

わが国におけるクロマツ (*Pinus thunbergii* PARL.) の 遺伝資源保存に関する集団遺伝学的研究

宮 田 増 男⁽¹⁾

Masuo MIYATA

Population Genetical Study on the Genetic Resources of Japanese
Black Pine (*Pinus thunbergii* PARL.) in Japan

要旨：わが国の代表樹種の一つであるクロマツ (*Pinus thunbergii* PARL.) を対象に、遺伝資源の現地保存における効果的な保存箇所の選定のための基礎資料を得ることを主目的として、全国22箇所のクロマツ天然生林から採取した種子の単相胚乳を用いて、6酵素種14アイソザイム遺伝子座による集団の遺伝的変異を分析した。併せて、同一種子を用いて千粒重と種皮色の変異についても調査した。その結果、次の知見が得られた。全林分の平均ヘテロ接合度 (H_T) は、0.259であり、針葉樹の中でも比較的大きい。遺伝子分化係数 (G_{ST}) は0.073で、多くの針葉樹と同程度の分化が起きていると考えられる。各林分の平均ヘテロ接合度 (H_e) は、0.21~0.27で、遺伝的変異の林分間の差は比較的小さいが、西南日本の方が東北日本に比べ遺伝的に多様な傾向にある。遺伝的な相違の程度により九州から東北を地域区分すると、大きくは、西南日本と東北日本の2地域に区分され、さらに細分すると、合計五つの地域に区分された。最低限、この五つの地域区分のそれぞれの地域において、クロマツの現地保存が必要と考えられる。種苗の配布区域においては、少なくとも西南日本と東北日本との造林事業用種苗の交流を差し控えることが肝要であろう。

目 次

1 序論	3
1.1 研究目的	3
1.2 研究の背景	4
2 マツ造林と松枯れ被害およびクロマツ林の概況	6
2.1 わが国のマツ属樹種の天然分布	7
2.2 クロマツおよびアカマツの天然分布と種特性	9
2.3 アカマツおよびクロマツの造林の歴史と松枯れ被害	11
2.3.1 造林の歴史	11
2.3.2 松枯れ被害とマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業	13
2.3.2.1 松枯れ被害	13
2.3.2.2 マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業	13
2.3.3 クロマツの現存林分の状況	14
2.4 まとめ	16
3 クロマツ天然生林22林分におけるアロザイム変異	17
3.1 はじめに	17
3.2 林木におけるアイソザイム利用の研究史	19

1995年11月29日受理

(1) 林木育種センター九州育種場

Kyushu Regional Breed. Office, National Forest Tree Breed. Center,
Nishigooshi Kumamoto 861-11

本論文は筑波大学農学博士号請求論文である。

3.3 材料および方法	21
3.3.1 材料	21
3.3.2 アイソザイム分析の方法	28
3.3.3 遺伝解析と集団遺伝学的解析	29
3.4 結果および考察	30
3.4.1 新たに検出した6対立遺伝子	30
3.4.2 集団遺伝学的解析	32
3.4.2.1 林分内の遺伝的構造	32
3.4.2.2 林分間の遺伝的差異	32
3.5 まとめ	37
4 クロマツ天然生林22林分における種子千粒重と種皮色の変異	38
4.1 はじめに	38
4.2 材料および方法	40
4.3 結果および考察	40
4.3.1 種子千粒重と種皮色の林分間および地域間差	40
4.3.2 種子千粒重と種皮色の林分内平均値および林分内変異係数と 経緯度との相関	43
4.3.2.1 種子千粒重と種皮色の林分内平均値と経緯度との相関	43
4.3.2.2 種子千粒重と種皮色の林分内変異係数と経緯度との相関	44
4.3.3 種子千粒重と種皮色間の関係	46
4.3.3.1 個体レベルでの種子千粒重と種皮色間の関係	46
4.3.3.2 林分レベルでの種子千粒重と種皮色間の相関	48
4.4 まとめ	48
5 総合考察	48
5.1 クロマツのアロザイム変異性	49
5.2 クロマツ林分間の遺伝的差異	49
5.3 アロザイム変異と種子形質の変異との関連	50
5.4 クロマツの種苗配布区域と遺伝資源保全	51
5.4.1 クロマツ種苗の配布区域	51
5.4.2 遺伝資源の現地保存箇所の選定	53
5.5 まとめ	54
摘要	55
謝辞	57
引用文献	58
Summary	65
付表. 国有林におけるクロマツ天然林の主な現存林分一覧表	66

1 序 論

1.1 研究目的

わが国でマツ（松）といえばほとんどアカマツとクロマツを意味している。アカマツ（赤松）はメマツ、メンマツ（雌松）など、クロマツ（黒松）はオマツ、オトコマツ（雄松）などの呼び名がある。両樹種とも古くから薪炭材、^{ないまつ}松明用材、建築用材、土工用材などとして利用され、近年にいたりさらに用途が広がり車両用材、坑木用材、パルプ用材として利用された。特に、クロマツは農地や市街地を守る防潮林、飛砂防止林、海岸防風林、また海岸景観林の主要樹種であるため、その造林は江戸時代から行われてきた。

本研究は、わが国の主要造林樹種であるクロマツについて、遺伝資源保存を積極的に進めるため、松枯れ被害後のクロマツ現存林分の概況調査およびアイソザイムについて遺伝様式が明らかにされたアロザイムを指標とした集団遺伝学的手法により、本州、四国および九州の各地で選定したクロマツ天然生林、22林分の遺伝的変異を明らかにしたものである。

その研究着手の第一の理由は、わが国の西南部におけるクロマツ林およびアカマツ林は、長崎市近傍で約百年前に初発した松枯れ被害を受け続けてきたため、両樹種の林分が激減し、その保全を図る必要が生じたためである。その枯損原因は長い間マツの穿孔虫類、いわゆる松くい虫と考えられ、マツノザイセンチュウが主因と解明されたのは1969年（昭和44年）である¹⁸⁰⁾。特に第二次大戦後、この被害は急増したが、当時は伐倒焼却以外に有効な防除方法はなかった。また、マツのある林分にこの被害が発生しはじめると、数年以内で全滅するほどの急性の枯損であった。マツノザイセンチュウの人工接種による比較調査の結果、クロマツはアカマツに比べ被害を受けやすい¹⁷⁾。そして、夏の高湿と乾燥が被害を助長するため低海拔地の林分の被害が甚だしく、海岸沿いの地域を主要分布地域とするクロマツの被害が顕著であった。さらに、老齢林分で松枯れ被害が発生し始めると、防潮林・飛砂防止林などの保安林以外は伐採利用されたため、クロマツ林の消滅を一層加速した。

現在、海岸地域のクロマツ保安林は、被害木の伐倒駆除（焼却・薬剤処理）により存続している。また、これら保安林には個体の枯死前の種子の自然散布による若木が育成している。これらの若木も成長するにつれ、逐次、松枯れの被害を受けている。そのため今後の保全、特に遺伝資源としての保存を図るため緊急に調査を行う必要がある。

第二の理由としては、わが国のクロマツについては集団遺伝学的研究の成果がほとんどないためである。すなわち、わが国の人工造林面積の約40%を占めるスギおよび20%を占めるヒノキ、またブナについては、すでにジテルペンあるいはアイソザイム遺伝子を利用して集団遺伝学的研究がなされ^{51) 119) 124) 140)}、それぞれ遺伝資源保存の基礎資料となっている。しかし、クロマツでは、まだそのような成果がなく、また前述のとおり松枯れ被害により老齢林分が消滅しつつある。したがって、クロマツ現存林分の所在調査とともにその保存対策の立案上もクロマツの集団遺伝学的知見が必要である。

ところで、裸子植物であるスギやマツ科の種子の胚乳は未受精のまま形成されるので単相胚乳である。したがって、母樹のヘテロ遺伝子座については、花粉親のいかににかかわらず種子単位で1:1の分離比が

期待される。そこで本研究では、全国22箇所のクロマツの天然生林分を対象に、種子ごとの単相胚乳を用いて6酵素種14アイソザイム遺伝子座の遺伝子組成を調査し、クロマツが保有する遺伝的変異、林分間の遺伝的差異を明らかにしようとした。また、併せて、同一種子を用いて、千粒重と種皮色の林分内変異と林分間変異についても調査した。これらの結果をもとに、クロマツの造林用種苗の配布区域および林木遺伝資源の現地保存箇所の選定について考察した。

1.2 研究の背景

先に述べたとおり、わが国では、「マツ（松）」という場合はほとんど二葉松のアカマツとクロマツを意味し、また、マツの木はおめでたいものとの通念がある。日本人のマツとのかかわりについて、大庭⁸⁹⁾は次のようにまとめている。

マツは古来、神が天から降りるのを待つ木あるいは祭木としてあがめられてきた。また、常緑のマツは常にかわらぬ操の象徴としてわが国の人々の心に伝えられてきた。

マツを慶事に用いるのは奈良時代に始まったようであり、正月の門松、多くの祝いごとでの松竹梅の飾り物、家紋等々のおめでたいもの、長寿繁栄のシンボルとして用いられてきた。また、現在でも通常、旅館の松の間は最上級の部屋であり、料理でも松は最上等のものを意味している。マツと日本人との付き合いは、農耕の開始とともに急速に深まったようである。本州中部以西の古い土層の花粉分析の結果では、1万～1万5千年前の晩氷期には五葉松の花粉が多い。後氷期の縄文時代の後期の約5千年前から弥生時代になると、ブナ属、コナラ属の極盛相樹種の花粉は急激に減少するとともに、草本類やマツの花粉が急増し、アカマツやクロマツの林が増加したと推定されている。このことは、常緑性あるいは落葉性の広葉樹の森林を焼き払い農耕地や放牧地化したこと、里山からの用材、薪材、飼料の採取、また原野の火入れが陽樹の先駆樹種であるマツ林の成立を促した結果と考えられている。とくに、古くからマツ材は製塩、製鉄、瓦焼き、陶・磁器などの焼き物などのための薪・木炭用、土木用材としても重要な地位を占めていた。

往時の適度の森林攪乱にともなうマツの天然下種更新による旺盛な再生力は我々の祖先の生活や子孫繁栄の祭儀と不可分の存在であった。明治以降においても、用材、薪炭材、パルプ材、石炭・鉄鉱業等における坑木材等、マツはわが国の重要な早生造林樹種の一つであった⁹⁰⁾。

このように、マツは日本人と縄文の昔からの長い歴史におよぶ付き合いがあり、精神文化や日常生活、産業などに深くとけ込んできた重要な樹種である。

クロマツ (*Pinus thunbergii* PARL.) は、マツ科 (*Pinaceae*) マツ属 (*Pinus*) に属する高木性の常緑針葉樹で、わが国では、青森県から鹿児島県までの本州、四国および九州の沿岸部を中心に広く分布し、国外では朝鮮半島南部にも分布している²⁹⁾。

従来からアカマツやクロマツ、さらには両種の間の自然交雑種であるアカクロマツなどマツの優良材の産地はかなり多かったが、いわゆる有名松といわれているものには、Fig. 1のようなものがある。なお、これらの有名松は、ムカサマツ（穆佐松）とモドウマツ（茂道松）がクロマツ系で、その他がアカマツ系である。これら有名松は、全般的に枝下高が高く、樹幹は円形に近く通直完満である。枝も細くて少ないものが多い。ただし、スワノモリマツ（諏訪森松）の枝は、少数だが比較的太い。また、有名松には材色

の美しいものが多く、材は軽くて柔らかく樹脂も少なく工作が容易で狂いも少ないので、いわゆる優良材となる⁹⁷⁾。しかし、近年、四国、九州の低海拔地の松林は松枯れ被害により失われたものが多い⁹⁸⁾。

クロマツ材の木理はほぼ通直で、心材は淡黄褐色、辺材は黄白色、辺材部の幅は広く、心材と辺材の境界は不分明である。

クロマツは、木材資源として、また、国土保全上重要な機能を有するものとして、古くから重要視されてきた。建築材、器具材、土木材、パルプ資材など用途は広く、樹木は海岸に防潮、防風用として古くから植栽された。公園樹、庭園樹、街路樹にもされ、盆栽用としても賞用されている¹⁴¹⁾。

近年、マツ材線虫病によるマツ枯損が全国的にまんえんし、西日本の低海拔地のクロマツは、アカマツ以上に壊滅的打撃を受け、当該地方のマツの造林の衰退のみならず、両樹種の遺伝資源の消失が社会的にもクローズアップされている。

このように、わが国においては、クロマツは、スギ、ヒノキなどとともに、極めて重要な樹種の一つであったが、その材の利用性、環境保全上の有用性、また景観上の特性などから、将来も重要な樹種であることは確かであろう。

ところで、1992年6月にブラジルのリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議 (UNCED) において、世界の森林の取り扱いに関する「森林原則声明」が採択され、その中において「森林の遺伝資源の源泉としての役割が認識されるべき」ことがうたわれ、また、同会議において、「生物多様性に関する条約」が公開され、1994年1月14日現在で日本を含む170か国が署名をしている。この条約においても、「～生物多様性を保全し、その構成要素を持続可能であるように利用し～」とうたわれている。すなわち、種内の多様性、種の多様性および生態系の多様性の保全を図るべきことが強調されている。このように、世界的な遺伝資源に対する認識の高まりとともに、その保全の重要性がクローズアップされてきている。すなわち、科学技術の進展による遺伝資源の利用が今後増大することが予想されることと、国土開発等により遺伝資源が減少傾向にあることから、遺伝資源の確保がますます重要となってきた。さらに、マツ材線虫病による激害を受けた西南日本で多くのクロマツ林分が消滅し、また消滅しつつある。そのため、クロマツの遺伝資源保存の方策検討とその実施は急を要する課題である。

林野庁の遺伝資源保存事業への取り組みは積極的であり、1964年から林野庁の林木育種場（現、林木育種センター）と営林（支）局、都道府県とが連携して、優良遺伝子群を確保するため、主要造林樹種を対象に「遺伝子保存林（林木遺伝資源の集団での現地外保存）」の造成が進められてきた。その結果、スギ、

1. カツチマツ (甲地松) 青森県東北町 (旧甲地村) 付近
Katsuchi-matsu (Aomori Pref.)
2. ミドウマツ (御堂松) 岩手県岩手町御堂付近
Midou-matsu (Iwate Pref.)
3. トウザンマツ (東山松) 岩手県一関市付近
Touzou-matsu (Iwate Pref.)
4. シラハタマツ (白旗松) 山形県米沢市付近
Shirahata-matsu (Yamagata Pref.)
5. ツシママツ (津島松) 福島県浪江町付近
Tsushima-matsu (Fukushima Pref.)
6. キリウエノマツ (霧上松) 長野県下浅間山麓
Kiriueno-matsu (Nagano Pref.)
7. スワノモリマツ (諏訪森松) 山梨県富士吉田市上吉田町
Suwanomori-matsu (Yamanashi Pref.)
8. ダイセンマツ (大山松) 鳥取県大山町付近
Daisen-matsu (Tottori Pref.)
9. ナメラマツ (滑松) 山口県徳地町付近
Namera-matsu (Yamaguchi Pref.)
10. オオドウマツ (大道松) 高知県十和村大道
Ohdou-matsu (Kohchi Pref.)
11. ヒュウガマツ (日向松) 宮崎県北部・大分県南部地方
Hyuuga-matsu (Miyazaki Pref.)
12. ムカサマツ (穆松) 宮崎県日向山脈前哨地帯
Mukasa-matsu (Miyazaki Pref.)
13. キリシママツ (霧島松) 霧島山麓地方
Kirishima-matsu (Kagoshima Pref.)
14. モドウマツ (茂道松) 熊本県水俣市付近
Modou-matsu (Kumamoto Pref.)

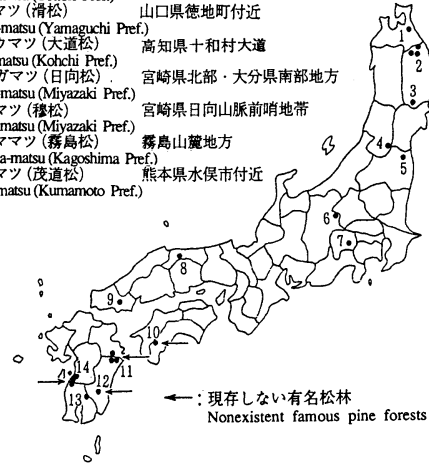


Fig. 1. 日本の有名松の分布位置図
Location map of famous pine forests in Japan

注：小沢 (1962)⁹⁷⁾ から作成。
Note: Refer to Ozawa (1962)⁹⁷⁾.

