径成長で 26 mm (144%*) の増大を示し、5 年生の平均樹高は 188 および 193 cm、平均根元直径は
56 mm および 59 mm に達した。

いままでのクロマツおよびアカマツ幼齢林に対する施肥試験および肥培事例調査の結果を総括すると、
次のような諸点が認められた。

すなわち、全般的な傾向として、クロマツおよびアカマツ幼齢林に対する肥効は、スギ、ヒノキ等—と

* 肥効指数 (成長量, 施肥区/無施肥区, %)

第4表 毎年の樹高および根元直径

Table 4. Annual height and basal diameter

| プロット Plot | 立木本数 Nos. of stand | | 1964年12月 Dec., 1964 | | 1965年10月 Oct., 1965 | | 1966年10月 Oct., 1966 | | 1967年10月 Oct., 1967 | |
|---|-----------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 事故 Damaged | 測定 Measured | 樹高 Height | 根元直径 Basal diameter | 樹高 Height | 根元直径 Basal diameter | 樹高 Height | 根元直径 Basal diameter | 樹高 Height | 根元直径 Basal diameter |
| A | 11 | 132 | 58 26~86 | 13 7~18 | 86 51~131 | 23 12~31 | 130 85~195 | 40 19~58 | 188 116~262 | 56 33~76 |
| B | 15 | 122 | 58 34~106 | 14 9~20 | 81 44~132 | 20 13~31 | 98 59~160 | 26 14~44 | 113 69~194 | 37 24~63 |
| A' | 16 | 127 | 56 22~87 | 14 8~23 | 86 37~144 | 25 11~43 | 135 66~200 | 42 16~70 | 193 101~276 | 37 31~85 |
| B' | 12 | 140 | 55 31~106 | 13 8~20 | 76 41~159 | 17 10~28 | 90 48~181 | 23 11~39 | 101 54~196 | 26 12~46 |
| 施肥区平均 Average of fertilized plots (A and A') | | | 57 (100) | 14 (100) | 86 (109) | 24 (126) | 133 (141) | 41 (164) | 191 (179) | 58 (181) |
| 無施肥区平均 Average of unfertilized plots (B and B') | | | 57 (100) | 14 (100) | 79 (100) | 19 (100) | 94 (100) | 25 (100) | 107 (100) | 32 (100) |

備考 Remarks

樹高: Height.....cm, 根元直径: Basal diameter.....mm

プロット A および A'.....施肥区: Plot A and A'.....Fertilized plots.

プロット B および B'.....無施肥区: Plot B and B'.....Unfertilized plots.

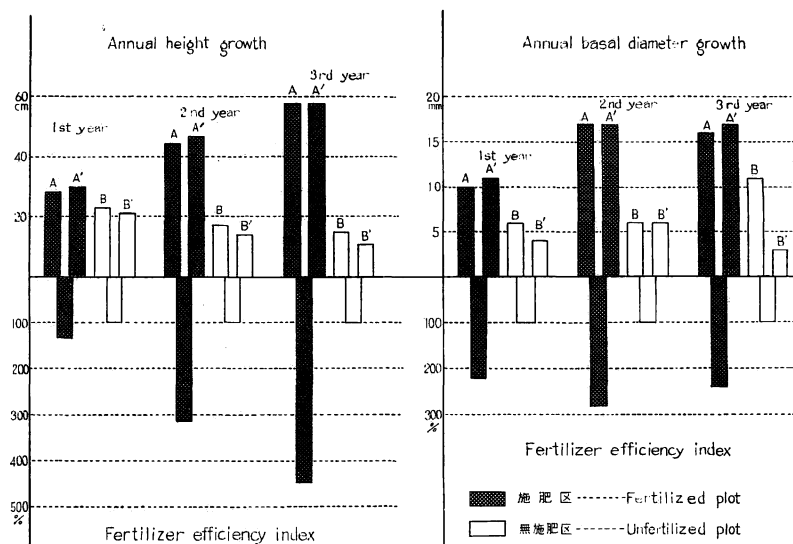
カッコ内の数値は肥効指数（施肥区/無施肥区，％）：

Figures in parentheses are fertilizer efficiency index (Fertilized/Unfertilized, %).

第5表 毎年の樹高および根元直径成長

Table 5. Annual height and basal diameter growth

| プロット Plot | 1 年 度 First year | | 2 年 度 2nd year | | 3 年 度 3rd year | | 3 年間合計 Total growth during 3 years | |
|---|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--|---------------------------|
| | 樹 高 Height | 根元直径 Basal diameter | 樹 高 Height | 根元直径 Basal diameter | 樹 高 Height | 根元直径 Basal diameter | 樹 高 Height | 根元直径 Basal diameter |
| A | $\frac{28}{12\sim 53}$ | $\frac{10}{3\sim 18}$ | $\frac{44}{19\sim 79}$ | $\frac{17}{4\sim 28}$ | $\frac{58}{31\sim 94}$ | $\frac{16}{6\sim 26}$ | $\frac{130}{82\sim 197}$ | $\frac{43}{22\sim 61}$ |
| B | $\frac{23}{4\sim 53}$ | $\frac{6}{1\sim 14}$ | $\frac{17}{4\sim 50}$ | $\frac{6}{1\sim 16}$ | $\frac{15}{4\sim 46}$ | $\frac{11}{4\sim 22}$ | $\frac{55}{20\sim 134}$ | $\frac{23}{9\sim 43}$ |
| A' | $\frac{30}{11\sim 58}$ | $\frac{11}{2\sim 21}$ | $\frac{49}{21\sim 78}$ | $\frac{17}{4\sim 29}$ | $\frac{58}{30\sim 100}$ | $\frac{17}{6\sim 36}$ | $\frac{137}{68\sim 198}$ | $\frac{45}{22\sim 72}$ |
| B' | $\frac{21}{4\sim 53}$ | $\frac{4}{1\sim 14}$ | $\frac{14}{4\sim 32}$ | $\frac{6}{1\sim 17}$ | $\frac{11}{3\sim 40}$ | $\frac{3}{1\sim 15}$ | $\frac{46}{18\sim 111}$ | $\frac{13}{3\sim 35}$ |
| 施肥区平均 Average of fertilized plots (A, A') | $\frac{29}{(132)}$ | $\frac{11}{(220)}$ | $\frac{47}{(313)}$ | $\frac{17}{(283)}$ | $\frac{58}{(446)}$ | $\frac{17}{(243)}$ | $\frac{134}{(268)}$ | $\frac{44}{(244)}$ |
| 無施肥区平均 Average of unfertilized plots (B, B') | $\frac{22}{(100)}$ | $\frac{5}{(100)}$ | $\frac{15}{(100)}$ | $\frac{6}{(100)}$ | $\frac{13}{(100)}$ | $\frac{7}{(100)}$ | $\frac{50}{(100)}$ | $\frac{18}{(100)}$ |



