スギ雄性不稔個体選抜地における不稔個体と可稔個体の形質の比較

三浦沙織^{*1}・森口喜成²・平 英彰^{1,3}

新潟県で選抜されたスギ雄性不稔 11 個体の、樹高、胸高直径、傾幹幅、樹幹ヤング率などの諸形質や雪害の被害形態を調査し、同一林分の可稔個体と比較した。雄性不稔個体が選抜された林分は典型的な不成績造林地で、幹折れ、根元割れ、斜立・倒伏などの致命的な雪害が認められ、樹高、胸高直径、立木密度は著しく小さかった。しかし、すべての形質および雪害の被害形態において、雄性不稔個体と可稔個体との間に大きな違いは認められなかった。このことから、スギ雄性不稔性は花粉の形成過程に異常を生じるが、成長などの他の形質においては可稔個体と変わらないことが示唆された。

キーワード：スギ、雪害、雄性不稔

Saori Miura,^{*,1,2} Yoshinari Moriguchi,³ and Hideaki Taira^{1,4}: Comparison of Traits between Male Sterile and Fertile *Cryptomeria japonica* D. Don Trees in Selected Stands. J. Jpn. For. Soc. 91: 290–294. The physical characteristics of selected male sterile trees in Niigata Prefecture, tree height, diameter at breast height (DBH), basal bending, modulus of elasticity of tree trunk and types of snow damage, were compared with those of male fertile trees from eleven stands. The sampled stands were regarded as being typical of an unsuccessful plantation and exhibited potentially fatal examples of snow damage, including stem breakage, stem splitting and uprooting. Moreover, the stands sampled also had a lower average tree height, smaller DBH, and remarkably lower stand density than other *C. japonica* stands in the region. Interestingly, no marked differences were observed in any of the characters examined or in the extent of snow damage between male sterile and fertile trees. The results imply that the abnormalities exhibited by male sterile trees are restricted to pollen formation, and not to other characteristics such as growth, which is normal.

Key words: *Cryptomeria japonica* D. Don, male sterility, snow damage

I. はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 花粉症は現在、日本の大きな社会問題となっている。スギは成長が早く、成育適地も広く、さらに育林技術が確立されているため、日本の最も重要な造林樹種の一つであり、スギに代わる有用な造林樹種はないことから、スギの造林は将来にわたって続けられると考えられる。スギの花粉飛散が多くの国民の健康に被害を与えている現状を考えると、スギ林からの花粉飛散の抑制が強く求められる。スギ林からの花粉飛散を抑制する方法の一つとして、花粉を全く飛散させないスギ雄性不稔個体の利用が考えられている。スギの雄性不稔個体は 1992 年に初めて富山県で発見され (平ら, 1993), 雄性不稔性が一對の核内劣性遺伝子によって支配されていることが明らかにされた (Taira *et al.*, 1999)。その後、現在までに富山県、新潟県、福島県、神奈川県、茨城県で計 24 個体が選抜されている (平, 2006)。

選抜された個体の雄性不稔性を利用するには、各育種区の精英樹と雄性不稔個体とを交配し、地域に適した独自の雄性不稔系統を作出する必要がある。そのためには精英樹と雄性不稔個体の特性を把握し、優良な個体が得られる組

み合わせを検討しなければならない。精英樹については、これまで次代検定林などの調査でその成長や通直性、雪害抵抗性、材質などの特性が明らかにされつつある (岡田, 1991)。しかし、これまで選抜された雄性不稔個体に関しては、雄性不稔の発現過程や遺伝様式がいくつかの個体で明らかにされているが (平ら, 1993; Saito *et al.*, 1998; Taira *et al.*, 1999; 斎藤ら, 2005; Hosoo *et al.*, 2005; 斎藤・平, 2005; 川名ら, 2006), その成長や通直性、雪害抵抗性、材質などの特性については明らかにされていない。スギの雄性不稔形質は突然変異の一つと考えられるが、これらの雄性不稔個体は、スギで報告されている白子苗、黄子苗や白初生葉苗 (大庭・村井, 1969, 1971; 大庭ら, 1973, 1974), アカスギ, 黄土スギやミドリスギ (千葉, 1953; 大庭, 1972; 大庭ら, 1974), 黄金スギ (Ohba *et al.*, 1971), 子葉淡緑色苗や白緑葉苗 (大庭ら, 1967; 菊池, 1980), 白斑苗 (菊池, 1978; 菊池・大庭, 1997) などの色素異常苗や、ヨレスギ (大庭ら, 1974), 外向鉤形針葉 (菊池, 1977, 1981) などの針葉形態異常苗のような突然変異個体とは異なり、針葉の色や形態に可稔個体との差異は認められない。突然変異の多くは、好ましくない変異を同時に誘発したり、変異遺伝子の多面発現により他の形質に悪影響を及ぼした

* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: bleu_celeste_86871@yahoo.co.jp

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科 〒950-2181 新潟市五十嵐 2 の町 8050 (Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8050 Ninocho, Igarashi, Niigata 950-2181, Japan)

² 独立行政法人森林総合研究所森林遺伝研究領域 〒305-8687 つくば市松の里 1 (Department of Forest Genetics, Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba 305-8687, Japan)

³ 現住所: 〒930-0842 富山市窪新町 4-61-2405 (Present address: 4-61-2405 Kuboshin-machi, Toyama 930-0842, Japan)

(2006 年 12 月 30 日受付; 2009 年 4 月 6 日受理)

りするため、そのままでは実用的な品種として普及しない変異体も多い(蓬原, 1983; 山下, 1991)。実際に、作物の雄性不稔性を目的とした育種では、コムギの *timopheevi* 細胞質と多くの生理・形態的形質の同時変異(中田ら, 1975)、同じくコムギの *ovata* 細胞質と F_1 の出穂期の遅延との連鎖や、トウモロコシの T 細胞質と *Helminthosporium* 罹病性との連鎖(山下, 1983)などが報告されている。核遺伝子型雄性不稔性を林木育種事業の育種目標の一つにする場合、全ての雄性不稔個体において、不稔性以外の形質が正常であることが望ましい。本研究では、新潟県の豪雪地帯で選抜された雄性不稔スギ 11 個体を対象に、その成長、雪害の被害形態および樹幹ヤング率について調査し、雄性不稔個体の特性について検討した。

II. 材料と方法

調査は、雄性不稔スギの新大 1~12 号が選抜された新潟県魚沼市のスギ造林地で行った。調査地は標高 670~870 m で、この地域の平均最大積雪深は 3~5 m (佐藤ら, 1967) である。調査林分の林齢は 40~48 年生(表-1)、植栽密度は 3,000 本/ha でこれまで除間伐は行われていない。2005 年 8 月下旬~9 月下旬に、新大 4 号を除く(地形的に調査可能な面積が確保できないため)選抜された 11 個体の雄性不稔個体を中心に、それぞれ 0.05 ha の円形プロットを設置し、プロット内に生育している個体の樹高、胸高直径、樹幹ヤング率、傾幹幅を測定するとともに雪害の被害形態を調査した。各プロットの不稔個体 1 個体と、他の樹木に被圧されていない胸高直径 15.9~41.2 cm (平均胸高直径 27.9 cm) の可稔個体 10 個体を対象とし、非破壊的立木曲げ試験法(ぶらさがり法)(小泉, 1988)に従い、地上 1.3 m 付近の樹幹ヤング率を測定した。プロット内で調査可能な可稔個体を 10 個体確保できない場合には、プロット近辺の個体を測定した。傾幹幅は、スギの植栽地点に垂線を立て、その垂線の 1.2 m の高さから樹幹の中心までの水平距離とした(佐藤, 1974)。雪害の被害形態は幹折れ、根元割れ、斜立・倒伏、座屈、梢端折れ、健全木の六つに区分し(四手井ら, 1950; 石川・片岡, 1968)、雪害を重複して受けている個体は、被害の大きい形態を採用した。調査地と標準的な林分の、樹高、胸高直径および立木密度を比較するために、新潟県のスギ人工林における大径集約型施業の収穫予想表(植栽本数 3,000 本、間伐本数率 15%) (新潟県農林水産部治山課, 1980)を用いた。

III. 結 果

1. 樹高、胸高直径および立木密度

調査プロットの平均樹高は 8.2~16.5 m で、全てのプロッ

トが新潟県内の標準的な林分で最も低い地位級 3 の平均樹高よりも低く、11 プロットのうち 3 プロットが地位級 3 の平均樹高の 60~80%、7 プロットが地位級 3 の平均樹高の 40~60% の値であった(図-1)。

調査プロットの平均胸高直径は 21.5~34.4 cm で、1 プロットを除く全てのプロットが地位級 3 の平均胸高直径 $\pm 20\%$ の範囲にあった(図-1)。

調査地の立木密度は、140~900 本/ha であった(表-1)。調査プロットの立木密度は著しく低く、3 プロットは地位級 3 の立木密度の 60~80%、2 プロットが 40~60%、3 プロットが 40% 未満であった(図-1)。