ヒノキ、マツ類などの優良林分が利用伐採される前に採種し、その実生家系によって、現在423箇所、総計1,075haの現地外保存林が造成されている⁸⁾。

また、1985年には、林木遺伝資源部門を含む5つの部門からなる農林水産省ジーンバンク事業が開始され、また、同年から10か年計画で、林野庁の委託調査として、全国の森林を対象に林木遺伝資源の現地保存候補林分の選定とその保全方策についての調査が進められている。1986年からは、営林（支）局において、国有林を対象とした林木遺伝資源の現地保存のため、主として林業用樹種および希少樹種について「林木遺伝資源保存林」の設定が進められており、現在335箇所、総計9,050ha保存されている⁹⁾。なお、林木遺伝資源の現地保存（*in situ* conservation）は、現地の森林をそのまま保存することで、現地外保存（*ex situ* conservation）は、現地の森林から種子あるいは穂木を採取して養苗し、別の場所において植栽して保存することである。

このように、特に近年、林木遺伝資源の確保に力が注がれている。林木遺伝資源の主な保存形態としては、①種子等生殖質での保存、②樹木園などにおけるクローンでの現地外保存、③森林での集団による現地外保存および④現地の森林をそのまま保存する現地保存があげられる。なお、林木の場合、種子等生殖質などの永久保存技術が未完成なこと、種子から成木に至る年数が長いこと、さらに多数の未造林樹種をも保存する必要があるため、生体保存、それも現地（林分）保存を主体とした遺伝資源保存が進められている。そして、種多様性および種内の遺伝的多様性を確保する観点からも、集団での現地保存が重要視されている。このうち、種内の遺伝的多様性の確保を主目的としたものとして、国有林では、保存林分ごとに単数あるいは複数の保存対象樹種を明確にした「林木遺伝資源保存林」の設定が進められている。今後、林木遺伝資源の現地保存については、国有林における保存林の追加設定や設定箇所の修正、民有林での設定が進められるものと考えられる。

以上のように国際的また国内的にも林木遺伝資源の保存の重要性が認められ、各種の施策がとられている。その施策を支援する科学的基礎は保存対象樹種の分布現況とそれらがもつ遺伝変異に関する情報である。そこで、本研究ではわが国におけるクロマツ天然生林の分布概況をまとめ、天然生林22林分についてアロザイム変異および種子千粒重と種皮色の変異を明らかにし、クロマツの遺伝資源保存について各種施策の基礎事項を明らかにするとともに一つの提言をまとめた。

2 マツ造林と松枯れ被害およびクロマツ林の概況

研究の背景の項で述べたように、従来わが国においてはマツは、その幹材・根・枝葉の利用とともに精神的なバックグラウンドとして人々の生活と不可分であった。そのため、自然の落下種子による天然更新とともに養成したマツ苗の人工植栽造林も実施されてきた。

本題のマツ造林と松枯れ被害およびクロマツ林の概況の調査結果を述べるに先立ち、わが国におけるマツ属樹種の天然分布およびクロマツの種特性を概説する。

2.1 わが国のマツ属樹種の天然分布

マツ科 (*Pinaceae*) マツ属 (*Pinus*) には世界中で約100種があり⁴⁰⁾, マキ科のマキ属に次いで種数が多い¹²⁾。マツ属樹種は、北半球の寒帯から熱帯にわたって分布し、北は極地から南はカナリア諸島、北アフリカ、アフガニスタン、ヒマラヤ、スマトラ、フィリピン、中央アメリカ、西インド諸島を結ぶ線まで分布している。

わが国には、6種と2変種、2種間交雑種が分布しており、二葉松類のアカマツ (*Pinus densiflora*), クロマツ (*Pinus thunbergii*), アカクロマツ (*Pinus densi-thunbergii*, 交雑種), リュウキュウマツ (*Pinus luchuensis*) と、五葉松類のゴヨウマツ (マルミゴヨウマツ) (*Pinus parviflora*), キタゴヨウマツ (*Pinus parviflora* var. *pentaphylla*, 変種), ハイマツ (*Pinus pumila*), ハッコウダゴヨウ (*Pinus hakkodensis*, 交雑種), チョウセンゴヨウ (*Pinus koraiensis*), ヤクタネゴヨウ (*Pinus armandi* var. *amamiana*, 変種) がある⁷⁾。

クロマツおよびアカマツの天然分布と種特性は後述することとし、Fig. 2にわが国のマツ類の天然分布を示した。キタゴヨウマツ、ハイマツおよびハッコウダゴヨウは中部以北の山地に分布している。ハッコウダゴヨウはハイマツとキタゴヨウマツの自然雑種であり、立山・八甲田山などに離散分布している。

チョウセンゴヨウは中部地方の山地が主要な分布地である。ヤクタネゴヨウは屋久島と種子島に、リュウキュウマツは南西諸島に分布している。

上記のマツ類のうち、キタゴヨウマツとチョウセンゴヨウは建築材 (化粧材), 建具, 桶・樽・盆などの器具材, 楽器用材として利用されてきたが、植栽造林はなされていない。リュウキュウマツは精英樹選抜育種が実施されているが、松枯れ被害を受けやすく、造林は低調である。

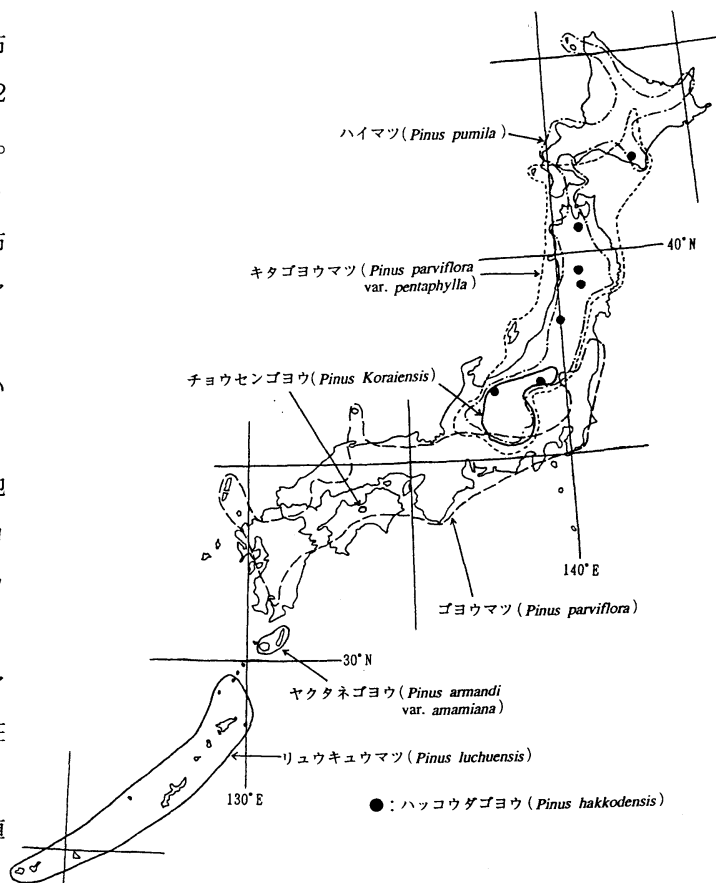


Fig. 2. わが国のマツ類 (アカマツとクロマツを除く) の天然分布
Natural distribution of Japanese pines (excepting Japanese red pine and Japanese black pine)

注：林 (1969)³⁰⁾, 倉田 (1971)⁴⁰⁾ から作成。

Note: Refer to HAYASHI (1969)³⁰⁾ and KURATA (1971)⁴⁰⁾.

以下、花粉分析の結果に基づいて、わが国の最終氷期以降のマツ属樹種の分布の変遷について、中国山地を中心に三好の著書⁵⁵⁾を参考に略述する。

わが国では、ヨーロッパや北アメリカ大陸が大規模な氷河に覆われていた最終氷期の最寒冷期にも、日

高地方や日本アルプスに小規模な氷河が発達した程度で、氷河による森林の全面的な後退という現象は起こらなかった。

マツ属の中でもチョウセンゴヨウは、古くから分布していた。種子や球果や葉の化石が本州、四国および九州の各地から多数発見されており、最も古い化石は、第四紀洪積世の初頭の地層から発見された。チョウセンゴヨウは、第四紀の氷河時代の寒冷気候のもとで日本列島の各地に広く分布したが、沖積世になって気候が温暖化するとともに、平野部から消えさってゆき、現在の中部山岳地帯や四国の赤石山脈にのみ生き残っているとされている³²⁾。

中国山地にある海拔610mの大沼における花粉分析結果からみると、最終氷期最盛期の約20,000年前頃には、亜寒帯性針葉樹のモミ属、トウヒ属、ツガ属の各樹種と五葉松、ダケカンバとみられるカバノキ属樹種が優先する森林で、大陸性の乾燥気候下にあった。約15,000年前頃から、世界的に氷河が後退しはじめる晩氷期になると、次第にこれら亜寒帯性針葉樹は減少しはじめ、冷温帯性広葉樹のミズナラを主とするコナラ亜属樹種とブナ属樹種が増加をはじめる。

約10,000年前の後氷期に入ると、温暖化とともに日本海に暖流が入り込むようになり、海洋性の湿潤な気候に転じた。この頃には亜寒帯性樹林はほぼ姿を消し、コナラ亜属とブナ属を中心とした落葉性広葉樹林が極相林を形成した。

最終氷期最盛期から晩氷期にかけては、五葉松の樹種が主役であり、火山噴火地域と海岸近くを除いて、アカマツを中心とした二葉松のマツ属樹種が群落構成種の主役として登場することは、ほとんどなかった。後氷期になると、暖地性の陽樹であるアカマツやクロマツは、その風散布種子によって分布域を広げ、生態的にはヤブツバキクラス域ならどこでも生育可能と考えられた。しかし、土壌が深くて適当な湿度をもった平坦地や緩やかな傾斜地では、シイ、カシ、タブなどの常緑広葉樹との競合に負けてしまう。したがって、アカマツの自然林は他の広葉樹の生育に不適な尾根筋や湿地周辺などのせき悪な立地に成立し、クロマツは海岸の後砂丘や断崖の尾根や岩上などの厳しい環境下で生き延びてきたと推定されている³⁴⁾。これを証明するように、内陸部や山地での花粉分析において、アカマツとみられるマツ属花粉が過去2,000年より古い堆積物中で10%以上も連続的に出現するところは、雲仙岳のように火山の噴火により絶えず自然植生が破壊されているところを除いて、あまり例がない³⁶⁾。それに対して、海岸近くの堆積物中では、対馬の田ノ浜⁷⁶⁾、島根県の宍道湖³⁷⁾、青森県の月見野⁷⁵⁾のように6,000～3,000年前の地層から、クロマツとみられるマツ属樹種の花粉がかなり出現するところがある。

以上のように、マツ属の中でもチョウセンゴヨウはかなり古くから分布し、気候変動により分布域を大きく変化させてきたが、クロマツは、比較的新しく出現したのと考えられ、6,000～3,000年前から九州から東北部にかけて、海岸近くはかなり分布してきたと考えられる。

すなわち、クロマツは温暖な地域に生育する樹種であることから最終氷期以降の気候の温暖化にともない、わが国の南西部の分布域から北上して分布を拡大したと考えられる。しかも、クロマツの現在の天然分布（Fig. 3参照）が主として沿岸地域であることから、南西部に分布していたクロマツ集団が、日本海沿岸と太平洋沿岸に沿った2つの経路で北上したものと考えられる。

2.2 クロマツおよびアカマツの天然分布と種特性

クロマツは、日本および朝鮮南部に分布する常緑高木である。わが国での天然分布は、Fig. 3 のようになっており³⁰⁾、青森県下北半島の先端大間崎の北緯 $41^{\circ} 34'$ から鹿児島県トカラ列島の宝島の北緯 $29^{\circ} 03'$ の間である。そして、四国、九州の南部を除いてはほとんどが沿岸部に分布している。垂直分布の範囲は、最低が北緯 31° 線から北緯 37° 線の間の海岸にしばしば見られる海拔0m、最高が北緯 35° 線にある鳥取県下の大山国有林の海拔950m付近に見られるものである。一般にクロマツがよく生育している地域は、北緯 $36^{\circ} \sim 41^{\circ}$ では海岸地帯の海拔1~80mであり、北緯 $29^{\circ} \sim 35^{\circ}$ では海岸地帯の海拔約1~400mの間である。

クロマツの天然分布域の環境をみると以下のようになっている²⁹⁾。

水平的にみて、クロマツの分布する地域の年平均気温は、約 8.9°C から 21°C の間である。天然分布の北限地の青森県下北半島の先端、大間崎のク

ロマツ自生地の海拔約5~50mにおける最寒月の平均最低気温は、比較的この地に近い田名部の観測値からの推定によると約 $-6.1^{\circ}\text{C} \sim -6.3^{\circ}\text{C}$ である。生育地の最高地点である鳥取県大山の海拔約950mにおける最寒月の平均最低気温は、大山の観測値からの推定によると -4.1°C であり、北限地の大間崎の気温よりはるかに高い。天然分布の南限地トカラ列島の宝島の海拔約2mの自生最低地における最暖月の平均最高気温は、屋久島の永田の気温からの推定によると約 32.9°C である。

クロマツは、激烈な寒気にあうと枯死する。クロマツの分布密度の多い地方、たとえば南海、九州、東海などの気候区はいずれも暖帯の地である。クロマツは多くが沿海の低海拔地に生育していることからみても気温に影響されることが多いように思われる。とくに冬季の低温はクロマツの分布に強い制限を加えているようである。

クロマツの自生する地域の年降水量は約1,000mmから4,000mmである。しかし、分布密度の高い地域はアカマツと反対に年降水量が多く2,000mmから3,000mmくらいである。そして降水が冬季に少なく、梅雨期や台風期に多い湿潤な気候下において最もよく生育するようである。クロマツの天然分布がある地域の土壌の主な母岩は、安山岩、花崗岩、石英粗面岩、頁岩、粘板岩、砂岩、礫岩、珪岩などである。

クロマツは海岸性樹種であり、海水あるいは潮風に対する抵抗力が強く、常にこれらの影響を受ける海岸砂地上において多くの純林を形成するが、漸次、内陸に入るに従って分布密度が減少するようになる。クロマツは、砂土はもちろん壤土、埴土にも生じ、また乾燥にも耐える力が強く、浅い土壌の稜線、海岸

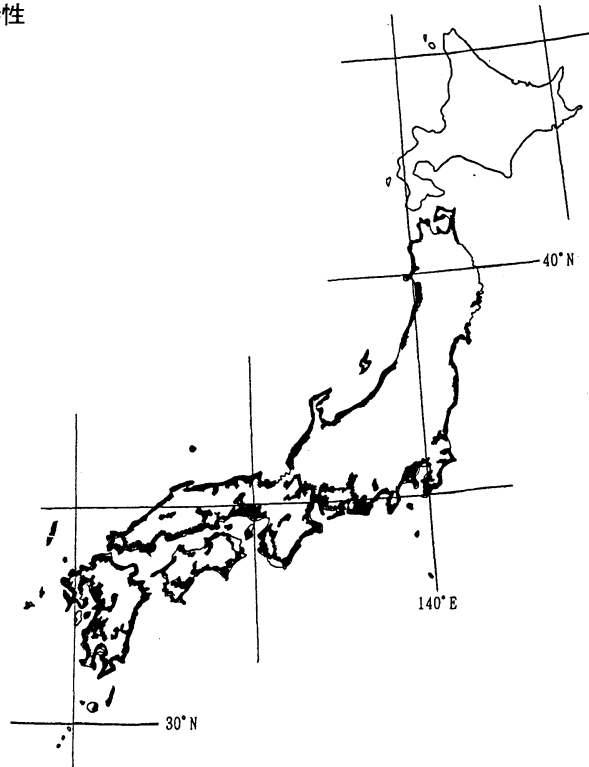


Fig. 3. クロマツの天然分布
Natural distribution of Japanese black pine

注：林 (1969)³⁰⁾ から作成。

Note: Refer to HAYASHI (1969)³⁰⁾.

の岸壁，あるいは岩石上などの極めて地味せき悪な乾燥地にも育ち，土壌に対する適応性はかなり広い。また，反対に低地で海水の侵入するような湿地にも耐え生育する。内陸の丘陵地帯でアカマツとクロマツが混生するところでは，クロマツは斜面の下部や谷あい地などの土壌が深く適潤の地に優勢であるが，アカマツは反対に斜面の中部以上の浅い土壌の乾燥地に多い。

クロマツと他樹種との競争についてみると，海岸地帯ではクロマツと競争している樹種はアカマツ，イブキ，イヌマキなどの針葉樹，タブノキ，ヤブニッケイ，ヒメユズリハなどの広葉樹である。内陸ではアカマツ，シイ，カシ類，タブノキ，イスノキなどである。これらの樹種のうちでは，アカマツとの生存競争が最も激しい。しかし，海岸砂地の場合には，クロマツの方が適し，アカマツは生じて後にも後に圧倒されることが多い。海岸でも砂地でない場合はアカマツの方が優勢であることがある。海岸地帯の内陸寄りでは，地形，土壌などに支配され住みわけすることもあるが，一般にクロマツがアカマツにおされる場合が多い。海岸地帯ではアカマツはマツカレハ（食葉性害虫）の被害を受けることが多いがこれと混交するクロマツに被害のない例がしばしば見られる。これなども海岸地帯にクロマツの純林の多い一因であろうと思われる。

クロマツは大部分低地に生育し，人による伐採が行われやすい。しかし，沿岸地では飛砂防止，防潮，風致などのさまざまな保安林に指定され保護されているところが多いので，伐採のため天然分布地域が全く失われてしまったというところは少ない。

アカマツは，本州，四国，九州，朝鮮半島および中国東北部の暖帯から温帯下部に分布する常緑高木である。日本では，内陸部に多いが海岸近くにもあり，海拔2～1,500mの間に多くが生育している。垂直分布の最高は長野県南佐久郡川上村大山の頂上，海拔約2,290mである。北限は青森県下北郡大間の北緯41° 31′で，南限は屋久島の北緯30° 15′である。なお，わが国でのアカマツの天然分布を図示すれば，Fig. 4のようになっている³⁰⁾。

アカマツは，降水量が比較的少ない地方で十分な陽光があたり，適度の湿気があり，やや肥沃なところで最もよく生育する。しかし，砂地，野原，岩石地などの地味の悪いところでも育ち，強い乾燥にも耐える。

アカマツとクロマツの樹冠は，幼木では円錐形であるが，老木になると太い枝を水平にだし，ほぼ傘形になる。

マツ属樹種は，雌雄同株で，単性花をつける。花芽の分化期は，アカマツとクロマツで詳しく調べられており，アカマツの場合，東京付近では雄花の原基の分化は開花前年の7月中旬～下旬，雌花の原基の分化

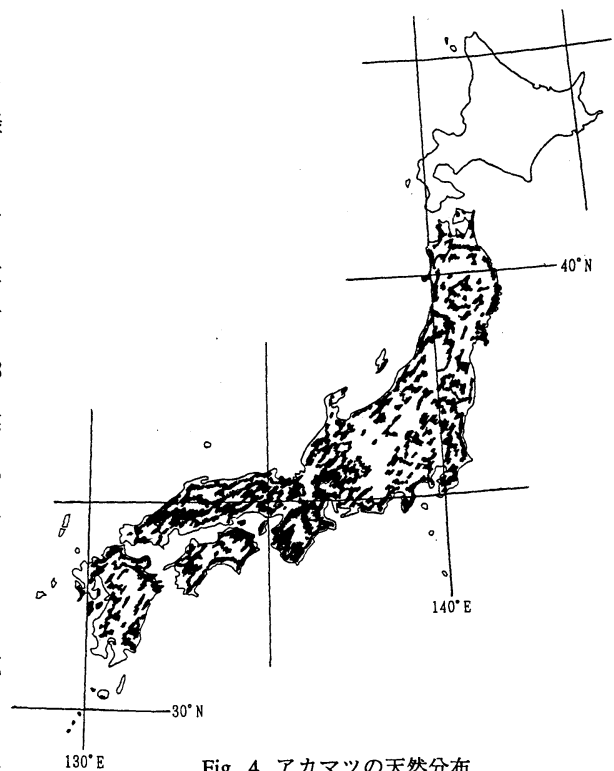


Fig. 4. アカマツの天然分布
Natural distribution of Japanese red pine

注：林(1969)³⁰⁾から作成。
Note: Refer to HAYASHI (1969)³⁰⁾.