第2図 クロマツの成長
Fig. 2 Growth of *P. Thunbergii*

くにスギーの場合に比べると、かなり劣るものと思われた。いままでに報告された結果は、試験方法（肥料の種類、量、施肥回数、土壌条件等）がそれぞれ異なるが、後述のように、肥効があらわれにくいと考えられる初年度を除いて、肥効の持続が期待される施肥後2～4年度について、各年度ごとの樹高成長量を検討すると、肥効がほとんど認められない例および筆者らが肥効を認める基準と考えた肥効指数130に達しない例^{1)～4)6)～39)41)48)50)51)55)56)}がかなりの数に達していた。肥効指数が150～200に達している例¹⁾⁵⁾³⁶⁾⁴⁷⁾⁵⁴⁾はきわめて少数であった。

これらのアカマツおよびクロマツの施肥試験地ないし調査例は、乾性型の褐色森林土 (Ba および Bb 型土壌)、受蝕土、未熟土およびこれらの中間型に属する場合が多く、良好な成長を期待しうる Bd ないし Bd(d) 型土壌等において行なわれた場合はきわめて少なかった。したがって、これらの試験地および調査地の無施肥区における、アカマツないしクロマツの樹高と直径成長量はかなり低かった。それゆえに、施肥にともなう成長の絶対量の増大という面では、かなりの肥効指数が認められていた場合でもわずかな量にすぎないといえよう。

このような結果は、クロマツおよびアカマツに対する肥効は肥効指数の面でも、成長の絶対量の増大という面でも、わが国の他の主要造林樹種に比べると、全般的にかなり低いことを示すものといえよう。

クロマツおよびアカマツに対する肥効が低い原因について、一部の研究者⁴¹⁾⁵⁰⁾はマツ類の根は再生能力が弱いために、植栽時の根系の障害（切断等）、植え方の不良、施肥位置の不適切等を指摘している。しかしながら、上述の諸例中には天然生のアカマツ幼齢林に対する施肥試験も含まれているが、これらの場合に、肥効指数が人工林に対する施肥試験と大きな相違を示していないことは、必ずしも根系が原因とは考えがたいように思われる。

また、少数例ではあったが、土壌条件が良好で無施肥区におけるマツ類の樹高成長がきわめて良好な場合も、肥効はほとんど認められていない。この点は守屋⁴⁹⁾、芝本⁵³⁾および河田⁴⁴⁾がアカマツ苗について指

摘したように、アカマツが土壌の養分状態に対して鈍感な樹種であると考えられることも、アカマツに対する肥効が全般的に低いことの原因をなしているのではないと思われる。クロマツについては十分な資料がないが、アカマツとほぼ同様の性質を有するのではないかと推定される。

アカマツおよびクロマツ幼齢林に対する肥効の持続期間について、塘⁵⁵⁾は3～5年、佐藤⁵⁶⁾は3年としている。その他、一部には8～9年にわたって肥効を認めている調査例⁵⁵⁾もあるが、上述の諸例からは2～4年³⁾⁵⁾⁵⁶⁾ないし4～5年¹⁾¹¹⁾⁸¹⁾⁸⁶⁾程度の場合が多い。

塘⁵⁵⁾および佐藤⁵⁶⁾はアカマツについて、初年度は樹高成長より直径成長の方が肥効指数が大きく、樹高成長に対する肥効は次年度からあらわれることを明らかにした。また、中崎および西本³⁸⁾、西本⁸⁴⁾もクロマツに対する肥効は同様に施肥の翌年からあらわれることを指摘している。今回の筆者らのクロマツの場合も同様の傾向を示していた。これらの点は、アカマツは春～夏にかけて、主として前年度に蓄積した養分によって樹高成長を行ない、夏～秋にかけて養分の蓄積と直径成長を行なうことを、塘⁵⁵⁾および河田⁴⁸⁾が苗木について明らかにしたが、このような性質が原因をなしているものと思われる。また、クロマツもアカマツと同様の性質を有するためであろうと推定される。

今回の結果は3か年を経過したにすぎない。今後の追肥の方法およびその効果、肥効の持続期間等、今後の検討に待たなければならない問題が多く残されているが、現在までの結果は肥効指数の面ではきわめて満足すべきものといえよう。また、施肥区におけるクロマツの成長は、一般に土壌条件の不良なこの地方としては、良好なものとみてさしつかえないように思われる。