不稔個体の樹高は 4.0~19.0 m で、新大 1 号がプロット平均値-標準偏差より低い値を、新大 7 号がプロット平均値+標準偏差より高い値を示した(図-2)。各プロットにおいて、プロット平均値と不稔個体の値を比較したが、特定の傾向は認められなかった。不稔個体の胸高直径は 18.0~35.7 cm で、全てのプロットにおいて、不稔個体はプロット平均値 $\pm$ 標準偏差の範囲内であった(図-2)。各プロット

図-1. 林齢と平均樹高、平均胸高直径、立木密度の関係

実線はそれぞれ、新潟県的人工林の大径集約型施業で地位級 3 のスギの林齢-平均樹高関係、林齢-平均胸高直径関係、林齢-立木密度関係を示す。破線は、実線の値を 1.2, 0.8, 0.6, 0.4 倍したときの値を示す。

表-1. 調査プロットの概要

林分(プロット)	1号	2号	3号	5号	6号	7号	8号	9号	10号	11号	12号
林齢	40	44	46	46	46	48	48	48	48	46	46
立木密度(本/ha)	220	520	720	760	900	780	140	380	200	620	700

2005 年 8 月時点の値を示す。

図-2. 樹高および胸高直径の、プロット平均値と不稔個体の値

図-3. 傾幹幅のプロット平均値と不稔個体の値

において、プロット平均値と不稔個体の値を比較したが、胸高直径についても特定の傾向は認められなかった。

2. 雪 害

1) 傾 幹 幅

傾幹幅のプロット平均値は 124.8~256.9 cm, 不稔個体では 123.0~360.0 cm であった (図-3)。新大 11 号と新大 12 号がプロット平均値 + 標準偏差よりも大きい値を示したが、それら以外の不稔個体はプロット平均値 ± 標準偏差の範囲内に位置した。各プロットにおいて、不稔個体はプロット平均値より全体的にやや大きい傾向を示した。

2) 雪害の被害形態

可稔個体計 270 個体, 不稔個体計 11 個体の調査を行った結果, 可稔個体, 不稔個体とも健全木の割合はほぼ同じ (可稔個体 57%, 不稔個体 55%) で, 最も多い被害形態はどちらも梢端折れ (可稔個体 21%, 不稔個体 27%) であった (図-4)。また, 両者における根元割れと斜立・倒伏の被害の割合もほぼ同じであった。幹折れの被害は可稔個体の 10% に認められたが, 不稔個体では認められなかった。座屈は不稔個体では認められず, 可稔個体でも 1% のみに認められたにすぎなかった。標本数の違いはあるが, 可稔個体

図-4. 雪害の被害形態の概要

可稔個体は計 270 個体, 不稔個体は計 11 個体の割合を示す。

図-5. 樹幹ヤング率のプロット平均値と不稔個体の値

と不稔個体の雪害の被害形態とその割合は類似していた。

3. 樹幹ヤング率

樹幹ヤング率のプロット平均値は 2.57~5.75 GPa で, 不稔個体では 1.40~6.17 GPa であった (図-5)。新大 8 号と新大 9 号がプロット平均値 + 標準偏差より高い値を, 新大 1 号, 新大 2 号, 新大 6 号, 新大 7 号がプロット平均値 - 標準偏差より低い値を示した。各プロットにおいて, プロット平均値と不稔個体の値を比較したが, 特定の傾向は認められなかった。

IV. 考 察

調査プロットに生育しているスギの樹高, 胸高直径および立木密度を新潟県の標準的な林分と比較すると, 樹高成長と立木密度は最も低い地位級 3 よりも低く, 直径成長はおおむね地位級 3 に相当すると考えられた。横井・山口 (1998) が調査を行った岐阜県の積雪地帯のスギ不成績造林地でも, 調査林分の樹高成長と立木密度は最も低い地位級 5 よりも低く, 直径成長はおおむね地位級 5 に相当する結果が得られている。本調査地では, 横井・山口 (1998) の調査地とほぼ同等の傾向がみられ, 樹高および直径成長は著しく悪いことを示している。また, 調査プロットの傾幹幅の平均値は非常に大きく, 124.8~256.9 cm であった。スギでは根元曲がりの形成過程において, 根が損傷し, 樹幹下部にあて材が形成されるため, 新葉の生産量が減少し, 樹高成長が抑制される (平, 1987)。調査プロットの樹高や胸高直径が, 積雪の少ない標準的な林分に比べ著しく小さいのは遺伝的な要因ではなく, 積雪によって大きな根元曲がりが形成されたことが原因であると考えられる。調査プロットでは, 幹折れ, 根元割れ, 斜立・倒伏などの致命的