は同じく8月中旬ごろからで、クロマツはこれより約1週間遅れる¹⁸⁾。雄花、雌花の開花期は、アカマツ、クロマツでは、4月中旬から5月上旬、五葉松類では5～6月ごろである。

球果は、卵形ないし円筒形を呈し、成熟時には下向、あるいは枝に直角につく。開花の翌年の秋9月から10月に成熟し、10月以降タネを飛散する³¹⁾

結実年齢については、二葉松類で比較的良好に調べられているが、五葉松類ではほとんど調べられていない。アカマツおよびクロマツにおいては、苗畑の段階で着花する個体もみられるが、結実をはじめる年齢は15～20年と考えられる。また、アカマツ、クロマツでは豊凶の差が少なく、毎年あるいは1年おきに並作以上の結実をする。五葉松類では、外国の測定例によると、3～5年位の周期があるようである³⁹⁾。

2.3 アカマツおよびクロマツの造林の歴史と松枯れ被害

2.3.1 造林の歴史

わが国の造林の歴史は古いが、経済事業として造林に着手したのは、おそらく300～400年前といわれている⁷⁾。そして、江戸時代の造林樹種は、針葉樹ではスギ、ヒノキ、マツが主体を占め、その他ヒバ、モミ、ツガで、広葉樹ではクヌギ、ナラ、カシ、ケヤキ、クス、キリ、ウルシなどであった¹²⁾。明治時代に入ると、造林の主体はスギとヒノキとなったが、マツの造林も積極的に行われた。明治時代後半から大正時代の全樹種の造林（人工造林）面積に占めるマツの造林面積の割合は、12%～20%³⁹⁾と比較的大きな比重を占めていた。

1927年以降の全樹種の造林面積およびマツ類（アカマツ・クロマツ）の造林面積の推移はFig. 5のとおりであり、1960年代半ばまでは、マツ類の占める割合は、20%前後で推移している。1970年代に入り松枯れ被害が急増するとともに、マツ類の造林面積は急激に減少してきている。Table 1から明らかなように、近年のアカマツおよびクロマツの造林面積は、1960年代の1/100程度にまで減少してきている。

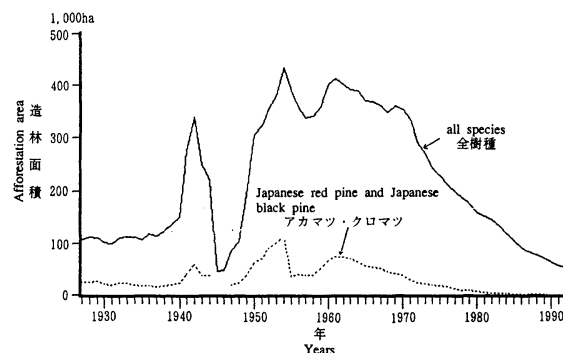


Fig. 5. わが国における造林面積の推移

Transitions of afforestation area of Japanese red pine, Japanese black pine and all species in Japan

注：解説日本林業統計(1967)¹⁰⁰⁾、林業統計要覧(1968～1991)¹⁰¹⁾および林木育種事業統計(1992～1994)⁹⁸⁾から作成。

Note: Refer to the explanation of Japanese forestry statistics (1967)¹⁰⁰⁾, the outline of forestry statistics (1968～1991)¹⁰¹⁾ and the statistics of forest tree breeding project (1992～1994)⁹⁸⁾.

マツ類の森林面積は、Table 1のとおり、約200万haあるが、全森林面積に占める割合は、北海道と沖縄を含む全国で9%に過ぎない。なお、東北、近畿および中国の各地方にはマツ林が比較的多い。

アカマツは、東北地方で人工造林が比較的多いものの、ほとんどが天然更新へと移行している。また、クロマツは、古くから海岸防災林の造成を主体に造林されてきており、近年においてもその造成の主体をなしているが、松枯れ被害対策として、今後、マツ材線虫病に抵抗性を有するマツの導入や広葉樹との混交林の造成が増加するものと予想される。

Table 1. アカマツおよびクロマツの森林面積と年次別造林面積
Forest area and afforestation area of Japanese red pine and Japanese black pine

地 域 District	アカマツとクロマツの森林面積* Forest area of Japanese red pine and Japanese black pine (1,000ha)(%)			造 林 面 積 Afforestation area (ha)													
	天然林 Natural forest	人工林 Man-made forest	合 計 Total	ア カ マ ツ Japanese red pine							ク ロ マ ツ Japanese black pine						
				1965	1970	1975	1980	1985	1990	1992	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1992
北海道 Hokkaido	0(0)	4(0)	4(0)	253	13	4	1	0	0	0	29	16	55	23	18	16	13
東 北 Tohoku	143(6)	390(21)	533(12)	18,837	18,043	10,502	5,593	1,833	418	170	908	433	198	77	54	46	35
北 陸 Hokuriku	39(4)	36(9)	76(5)	1,567	836	431	243	49	18	12	187	63	60	21	14	14	40
関東・東山 Kanto・Tozan	84(6)	162(13)	245(9)	9,331	6,823	2,061	584	132	74	45	369	196	37	15	8	6	3
東 海 Tokai	90(11)	82(8)	172(9)	1,138	415	23	6	0	3	0	1,491	254	154	6	1	7	3
近 畿 Kinki	149(16)	49(6)	199(11)	3,635	1,370	265	25	5	8	11	1,031	295	140	25	14	17	10
中 国 Chugoku	474(35)	188(21)	661(30)	12,406	8,562	2,195	318	30	23	7	1,906	905	343	94	76	66	20
四 国 Shikoku	76(15)	40(5)	116(9)	1,724	803	58	3	3	14	7	1,522	555	196	15	9	12	20
九 州 Kyushu	34(3)	73(5)	107(4)	2,092	337	26	13	2	3	5	3,044	490	35	8	6	33	18
沖 縄 Okinawa	0(0)	0(0)	0(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合 計 Total	1,090(8)	1,024(10)	2,113(9)	50,983	37,202	15,565	6,786	2,054	561	257	10,487	3,207	1,218	284	200	217	162

注：林業センサス累年統計書（1993）⁸⁴⁾，林業生産統計年報（1977，1991）⁸⁵⁾ および林木育種事業統計（1992，1994）⁸⁶⁾ から作成。* 1990年現在の数値を表す。
括弧書きの数値は，全森林面積に対するアカマツ・クロマツの森林面積の占める割合を表す。

Notes: Refer to the annual statistics of forestry census (1993)⁸⁴⁾，the annual report of forestry production statistics (1977，1991)⁸⁵⁾ and the statistics of forest tree breeding work (1992，1994)⁸⁶⁾ . * Each figure shows values on 1990. Figures in parentheses show values (%) of Japanese black pine and Japanese red pine forest area component for all forest area.

2. 3. 2 松枯れ被害とマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業

2. 3. 2. 1 松枯れ被害

マツ材線虫病によるマツ枯損と思われる現象が最初に記載されたのは、1905～1906年の長崎市の被害であるという。その後、Fig. 6のように全国へ蔓延していった。被害は年々激化し、終戦直後の1946～1950年には九州、山陽地方を中心に毎年被害材積100万 m^3 を越えるマツ枯損が発生した³⁵⁾。その後小荒状態を保っていたが、次第に海岸部から内陸部へ、温暖地方から寒冷地方へと拡大し、1970年代に入り枯損材積は急上昇し、1979年には、240万 m^3 にも達した。その後、徐々に減少してきているが、現在、マツノザイセンチュウが確認されていない地域は、青森県と北海道のみである。

関東以西のマツ枯損の激害の原因は、徳重・清原³⁶⁾ 128) らによってマツノザイセンチュウ (*Bursaphelench-us xylophilus* (STEINER et BUHRER) NICKLE) (以下「材線虫」という。) によるものであることが明らかにされた。これは萎凋病であり、マツ材線虫病と呼ばれている。材線虫はマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* HOPE) によって運ばれ、マツの新条のマツノマダラカミキリの後食痕から樹体内に侵入し、発病させる³⁷⁾ 44) 60)。なお、真宮⁴³⁾ は、材線虫は北アメリカ由来と報告している。また、クロマツはアカマツに比べはるかに罹病性が高い¹⁷⁾。

1970年代以降、特に、西日本の多くのアカマツやクロマツは、激甚な被害を受けた。なお、マツ材線虫病によるマツの枯損量の推移はFig. 7のようになっている。

特に、海岸地域および平野部の老齢クロマツ林は壊滅的な被害を受けた。それらの中で、一部の地域では天然更新による幼齢林が被害を受けながら存続している。

2. 3. 2. 2 マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業

マツ材線虫病によるマツ枯損対策の一環と

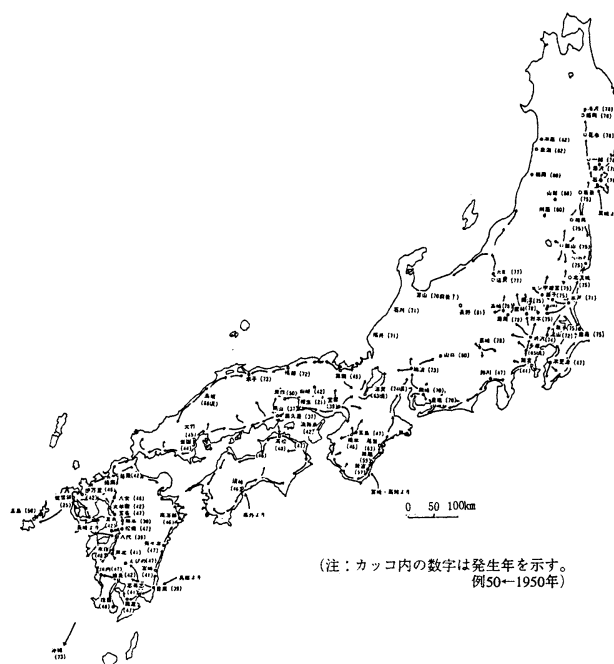


Fig. 6. マツノザイセンチュウの蔓延(岸, 1988)³⁵⁾
The spread of pine wood nematode (KISHI, 1988)³⁵⁾.

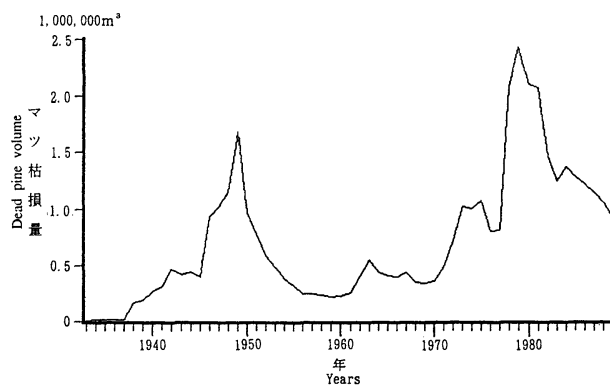


Fig. 7. マツ材線虫病によるマツ枯損量の推移
The transition of dead pine volume by pine wilt disease

注: 岸(1988)³⁵⁾ および林業統計要覧(1991)¹⁰¹⁾ から作成。
Note: Refer to KISHI (1988)³⁵⁾ and the outline of forestry statistics (1991)¹⁰¹⁾.

してのマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業の成果の概要を、戸田の著作¹²⁶⁾などを参考に整理した。

マツ材線虫病に対し抵抗性を有するマツを育成することを目的として、1971年から約7年間の事業計画研究を経て、1978年から7年計画で西日本の14県と国の林木育種場が共同で、「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」が行われた。

最初の3年間で激害林分の中で生き残ったアカマツ11,446本、クロマツ14,620本の抵抗性候補木が選抜された。次いでこれらの候補木をつぎ木で増殖した2年生苗木に苗1本あたり1万頭の材線虫を接種し抵抗性が検定された。抵抗性の判定は、対照としたテーダマツ (*Pinus taeda* L.) の実生苗と生存本数率および健全本数率が同等以上という対比により行われた。なお、テーダマツは、米国南東部に分布している三葉松のマツ属の一種であり、わが国にも導入・試植されている。そして、マツノザイセンチュウに対して強い抵抗性をもっている。2回の検定に合格した抵抗性個体は、アカマツ92本、クロマツ16本の合計108本である。

これらの抵抗性個体を用い1992年度末現在で17haの採種園が造成されており、抵抗性種苗が生産され始めている。

また、1992年度からは、東北、北陸、山陰地方等の地域において、同様の「東北地方等マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」が開始されている。

2.3.3 クロマツの現存林分の状況

遺伝資源保存対策の立案の基礎資料として、本州、四国および九州におけるクロマツの現存林分の状況を調査・整理した。

本調査は、第二次世界大戦後のわが国の経済発展にともなう海岸地域の開発、また利用伐採のためのクロマツ林の減少、さらには松枯れ被害によるクロマツ林の激減の結果を受けて、クロマツの遺伝資源保存の緊急性により、保存可能な林分の所在および面積を明らかにする目的で実施したものである。

現存している三保の松原、天の橋立などのクロマツの著名な林分およびその他の主な海岸林を遠藤らの著作¹²⁾を参考に整理するとTable 2のようになる。また、同表のクロマツの海岸林ならびに営林(支)局の1988年4月1日現

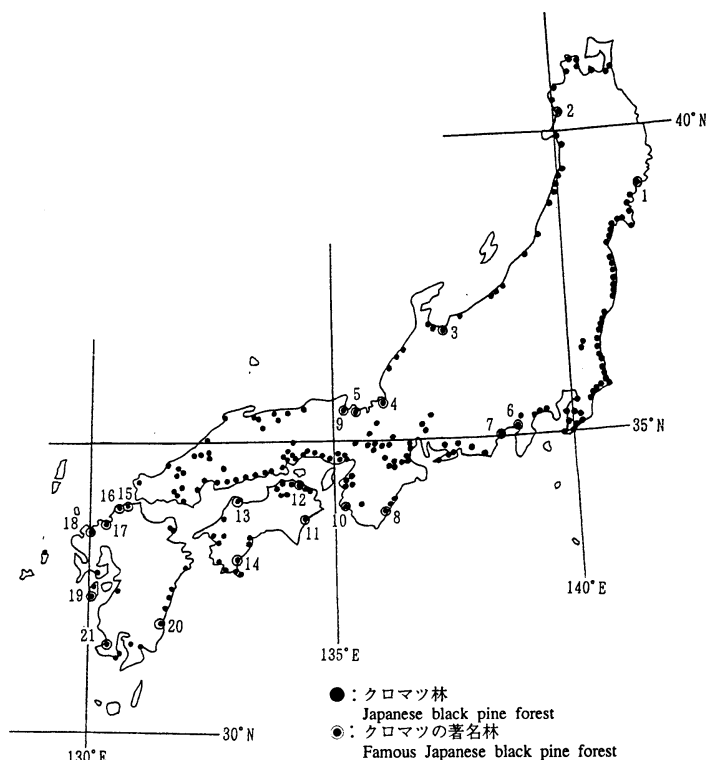


Fig. 8. クロマツの主な現存林分の分布図 (Table 2 参照)
Location map of existing principal Japanese black pine forests (cf. Table 2)

注: 各番号は、Table 2 における著名林の番号を示す。
Note: Individual stand number shows famous Japanese black pine forests of Table 2.

Table 2. クロマツの著名林およびその他の主な海岸林
Famous forests and other principal coastal forests of Japanese black pine

Prefecture	所在地	著名松林 [No.] (その他の主な海岸林)
Aomori	青森県	下北郡六ヶ所村 (棚沢山の松林)
"	"	北津軽郡市浦村～西津軽郡 鯨ヶ沢町 (屏風山の松林)
Iwate	岩手県	陸前高田市 高田の松原 [1]
Miyagi	宮城県	宮城郡矢本町 (矢本町のクロマツ林)
Akita	秋田県	能代市 風の松原 [2]
"	"	南秋田郡天王町・秋田市 (秋田海岸林)
"	"	本荘市～由利郡象潟町 (本荘海岸林)
Yamagata	山形県	酒田市 (庄内海岸林)
Fukushima	福島県	双葉郡富岡町 (富岡小良ヶ浜のマツ林)
"	"	いわき市 (舞子浜の海岸林)
Ibaraki	茨城県	那珂郡東海村 (東海村村松海岸林)
"	"	那珂郡大洗町～鹿島郡波崎町 (鹿島灘の海岸林)
Chiba	千葉県	海上郡飯岡町～長生郡一宮町 (九十九里の海岸林)
"	"	館山市 (平砂浦海岸林)
"	"	富津市 (富津岬の海岸林)
Kanagawa	神奈川県	藤沢市～中郡大磯町 (湘南の海岸林)
Niigata	新潟県	村上市 (村上市の海岸林)
"	"	北蒲原郡紫雲寺町 (紫雲寺町藤塚浜の海岸林)
"	"	中頸城郡柿崎町 (柿崎の海岸林)
Toyama	富山県	富山市 古志の松原 [3]
"	"	下新川郡朝日町 (宮崎海岸林)
"	"	高岡市 (雨晴海岸林)
"	"	氷見市 (松太江浜海岸林)
Ishikawa	石川県	小松市 (安宅林の海岸林)
"	"	加賀市 (砂浜海岸林)
Fukui	福井県	板井郡芦原町 (波松海岸林)
"	"	敦賀市 気比の松原 [4]
"	"	大飯郡高浜町 和田の松原 [5]
Shizuoka	静岡県	沼津市 千本松原 [6]
"	"	清水市 三保の松原 [7]
"	"	小笠郡浜岡町 (浜岡海岸林)
Aichi	愛知県	渥美郡渥美町 (伊良湖～小中山の海岸林)
Mie	三重県	熊野市～和歌山県新宮市 七里御浜海岸林 [8]
Kyoto	京都府	宮津市 天の橋立 [9]
Wakayama	和歌山県	有田郡美浜町 煙樹ヶ浜松原 [10]
Tottori	鳥取県	東伯郡羽合町～大栄町 (北条砂丘の海岸林)
"	"	米子市 (弓浜海岸林)
Shimane	島根県	簸川郡大社町 (稲佐浜の海岸林)
Tokushima	徳島県	海部郡海南町 大里の松原 [11]
Kagawa	香川県	大川郡津田町 津田の松原 [12]
Ehime	愛媛県	今治市 志島ヶ原海岸林 [13]
Kohchi	高知県	幡多郡大方町 入野松原 [14]
Fukuoka	福岡県	遠賀郡芦屋町・岡垣町 三里松原 [15]
"	"	宗像郡玄海町 さつき松原 [16]
"	"	福岡市 生の松原 [17]
Saga	佐賀県	唐津市・東松浦郡浜玉町 虹の松原 [18]
Nagasaki	長崎県	南高来郡千々石町 (千々石海岸林)
Kumamoto	熊本県	天草郡天草町 白鶴ヶ浜の海岸林 [19]
Ohita	大分県	杵築市 (奈多海岸林)
"	"	南海部郡蒲江町 (波当津海岸林)
Miyazaki	宮崎県	児湯郡都農町～佐土原町 (都農町～佐土原町の海岸林)
"	"	宮崎市 一ツ葉海岸林 [20]
Kagoshima	鹿児島県	日置郡市来町～加世田市 吹上浜海岸林 [21]
"	"	曾於郡大崎町・肝属郡東串良町 (州崎海岸林)

在の森林調査簿などから、クロマツの主な現存林分の分布図を作成するとFig. 8のようになる。さらに、同森林調査簿から天然林の主な現存林分（付表. 参照）の面積および材積を都府県別に集計するとTable 3のようになる。その結果、著名な林分が21箇所あり、さらに国有林においてクロマツ天然林が716箇所現存し、その面積2,248haであることを明らかにした（Fig. 8, Table 3）。このほか林野庁所管以外の国有林、公有林および私有林にもかなりのクロマツ林が現存している。

林³⁰⁾はわが国におけるクロマツ天然分布は本州（三陸地域およびその他一部地域を除く）・四国・九州の海岸沿いの地域の全域にわたっていることを示している。そして九州・四国・中国の各地域の海岸地帯ではその全域にクロマツの分布が多いと記載されている（Fig. 3 参照）。この林³⁰⁾の記載と本調査のクロマツ林の箇所数・面積との絶対的な比較はできないが、本調査ではマツ枯れ被害が多かった九州地域の国有林には19箇所、558haがあり、同じく四国地域の国有林には68箇所、330haがあり、まだかなりのクロマツ林が現存していることを明らかにした。これらの現存クロマツ林が遺伝資源保存の対象としての可否、また可の場合それらの林分の選定方法を明らかにすることが本論文の研究課題の一つである。

2.4 まとめ

わが国におけるクロマツは、木材資源として、また国土保全上重要な機能を有するものとして、古くから重要視されてきている。ところが、近年、マツ材線虫病によるマツ枯損が全国的にまんえんし、西日本の低海拔地域のクロマツ林は、アカマツ林以上に壊滅的な打撃を受け、当該地

Table 3. 国有林におけるクロマツ天然林の主な現存林分
(Appendix 1 参照)
Present principal natural stands of Japanese black pine
in national forests in Japan (cf. Appendix 1)

府 県 Prefecture	林分数 Number of stands	面積 Area* (ha)	材 積 Volume** (m ³)
青 森 Aomori	25	48	5,600
宮 城 Miyagi	98	219	31,060
秋 田 Akita	63	100	30,700
山 形 Yamagata	88	189	33,730
福 島 Fukushima	64	111	26,840
茨 城 Ibaraki	15	34	3,950
千 葉 Chiba	9	28	2,660
東 京 Tokyo	12	20	1,990
石 川 Ishikawa	21	137	13,670
福 井 Fukui	5	24	2,660
岐 阜 Gifu	1	1	130
静 岡 Shizuoka	7	4	910
愛 知 Aichi	16	21	1,170
三 重 Mie	8	8	710
滋 賀 Shiga	25	39	4,360
京 都 Kyoto	2	1	40
兵 庫 Hyogo	31	53	3,710
和歌山 Wakayama	3	8	1,220
鳥 取 Tottori	15	35	5,700
島 根 Shimane	10	19	1,710
岡 山 Okayama	11	31	2,580
広 島 Hiroshima	92	212	30,860
山 口 Yamaguchi	8	17	1,950
香 川 Kagawa	56	313	24,530
愛 媛 Ehime	7	9	1,030
高 知 Kohchi	5	8	1,010
福 岡 Fukuoka	10	391	53,030
宮 崎 Miyazaki	1	1	80
鹿児島 Kagoshima	8	166	39,330
合計 Total	716	2,248	326,920

注：* クロマツの占有面積，** クロマツの材積。

Notes: * Occupied area of Japanese black pine; ** Volume of Japanese black pine.