以上の結果は、この地方のせき悪林地ないしせき悪移行林地におけるクロマツの造林に対して、施肥はかなり明るい見とおしを与えつつあるといえよう。

4-2. 葉分析によるクロマツの栄養診断

4-2-1. 針葉の養分濃度

この試験地のクロマツの各調査時期における頂枝の1年生の針葉の各養分濃度（葉分析の結果）は、第6表に示すとおりであった。

4-2-2. 同じ土壌条件下におけるクロマツの成長と針葉の養分濃度との関係

この試験地を設定した当時、各プロット内のクロマツの樹高成長にはかなりの相違が見られた。

土壌条件は各プロット内ではほぼ同一と考えられたので、各プロットごとにクロマツの成長の良否と針葉の各養分濃度および各養分比がどのような関連性を有するかについて検討を試みた。

試験地設定当時（1964年秋）に、各プロットいずれも平均樹高に近い樹高60cmを基準にして、樹高60cm以上および59cm以下の2つのグループに区分して、それぞれ針葉を採取して分析を行なった。

試験地設定年度（1964年）の樹高成長は精密な測定が不可能であったが、冬芽の長さを前年度と同じとみなして、冬芽の根元からその下の枝の根元までの長さを、その年の樹高成長量と見なした。各プロットはいずれも樹高の高いグループは低いグループに比べると、樹高成長量はかなり大きかったことが推定された。

各プロットごとに両グループの針葉の養分組成を比較すると、次のような結果が得られた。

針葉のNおよびK濃度はブロック1（プロットAおよびB）では樹高の高いグループの方が高かったが、ブロック2（プロットA'およびB'）では反対の傾向を示した。P濃度は各プロットいずれも樹高の高いグループの方が高く、CaおよびMg濃度は樹高の低いグループの方が高い場合が多かった。し

第6表 針葉の養分濃度および養分比

Table 6. Nutrient concentrations and their ratios of needles

乾物当たり% : (Per cent on dry basis)

| プロット Plot | C | N | P | K | Ca | Mg | C/N | N/P | N/K | N/Ca | K/P | Ca/Mg |
|--------------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-----|------|------|-------|
| 1964 年 12 月 : Dec., 1964 | | | | | | | | | | | | |
| A < a | 54.3 | 1.32 | 0.061 | 0.69 | 0.31 | 0.089 | 41.1 | 21.6 | 1.9 | 4.3 | 11.2 | 3.5 |
| B < b | 53.4 | 1.29 | 0.058 | 0.67 | 0.33 | 0.091 | 41.4 | 22.2 | 1.9 | 3.9 | 11.6 | 3.6 |
| A' < a | 54.2 | 1.50 | 0.064 | 0.71 | 0.33 | 0.090 | 36.1 | 23.4 | 2.1 | 4.5 | 11.1 | 3.7 |
| B' < b | 53.2 | 1.47 | 0.060 | 0.70 | 0.33 | 0.086 | 36.2 | 24.5 | 2.1 | 4.5 | 11.7 | 3.8 |
| A' < a | 52.7 | 1.35 | 0.062 | 0.70 | 0.32 | 0.084 | 39.0 | 21.8 | 1.8 | 4.2 | 11.8 | 3.8 |
| B' < b | 53.5 | 1.38 | 0.057 | 0.71 | 0.34 | 0.086 | 38.8 | 24.2 | 1.9 | 4.1 | 12.5 | 4.0 |
| A' < a | 53.5 | 1.45 | 0.058 | 0.68 | 0.33 | 0.090 | 36.9 | 25.0 | 2.1 | 4.4 | 11.7 | 3.7 |
| B' < b | 53.4 | 1.48 | 0.057 | 0.70 | 0.33 | 0.092 | 37.4 | 26.0 | 2.1 | 4.5 | 12.3 | 3.6 |
| 1965 年 10 月 : Oct., 1965 | | | | | | | | | | | | |
| A | 53.2 | 1.05 | 0.073 | 0.86 | 0.30 | 0.092 | 50.7 | 14.4 | 1.2 | 3.5 | 11.8 | 3.3 |
| B | 52.5 | 1.26 | 0.048 | 0.78 | 0.32 | 0.10 | 41.7 | 26.3 | 1.6 | 3.9 | 16.3 | 3.2 |
| A' | 51.9 | 0.94 | 0.077 | 0.85 | 0.34 | 0.091 | 55.2 | 12.2 | 1.1 | 2.5 | 11.0 | 4.2 |
| B' | 52.7 | 1.16 | 0.051 | 0.75 | 0.30 | 0.10 | 45.4 | 22.7 | 1.5 | 3.9 | 14.7 | 3.0 |
| 1966 年 10 月 : Oct., 1967 | | | | | | | | | | | | |
| A | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| B | 52.3 | 0.90 | 0.050 | 0.71 | 0.29 | 0.089 | 58.1 | 18.0 | 1.3 | 3.1 | 14.2 | 3.3 |
| A' | 51.6 | 0.88 | 0.079 | 0.76 | 0.33 | 0.10 | 58.6 | 11.1 | 1.2 | 2.7 | 9.6 | 3.3 |
| B' | 52.3 | 1.04 | 0.052 | 0.71 | 0.30 | 0.10 | 50.3 | 20.0 | 1.5 | 3.5 | 13.7 | 3.0 |
| 1967 年 10 月 : Oct., 1967 | | | | | | | | | | | | |
| A | 54.3 | 1.11 | 0.079 | 0.81 | 0.18 | 0.085 | 48.9 | 14.1 | 1.4 | 6.2 | 10.3 | 2.1 |
| B | 53.2 | 1.09 | 0.046 | 0.66 | 0.22 | 0.092 | 48.8 | 23.7 | 1.7 | 5.0 | 14.3 | 2.4 |
| A' | 53.8 | 0.91 | 0.073 | 0.83 | 0.23 | 0.093 | 59.1 | 12.5 | 1.1 | 4.0 | 11.4 | 2.5 |
| B' | 54.0 | 0.88 | 0.044 | 0.65 | 0.22 | 0.092 | 61.4 | 20.0 | 1.4 | 4.0 | 14.8 | 2.4 |