な雪害が多く認められ、その被害は近年に発生したと考えられる。通常、樹高が最大積雪深の2~2.5倍まではスギが埋雪されるため、その時期に雪害を受ける危険性が最も高いが、それ以降は被害がほとんど発生しないことが報告されている(四手井, 1954)。したがって、雪害危険期を過ぎた林齢40~48年の壮齢林で、現在でも致命的な雪圧害が発生していることは、スギの造林限界である4m(石川, 1969)を超える積雪が頻繁に発生していることを示している(前田, 1985)。本調査地の立木密度が著しく低いのはこのような雪圧害が原因であり、この地域は典型的な不成績造林地であると考えられる。

このような林分から選抜された雄性不稔個体の針葉色、針葉形態、樹幹型や枝張りなどの外部形態において同一林分の可稔個体との差異は認められず、調査結果から樹高、胸高直径、傾幹幅、雪害の被害形態や樹幹ヤング率との間にも大きな差は認められなかった。このことから、スギで発見された雄性不稔性は花粉の形成過程で異常が発生するが、成長、雪害、材質などの他の形質は可稔個体と変わらないことが示唆された。また、選抜された不稔個体の中でも、新大1号のようにプロット平均値と比較して樹高、胸高直径および樹幹ヤング率の値が低く、傾幹幅もやや大きく相対的に形質が劣ると考えられる個体や、逆に新大8号のように樹高、胸高直径、樹幹ヤング率のすべてがプロット平均値よりも高く、傾幹幅も小さく形質が良いと考えられる不稔個体が認められたことから、調査した11個体の不稔個体の持つ特性は多様であり、今後の交雑育種に用いる個体を選択することでさまざまな特徴を有する家系を作出することができる可能性が示唆された。

造林地におけるスギの成長や雪害は、立木密度や微地形などに大きく影響されるため、今回調査した雄性不稔個体の成長や材質および雪害の特性は、本来持っている不稔個体の特性を正確に反映していない可能性もある。そのため、より正確な特性を把握するためには、すべての雄性不稔個体を同じ環境に植栽し、クローン検定等でこれを確かめる必要があるだろう。しかし、豪雪地帯の過酷な環境条件下で育成した雄性不稔個体に関して、成長、雪害、樹幹ヤング率を指標とした材質への悪影響が検出されなかったことから、スギの雄性不稔性を林木育種事業の育種目標に取り入れ、交雑育種を進めることには問題がないと考えられる。不成績造林地由来の雄性不稔個体であっても、各育種区の精英樹と交配し、地域に合った適切な選抜を行えば、優れた形質を併せ持つ雄性不稔系統を作出することが可能である。今後は、より多くの精英樹との交配を進め、その中から形質の良い個体を選抜する必要がある。

本研究を行うにあたり、信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点の細尾佳宏助教に調査へのご協力と多大なるご指導・ご助言をいただいた。また、ヤング率の測定にあたって、富山県農林水産総合技術センター森林研究所の嘉戸昭夫博士、熊本県林業指導所の草野僚一氏に機

具をお借りし、嘉戸博士には測定手法とデータの取りまとめのご教示をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