方のマツ造林の衰退のみならず、両樹種の遺伝資源の消失が社会的にもクローズアップされている。

クロマツは、スギ、ヒノキなどとともに極めて重要な樹種の一つであったが、その材の利用性、環境保全上の有用性、また、景観上の特性などから将来も重要な樹種であることは確かであろう。

わが国の主要造林樹種であるこのクロマツについて、遺伝資源としての現地保存を進めるための基礎情報を得るため、まず、本章においては、松枯れ被害後の現存林分の概況を取りまとめた。

江戸時代以降マツ類（アカマツ・クロマツ）の造林は、スギ、ヒノキとともに積極的に行われてきた。1920年代以降1960年代半ばまでの全樹種の造林面積に占めるマツ類の造林面積は、20%前後であった。1970年代に入り松枯れ被害の急増および全体の造林量の落ち込みにともなって、マツ類の造林量は急激に減少し、近年のマツ類の造林量は、1960年代の1/100程度にまで減少してきている。

マツ類の森林面積は、約200万haあるが、全森林面積に占める割合は、北海道と沖縄を含む全国で9%に過ぎない。なお、東北、近畿および中国の各地方にはマツ林が比較的多い。

今後のクロマツの遺伝資源についての現地保存を進めるための基礎資料として、遠藤らの著作¹²⁾ならびに営林（支）局の森林調査簿などを参考に、クロマツ現存林分の分布図を作成するとともに、同森林調査簿からクロマツ天然林の700箇所余りの現存林分一覧表を付表として整理した。

3 クロマツ天然生林22林分におけるアロザイム変異

3.1 はじめに

序論でも述べたように、林木遺伝資源の保存においては、種内の遺伝的多様性の確保の観点から、特に森林状態での現地保存が重視されている。そして、本研究においては、遺伝資源としてのクロマツの現地保存の方法、とりわけ保存箇所の効果的な選定方法の検討を進めるための基礎情報を得るために、アロザイムを指標として全国的規模での天然生林集団の集団遺伝学的な解析を行った。

アカマツやクロマツなどにおいても質的形質の遺伝の研究は、色素変異や形態変異などから着手され、次いでアイソザイム、DNA変異の解析へと進んでいる。

アカマツの葉緑素変異には、白子、黄子、淡緑、白初生葉、Transient albino がある。交配試験の結果、これらの変異苗は、それぞれ単一の劣性遺伝子により遺伝すると考えられている⁸⁰⁾。また、アカマツのてんぐ巣病状形態苗も、遺伝的なものであることが確認されている⁵⁷⁾。

クロマツについては、黄子が単一の劣性遺伝子により遺伝することが明らかにされている⁸⁰⁾。クロマツについては、そのほかにも、村井⁸⁷⁾が行った文献整理によると、白子、淡緑、白初生葉の葉緑素変異および形態変異の4種類の遺伝子が明らかにされており、いずれも劣性遺伝子である。

ちなみに、その他の樹種についても、主なものとして次のような色素変異や形態変異などの遺伝の研究が行われてきた。

スギについては、葉先の外向き鉤形の特殊形態が、2つの優性の補足遺伝子の相互作用によって発現すると推定されている³⁸⁾。また、成熟雄花の色は、黒色、茶色および黄色の3色があり、それらは1対の遺伝子によって支配され、不完全優性遺伝をすると推定されている¹³²⁾。スギの成熟前の球果の色は、緑色から黒

色までの5段階の不連続な変異が認められており、それは、2対の等価同義遺伝子によって支配されていると推定されている¹³³⁾。これら以外にも、スギについての多くの遺伝子が確認されており、村井⁹⁷⁾が行った文献整理によると、たとえば、葉緑素変異では、父性遺伝する黄金スギや単一劣性ホモで発現する白子、淡緑、白緑、白初生葉および白斑が確認されている。また、形態変異についても、現在20種ほどが分類されている。そのほとんどは自殖により分離した形態変異であり、それらの対立性はほとんど確認されていないが、多くのものは劣性遺伝子によって支配されている。

ヒノキについても、村井⁹⁷⁾が行った文献整理によれば、白子、黄子、淡緑、黄金、白～黄初生葉、初生葉淡緑、春期白葉および冬期ミドリの葉緑素変異、ならびに多初生葉、ホーキボ（苗がほうき状のもの）、多幹（苗が多幹でホーキボと同様にほうき状になるものであるが、ホーキボとの対立性は確認されていない）、わい性などの形態変異がある。これらはすべて劣性遺伝子である。

外国の樹種についても、FRANKLIN⁹⁸⁾がマツ科の多くの樹種について、葉緑素変異や形態変異の文献整理を行っているが、その多くのものが劣性遺伝子によって支配されている。

以上の例示のように、アカマツやクロマツなどさまざまな樹種において、ほとんどが劣性遺伝子によって支配されている葉緑素変異や形態変異が確認されているが、これらの遺伝子は、存在頻度が極めて低いため、集団遺伝学的研究への利用には不適當と考えられる。

従来、遺伝育種研究における遺伝的変異の把握の指標としては、針葉形等の形態的変異や白子、黄子等の色素変異が用いられてきた。近年、これらに加えてアイソザイムが広く用いられるようになってきている。

アイソザイムという言葉は、もともと基質特異性を同じくする酵素種の分子多型を意味し、MARKERT and MøLLER⁹⁹⁾によって提唱された。そして、現在、アイソザイムは酵素多型の内でも遺伝的な差異に由来することが明らかなもののみを指す用語として用いられている。なお、遺伝様式が確定したアイソザイム遺伝子をアロザイムという。

アイソザイムは、形態等の遺伝的指標に比べ、次のような優れた点を有している。

- ① 遺伝子（DNA）の一次産物であるため環境の影響を受けにくい。
- ② 自然選択に対して中立であるため、消滅する危険性が少ない。
- ③ 高頻度で分布しているものから低頻度で分布しているものまでさまざまな遺伝子が存在している。
- ④ 対立遺伝子間に優劣性がなく共優性であるため、多くの場合、バンドパターンから遺伝子型を直接判定することが可能である。

ところで、クロマツに関する全国的な天然林集団のアイソザイムによる遺伝的変異の調査分析が、SAKAI *et al.*¹⁰⁰⁾ および HAYASHI *et al.*²⁰⁾ により行われている。パーオキシダーゼアイソザイムの各バンドの出現頻度をもとに、集団間や地域間の変異や緯度および経度との相関を分析している。出現バンド数と緯度および経度との間には有意な相関関係がみられ、すなわち北に向かうに従い、また東に進むに従いバンド数が減少するという地理的変異が確認されている。しかし、各バンドが遺伝的に支配されていることの検討はまだなされていない。遺伝子支配が明らかな対立遺伝子レベルでの調査分析が必要である。

この項においては、アイソザイム分析を利用した国内外における主な林木の遺伝学的研究を概観した。

そして、本論では、わが国におけるクロマツの天然分布域をほぼカバーした天然生林22林分を対象に、アロザイム変異の集団遺伝学的解析によって、わが国のクロマツの地域区分を試みた。

3.2 林木におけるアイソザイム利用の研究史

近年、前述のようなアイソザイムの持つ優れた特性を利用して、多くの遺伝学的研究が行われてきた。林木においても、さまざまな樹種について多数のアイソザイム遺伝子が検出され、これらを標識としてクローン同定や集団の遺伝的変異などに関するさまざまな研究が行われている。

まず、標識遺伝子の探索を年代順にみれば、これまで、ヨーロッパトウヒ⁴²⁾、ヨーロッパアカマツ¹⁰³⁾、リギダマツ²³⁾、バージニアマツ¹³⁷⁾、ポンドローザマツ⁹⁶⁾、ヨーロッパブナ³⁴⁾ 48)、テーダマツ¹⁾、バルサムモミ⁷⁹⁾、ダグラスモミ¹¹⁾、ヒノキ¹¹⁷⁾ 118) 135)、ヨーロッパクロマツ⁸³⁾、アメリカカラマツ⁵⁾、イチョウ¹³⁰⁾、クロマツ¹¹⁶⁾、コウヨウザン⁶⁶⁾、ヨーロッパモミ¹⁰⁹⁾、スギ⁹⁶⁾ 131)、アカマツ⁷³⁾、チョウセンゴヨウ¹²⁹⁾、トドマツ⁷⁰⁾、ダグラスモミ³⁾、ミズナラ³⁸⁾、オオシラビソ¹²³⁾、シラベ⁵³⁾ 111)、ウラジロモミ⁵³⁾、ハイマツ¹⁹⁾ など、さまざまな樹種で遺伝子分析が行われてきた。

ところで、SHIRAISHI¹¹⁶⁾によるクロマツのアイソザイムの遺伝子分析では、日本国内において精英樹として選抜された個体のうち37個体についてのつぎ木クローンから採取した種子の胚乳を用いて、ポリアクリルアミドゲルによる電気泳動により、Table 4のとおり19酵素種について37遺伝子座の120対立遺伝子が明らかになっている。

そして、アイソザイム遺伝子間の連鎖関係の解析が、ヨーロッパアカマツ¹⁰⁴⁾、リギダマツ²²⁾、アメリカカラマツ⁵⁾、クロマツ¹¹⁵⁾、コウヨウザン⁶⁵⁾、アカマツ⁷²⁾、ヨーロッパシラカンバ²⁷⁾、ダグラスモミ³⁾ などについて行われている。

クローン分析についても、ヨーロッパグリのつぎ木クローンの同定¹³⁾、スギ在来品種のクローンの同定⁹⁰⁾ 94)、ヒノキさし木在来品種の南郷桧のクローン分析¹³⁶⁾ などが行われている。

また、集団の遺伝的構造や地理的変異の解析についても、ポンドローザマツ⁵²⁾ 138)、ヨーロッパブナ⁴⁸⁾ 125)、ヨーロッパクロマツ⁸³⁾、テーダマツ¹⁰²⁾、ヨーロッパアカマツ²¹⁾ 64)、アレップマツ¹⁰⁷⁾、ヒノキ¹¹⁹⁾ 135)、イチョウ¹³⁰⁾、カラブリアマツ⁶⁾、アカマツ⁷²⁾ 74)、ダグラスモミ⁹⁸⁾ 121)、コウヨウザン⁶⁶⁾、オオシラビソ¹²³⁾、ブナ⁵¹⁾ 124)、ハイマツ¹⁶⁾、シベリアアカマツ²⁰⁾、タイワンスギ⁴¹⁾ など多くの樹種で行われている。

採種園や天然林の交配様式の推定、すなわち、自殖率や他殖率の推定、樹冠の位置による自殖率の違い、採種園における周辺の天然林からの花粉汚染状況の推定なども、ヨーロッパアカマツ⁶¹⁾ 62) 112)、テーダマツ²⁾、ダグラスモミ⁹⁾ 10)、ヨーロッパブナ⁴⁸⁾ などで行われている。

さらに、ヨーロッパアカマツ天然林の上層木、下層木および上層木から採取した種子の胚の3世代についての遺伝的構造¹⁴²⁾、ヨーロッパトウヒの無水亜硫酸の感受性の強いものと弱いもののそれぞれのクローングループ間の遺伝的な相違¹⁰⁶⁾、ヨーロッパブナの森林環境ストレスに対する抵抗性個体群と感受性個体群間の遺伝的な相違⁶³⁾、ヒノキ天然林の繁殖様式¹¹⁰⁾ などの解析や、リギダマツにおける天然林から採取した種子による稚苗についての形態的形質の地理的変異とアイソザイムの地理的変異の類似性の解析¹⁵⁾ などが行われてきた。

Table 4. 白石¹¹⁶⁾ がクロマツの19酵素種において確認した遺伝子座と対立遺伝子
 Loci and alleles detected in each locus for the 19 enzyme systems in Japanese black pine
 by SHIRAIISHI¹¹⁶⁾

酵素種 Enzyme	遺伝子座 Locus	対立遺伝子 Allele									
		No.	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
Alcohol dehydrogenase (ADH)	<i>Adh-1</i>	3		26	29	30					
	<i>Adh-2</i>	1		33							
	<i>Adh-3</i>	4	null	35	38	41					
Sorbitol dehydrogenase (SoDH)	<i>Sod</i>	4		33	34	35	36				
Shikimate dehydrogenase (ShDH)	<i>Shd-1</i>	3		35	38	40					
	<i>Shd-2</i>	8		38	40	41	42	43	44	46	49
Glycerate dehydrogenase (G2D)	<i>G2d</i>	3	null	25	31						
Malate dehydrogenase (MDH)	<i>Mdh-1</i>	3	null	18	19						
	<i>Mdh-2</i>	2		26	29						
Malic dehydrogenase (ME)	<i>Me-1</i>	6	null	13	14	15	16	17			
	<i>Me-2</i>	1		34							
	<i>Me-3</i>	2		38	40						
6-Phosphogluconate dehydrogenase (6PGD)	<i>6Pg-1</i>	3		30	34	36					
	<i>6Pg-2</i>	4		32	33	34	35				
	<i>6Pg-3</i>	2	null	55							
Glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD)	<i>G6p</i>	3		17	18	18H					
Glutamate dehydrogenase (GDH)	<i>Gdh</i>	2		13	15						
Peroxidase (POD)	<i>Px</i>	2	null	42							
Tetrazolium oxidase (TZO)	<i>Tzo-1</i>	1		32							
	<i>Tzo-2</i>	1		45							
	<i>Tzo-3</i>	2	null	74							
	<i>Tzo-4</i>	8	null	79	80	82	83	84	85	86	
Glutamate oxaloacetate transaminase (GOT)	<i>Got-1</i>	2		13	18						
	<i>Got-2</i>	4	null	28	30	31					
	<i>Got-3</i>	1		34							
Glucokinase (GK)	<i>Gk</i>	4	null	36	38	42					
Phosphoglucomutase (PGM)	<i>Pgm-1</i>	3	null	37	40						
	<i>Pgm-2</i>	5		52	56	57	58	59			
Esterase (Est)	<i>Est-1</i>	3		28	29	30					
	<i>Est-2</i>	4	null	36	38	40					
	<i>Est-3</i>	4	null	49	51	54					
	<i>Est-4</i>	2	null	85							
Amylase (Amy)	<i>Amy</i>	4	null	43	48	51					
Leucine aminopeptidase (Lap)	<i>Lap-1</i>	5		43	45	45L	46	47			
	<i>Lap-2</i>	5	null	58	62	62L	63				
Fumarase (FM)	<i>Fm</i>	2		24	27						
Phosphoglucose isomerase (PGI)	<i>Pgi</i>	4	null	20	21	23					
合計 Total	19	37	120								

注：対立遺伝子の下欄の数字は、各対立遺伝子によって支配されているバンドのRf値を表す。

Note: Figures under alleles are Rf values of bands encoded by them.