注：1964 年は各プロットいずれも樹高 60 cm 以上(a)および 59 cm 以下(b)に区分して針葉を採取した。各グループの同年の平均樹高成長は次のとおりであった。

A—a 30 cm, A—b 20 cm, B—a 33 cm, B—b 21 cm

A'—a 31 cm, A'—b 18 cm, B'—a 30 cm, B'—b 18 cm

Remarks: In 1964, the stands in each plot were grouped into two, one was over 60 cm in height(a) and another was below 59 cm in height(b). Their average height growth was as follows:

A—a 30 cm, A—b 20 cm, B—a 33 cm, B—b 21 cm

A'—a 31 cm, A'—b 18 cm, B'—a 30 cm, B'—b 18 cm

かしながら、いずれの養分濃度も同じプロット内の両グループ間の上述の差はきわめてわずかで、近似的にはほぼ同一濃度と見なしてさしつかえない程度にすぎなかった。さらに、各養分濃度比も同様に各プロットの両グループ間には、とくに明りょうな相違は見られなかった。

各プロットを相互に比較すると、針葉の N 濃度は多少大きな相違を示していたが、その他の各養分濃度はかなり近似した値を示していた。しかしながら、針葉の N 濃度の相違はその年の各プロットの樹高成長との間に関連性は見られなかった。

以上の結果は、土壌条件が同じ場合には針葉の各養分濃度に示される林木の栄養状態はほぼ同一で、成長とは関連性が見られないことを示すものといえよう。このような場合に、個々の林木の成長量の相違は、おそらく各個体の固有の因子によって支配されるものと考えられる。

第7表 B_B型土壤におけるアカマツ（19年生）針葉の組成
Table 7. Nutrient concentrations and their ratios of *Pinus densiflora*
(19-year-old) needles on B_B soil (dry brown forest soil)

| Height (m) | C | N | P | K | Ca | Mg | C/N | N/P | N/K | N/Ca | K/P | Ca/Mg |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-----|------|-----|-------|
| $\frac{2.45}{2.00 \sim 3.00}$ | 56.7 | 1.09 | 0.11 | 0.70 | 0.32 | 0.080 | 52.0 | 9.9 | 1.6 | 3.4 | 6.4 | 4.0 |
| $\frac{1.55}{1.35 \sim 1.95}$ | 57.6 | 1.11 | 0.11 | 0.77 | 0.32 | 0.082 | 51.9 | 10.1 | 1.4 | 3.5 | 7.0 | 3.9 |

備考 Remark: 針葉は11月初めに採取した。

The sampling period was the beginning of November.

この点に関連して、筆者らおよび丸山が、以前に広島県福山営林署管内の B_B 型土壤における 19 年生のアカマツ林について行なった、葉分析の結果を第 7 表に示した。この場合も今回と同様に、樹高成長の良好なグループと不良なグループに区分して、それぞれ葉分析を行なったが、針葉の各養分濃度は両グループ間にほとんど相違が見られなかった。このような結果も、上述の見解を支持するものといえよう。

4-2-3. 針葉の養分濃度におよぼす施肥の影響

施肥試験開始後の結果については、第 2 年度（1966 年）のプロット A の試料は、事故のために分析できなかったもので、同年度については十分な論議を行なうことがむずかしい。

各年度ごとに施肥区と無施肥区の各養分濃度を相互に比較すると、いずれの場合も、施肥区は無施肥区よりも P および K 濃度—とくに P 濃度—のいちじるしい増大が認められた。しかしながら、N 濃度は第 1 および第 2 年度は施肥区は無施肥区より低く、第 3 年度は両区の間にも明りょうな相違が見られなかった。また、Ca および Mg 濃度は両区の間にも明りょうな関係が認められなかった。

上述の針葉の N 濃度の変化は、おそらくいわゆる希釈作用によるものと考えられる。施肥にともなう希釈作用については、塘⁵⁵⁾のアカマツ幼齡林、河田⁴²⁾のカラマツ幼齡林の N 濃度について示されているが、その他川名⁴⁷⁾のアカマツ幼齡林の場合に、施肥によって針葉の P および K 濃度は増大を示したが、N 濃度が相違を示さなかったことも、同様に希釈作用によるものと考えられる。このように施肥にともなう希釈作用は、N 濃度についてはいくつかの例が報告されているが、その他の養分濃度については明らかにされていない。

一般に、林木に N, P₂O₅ および K₂O を単独ないし併用して施肥した場合に生ずる、材木の葉中の各養分濃度の変化についてのいままでの諸研究者の結果は、すでに第 2 報⁴⁶⁾において詳述したので、今回は重複をさけたい。

今回のクロマツの針葉中の P および K 濃度の施肥にともなう増大は、いままでの多くの結果と同様の傾向を示していたといえよう。

施肥にともなう林木の葉中の N, P および K 濃度の増大は、一般に、同時に林木の成長量の増大をとまなう場合が多い。また、施肥した場合以外でも、成長量の異なる林分を相互に比較すると、成長量の大きい林分ほど葉中の各養分濃度が大きい場合が多い。このような結果から、林木の葉の各養分濃度と成長との間に、直接の（一次的な）関連性があると考えられやすいが、筆者らは葉の各養分濃度は土壌中の各養分レベルと直接の（一次的な）関連性を有し、成長とはむしろ間接の（二次的な）関連性を有するものであろうという見解を第 2 報⁴⁶⁾において述べた。前述（4-2-2）の同じ土壤条件下における林木の成長が、