なお、本研究の一部は、農林水産省の農林水産研究高度化事業の補助をいただいた。

引用文献

- 千葉 茂 (1953) スギ針葉の冬期における変色の遺伝 (第I報) 針葉の変色の観察及びアカスギ、ミドリスギの交雑. 日林誌 35: 286-289.
- 蓬原雄三 (1983) 収量性の突然変異. (突然変異育種. 渡辺好郎・山口彦之監修, 養賢堂, 東京). 15-23.
- Hosoo, Y., Yoshii, E., Negishi, K., and Taira, H. (2005) A histological comparison of the development of pollen and female gametophytes in fertile and sterile *Cryptomeria japonica*. Sex. Plant Reprod.: 81-89.
- 石川政幸 (1969) 多雪地帯の造林と雪. 北方林業 239: 31-34.
- 石川政幸・片岡健次郎 (1968) スギのコブ状雪害について. 林試東北支場だより 82: 1-5.
- 川名正史・吉井エリ・平 英彰 (2006) スギ雌性不稔の発現過程. 日林誌 88: 156-159.
- 菊池秀夫 (1977) スギ針葉の一形態異常の遺伝. 林試研報 298: 143-151.
- 菊池秀夫 (1978) オキナスギの白斑形質の遺伝. 日林誌 60: 337-339.
- 菊池秀夫 (1980) スギの葉緑素異常 (白緑葉) の遺伝. 林試研報 310: 163-170.
- 菊池秀夫 (1981) スギ外向鉤形針葉の次代交配家系における分離. 日林誌 63: 385-391.
- 菊池秀夫・大庭喜八郎 (1997) スギの園芸3品種 (メジロスギ, オキナスギ及びフィリスギ) における白斑形質の遺伝. 森林総研研報 374: 1-13.
- 小泉章夫 (1988) 生立木の非破壊材質試験—樹幹のヤング係数を測定する—. 北方林業 40: 2-6.
- 前田 慎三・宮川 清・谷本丈夫 (1985) 新潟県五味沢におけるブナ林の植生と跡地更新—スギ造林地の成績とブナの天然更新の提案—. 林試験報 333: 123-171.
- 中田 昇・佐々木睦男・安室喜正 (1975) チモフェービー細胞質コムギのX線誘起雄性稔性回復系統の多形質変異. 育種 25 (別1): 30-31.
- 新潟県農林水産部治山課 (1980) 収穫予想表. 172 pp, 新潟県農林水産部治山課.
- 大庭喜八郎 (1972) メアサ, キリシマメアサおよびアオスギのミドリスギ劣性遺伝子. 日林誌 54: 1-5.
- 大庭喜八郎・村井正文 (1969) イワオスギの自殖および他殖実生における葉緑素変異の発生と苗高生長について. 日林誌 51: 118-124.
- 大庭喜八郎・村井正文 (1971) スギの白子苗および淡緑色苗を生ずる劣性遺伝子. 日林誌 53: 177-180.
- 大庭喜八郎・百瀬行男・前田武彦 (1973) スギ精英樹からの異常苗の分離. 林試研報 250: 53-76.
- 大庭喜八郎・前田武彦・福原樹勝 (1974) ヨレスギの遺伝およびヨレ遺伝子と白子, ミドリスギの両劣性遺伝子との連鎖. 日林誌 56: 276-281.
- Ohba, K., Iwakawa, M., Okada, Y., and Murai, M. (1971) Paternal transmission of a plastid anomaly in some reciprocal crosses of Sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don. Silvae Genet. 20: 101-107.
- 大庭喜八郎・村井正文・杉村義一・斉藤幹夫・岡本敬三・渡辺 操・野口常介 (1967) 林木の変異に関する研究 (Ⅲ) クマスギと他のさし木スギ系統間の交雑親和性, F₁ 幼苗の生長およびクマスギで検出された2個の単一劣性遺伝子について. 日林誌 49: 361-367.
- 岡田 滋 (1991) 交雑育種事業化プロジェクト. (林木育種学. 大庭喜八郎・勝田征編, 文永堂出版, 東京). 209-220.
- 斎藤真己・平 英彰 (2005) 実用化に向けた雄性不稔スギの遺伝的改良. 林木の育種 216: 19-20.
- Saito, M., Taira, H., and Furuta, Y. (1998) Cytological and genetically studies on male sterility in *Cryptomeria japonica* D. Don. J. For.

- Res. 3: 167-173.
- 斎藤真己・古賀由美子・古田喜彦・平 英彰 (2005) 採取園産実生個体からの雄性不稔スギの選抜. 日林誌 87: 1-7.
- 佐藤啓祐 (1974) 積雪によるスギ造林木の根元曲りの形成に関する研究 (1). 山形県林試験報 4: 67-78.
- 佐藤 正・松井光瑤・蜂谷欣二 (1967) 豪雪地帯の造林技術研究の近況. 雪氷 29: 177-182.
- 四手井綱英 (1954) 雪圧による林木の雪害. 林試験報 73: 1-89.
- 四手井綱英・高橋喜平・塩田 勇 (1950) 幼齢木の雪害. 林業試験集報 56: 1-24.
- 平 英彰 (1987) スギ根元曲りの形成機構と制御方法に関する研究. 富林技研報 12: 1-80.
- 平 英彰 (2006) スギ花粉症を取り巻く諸問題—スギ雄性不稔個体の利用と開発—. 林木の育種 220: 1-3.
- 平 英彰・寺西秀豊・剣田幸子 (1993) スギの雄性不稔個体について. 日林誌 75: 377-379.
- Taira, H., Saito, M., and Furuta, Y. (1999) Inheritance of the trait of male sterility in *Cryptomeria japonica*. J. For. Res. 4: 271-273.
- 山下 淳 (1983) 突然変異育種と研究のあゆみ. (突然変異育種. 渡辺好郎・山口彦之監修, 養賢堂, 東京). 1-8.
- 山下 淳 (1991) 遺伝資源としての突然変異体. (新版植物育種学. 角田重三郎・日向康吉ら共著, 文永堂出版, 東京). 53-55.
- 横井秀一・山口 清 (1998) 積雪地帯のスギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の生育実態. 森林立地 40: 91-96.