前述のとおりクロマツについては, SHIRAISHI¹¹⁶⁾ は胚乳を用いてアイソザイムの遺伝子分析を行い, 19酵素種で計37遺伝子座, 総計120対立遺伝子を報告した。本研究においては, SHIRAISHI¹¹⁶⁾ によって検出された6酵素種, 14遺伝子座の変異を分析したが, *Got-1* および *Got-3* ではそれぞれ3個, 計 6個の対立遺伝子を新たに検出した。わが国のクロマツについてアロザイムレベルでの集団遺伝学的手法により地域分化を明らかにしたのは本研究が初めてのものである。

3.3 材料および方法

3.3.1 材料

クロマツの遺伝的変異を全国的に広く調査するため, 本州, 四国および九州の沿岸地域に分布する天然生クロマツについて, Table 5およびFig. 9に示した青森県から鹿児島県に至る16県下での22林分から母樹別に球果を採取し, 材料とした。各採取林分は, 海岸から20km以内で, 海拔200m以下に位置している。本研究は, 関東, 東北の両地域のクロマツの調査から着手した。ついで, 西日本を調査し, 九州, 四国, 中国, 近畿・中部の各地域においても最少限各2林分から球果を採取した。採取母樹は林分内でランダムに選定した。ただし, 採取する母樹が, 近縁の個体にならないように, 原則的として20m程度以上離すようにした。1林分あたり100個体程度の母樹から球果を採取することを目安とした。ただし, 球果の着生が少ない林分や面積が比較的狭い林分では, 50個体前後の母樹からしか球果を採取できなかった林分もある。林分ごとの球果採取の母樹数は, Table 5のとおりであり, 合計1,584個体から個体別に球果を採取した。なお, 球果採取は日当たりのよい陽樹冠部に着生している球果を, 母樹あたり数個・数十個採取するように行った。

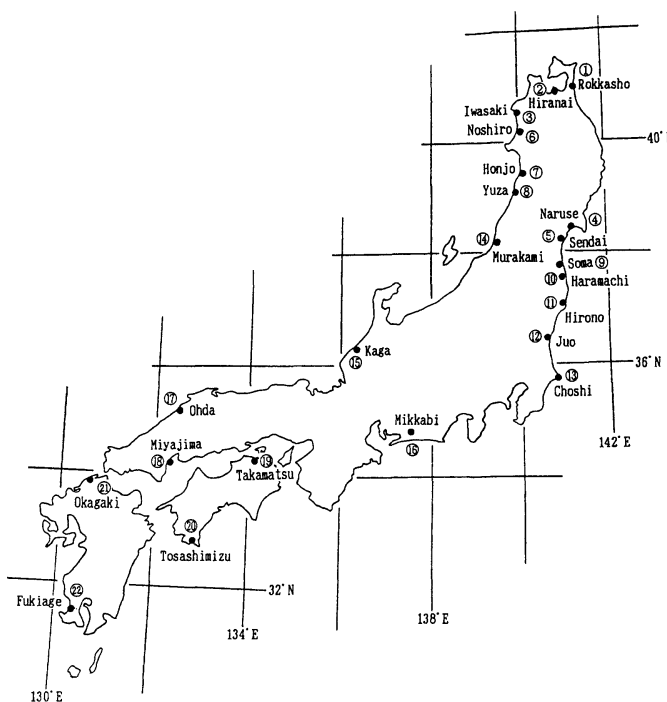


Fig. 9. 球果の採取林分的位置
Locations of Japanese black pine stands where cones were collected

各採取林分の概況は以下のとおりである。ただし, クロマツの林分面積, 林齢, 樹高および胸高直径は, いずれも目測によるものである。なお, 球果の採取時期は, 1988年, 1989年, 1991年および1992年の秋季の9月20日から11月7日の間であった。

各採取林分の概況は以下のとおりである。ただし, クロマツの林分面積, 林齢, 樹高および胸高直径は, いずれも目測によるものである。なお, 球果の採取時期は, 1988年, 1989年, 1991年および1992年の秋季の9月20日から11月7日の間であった。

① 六ヶ所村 (青森県)

球果採取林分は, 下北半島南部の太平洋に面した断崖上に位置し, 20ha程度の面積で, ミズナラ・その

Table 5. クロマツの球果の採取地
Locations of Japanese black pine stands where cones were collected

No.	林分 Stand	県 Prefecture	緯度 Latitude	経度 Longitude	海拔高 Elevation	球果採取母樹数 Number of sampled trees
①	六ヶ所 Rokkasho	青森 Aomori	41° 07' N	141° 24' E	40m	51
②	平内 Hiranai	"	40° 59' N	140° 53' E	10	123
③	岩崎 Iwasaki	"	40° 33' N	139° 57' E	50	48
④	鳴瀬 Naruse	宮城 Miyagi	38° 21' N	141° 07' E	10	106
⑤	仙台 Sendai	"	38° 11' N	140° 56' E	10	93
⑥	能代 Noshiro	秋田 Akita	40° 12' N	140° 00' E	10	103
⑦	本荘 Honjo	"	39° 22' N	140° 03' E	20	53
⑧	遊佐 Yuza	山形 Yamagata	39° 06' N	139° 54' E	50	57
⑨	相馬 Soma	福島 Fukushima	37° 46' N	141° 00' E	10	47
⑩	原町 Haramachi	"	37° 37' N	141° 02' E	10	56
⑪	広野 Hirono	"	37° 13' N	141° 01' E	10	61
⑫	十王 Juo	茨城 Ibaraki	36° 41' N	140° 44' E	10	110
⑬	銚子 Choshi	千葉 Chiba	35° 43' N	140° 52' E	10	58
⑭	村上 Murakami	新潟 Niigata	38° 13' N	139° 27' E	10	67
⑮	加賀 Kaga	石川 Ishikawa	36° 19' N	136° 17' E	10	101
⑯	三ヶ日 Mikkabi	静岡 Shizuoka	34° 50' N	137° 31' E	200	91
⑰	大田 Ohda	島根 Shimane	35° 14' N	133° 31' E	20	37
⑱	宮島 Miyajima	広島 Hiroshima	34° 16' N	132° 19' E	10	66
⑲	高松 Takamatsu	香川 Kagawa	34° 22' N	134° 06' E	20	43
⑳	土佐清水 Tosashimizu	高知 Kohchi	32° 43' N	132° 52' E	10	51
㉑	岡垣 Okagaki	福岡 Fukuoka	33° 53' N	130° 37' E	20	91
㉒	吹上 Fukiage	鹿児島 Kagoshima	31° 30' N	130° 19' E	20	71
合計 Total						1,584

他の広葉樹を交えたクロマツ林である。樹高は20m, 胸高直径は20~30cm程度で, 100年生前後の比較的高齢な林分である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛で, しかも幼齢木も散見される。

(Photo. 1参照)



Photo. 1. 青森県六ヶ所村における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ① Rokkasho Village, Aomori Prefecture

② 平内町 (青森県)

球果採取林分は, 夏泊半島の北端に近い陸奥湾に面した海岸に位置し, 7ha程度の面積で, 海岸の傾斜20度前後の斜面に成立したカ

シワ・ミズナラ・その他の広葉樹を交えたクロマツ林である。樹高は15m, 胸高直径は15~25cm程度で, 壮齢から高齢に至る林分で, クロマツの樹勢は旺盛で, かつ幼齢木も多い。

③ 岩崎村 (青森県)

球果採取林分は, 青森県南西部の海岸から5km近く内陸に入った山地の30ha程度の面積で, クロマツとミズナラ・その他広葉樹との混交林である。樹高は15~20m, 胸高直径は20~30cm程度で壮齢から高齢に至る林分で, クロマツの樹勢は旺盛である。

(Photo. 2参照)

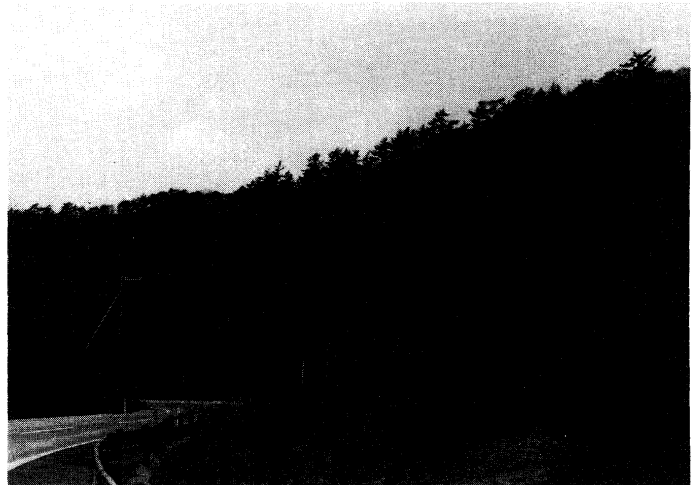


Photo. 2. 青森県岩崎村における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ③ Iwasaki Village, Aomori Prefecture

④ 鳴瀬町 (宮城県)

球果採取林分は, 仙台湾に面した海岸近くの平坦地に位置し, クロマツとアカマツが群状的に混交している8ha程度の面積である。100年生を越える林分で, 樹高は15m, 胸高直径は20~30cm程度である。クロマツの樹勢は旺盛である。

⑤ 仙台市 (宮城県)

球果採取林分は, 仙台市郊外の海岸近くの比較的平坦地に位置し, 広葉樹を交えた10ha程度のクロマツ林である。高齢な林分で, 樹高は20~25m, 胸高直径は20~50cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺

盛である。

⑥ 能代市（秋田県）

球果採取林分は、秋田県北西部の日本海に面した平坦地の海岸林で、70ha程度の比較的大面積である。ほぼクロマツの純林で一部に広葉樹を交えている。100年生を越える高齢林で、樹高は20m、胸高直径は20～40cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛である。

⑦ 本荘市（秋田県）

球果採取林分は、秋田県南西部の海岸から5km近く内陸よりのほぼ平坦地にある3ha程度の比較的小面積のクロマツ林である。100年生を越える高齢林で、樹高は20m、胸高直径は20～30cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛である。

⑧ 遊佐町（山形県）

球果採取林分は、山形県北西部の海岸から5km程度内陸よりの起伏の複雑な5ha程度のクロマツ、アカマツ、タブノキ、その他広葉樹の針広混交林である。壮齢林で、クロマツの樹高は10～20m、胸高直径は10～30cm程度であり、幼齢木も比較的多い。

⑨ 相馬市（福島県）

球果採取林分は、福島県北東部の海岸近くの平坦地に位置し、3ha程度の比較的小面積のクロマツのほぼ純林である。100年生を越える高齢林で、樹高は20m、胸高直径20～35cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛である。
(Photo. 3参照)



Photo. 3. 福島県相馬市における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ⑨ Soma City,
Fukushima Prefecture

⑩ 原町市（福島県）

球果採取林分は、福島県北東部の海岸近くの平坦地に位置し、4ha程度のクロマツのほぼ純林である。100年前後の高齢林で、樹高は20m、胸高直径は20～35cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛である。

⑪ 広野町（福島県）

球果採取林分は、福島県東部の起伏の複雑な3ha程度の比較的小面積のクロマツの海岸林である。一部にアカマツを交えている。100年生前後の高齢林で、樹高は20m、胸高直径は20～40cm程度である。マツ材線虫病の被害によりクロマツの本数密度がやや低くなっている。(Photo. 4参照)



Photo. 4. 福島県広野町における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ⑪ Hirono Town,
Fukushima Prefecture

⑫ 十王町（茨城県）

球果採取林分は、茨城県北東部の平坦地にある15ha程度のクロマツの海岸林である。100年生を越える高齢林で、樹高は20～25m、胸高直径は20～40cm程度である。当地も広野町と同様に、マツ材線虫病の被害によりクロマツの本数密度がやや低くなっている。

⑬ 銚子市（千葉県）

球果採取林分は、千葉県北東部の平坦地にある15ha程度のクロマツの海岸林である。100年生近くの林分で、樹高15～20m、胸高直径15～40cm程度である。全般にクロマツの樹勢は旺盛であるが、大径木の活力はやや低下している。

⑭ 村上市（新潟県）

球果採取林分は、新潟県北西部の海岸近くのやや起伏のある一部アカマツを交えた10ha程度のクロマツ林である。100年生近くの林分で、樹高は20m、胸高直径は20～30cm程度である。クロマツの樹勢は旺盛である。



Photo. 5. 石川県加賀市における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ⑮ Kaga City,
Ishikawa Prefecture

⑮ 加賀市（石川県）

球果採取林分は、石川県の南西部に位置し、地形はやや起伏のある10ha程度のクロマツ林である。

100年生近くの林分で、樹高は20m、胸高直径は15～30cm程度である。クロマツの樹勢は旺盛で、幼齡木も比較的多く見られる。(Photo. 5参照)

⑯ 三ヶ日町（静岡県）

球果採取林分は、静岡県の浜名湖の北西部の愛知県境の海拔200m程度の山林に位置し、クロマツにアカマツと広葉樹を交えた15ha程度の針広混交林である。クロマツの樹勢は旺盛で、幼齡木も比較的多くみられる。

⑰ 大田市（島根県）

球果採取林分は、島根県中部の日本海に面した起伏の多い海岸林である。広葉樹を交えた3ha程度の比較的小面積のクロマツ林である。100年生を越える高齢林で、樹高20m、胸高直径20～40cm程度である。1991年の球果採取直前の台風により、一部幹折れが見られる。広葉樹が比較的多く、クロマツの本数密度は低くなってきている。

⑱ 宮島町（広島県）

球果採取林分は、広島県の瀬戸内海に浮かぶ宮島の海岸林で、クロマツとアカマツが群状に混交し、広葉樹も混在している。数十haの比較的大面積である。100年前後の高齢林で、樹高15～20m、胸高直径15～40cm程度である。1991年の球果採取直前の台風により、海岸林全体が潮害で葉が赤くなっている。また、一部に根返りや幹折れが見られる。マツ材線虫病の被害も見られる。海岸の岩場には、幼齡木が比較的多く見られる。(Photo. 6参照)

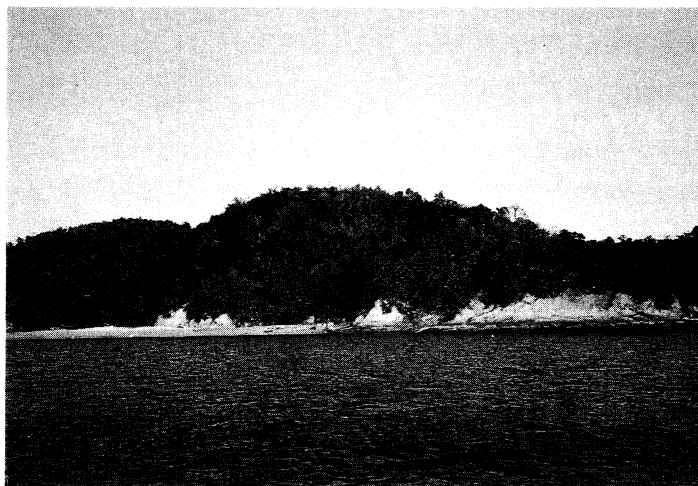


Photo. 6. 広島県宮島町における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ⑱ Miyajima Town,
Hiroshima Prefecture

⑲ 高松市（香川県）

球果採取林分は、香川県北部の瀬戸内海に面した海岸から内陸にかけてのやや起伏のある林分である。クロマツとアカマツが群状に混交し、広葉樹も交えている。100ha程度にも及ぶ比較的大面積のマツ林である。100年生を越える高齢林で、樹高は15～25m、胸高直径は20～40cm程度である。マツ材線虫病の被害が点々と発生している。

⑳ 土佐清水市（高知県）

球果採取林分は、高知県南西部の太平洋に面した10ha程度のクロマツの海岸林で、広葉樹が混在している。主として海岸の岩場に生育している。幼壮齡木と高齡木が混交している。樹高は10～20m、胸高直径は10～30cm程度である。クロマツの樹勢は旺盛であるが、マツ材線虫病の発生が見られる。なお、この地域の内陸寄りの山林のクロマツは、マツ材線虫病により大径木の多くは姿を消しており、その子孫の幼齡木が点々と更新してきている。(Photo. 7参照)



Photo. 7. 高知県土佐清水市における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ⑳ Tosashimizu City, Kochi Prefecture

㉑ 岡垣町（福岡県）

球果採取林分は、福岡県北部の響灘に面した平坦地の100haを越えるクロマツの海岸林で、一部に広葉樹が混交している。100年生を越える高齡林で、樹高は15～20m、胸高直径は15～40cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛であるが、マツ材線虫病の被害が点々と見られる。

㉒ 吹上町（鹿児島県）

球果採取林分は、薩摩半島西部の海岸に面した平坦地の数十haのクロマツ林である。100年生を越える高齡林で、樹高は15～20m、胸高直径は15～40cm程度である。クロマツの樹勢はいまだ旺盛であるが、マツ材線虫病の被害が点々と見られる。(Photo. 8参照)



Photo. 8. 鹿児島県吹上町における球果の採取林分
Natural stand where cones were collected in ㉒ Fukiage Town, Kagoshima Prefecture

採取した球果は、1週間程度、屋外の日当たりのよい場所で乾燥

させた。次に、球果から種子を取り出し、布袋に種子を入れ手揉みにより羽根を取り除いたうえ、風選機で精選を行った。そして、精選した母樹別種子は実験に供するまで5℃の種子貯蔵庫内に保存した。

なお、雌性配偶体はFig. 10のように、被子植物でも裸子植物でも胚のう母細胞(2n)の減数分裂によっ

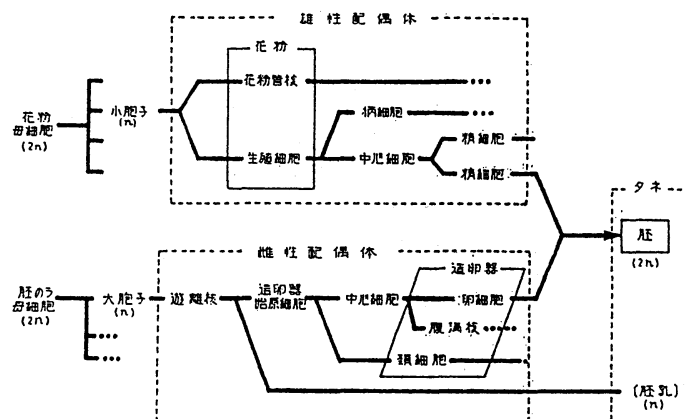


Fig. 10. スギにおける配偶体の発育 (横山, 1975)¹⁴³⁾
 Developmental scheme of the male and female gametophytes in
Cryptomeria japonica (YOKOYAMA, 1975)¹⁴³⁾

注：()内は核相 (n:単相, 2n:複相) を示す。
 Note: Words in parentheses show nuclear phase: namely,
 n, haplophase; 2n, diplophase.