針葉の各養分濃度と関連性を示さなかったことは、このような見解によって容易に説明されよう。

これに対して、土壤条件の異なる林地、または施肥林と無施肥林を相互に比較する場合には、各林地の土壤中の各養分レベルの相違は、林木の栄養状態の相違をもたらす、したがって、葉の各養分濃度に反映してその相違をもたらすが、同時に林木の成長の相違をもたらす主要な原因を構成している場合が少なくない。このような場合には、毎木ないし標準木（平均木）によって代表される各林分の成長と、林木の葉の各養分濃度によって示される栄養状態が、相互に密接な関連性を示す場合が多いことは当然といえよう。

上述のように、施肥区における針葉の N 濃度は一おそらく希釈作用が原因と考えられるが—無施肥区に比べて増大を示さなかったが、P および K 濃度が各年度いずれも増大を示したことは、施肥によって土壤中の P および K レベルが増大したことを示すものといえよう。

4-2-4. 針葉の養分比

針葉の各養分比については、次のような結果が得られた。

施肥区は無施肥区と比べると、各年度いずれも N/P、N/K および K/P 比—とくに N/P 比—のけんちな減少が認められたが、N/Ca および Ca/Mg 比は一定の傾向が認められなかった。また、C/N 比は第 1～2 年度は施肥区は無施肥区より大きかったが、第 3 年度は明りょうな相違が認められなかった。これらの結果は、上述の施肥にともなう各養分濃度の変化を反映しているといえよう。

筆者らは、林木の葉の養分比は直接（一次的）には土壤中の各養分レベルの相互の比率を示すものであって、間接（二次的）に成長と関連性を有するであろうという見解を第 2 報⁴⁶⁾において述べた。このような見解にしたがうと、上述のこの試験地における養分比の変化は、この試験地の土壤は相対的に、N レベルに比べると P および K レベル—とくに P レベルがいちじるしく低く、また、K レベルに比べると P レベルが低かったが、施肥によってこれらの点が改善されたことを示すものといえよう。

5. お わ り に

1) この報文は広島県西条営林署管内姥ヶ原国有林の、Ba-Er 型土壤における 2 年生のクロマツ幼齢林に対する施肥試験の 3 か年間の経過を報告したものである。

2) 試験は施肥区（住友森林化成 1 号、15-8-8、1 本あたり 100 g、3 年連続施肥）および無施肥の 2 種類とし、それぞれ 2 回くり返しを行なった。

3) クロマツに対する肥効は次のとおりであった。

i) 初年度は樹高成長より直径成長の方が大きかったが、第 2～3 年度は樹高成長の方が大きかった。

ii) 施肥区は無施肥区に比べると、3 か年間に樹高成長で 84 cm (168%)、直径成長で 26 mm (144%) の増大を示した。

4) 設定時および以後の 3 か年間の葉分析の結果は次のとおりであった。

i) 設定時に各プロットごとに、平均樹高以上と以下の 2 つのグループに分けて葉分析を行なった。両グループは樹高および同年度の樹高成長にかなりの相違が見られたにもかかわらず、針葉の各養分濃度および養分比はほとんど相違が見られなかった。

ii) 施肥後は、N 濃度は第 1～2 年度は施肥区は無施肥区より減少を示したが、この点はおそらく希釈作用によるものと思われた。第 3 年度は両者の間に明りょうな相違が見られなかった。

iii) 各年度とも P および K 濃度—とくに P 濃度—は、施肥区は無施肥区より明りょうに増大を示したが、Ca および Mg 濃度は施肥との間に一定の関連性が見られなかった。

5) 養分比については、各年度いずれも施肥区は無施肥区に比べると、N/P、N/K および K/P 比—とくに N/P 比の減少がけんちよであった。

稿を終わるにあたって、終始多大のご配慮をいただいた元関西支場長徳本孝彦技官、現同支場長江畑奈良男技官、同育林部長松下規矩技官および試験地の設定、管理および保育等に多大のご協力をいただいた西条営林署の関係各位に心からの感謝を捧げたい。