てつくられた大孢子 (n) の1個が発育したもので、母方由来の単相 (n) である。しかし、裸子植物であるスギ科やマツ科の種子の胚乳は未受精のまま形成されるので単相胚乳である。したがって、母樹のヘテロ遺伝子座については、花粉親のいかににかかわらず種子単位で1:1の分離比が期待される。そこで本研究におけるクロマツのアイソザイム分析においては、種子の単相胚乳を用いて行った。

種子は、アイソザイム分析の前処理として、4℃の低温湿層処理を約1カ月間行ったのち、胚乳を実験に供した。

3.3.2 アイソザイム分析の方法

アイソザイム分析は、前述の胚乳を用いて、酵素の抽出、平板ポリアクリルアミドゲル垂直電気泳動法による泳動、ゲルの染色・固定、泳動像の読みとりの順に行った。分析の細部の手法は、白石の方法^{113) 114)}にほぼ従って行った。ただし、粗抽出液分離のための遠心分離は、11,000 × g, 0℃で30分間行った。

集団遺伝学的解析を行うための母樹の遺伝子型の調査にあたっては、

Table 6. 本研究において分析した酵素種とアイソザイム遺伝子座の名称

Names of enzyme systems and loci investigated in this study

酵素種 Enzyme	遺伝子座 Locus
Alcohol dehydrogenase (ADH)	<i>Adh-1</i> <i>Adh-2</i> <i>Adh-3</i>
Shikimate dehydrogenase (ShDH)	<i>Shd-1</i> <i>Shd-2</i>
6-Phosphogluconate dehydrogenase (6PGD)	<i>6Pg-1</i> <i>6Pg-2</i> <i>6Pg-3</i>
Glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD)	<i>G6p</i>
Glutamate oxaloacetate transaminase (GOT)	<i>Got-1</i> <i>Got-2</i> <i>Got-3</i>
Leucine aminopeptidase (LAP)	<i>Lap-1</i> <i>Lap-2</i>
合計 Total	6 14

各母樹につき6粒の種子の胚乳を個々にホモジナイズし使用した。ただし、グルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの *Got-1* および *Got-3* の両遺伝子座の新たな対立遺伝子の遺伝子分析にかかわる10母樹については、1:1の分離比を確かめるため、各母樹あたり25粒程度の種子の胚乳を使用した。

分析した酵素種は、すでにSHIRAIISHI¹¹⁶⁾が明らかにしているTable 4の19酵素種の37アイソザイム遺伝子座のうち、Table 6に示す6酵素種の14アイソザイム遺伝子座である。なお、この6酵素種は、泳動像が鮮明であるものおよび変異が多いものとして選んだ。

電気泳動によるバンドの移動度は、Rf (relative value to front) 値により表した。Rf値は、マーカー色素としてゲルに添加したB P B (bromophenol blue) の移動距離を100とした場合の各バンドの相対移動距離である。

3.3.3 遺伝解析と集団遺伝学的解析

グルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの *Got-1* および *Got-3* の両遺伝子座の新たな対立遺伝子の遺伝子分析については、以下により行った。

未記載のバンド型を含み、かつバンドの分離が観察された個体について、バンドの観察された分離比とメンデルの法則から期待される分離比との適合性検定を χ^2 検定により行い、適合したものを新たな対立遺伝子とした。

集団遺伝学的なデータ解析は、各母樹ごとにTable 6に示した6酵素の14遺伝子座について遺伝子型を読みとり、次に示すいくつかの尺度を用いて行った。なお、この解析においては、本研究で明らかになったグルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの *Got-1* および *Got-3* の両遺伝子座の新たな対立遺伝子を含めて行った。

① 平均ヘテロ接合度 (expected heterozygosity, H_e)

集団の遺伝的な変異を示すためのより適切な尺度は、平均ヘテロ接合度 (H_e) であるといわれている⁸⁰⁾。平均ヘテロ接合度 (H_e) は、平均ヘテロ接合体率 (期待値) あるいは遺伝子多様度⁸⁰⁾ともいう。

ここで、「 x_i 」をある遺伝子座における対立遺伝子「 i 」の集団頻度とし、「 m 」を対立遺伝子の数とすると、各遺伝子座におけるヘテロ接合度 (h_e) は、

$$h_e = 1 - \sum_{i=1}^m x_i^2$$

で定義される。そして、平均ヘテロ接合度 (H_e) は、すべての遺伝子座にわたるこれらの平均で与えられる⁸¹⁾。

② 遺伝子分化係数 (coefficient of gene differentiation, G_{ST})

集団間の相対的な遺伝子分化の程度を表すものとして、遺伝子分化係数 (G_{ST}) があり、平均ヘテロ接合度 (H_e) (全集団の遺伝子多様度) をその成分に分割して次式により求めることができる⁸¹⁾。

$$G_{ST} = (H_T - H_S) / H_T$$

ここで、「 H_S 」は分集団ごとに求めた平均ヘテロ接合度の平均値 (分集団内の平均遺伝子多様度) を、「 H_T 」は集団全体の平均ヘテロ接合度 (全集団の遺伝子多様度) を示す。この遺伝子分化係数 (G_{ST}) は、0から1まで変化し、0に近いほど集団間の分化の程度が低いことを示す。

③ 遺伝距離 (Nei's genetic distance, D)

遺伝距離 (D) は、集団間の遺伝的差異を示し、遺伝的近縁度 (genetic identity, I) を用いて次のように定義される⁸⁰⁾。

$$D = -\log_e I$$

ここで、遺伝的近縁度 (I) は次により与えられる。

$$I = J_{xy} / (J_x J_y)^{1/2}$$

$$J_x = \sum_i \sum_j X_{ij}^2 / r$$

$$J_y = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 / r$$

$$J_{xy} = \sum_i \sum_j X_{ij} Y_{ij} / r$$

ただし、「 x_{ij} 」および「 y_{ij} 」は、それぞれ「 x 」と「 y 」集団における「 i 」番目の遺伝子座の「 j 」番目の対立遺伝子頻度を表わし、「 r 」は調査した遺伝子座数を表わす。

集団間でまったく遺伝的差異がない場合、すなわち、すべての対立遺伝子頻度に違いがない場合には $D=0$ になり、差異が大きくなるほどこの値も大きくなる。なお、本研究では各林分からの標本個体数 (平均 72.0) が十分大きいとみなして計算を進めた。

④ クラスター分析

上記の③で得られた遺伝距離 (D) をもとに、各林分間の遺伝的関係を視覚化するためにクラスター分析により樹状図を作成した。クラスター分析は、群平均法 (unweighted pair-group method using arithmetic averages, UPGMA)¹²⁰⁾ で行った。

3. 4 結果および考察

3. 4. 1 新たに検出した6対立遺伝子

22林分の1,584個体から採取した種子の胚乳について、グルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの *Got-1* および *Got-3* の両遺伝子座についてのバンドパターンを調べた。

Fig. 11のように *Got-1* 遺伝子座においては、Rf13, Rf15およびRf18の3種類のシングルバンド型、Rf6とRf22に2本バンドをもつ1種類のダブルバンド型、さらに不活性型が観察された。また、*Got-3* 遺伝子座においては、4つのシングルバンド型すなわちRf31, Rf32, Rf34およびRf37のバンドが観察された。なお、Fig. 12の写真では、*Got-1* 遺伝子座の不活性

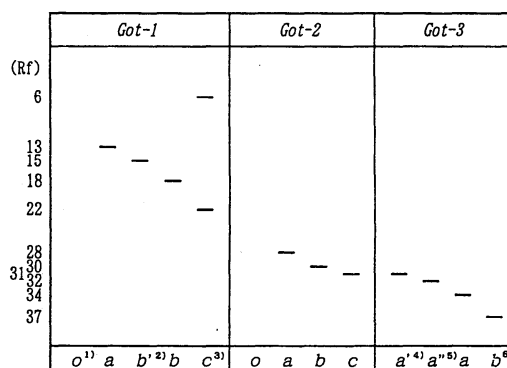


Fig. 11. グルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの 3 遺伝子座におけるバンドパターンとそれらに対応する対立遺伝子
Isozyme banding patterns observed and their alleles at three loci encoding GOT isozyme

注: ¹) *Got-1*^o, ²) *Got-1*^{b'}, ³) *Got-1*^c, ⁴) *Got-3*^{a'}, ⁵) *Got-3*^{a''} および ⁶) *Got-3*^b の6つの対立遺伝子は、本研究において新たに検出したもの。
Note: ¹) *Got-1*^o, ²) *Got-1*^{b'}, ³) *Got-1*^c, ⁴) *Got-3*^{a'}, ⁵) *Got-3*^{a''} and ⁶) *Got-3*^b. They were newly detected in this study.

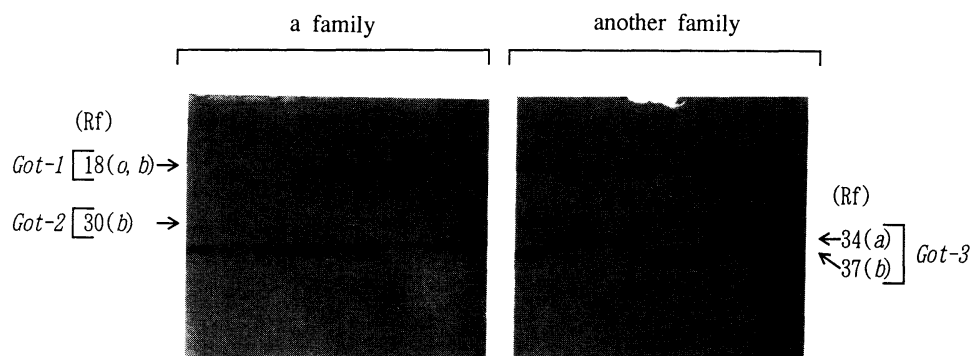


Fig. 12. グルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの3遺伝子座におけるバンドパターン
Isozyme banding patterns observed at three loci encoding GOT isozyme

型とRf18のバンドと, *Got-3*遺伝子座のRf34とRf37のバンドを示した。観察されたこれらのバンドのうちRf13, Rf18およびRf34のそれぞれのバンド型は, アロザイムである対立遺伝子としてすでに, SHIRAISHI¹¹⁶⁾により *Got-1^a*, *Got-1^b*および *Got-3^a*と名付けられている。なお, Rf28およびRf30のバンドは, SHIRAISHI¹¹⁶⁾が検出した *Got-2^a*および *Got-2^b*に対応している。そこで, 未記載のバンド型であるRf15, Rf6とRf22, 不活性型, Rf31, Rf32, Rf37については, それぞれのバンドを含み, かつバンドの分離が観察された10個体について, バンドの観察された分離比とメンデルの法則から期待される分離比 (1 : 1) との適合性検定を χ^2 検定により行った。その結果, Table 7のとおり, すべての個体について, 観察された分離比は期待分離比と有意な差が認められなかった。

以上のことから, *Got-1*遺伝子座および *Got-3*遺伝子座は, 少なくともそれぞれ 5個および 4個の対立

Table 7. ヘテロ接合型母樹の単相胚乳における2遺伝子座のグルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの分離

GOT isozyme segregation at *Got-1* and *Got-3* loci in haploid endosperm of each heterozygous tree

遺伝子座	遺伝子型	林分	試料数	分離比	χ^2	(P)
Locus	Genotype	Stand	Sample size	Segregation		
<i>Got-1</i>	<i>a</i> / <i>a</i>	三ヶ日	25	9:16	1.96	(0.1~0.2)
	<i>b</i> / <i>b</i>	Mikkabi	26	16:10	1.38	(0.2~0.3)
	<i>b</i> / <i>c</i>	三ヶ日	48	23:25	0.08	(0.5~0.8)
	<i>b</i> / <i>c</i>	平内	24	12:12	0	
	<i>b</i> / <i>c</i>	Hiranai	26	15:11	0.62	(0.3~0.5)
<i>Got-3</i>	<i>a</i> / <i>a</i>	十王	26	11:15	0.62	(0.3~0.5)
	<i>a</i> / <i>a</i>	Juo	26	12:14	0.15	(0.5~0.8)
	<i>a</i> / <i>a</i>	加賀	26	10:16	1.38	(0.2~0.3)
	<i>a</i> / <i>b</i>	Kaga	26	17:9	2.46	(0.1~0.2)
	<i>a</i> / <i>b</i>	宮島	26	11:15	0.62	(0.3~0.5)

遺伝子によって支配されていることが明らかになった。そして、新たに明らかになった6個の対立遺伝子を、Fig. 11のように *Got-1^a*, *Got-1^b*, *Got-1^c*, *Got-3^a*, *Got-3^b* および *Got-3^c* と名付けた。

3.4.2 集団遺伝学的解析

3.4.2.1 林分内の遺伝的構造

天然生クロマツの22林分を対象に、各林分の6酵素種における14のアイソザイム遺伝子座の対立遺伝子頻度を各個体の遺伝子型から算出した (Table 8参照)。なお、各対立遺伝子頻度の22林分の平均値は、単純平均により算出した。Table 8のように、いくつかの対立遺伝子頻度、すなわち、*Adh-1^a*, *Shd-1^b*, *Shd-2^c*, *Shd-2^d*, *6Pg-1^c*, *6Pg-2^b*, *6Pg-2^d*, *6Pg-3^a*, *Lap-1^a*, *Lap-2^c* および *Lap-2^d* の頻度については、西南日本と東北日本の間では、比較的大きな違いが認められた。

本研究におけるクロマツ22林分の平均対立遺伝子頻度から算出される全林分の平均ヘテロ接合度 (H_T) は、0.259である。一方、各林分ごとに求めた平均ヘテロ接合度の平均値 (H_S) は、Table 9に示したように0.240である。その差 ($H_T - H_S$) は、0.019となり、遺伝子分化係数 (G_{ST}) は、0.073となる。このように、クロマツは、調査した全林分の遺伝的変異の7%が林分間に存在し、残りの93%が林分内で保有されていることが明らかとなった。

3.4.2.2 林分間の遺伝的差異

クロマツの各林分における14遺伝子座の平均ヘテロ接合度 (H_e) は、Table 9に示したように0.21~0.27と算出された。林分間で遺伝的変異の大きさに著しい差はみられなかったが、巨視的には、西南日本の方が東北日本よりも遺伝的変異が大きい傾向がみられた。

次に、林分間の遺伝的な違いを調べるために $NEI^{(9)}$ の遺伝距離 (D) をTable 10のとおり22の林分間の全組み合わせごとに求めた。その範囲は0.003~0.063であり、全組み合わせの平均値は0.025である。Table 10には、各林分間の地理的距離 (直線距離) も示した。遺伝距離と地理的距離の関係を詳しくみるために相関関係を調べた。その結果、Fig. 13のように、地理的距離が遠くなるほど遺伝距離も大きくなるという正の相関関係 ($r=0.636$) が認められた。

そして、Table 10の遺伝距離 (D) をもとにクラスター分析を行った。その結果は、Fig. 14のとおりである。このクラスター分析の結果に基づき、地図上に遺伝的な相違の程度による地域区分を行った。Fig. 15のように、まず、西南日本 (I) と東北日本 (II) に大別される。さらに、西南日本 (I) は、九州・四国西部の地域 (I-1) と四国東部・中国・近畿・北陸の地域 (I-2) に区分され、東北日本 (II) は、中部地方 (II-1),

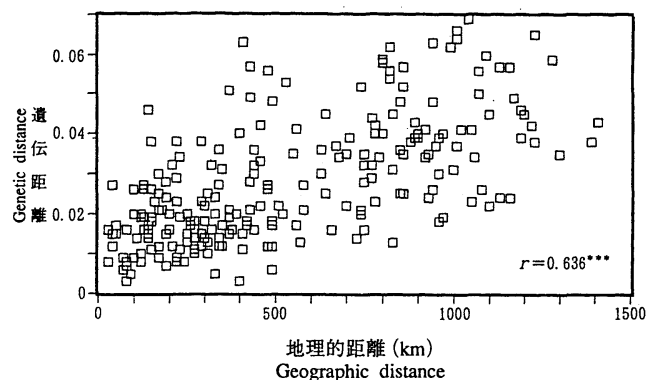


Fig. 13. 天然生クロマツの22林分間における地理的距離と遺伝距離の関係
Relationship between geographic and genetic distances for 22 natural stands of Japanese black pine

注: ***0.1%レベルで有意。
Note: ***Significant at the 0.1% level.

Table 8. 22林分における6酵素種の14遺伝子座の対立遺伝子頻度
Estimated allele frequencies of 14 loci of six enzyme systems in 22 stands

	六ヶ所 Rokkasho	平内 Hiranai	岩崎 Iwasaki	鳴瀬 Naruse	仙台 Sendai	能代 Noshiro	本荘 Honjo	遊佐 Yuza	相馬 Soma	原町 Haramachi	広野 Hirono	十王 Ju-o
球果採取母樹数 Number of sampled trees	51	123	48	106	93	103	53	57	47	56	61	110
<i>Adh-1</i> a	0.47	0.23	0.25	0.16	0.15	0.33	0.24	0.36	0.16	0.16	0.31	0.24
b	0.25	0.29	0.26	0.42	0.57	0.50	0.65	0.32	0.31	0.66	0.41	0.55
c	0.27	0.48	0.49	0.42	0.28	0.17	0.11	0.32	0.53	0.18	0.28	0.22
<i>Adh-2</i> a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Adh-3</i> o	0.00	0.01	0.04	0.06	0.01	0.01	0.03	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01
a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b	1.00	0.98	0.96	0.94	0.99	0.99	0.97	0.93	1.00	1.00	0.98	0.99
c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Shd-1</i> a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
b	0.08	0.08	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.10	0.08	0.07	0.08
c	0.92	0.92	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.96	0.90	0.92	0.93	0.92
<i>Shd-2</i> a	0.08	0.04	0.02	0.16	0.13	0.11	0.08	0.11	0.10	0.14	0.10	0.06
b	0.07	0.13	0.11	0.07	0.14	0.05	0.04	0.07	0.07	0.13	0.23	0.11
c	0.02	0.01	0.00	0.07	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00
d	0.24	0.38	0.35	0.41	0.42	0.57	0.52	0.32	0.40	0.31	0.40	0.52
e	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
f	0.11	0.15	0.11	0.08	0.06	0.01	0.04	0.17	0.12	0.06	0.11	0.08
g	0.47	0.30	0.40	0.21	0.22	0.25	0.32	0.31	0.29	0.31	0.15	0.20
h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>6Pg-1</i> a	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>6Pg-2</i> a	0.75	0.65	0.70	0.65	0.53	0.69	0.69	0.39	0.69	0.66	0.75	0.69
b	0.14	0.08	0.19	0.22	0.22	0.14	0.25	0.12	0.10	0.20	0.16	0.13
c	0.09	0.26	0.09	0.13	0.22	0.16	0.07	0.37	0.19	0.14	0.06	0.14
d	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.12	0.02	0.00	0.03	0.04
<i>6Pg-3</i> o	0.79	0.89	0.80	0.76	0.79	0.80	0.78	0.85	0.62	0.71	0.73	0.85
a	0.21	0.11	0.20	0.24	0.21	0.20	0.22	0.15	0.38	0.29	0.27	0.15
<i>G6p</i> a	0.87	0.93	0.90	0.79	0.94	0.99	0.98	0.84	0.84	0.82	0.77	0.91
b	0.10	0.06	0.09	0.20	0.04	0.01	0.01	0.00	0.16	0.16	0.22	0.09
c	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.16	0.00	0.02	0.01	0.00
<i>Got-1</i> o	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b'	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Got-2</i> o	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b	1.00	0.94	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	0.98	0.99	0.95
c	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.05
<i>Got-3</i> a'	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a''	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
b	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lap-1</i> a	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b	0.28	0.32	0.26	0.28	0.21	0.33	0.32	0.20	0.28	0.22	0.49	0.35
c	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	0.70	0.68	0.64	0.71	0.77	0.67	0.67	0.80	0.72	0.78	0.51	0.64
e	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lap-2</i> o	0.15	0.09	0.06	0.16	0.25	0.15	0.13	0.04	0.22	0.19	0.21	0.24
a	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01
b	0.81	0.85	0.82	0.77	0.71	0.81	0.80	0.87	0.73	0.77	0.76	0.75
c	0.04	0.03	0.04	0.06	0.02	0.01	0.05	0.01	0.01	0.04	0.02	0.00
d	0.00	0.04	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00

(Table 8. continued)