文 献

（府県林地肥培試験報告：府県別にアルファベット順）

- 1) 岩間義男・鳥居和之：林地肥培試験，愛知県林試業報，pp. 42～58，（1964）
- 2) 榎本善夫：林地肥培試験，千葉県林試業報，pp. 24～31，（1958）
- 3) 渡辺彦彦：アカマツに対する施肥時期別肥効試験，愛媛県林指業報（昭35～37），pp. 73～74
- 4) 清水 敬：同上，同上（昭38），pp. 75～76；同上（昭39），pp. 62～64
- 5) 渡辺彦彦・得井 修：アカマツに対する肥料の種類別肥効試験，同上（昭35～37），pp. 69～72
- 6) 加藤義雄・石川 務：林地肥培試験，福井県林試報，1，pp. 37～39，（1963）；2，pp. 137～152，（1964）；3，pp. 85～97，（1966）
- 7) 安井洋二・安藤重男：同上，同上，4，pp. 54～56，（1967）
- 8) 安井洋二：同上，同上，5，pp. 69～82，（1968）
- 9) 平川 昇・星 稔男：幼齡林の林地肥培試験，福島県林試報，11，pp. 47～56，（1967）
- 10) 岸 善一・田中悦郎：林地肥培試験，広島県林試報（昭32），pp. 95～101
- 11) 桑原武男：同上，同上（昭34），pp. 69～79；同上（昭35），pp. 31～48；同上（昭36），pp. 58～64；同上（昭38），pp. 43～47
- 12) 兵庫県林業試験場：林地肥培試験，兵庫県林試業報（昭32），pp. 45～55；同上（昭33），pp. 28～34；同上（昭34），pp. 39～51；同上（昭35），pp. 51～60；同上（昭36），pp. 40～48
- 13) 段林弘一・上山泰代：アカマツ5年生の施肥試験，同上（昭40），pp. 187～188；同上（昭41），pp. 191～192
- 14) 中野敏夫・北中外弘：林地肥培試験，石川県林試報，1，pp. 131～138，（1963）；4，pp. 108～113，（1966）
- 15) 北中外弘・島木正則・中野敏夫：同上，同上，2，pp. 138～145，（1964）
- 16) 北中外弘・中野敏夫・島木正則：同上，同上，3，pp. 155～160，（1965）
- 17) 石原研治：海岸砂防地造林の施肥について，鹿児島林試報，11，pp. 37～40，（1963）
- 18) 山内孝平：特殊土じょう地帯の林地肥培試験，同上，14，pp. 57～64，（1966）
- 19) 小野允也・上本勝司：林地肥培試験，三重県林業センター業報，1，pp. 2～26，（1964）
- 20) 小野允也：同上，同上，2，pp. 3～23，（1965）；3，pp. 10～37，（1966）
- 21) 鈴木張平：同上，同上，4，pp. 43～66，（1967）
- 22) 宮城県農業試験場：宮城県農試，林業に関する試験成績書（昭34），pp. 90～104；同上（昭35），pp. 47～62；同上（昭36），pp. 30～43；同上（昭37），pp. 30～34
- 23) 及川安寿・飯田達雄：林地肥培試験，大分県林試報（昭35），pp. 103～109
- 24) 及川安寿・飯田達雄・日隈正己・金田文男：同上，同上（昭38），pp. 39～60
- 25) 日隈正己・飯田達雄：同上，同上（昭39），pp. 52～70
- 26) 奥貫春夫：林地肥培試験，埼玉県林試業報（昭33），pp. 15～18；同上（昭36），pp. 37～42；同上

- (昭37), pp. 38~40; 同上 (昭38), pp. 35~37; 同上 (昭39), pp. 18~20; 同上 (昭40), pp. 26~29
- 27) 静岡県林業試験場：林地肥培試験，静岡県林試業報 (昭33), pp. 80~82; 同上 (昭34), pp. 121~129; 同上 (昭35), pp. 153~157; 同上 (昭36), pp. 137~142
- 28) 伊藤守夫：同上，同上 (昭37), pp. 147~151; 同上 (昭38), pp. 161~163; 同上 (昭39), pp. 143~149; 同上 (昭40), pp. 109~119; 同上 (昭41), pp. 111~120
- 29) 谷沢恒夫：林地肥培試験，栃木県林業センター業報，1，pp. 19~20，(1964)；2，pp. 40~41，(1965)
- 30) 木村 繁：同上，同上，3，pp. 32~36，(1966)
- 31) 吉次信策：鳥取県の林地肥培の現状とその効果について，鳥取県林試資料 No. 11，pp. 1~32，(1964)
- 32) 同上：林地肥培試験，鳥取県林試報，4，pp. 49~50，(1960)；9，pp. 14~21，(1966)
- 33) 中崎哲二・西本哲明：クロマツ幼齡木に対する施肥位置のちがいが肥効におよぼす影響について，山口県林試業報 (昭38), pp. 43
- 34) 西本哲明：クロマツ幼齡木施肥位置試験，同上 (昭40), pp. 5~6; 同上 (昭41), pp. 21~22
(府県肥培事例調査)
- 35) 愛媛県林業試験場：林地肥培効果測定報告書 (昭37)，愛媛県林試資料
- 36) 桑原武男：林地肥培効果測定調査，広島県林試報 (昭37), pp. 37~49
- 37) 山内幸平・内 邦博・牧之内文夫：マツの林地肥培効果測定調査，鹿児島県林試報，11，pp. 42~85，(1963)
- 38) 中崎哲二・西本哲明：林地肥培効果測定調査，山口県林試業報 (昭37), pp. 92~118
(その他)
- 39) 深作哲太郎・伊藤忠夫・林 公彦・照山竜男：林齡を異にしたアカマツ天然生林に対する肥培試験，森林と肥培，18，pp. 2~6，(1961)
- 40) 橋本与良：瘠悪荒廃林地とその改良，全国瘠悪林地改良協会，(1961)
- 41) 伊藤忠夫：アカマツ幼齡林の肥培，森林と肥培，44，pp. 3~5，(1966)
- 42) 河田 弘 (KAWADA, H.)：湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼齡林の施肥試験—カラマツの成長および針葉の組成におよぼす施肥の影響，林試研報 (Bull. Govern. Forest Exp. Stat.), 162，pp. 143~162，(1964)
- 43) 同上 (Ibid.)：アカマツ 1-1 苗の時期別養分吸収について，同上 (Ibid.), 187，pp. 27~52，(1966)
- 44) 同上 (Ibid.)：アカマツ 1-1 苗の成長および養分組成におよぼす窒素，リン酸およびカリの施用量の影響，同上 (Ibid.), 212，pp. 59~88，(1968)
- 45) 河田 弘・衣笠忠司 (KAWADA, H. and KINUGASA, T.)：高野山国有林におけるスギ・ヒノキ幼齡林施肥試験〔関西地方における林地施肥試験 (第 1 報)〕，同上 (Ibid.), 191，pp. 115~136，(1966)
- 46) 同上 (Ibid.)：兵庫県マンガ谷国有林におけるスギ幼齡林施肥試験〔同，第 2 報〕，同上 (Ibid.), 216，pp. 75~97，(1968)
- 47) 川名 明：堤列海岸平野の低地過湿林の改良に関する研究，農林出版社，(1966)
- 48) 北原完治・小池房男：クロマツ人工造林地の肥効について，アカマツに関する研究論文集 (林学会，日林協，大阪営林局)，pp. 17~30，(1954)
- 49) 守屋重政：苗木に対する肥料三要素試験，林試研報，22，pp. 71~85，(1922)
- 50) 佐藤 俊・山谷孝一・長谷川浩一・後藤和秋・西田豊昭・柳谷清子：東北地方における主要造林樹種の幼齡時における施肥効果について；同上，167，pp. 93~190，(1964)
- 51) 佐藤 亨・及川恵司・宮崎 紳：アカマツ天然更新の方法と施肥の効果について，同上，147，pp. 1~43，(1962)
- 52) 沢田秀邦・村本正昭・奥野 志・深田 利・古田好生：林野土壌調査報告書，大阪 営林局土壌調査

- 報告 8 号, 西条事業区, (1963)
- 53) 芝本武夫: スギ, ヒノキ, アカマツの栄養ならびに森林土壌に関する研究, pp. 1~253, 林野庁, (1952)
- 54) 柴田信男: アカマツ林の肥培に関する 2・3 の実験的考察, アカマツに関する研究論文集 (林学会, 日林協, 大阪営林局), pp. 1~16, (1954)
- 55) 塘 隆男 (Tsutsumi, T.): わが国の主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究, 林試研報 (Bull. Govern. Forest Exp. Stat.), 137, pp. 1~158, (1962)
- 56) 和田克之: 林地肥培試験, 2~3 の事例と考察, 森林と肥培, 47, pp. 1~5, (1967)

A Study on Fertilization of Young *Pinus Thunbergii* Forest in Ubahara National Forest in Hiroshima Prefecture (Studies on Forest Fertilization in Kansai Area Part 3)

Hiroshi KAWADA and Tadashi KINUGASA

(Résumé)

1. Introduction

The woodland in the district along Seto Inland Sea coast is comprised of bare hills and poorly growing *Pinus densiflora* forest naturally regenerated. In recent years, *P. densiflora* or *P. Thunbergii* seedlings were often planted on felled areas of pine forests. Their superior growth would be unexpected as the growth of former forest was very poor.

The authors arranged to carry out a fertilizer trial upon young pine forests with the object of increasing their growth and to conduct an examination of annual changes of nutrient concentrations and their ratios of needles in the same way as in the previous parts of these studies⁴⁵⁾⁴⁶⁾ to get the basic information on the nutrient physiology of pines.

This paper deals with an intermediate result covering three years after the fertilizer trials on a young *P. Thunbergii* forest.

2. Test forest and method

2-1. Test forest

The test forest was a 2-year-old *P. Thunbergii* forest (planted in the spring, 1963) in Ubahara National Forest in Hiroshima Prefecture.

It locates on a short mountain slope from its middle to near the top.

Its site conditions were as follows:

Height above sea level.....250 m, Direction.....S25°E, Inclination.....20~22°, Parent material of soil.....Granite, Annual average temperature.....15.3°C, Annual precipitation.....1,350 mm.

Four plots, A, B, A' and B', in two blocks, were settled on a 2-year-old *P. Thunbergii* forest in the beginning of December, 1964.

2-2. Fertilization

Plot A and A' were fertilized and Plot B and B' unfertilized. At the beginning of this trial, 100 g of mixed fertilizer (N...15%, P₂O₅...8%, K₂O...8%) per one stand was given. The same amount of fertilizer was given additionally in late October, 1965 and 1966, the successive years.

2-3. Analytical method

The analytical methods of the soil and needles were all the same as those described in Part 1 and 2 of these studies⁴⁵⁾⁴⁶⁾.

3. Soil

Two profiles were examined in this test forest. Profile 1 represented the Block 1 (Plot A and B) and Prof. 2 the Block 2 (Plot A' and B'). Their textures, physical and chemical properties were shown in Table 1~3 and Fig. 1.

The types of soil of both profiles was Ba-Er soil (the intermediate type between dry brown forest soil and eroded soil). The development of their A horizons was very poor and their thickness was only 2~3 cm. Their textures were clayey. Their physical properties were inferior as evidenced by their little water percolation rates, large volume weights and poor porosities. On the chemical properties, their low humus content, high C-N ratios, low exchangeable Ca and Mg contents and 0.2 N HCl soluble P_2O_5 contents of A horizons were not favourable for the growth of stands.

4. The growth of *P. Thunbergii* and the fertilizer efficiencies

The growing processes of stands during the three years after initial fertilization were shown in Table 4 and 5, and Fig. 2.

The growth of stands in unfertilized plots was very poor. Their average height at the 5-year-old stage reached only 101 and 113 cm. These results were presupposed before the beginning of this trial by comparative field observations on the growth of neighbouring pine forests. The increments of height and basal diameter of stands of fertilized plots as compared with those of unfertilized plots during the three years after initial fertilization were distinguished. The average height at the 5-year-old stage reached 188 and 193 cm. During the three years after initial fertilization, the growth increments of fertilized plots reached 84 cm (168%) in height and 26 mm (144%) in basal diameter as compared with those of unfertilized plots.

The fertilizer efficiencies were satisfactory to the authors. The growth of stands in fertilized plots during the three years was nearly all the same as, or more than the most excellent growth level of young pines in this district. However, it was not superior comparatively to the growth level of young pines on good soil conditions in normal woodlands.