	銚子 Choshi	村上 Murakami	加賀 Kaga	三ヶ日 Mikkabi	大田 Ohda	宮島 Miyajima	高松 Takamatsu	土佐清水 Tosashimizu	岡垣 Okagaki	吹上 Fukiage	平均 Mean
球果採取母樹数 Number of sampled trees	58	67	101	91	37	66	43	51	91	71	1584*
<i>Adh-1 a</i>	0.48	0.22	0.50	0.32	0.70	0.58	0.40	0.41	0.58	0.25	0.341
<i>b</i>	0.45	0.19	0.26	0.32	0.08	0.39	0.43	0.14	0.05	0.13	0.347
<i>c</i>	0.07	0.59	0.25	0.36	0.22	0.04	0.17	0.45	0.37	0.61	0.313
<i>Adh-2 a</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.000
<i>Adh-3 o</i>	0.08	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.017
<i>a</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.001
<i>b</i>	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.982
<i>c</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
<i>Shd-1 a</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
<i>b</i>	0.08	0.11	0.00	0.01	0.00	0.03	0.05	0.00	0.01	0.05	0.045
<i>c</i>	0.92	0.89	1.00	0.99	1.00	0.97	0.95	1.00	0.99	0.95	0.955
<i>Shd-2 a</i>	0.11	0.11	0.04	0.06	0.08	0.14	0.11	0.18	0.26	0.27	0.113
<i>b</i>	0.13	0.37	0.33	0.31	0.36	0.14	0.34	0.25	0.07	0.08	0.163
<i>c</i>	0.03	0.06	0.04	0.03	0.04	0.23	0.08	0.18	0.24	0.23	0.062
<i>d</i>	0.47	0.13	0.04	0.03	0.08	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00	0.257
<i>e</i>	0.02	0.01	0.18	0.09	0.03	0.13	0.02	0.06	0.07	0.16	0.039
<i>f</i>	0.02	0.07	0.10	0.23	0.22	0.02	0.06	0.05	0.04	0.06	0.090
<i>g</i>	0.23	0.23	0.26	0.25	0.15	0.20	0.37	0.19	0.14	0.15	0.255
<i>h</i>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.10	0.01	0.10	0.17	0.04	0.022
<i>6Pg-1 a</i>	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.04	0.010
<i>b</i>	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	0.94	0.98	1.00	0.94	0.94	0.986
<i>c</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.004
<i>6Pg-2 a</i>	0.68	0.51	0.35	0.66	0.50	0.63	0.55	0.53	0.42	0.42	0.595
<i>b</i>	0.12	0.14	0.29	0.11	0.22	0.20	0.19	0.23	0.38	0.40	0.191
<i>c</i>	0.16	0.22	0.02	0.17	0.04	0.04	0.13	0.11	0.17	0.05	0.137
<i>d</i>	0.04	0.13	0.35	0.05	0.24	0.14	0.14	0.14	0.03	0.13	0.077
<i>6Pg-3 o</i>	0.91	0.90	0.91	0.96	0.95	0.95	0.91	0.96	0.98	0.97	0.853
<i>a</i>	0.09	0.10	0.09	0.04	0.05	0.05	0.09	0.04	0.02	0.03	0.147
<i>G6p a</i>	0.91	0.90	0.81	0.83	0.76	0.78	0.84	0.80	0.80	0.85	0.857
<i>b</i>	0.08	0.00	0.06	0.12	0.19	0.05	0.09	0.04	0.02	0.04	0.083
<i>c</i>	0.01	0.10	0.13	0.05	0.05	0.17	0.07	0.16	0.18	0.11	0.060
<i>Got-1 o</i>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
<i>a</i>	0.00	0.01	0.13	0.02	0.01	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.011
<i>b'</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
<i>b</i>	1.00	0.99	0.87	0.96	0.99	0.98	0.97	1.00	0.99	1.00	0.987
<i>c</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
<i>Got-2 o</i>	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.006
<i>a</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.001
<i>b</i>	0.97	1.00	1.00	0.99	0.97	0.99	0.95	0.99	1.00	0.99	0.984
<i>c</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.009
<i>Got-3 a'</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
<i>a''</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.001
<i>a</i>	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.998
<i>b</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
<i>Lap-1 a</i>	0.00	0.01	0.01	0.07	0.00	0.07	0.05	0.01	0.00	0.00	0.013
<i>b</i>	0.25	0.35	0.16	0.35	0.26	0.10	0.15	0.29	0.23	0.23	0.270
<i>c</i>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.003
<i>d</i>	0.75	0.63	0.82	0.58	0.68	0.75	0.80	0.68	0.69	0.71	0.698
<i>e</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.00	0.02	0.08	0.06	0.016
<i>Lap-2 o</i>	0.16	0.23	0.10	0.12	0.00	0.02	0.08	0.09	0.02	0.07	0.126
<i>a</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.006
<i>b</i>	0.78	0.65	0.62	0.80	0.77	0.79	0.76	0.75	0.62	0.63	0.755
<i>c</i>	0.04	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.021
<i>d</i>	0.03	0.10	0.27	0.05	0.22	0.19	0.15	0.17	0.32	0.30	0.092

注：* 球果採取母樹数の合計。

Note: * Total number of sampled trees.

Table 9. 22林分における14遺伝子座のヘテロ接合度
Estimated heterozygosities in 14 loci of six enzyme systems in 22 stands

林 分 Stand	<i>Adh-1</i>	<i>Adh-2</i>	<i>Adh-3</i>	<i>Shd-1</i>	<i>Shd-2</i>	<i>6Pg-1</i>	<i>6Pg-2</i>	<i>6Pg-3</i>	<i>G6p</i>	<i>Got-1</i>	<i>Got-2</i>	<i>Got-3</i>	<i>Lap-1</i>	<i>Lap-2</i>	平 均 Mean
①六ヶ所 Rokkasho	0.64	0.00	0.00	0.14	0.70	0.00	0.40	0.33	0.23	0.02	0.00	0.00	0.43	0.31	0.23
②平 内 Hiranai	0.63	0.00	0.03	0.14	0.73	0.02	0.50	0.20	0.14	0.01	0.11	0.00	0.43	0.27	0.23
③岩 崎 Iwasaki	0.63	0.00	0.08	0.02	0.69	0.00	0.47	0.32	0.19	0.00	0.04	0.00	0.52	0.31	0.23
④鳴 瀬 Naruse	0.62	0.00	0.12	0.04	0.75	0.00	0.52	0.37	0.34	0.00	0.03	0.00	0.42	0.38	0.25
⑤仙 台 Sendai	0.57	0.00	0.02	0.06	0.74	0.00	0.63	0.33	0.11	0.00	0.01	0.00	0.36	0.43	0.23
⑥能 代 Noshiro	0.61	0.00	0.03	0.08	0.60	0.00	0.47	0.32	0.03	0.00	0.02	0.00	0.44	0.32	0.21
⑦本 荘 Honjo	0.51	0.00	0.06	0.07	0.62	0.00	0.46	0.34	0.04	0.00	0.04	0.00	0.45	0.34	0.21
⑧遊 佐 Yuza	0.67	0.00	0.13	0.07	0.76	0.00	0.69	0.25	0.27	0.00	0.00	0.00	0.32	0.24	0.24
⑨相 馬 Soma	0.60	0.00	0.00	0.17	0.73	0.00	0.48	0.47	0.27	0.00	0.02	0.00	0.40	0.41	0.25
⑩原 町 Haramachi	0.51	0.00	0.00	0.15	0.76	0.00	0.50	0.41	0.30	0.00	0.04	0.00	0.35	0.37	0.24
⑪広 野 Hirono	0.66	0.00	0.05	0.14	0.74	0.00	0.40	0.39	0.36	0.00	0.02	0.00	0.50	0.37	0.26
⑫十 王 Juo	0.60	0.00	0.02	0.15	0.66	0.00	0.48	0.26	0.17	0.01	0.09	0.00	0.46	0.39	0.23
⑬銚 子 Choshi	0.56	0.00	0.14	0.14	0.70	0.00	0.50	0.17	0.16	0.00	0.07	0.00	0.38	0.37	0.23
⑭村 上 Murakami	0.57	0.00	0.00	0.20	0.77	0.17	0.66	0.19	0.19	0.03	0.00	0.00	0.48	0.51	0.27
⑮加 賀 Kaga	0.63	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.68	0.17	0.33	0.23	0.00	0.00	0.30	0.53	0.26
⑯三ヶ日 Mikkabi	0.67	0.00	0.05	0.02	0.77	0.00	0.51	0.07	0.29	0.07	0.02	0.01	0.53	0.35	0.24
⑰大 田 Ohda	0.45	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.64	0.10	0.39	0.03	0.05	0.03	0.47	0.36	0.24
⑱宮 島 Miyajima	0.52	0.00	0.00	0.06	0.84	0.12	0.55	0.09	0.36	0.03	0.02	0.02	0.42	0.34	0.24
⑲高 松 Takamatsu	0.63	0.00	0.00	0.09	0.72	0.05	0.63	0.17	0.29	0.07	0.09	0.02	0.33	0.40	0.25
⑳土佐清水 Tosashimizu	0.61	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.64	0.08	0.33	0.00	0.02	0.00	0.46	0.41	0.24
㉑岡 垣 Okagaki	0.52	0.00	0.02	0.01	0.82	0.11	0.65	0.03	0.33	0.02	0.00	0.00	0.47	0.51	0.25
㉒吹 上 Fukiage	0.54	0.00	0.03	0.09	0.81	0.11	0.64	0.05	0.26	0.00	0.03	0.01	0.44	0.51	0.25
平均 Mean	0.588	0.000	0.035	0.084	0.741	0.026	0.550	0.233	0.332	0.024	0.032	0.004	0.426	0.384	0.240

Table 10. クロマツの22林分間の遺伝距離（左下）と地理的距離（右上, km）
Genetic distance (below diagonal) and geographic distance in kilometer (above diagonal) between 22 stands of Japanese black pine

林 分 Stand	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒
①六ヶ所 Rokkasho	—	40	120	270	300	140	200	230	350	370	420	490	570	340	670	750	1000	1080	960	1160	1220	1410
②平 内 Hiranai	.011	—	90	270	290	110	170	210	340	370	420	490	560	320	640	730	970	1050	940	1130	1190	1390
③岩 崎 Iwasaki	.007	.005	—	240	260	40	120	150	310	330	380	440	520	250	560	660	880	960	850	1050	1100	1300
④鳴 瀬 Naruse	.015	.009	.008	—	30	350	140	130	80	100	150	220	300	150	490	510	850	920	770	960	1070	1230
⑤仙 台 Sendai	.020	.013	.015	.007	—	220	170	130	50	70	120	190	270	130	460	480	820	890	740	930	820	1200
⑥能 代 Noshiro	.014	.012	.014	.011	.008	—	80	120	270	290	340	400	490	220	530	630	860	950	830	1020	1090	1280
⑦本 荘 Honjo	.018	.019	.017	.013	.008	.003	—	40	190	220	260	330	410	140	480	550	820	900	770	970	1040	1230
⑧遊 佐 Yuza	.017	.011	.016	.017	.015	.018	.025	—	170	190	230	290	370	100	440	510	790	860	740	930	1010	1190
⑨相 馬 Soma	.015	.011	.009	.006	.014	.017	.022	.023	—	30	80	140	220	130	430	440	800	860	710	900	1010	1170
⑩原 町 Haramachi	.017	.019	.018	.008	.006	.011	.007	.022	.015	—	50	120	200	150	430	430	800	850	700	890	1010	1160
⑪広 野 Hirono	.015	.017	.015	.010	.018	.012	.016	.030	.014	.015	—	70	150	170	410	390	780	830	680	860	990	1130
⑫十 王 Juo	.016	.011	.014	.008	.006	.003	.005	.021	.015	.009	.008	—	80	210	370	330	740	780	630	800	940	1070
⑬銚 子 Choshi	.012	.016	.018	.016	.013	.005	.010	.017	.026	.014	.017	.007	—	290	400	310	750	780	580	790	940	1060
⑭村 上 Murakami	.025	.014	.018	.024	.024	.034	.042	.023	.023	.035	.027	.029	.034	—	350	410	700	770	640	830	920	1100
⑮加 賀 Kaga	.033	.041	.037	.043	.038	.048	.051	.029	.052	.044	.048	.046	.036	.028	—	190	370	430	300	490	580	750
⑯三ヶ日 Mikkabi	.015	.013	.014	.020	.024	.027	.031	.020	.028	.026	.018	.022	.022	.013	.025	—	460	480	310	480	630	750
⑰大 田 Ohda	.028	.037	.034	.044	.049	.047	.056	.031	.053	.052	.038	.047	.032	.032	.014	.020	—	100	180	250	220	440
⑱宮 島 Miyajima	.023	.037	.035	.037	.036	.034	.036	.028	.052	.033	.040	.036	.021	.040	.019	.023	.018	—	170	150	160	340
⑲高 松 Takamatsu	.016	.023	.022	.026	.022	.028	.029	.019	.035	.020	.031	.027	.019	.022	.013	.012	.019	.011	—	190	320	460
⑳土佐清水 Tosashimizu	.022	.022	.021	.027	.032	.038	.045	.021	.035	.039	.032	.036	.031	.011	.016	.011	.014	.017	.014	—	230	270
㉑岡 垣 Okagaki	.038	.042	.041	.046	.051	.054	.063	.033	.058	.060	.056	.057	.044	.031	.024	.033	.021	.021	.029	.010	—	250
㉒吹 上 Fukiage	.039	.034	.032	.034	.040	.053	.058	.035	.044	.051	.051	.051	.050	.019	.024	.028	.032	.032	.029	.009	.011	—

山形県 (II-2) およびその他の地域 (II-3) に区分される。

以上のように、天然生クロマツが分布する鹿児島県から青森県に至る地域は、遺伝的な相違の程度から、大きくはアロザイム変異の大きい西南日本とその変異の小さい東北日本の2地域に、さらに細分すると5地域に区分することができる。

前述したSAKAI *et al.*¹⁰⁶⁾ およびHAYASHI *et al.*²⁸⁾ は、本州、四国および九州のクロマツの天然林集団でパーオキシダーゼアイソザイムのバンド数と経緯度との間に相関があり、北または東へ向かうに従ってバンド数が減少することを認めた。このことからクロマツの集団の中心がわが国の西南部に存在していたことを推論しているが、そのバンド数による地域区分はしていない。

本研究では、クロマツのアロザイムの遺伝子頻度で集団遺伝学的解析を行い、遺伝距離を用いたクラスター分析によって、アロザイム変異が大きい九州・四国・中国地方 (I 地域) と同変異が小さい本州中部・東北地方 (II 地域) の2地域に区分し、過去のクロマツの分布中心が西南日本にあったことを示した。

3.5 まとめ

この項においては、まず、主要樹種についてアイソザイム分析を利用した国内外における遺伝学的研究を概観した。

本論では青森県から鹿児島県に至るクロマツ天然生林22林分を対象にして、アロザイム変異についての集団遺伝学的解析を取りまとめた。なお、その過程で、クロマツのグルタミン酸アミノ転移酵素 (GOT) アイソザイムの *Got-1* および *Got-3* の両遺伝子座において、合計6個の新たな対立遺伝子を検出した。

林分間の分化の程度を示す遺伝子分化係数 (*Gst*) は0.073であり、クロマツは、

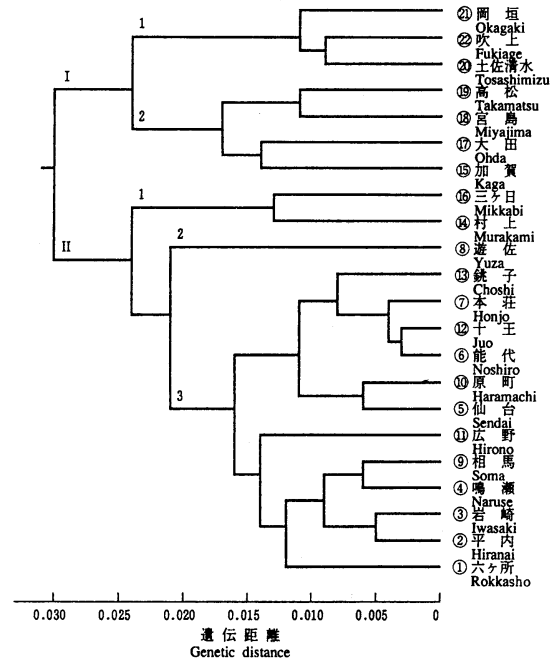


Fig. 14. 遺伝距離を基にしたクラスター分析によるクロマツの22林分の樹状図
A dendrogram of 22 stands of Japanese black pine, based on Nei's genetic distances

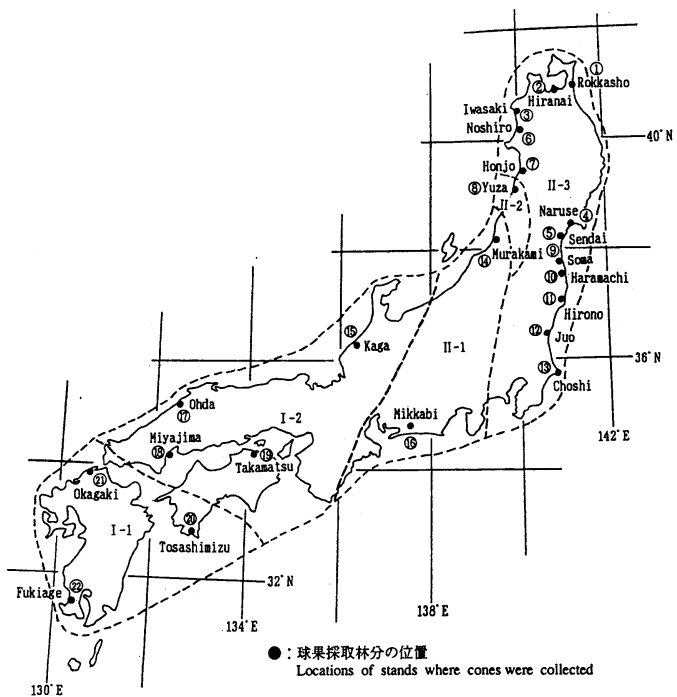


Fig. 15. 天然生クロマツの林分間の遺伝距離を基にしたクラスター分析による地域区分図
(Fig. 14参照)
Delineation of groups of stands by cluster analysis of genetic distance among natural stands of Japanese black pine (cf. Fig. 14)

調査した全林分の遺伝的変異の7%が林分間に存在し、残りの93%が林分内で保有されていることを明らかにした。

クロマツの各林分における14遺伝子座の遺伝的変異を表わす平均ヘテロ接合度 (H_e) は、0.21~0.27で、林分間で著しい差はみられなかったが、巨視的には、西南日本の方が東北日本よりもアロザイム変異が大きい傾向がみられた。

また、林分間のアロザイムによる遺伝的な違いを調べるために $NEI^{(80)}$ の遺伝距離 (D) を求め、これをもとにクラスター分析を行った。その結果、遺伝的な相違の程度から、大きくはアロザイム変異の大きい九州・四国・中国地方の西南日本 (Ⅰ地域) とその変異の小さい本州中部・東北地方の東北日本 (Ⅱ地域) の2地域に、さらに細分すると5地域に区分することができた。

以上のとおり、本研究では、クロマツのアロザイムの遺伝子頻度で集団遺伝学的解析を行い、遺伝距離を用いたクラスター分析によって、アロザイム変異が大きい西南日本と同変異が小さい東北日本に区分し、過去のクロマツの分布中心が西南日本にあったことを示した。