Summaries of previous results of fertilizer trials upon young pine forests in this country, have made reference in a few reports to the very poor or nearly ineffective fertilizer efficiencies on young pine forests. Even in the cases in which fertilizer efficiencies were recognized to some extent, they were less in comparison with those on other main conifers, *C. japonica*, *C. obtusa* and *L. leptolepis* in most cases.

One of the authors⁴⁴⁾ and others pointed out that the sensitivity of the growth of *P. densiflora* seedling to the nutrient level of soil was lower as compared with the other main conifers. It was supposed that its aged stands would be nearly all the same, too. The above-mentioned low fertilizer efficiency of young pine forests would be explained by their nutritional character.

5. The nutrient concentrations, their ratios of needles and changes by fertilization

The annual nutrient concentrations and their ratios of needles of the uppermost shoots of stands were shown in Table 6.

The authors made the following investigation at the beginning of this trial in December,

1964 to examine the relationship between the growth of stand and the nutrient concentrations of needles. The stands in each plot were divided into two groups, one in which their height was more than 60 cm, near the average height of each plot, and another in which their height was less than 59 cm. Their needles were picked up and analysed separately. The annual height growth of the former group was more excellent as compared with the latter group. The differences of nutrient concentrations of needles between both groups in each plot were very slight; in fact they may be regarded approximately all the same. Furthermore, no clear differences were observed on the nutrient ratios between both groups in each plot. These facts showed that the nutrient condition of forest stands on the same soil conditions were nearly all the same and they had no clear correlation to their growth. In these cases, the differences of growth among the stands would be induced by factors other than the nutritional conditions — probably their own internal factors.

After the fertilizer trials were begun, the following results were obtained. Unfortunately, the needles of Plot A in the second year (1966) were lost accidentally before analysis, causing the authors inconveniences in discussing the results of that year. The P and K—especially P—concentrations of fertilized plots increased remarkably in comparison with those of the unfertilized plots in the years examined. The N concentrations of needles of fertilized plots were lower as compared with the unfertilized plots in the first and second years (1965 and 1966). But they showed no clear differences in the third year (1967). The Ca and Mg concentrations of needles showed no clear correlation to the fertilization in all years examined.

The decreases of N concentration of needles attending the fertilization in the first and second years would be induced by the so-called dilution effect. The dilution effect attending the fertilization was observed on the N concentration by one of the authors⁴²⁾ on the young *Larix leptolepis* forest and by TSUTSUMI⁵⁵⁾ on the young *P. densiflora* forest. But it was not observed on other nutrient elements.

The nutrient concentration increments of leaves of forest stands attending the fertilization were pointed out by many authors. The previous results of research on these problems in our country and countries abroad reported similar results as had been described in Part 2 in these studies⁴⁶⁾. The increments of P and K concentrations of needles by fertilization in this test forest agreed well with the previous results.

The increments of nutrient (N, P and K) concentrations of leaves of forest stands by fertilization usually attended their growth increments. Comparing the nutrient concentrations of leaves of stands on certain forests (unfertilized) in which their growth was widely different, it increased in proportion to the growth increments of stands in most cases. The incorrect opinion that the nutrient concentrations of leaves of stands, i. e. their nutrient conditions shown by them, related directly to their growth was apt to be accepted from these results. However, the authors were of the opinion on these problems that the nutrient concentrations of needles related directly (primary relation) to the nutrient levels of forest soil and, accordingly, they related indirectly (secondary relation) to the growth of stands. The authors expressed the same opinion in Part 2 of these studies⁴⁶⁾ to explain the fact that the nutrient concentrations of needles of stands were not in proportion to their growth as compared with their annual changes on the same young forests.

The above-mentioned facts that the nutrient concentrations of needles were nearly all the same in both groups on the same plots in which growth was clearly different, in Dec., 1964,

would be easily explainable by the opinion given above.

Furthermore, our previous unpublished data on the nutrient concentrations of needles of 19-year-old *P. densiflora* forest on B₃ soil showed a similar tendency and supported the said opinion, too. As shown in Table 7, the nutrient concentrations and their ratios of both groups, the excellent growth group and the inferior growth group, were nearly all the same.

Comparing these relations with the forests in which the soil conditions and growth of stands were remarkably different, the differences of nutrient levels of soil induced the differences of nutrient concentrations of leaves of stands and, at the same time, they would be one of the most effective factors influencing the growth of stands in most cases. Consequently it would be naturally applicable that the growth of forest stands was in proportion to their nutrient conditions.

The aforesaid increments of P and K concentrations of needles attending the fertilization in this test forest would be induced by the increments of P and K levels of soil.

On the nutrient ratios of leaves of stands, the authors expressed the opinion in Part 2 of these studies⁴⁶⁾ that they related directly (primary relation) to the ratios of nutrient levels of soil and, accordingly, they related indirectly (secondary relation) to the growth of stands.

On the annual nutrient ratios of this test forest, the decreases of N/P, N/K and K/P—especially N/P—ratios in the fertilized plots were distinguished in comparison with those of unfertilized plots. However, the N/Ca and Ca/Mg ratios showed no clear relation with fertilization. These facts suggest that the ratios of P and K—especially P—levels of soil to N level were low, and those of P level to K level were somewhat low. The P and K levels of soil would be increased by fertilization.

6. Acknowledgement

The authors wish to express their gratitude to Mr. T. TOKUMOTO, former Director of Kansai Branch of this Experiment Station, Mr. N. EBATA, Director of Kansai Branch, and Mr. K. MATSUSHITA, Chief of Silviculture Division of this Branch for their encouragement in carrying out this work.