4 クロマツ天然生林22林分における種子千粒重と種皮色の変異

4.1 はじめに

遺伝資源としてのクロマツの現地保存の方法、とりわけ保存箇所の効果的な選定方法の検討を進めるにあたっての基礎情報を得るため、3項ではクロマツ天然生林22林分のアロザイム変異の解析を行い、一定の成果をまとめ得た。ところで、林木の葉・種子形態などの諸形質については、以下の事例のように、一般に林分間変異や地理的変異などが認められる。それらの情報は、遺伝資源の現地保存の方法を検討する場合にも有意義な基礎資料となり得る可能性がある。

この項では、アイソザイム分析の補助とすることの可否を確かめるため、3項でのアイソザイム分析で利用したものと同一の母樹から採取した種子を用いて、千粒重と種皮色の林分内と林分間の変異について追究した。

林木集団を対象として、葉や種子形態などの変異に関する調査が、多くの樹種について行われてきた。わが国においては、たとえばアカマツの種皮色が東北地方産は濃色であるが西南日本産は淡色であることが認められている⁷⁹⁾。京都大学の演習林に全国から集植されている23年生のアカマツを対象として、針葉の長さ、幅、厚さ、気孔数などが調査されており、気孔数は東北日本産個体で多く南西日本産個体で少ないという傾向が示されている¹³⁹⁾。また、クロマツの全国にわたる31天然林集団の葉長、葉幅、葉厚、気孔列数および樹脂道数の調査では、緯度および経度との間に葉幅、葉厚および気孔列数については有意な正の相関が、樹脂道数については有意な負の相関が、すなわち葉長以外の形質で地理的変異が認められている²⁰⁾。

東北地方のスギの22天然林集団を対象として、針葉長・針葉基部の幅・針葉の岐出角度など19の針葉形質の調査が行われており、この調査における主成分分析の結果と従来から試みられている4つの針葉型の区分 (直型, 曲鈍型, 曲鋭型, 鎖型) とはよく一致し、針葉型区分の妥当性が確認されている。この針葉型

の出現頻度から求めた葉形指数による22集団のグループ分けでは、8つの地域に区分されている。なお、東北地方では唯一の太平洋岸に位置する牧ノ崎の集団では、各針葉型の出現頻度および葉形指数が他の集団とは著しく異なるという特徴が示されている。また、各集団内の針葉型の分布調査により、同じ型のものが小群状に点在している場合が多いことが確認されている⁶⁹⁾。

さらに、広葉樹のブナにおいては、全国の約170集団の葉面積の調査が行われており、その面積の最大の地域と最小の地域では4倍以上の差が認められ、北から南へおよび日本海側から太平洋側へと葉面積が減少する地理的変異が認められている²⁴⁾。

一方、外国においても、例えば以下のような調査が行われている。

アメリカ合衆国でのカンバ (*Betula nigra*) の葉の形態に関する18形質についての4地域の分断された集団と連続した集団についての集団間の変異が調査されている。地域間では18形質の半数の形質について有意差が、集団間ではすべての形質について有意差が認められている。また、分断された集団と連続した集団との間では、多くの形質でいずれかの地域で有意差が認められたが、4地域すべての地域で有意差が認められたのは葉柄付着部の切れ込みの1形質のみであった⁹⁾。

中央アメリカでのホンジュラスマツ (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) についての9産地の天然林を対象に、針葉の解剖学および形態学的な17形質の変異が調査されている。そして、変異の大半が母樹間と母樹内に存在しているが、14形質について産地間差が認められている。そして、針葉の特性から樹状図により各産地間の類似度が明らかにされている。なお、ベリーズとニカラグアで1葉束当たりの針葉数が3.0前後であるのに対し、ホンジュラスでのそれは、3.5前後と著しい産地間の違いを示している¹⁰⁶⁾。

グアテマラのマツ (*Pinus tecunumanii*) について5地域から採取された針葉の形態的および解剖学的な形質並びに球果と種子の形態的形質について、24形質の変異が調査されている。そして、地域間差および地域内の母樹間差が認められており、また、クラスター分析により、5地域間の相違度が樹状図に示されている⁸⁾。

ギリシャのペロポネソス半島のヨーロッパクロマツ (*Pinus nigra*) の天然林から選抜された52クローンについて、採種園からそれらの針葉を採取して形態的および解剖学的な10形質が調査されている。すべての形質についてクローン間差が認められており、また、各形質の遺伝率も算出されている⁴⁷⁾。

ギリシャのモミおよびブルガリア起源のモミについて、ギリシャに造成されている試験地から20産地のモミの針葉などを採取し、針葉の形態的および解剖学的な14形質並びに樹皮のモノテルペンの調査により集団の構造と変異について分析がされている。産地間変異について、概括的には南から北へのラインが認められている⁵⁰⁾。

トルコを中心としたカラブリアマツ (*Pinus brutia*) の14箇所の天然林から採取した種子により造成された造林地において、針葉の形態的および解剖学的な11形質についての変異の調査が行われている。10形質について集団間の有意差が認められており、また、クラスター分析により産地間のグルーピングが行われている。また、気孔列数、針葉の幅と厚さは経度との間にラインが認められている⁴⁾。

以上、アイソザイム遺伝子座が利用できる以前から実施されてきた研究では、量的形質の多変量解析が有効であった。そうして産地間の有意差、ライン等が検出され遺伝的分化の存在を示した例がある。

本研究では、中村⁷⁰⁾のアカマツでの種皮色の地理的変異の研究成果にならい、アイソザイム分析に使用したものと同一の母樹から採取したクロマツの母樹別種子を用いて、種子千粒重と種皮色の林分内変異および林分間変異を調査し、クロマツの地域区分を試みた。

4.2 材料および方法

材料は、3項のアイソザイム分析で使用した母樹別種子である。すなわち、Table 5およびFig. 9に示す青森県から鹿児島県に至る22林分中の天然生クロマツ1,584個体から個体別に採取した種子を用いた。種子の採取時期、採取母樹の選定方法および種子の精選方法は、3項のとおりである。そして、精選した母樹別種子は、紙封筒に入れ調査までの2週間程度、室温で実験室において保存した。種子千粒重は、母樹ごとに、数球果から得た約100粒の種子について粒数と重さを測定の上、算出した。種皮色は、母樹ごとに約100粒の種子について実験室の直射日光の

あたらない明るい場所において、肉眼観察により5段階に区分した。この区分は、中村⁷⁰⁾のアカマツ種子での区分、すなわち、1.濃色、2.中間色、3.淡色、に準じたもので以下のとおりである（Photo. 9参照）。なお、種皮は母方由来の組織であり、実粒種子の種皮色は母樹ごとに安定した形質である。ただし、しいなの種皮色は本来の種皮色に比べ淡色あるいは灰白色になる。

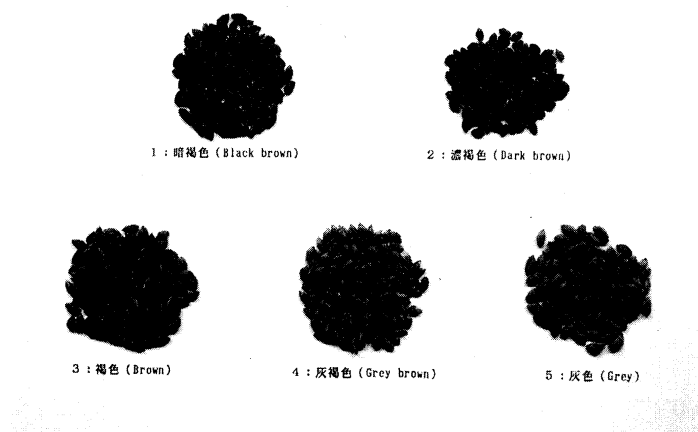


Photo. 9. クロマツの種皮色の指数区分
Five level indexes of seed-coat color of Japanese black pine

- 1: 暗褐色(Black brown),
- 2: 濃褐色(Dark brown),
- 3: 褐色(Brown),
- 4: 灰褐色(Grey brown),
- 5: 灰色(Grey)

そして、種子千粒重と種皮色指数の2形質について、林分間差、緯度、経度との関係および両形質間の相関関係を分析した。

4.3 結果および考察

4.3.1 種子千粒重と種皮色の林分間および地域間差

各林分内における種子千粒重と種皮色指数の平均値は、Table 11のようになる。そして、各林分における両形質の階級別の個体の分布頻度は、Table 12のとおりである。

Table 11. 太平洋側ならびに日本海側の各林分の種子千粒重および種皮色指数の平均値と変異係数
Mean value and coefficient of variation of the one-thousand-seed weight and the seed-coat color index for individual stands in the Pacific Coast Region and the Sea of Japan Coast Region

地 域 Region	林 分 Stand	球果採取 母 樹 数 Number of sampled trees	平 均 値 Mean value		変 異 係 数 Coefficient of variation	
			種子千粒重 One-thousand- seed weight	種皮色指数 Seed-coat color index	種子千粒重 One-thousand- seed weight	種皮色指数 Seed-coat color index
太平洋側地域 The Pacific Coast Region	②② 吹 上 Fukiage	71	13.43(g)	3.24	16.3	32.4
	②⑩ 土佐清水 Tosashimizu	51	13.51	3.29	25.9	30.0
	①⑨ 高 松 Takamatsu	43	14.10	3.56	29.6	25.5
	①⑥ 三ヶ日 Mikkabi	91	13.59	3.08	22.4	26.6
	①③ 銚 子 Choshi	58	13.70	2.93	19.7	23.8
	①② 十 王 Juo	110	12.45	3.04	18.4	22.7
	①① 広 野 Hirono	61	12.18	3.07	27.9	20.5
	①⑩ 原 町 Haramachi	56	14.34	3.11	22.1	25.8
	①⑨ 相 馬 Soma	47	12.48	2.77	17.7	20.2
	①⑤ 仙 台 Sendai	93	13.82	3.03	22.9	23.6
	①④ 鳴 瀬 Naruse	106	15.48	3.25	22.5	22.4
	①① 六ヶ所 Rokkasho	51	8.79	3.73	24.9	14.3
日本海側地域 The Sea of Japan Coast Region	②① 岡 垣 Okagaki	91	11.86	3.52	19.6	26.6
	①⑧ 宮 島 Miyajima	66	14.07	3.36	22.0	29.8
	①⑦ 大 田 Ohda	37	13.59	3.46	15.8	26.9
	①⑤ 加 賀 Kaga	101	14.34	3.29	19.5	35.0
	①④ 村 上 Murakami	67	15.53	3.40	18.2	26.6
	①⑧ 遊 佐 Yuza	57	13.51	3.09	20.1	30.1
	①⑦ 本 荘 Honjo	53	11.90	3.02	21.1	26.4
	①⑥ 能 代 Noshiro	103	16.77	3.16	19.0	21.1
	①③ 岩 崎 Iwasaki	48	11.79	2.75	27.4	19.1
	①② 平 内 Hiranai	123	10.30	3.37	27.7	19.5

注：種皮色は次の5段階の指数により表した。1：暗褐色，2：濃褐色，3：褐色，4：灰褐色，5：灰色
 Note: Seed-coat colors are expressed by index numbers of five levels: namely, 1,Black brown; 2,Dark brown; 3,Brown; 4,Grey brown; and 5,Grey.

Table 12. 太平洋側ならびに日本海側の各林分における種子千粒重と種皮色指数の区分ごとの個体分布頻度
Frequency distribution of sampled trees of each class of the one-thousand-seed weights and the seed-coat color indexes in individual stands of the Pacific Coast Region and the Sea of Japan Coast Region

地 域 Region	林 分 Stand	合 計 Total(%)	種 子 千 粒 重 One-thousand-seed weight (%)							種 皮 色 指 数 Seed-coat color index (%)				
			≤ 7.5g	7.5< ~ ≤ 10	10< ~ ≤ 12.5	12.5< ~ ≤ 15	15< ~ ≤ 17.5	17.5< ~ ≤ 20	20<	1	2	3	4	5
太平洋側地域 The Pacific Coast Region	㉒ 吹 上 Fukiage	71 (100)	—	3 (4)	21 (30)	26 (37)	19 (27)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	21 (30)	17 (24)	24 (34)	8 (11)
	㉑ 土佐清水 Tosashimizu	51 (100)	—	5 (10)	17 (33)	14 (27)	11 (22)	1 (2)	3 (6)	—	14 (27)	13 (25)	19 (37)	5 (10)
	㉑ 高 松 Takamatsu	43 (100)	2 (3)	6 (9)	9 (14)	8 (12)	8 (12)	6 (9)	4 (6)	—	6 (14)	13 (30)	18 (44)	6 (14)
	㉑ 三ヶ日 Mikkabi	91 (100)	—	10 (11)	28 (31)	22 (24)	25 (27)	4 (4)	2 (2)	1 (1)	22 (24)	39 (43)	27 (30)	2 (2)
	㉑ 銚 子 Choshi	58 (100)	—	3 (5)	20 (34)	18 (31)	12 (21)	4 (7)	1 (2)	1 (2)	13 (22)	33 (57)	11 (19)	—
	㉑ 十 王 Jyo	110 (100)	—	18 (16)	40 (36)	40 (36)	9 (8)	3 (3)	—	1 (1)	20 (18)	64 (58)	24 (22)	1 (1)
	㉑ 広 野 Hirono	61 (100)	5 (8)	11 (18)	16 (26)	18 (30)	9 (15)	1 (2)	1 (2)	—	7 (11)	46 (75)	5 (8)	3 (5)
	㉑ 原 町 Haramachi	56 (100)	1 (2)	4 (7)	10 (18)	17 (30)	14 (25)	8 (14)	2 (4)	—	15 (27)	20 (36)	21 (38)	—
	㉑ 相 馬 Soma	47 (100)	—	6 (13)	18 (38)	15 (32)	8 (17)	—	—	—	14 (30)	30 (64)	3 (6)	—
	㉑ 仙 台 Sendai	93 (100)	—	8 (9)	27 (29)	30 (32)	17 (18)	8 (9)	3 (3)	—	22 (24)	46 (49)	25 (27)	—
日本海側地域 The Sea of Japan Coast Region	㉑ 鳴 瀬 Naruse	106 (100)	1 (1)	4 (4)	16 (15)	29 (27)	28 (26)	17 (16)	11 (10)	2 (2)	10 (9)	56 (53)	36 (34)	2 (2)
	㉑ 六ヶ所 Rokkasho	51 (100)	14 (27)	21 (41)	14 (27)	2 (4)	—	—	—	—	—	16 (31)	33 (65)	2 (4)
	㉑ 岡 垣 Okagaki	91 (100)	1 (1)	16 (18)	44 (48)	20 (22)	8 (9)	2 (2)	—	1 (1)	10 (11)	36 (40)	29 (32)	15 (16)
	㉑ 宮 島 Miyajima	66 (100)	2 (3)	4 (6)	15 (23)	21 (32)	15 (23)	6 (9)	3 (5)	1 (2)	13 (20)	22 (33)	21 (32)	9 (14)
	㉑ 大 田 Ohda	37 (100)	—	3 (8)	6 (16)	18 (49)	10 (27)	—	—	—	6 (16)	13 (35)	13 (35)	5 (14)
	㉑ 加 賀 Kaga	101 (100)	—	2 (2)	22 (22)	39 (39)	26 (26)	7 (7)	5 (5)	1 (1)	37 (37)	11 (11)	36 (36)	16 (16)
	㉑ 村 上 Murakami	67 (100)	—	1 (1)	7 (10)	22 (33)	23 (35)	8 (12)	6 (9)	—	15 (22)	14 (21)	34 (51)	4 (6)
	㉑ 遊 佐 Yuza	57 (100)	—	5 (9)	17 (30)	23 (40)	7 (12)	4 (7)	1 (2)	2 (4)	15 (26)	17 (30)	22 (39)	1 (2)
	㉑ 本 莊 Honjo	53 (100)	2 (4)	9 (17)	20 (38)	17 (32)	4 (8)	—	1 (2)	3 (6)	7 (13)	29 (54)	14 (26)	—
	㉑ 能 代 Noshiro	103 (100)	—	—	8 (8)	29 (28)	28 (27)	19 (18)	19 (18)	—	16 (16)	55 (53)	32 (31)	—
	㉑ 岩 崎 Iwasaki	48 (100)	5 (10)	8 (17)	18 (38)	10 (21)	5 (10)	1 (2)	1 (2)	—	14 (29)	32 (67)	2 (4)	—
	㉑ 平 内 Hiranai	123 (100)	18 (15)	40 (33)	41 (33)	17 (14)	5 (4)	2 (2)	—	—	10 (8)	60 (49)	51 (41)	2 (2)

注：種皮色指数はTable 11の注書き参照。裸書きの数値は母樹数を，括弧書きの数値は百分率を表す。

Notes: Seed-coat color index: See foot note of Table 11. Figures without parentheses show numbers of sampled trees, and figures in parentheses show percentages.

Table 13. 太平洋側と日本海側の2地域間および林分間の種子千粒重と種皮色指数の分散分析

The tests of differences of the stand mean weights of one-thousand-seeds and the color indexes of seed-coats between two regions of the Pacific Coast Region and the Sea of Japan Coast Region, and among stands

要 因 Factor		自由度 degrees of freedom	平方和 sum of square	平均平方 mean square	分散比 F
種子千粒重 One-thousand-seed weight	地 域 Region	1	0.578	0.578	(0.002)
	地域内林分 Stand within Region	20	5,101.066	255.053	29.95***
	誤 差 Error	1,562	13,302.538	8.516	
	全 体 Total	1,583	18,404.182		
種皮色指数 Seed-coat color index	地 域 Region	1	5.130	5.130	(1.84)
	地域内林分 Stand within Region	20	69.425	3.471	5.19***
	誤 差 Error	1,562	1,044.939	0.669	
	合 計 Total	1,583	1,119.494		

注：*** 0.1%レベルで有意差あり。括弧書きの分散比は別に求めた。

Notes:*** Significant at the 0.1% level. Values in parentheses show variance ratios calculated apart.

種子千粒重と種皮色指数の2形質について、22林分間および太平洋側地域（ただし、四国地方の高松市は太平洋側地域に含めた）と日本海側地域（ただし、中国地方の宮島町は日本海側地域に含めた）の2地域間の差異についてTable 13のとおり分散分析を行った。この2地域の区分は、クロマツの分布の拡大が、わが国では西南部から太平洋沿岸と日本海沿岸に沿った2つの経路で北上したと考えられることから、この2経路間の2形質についての差異を分析するために行った。

両形質ともに地域内の林分間には0.1%水準で有意差が認められたが、地域間については有意差が認められなかった。

このように、両形質ともに太平洋側と日本海側の地域間よりも林分間により大きな変異が認められた。

このことは、前述のアイソザイム分析による林分間の遺伝的な相違の程度により行った地域区分（Fig. 15参照）が、おおむね南北の線で区分されており、それぞれの地域内での太平洋側と日本海側の遺伝的な差異が小さいことと類似している。

4.3.2 種子千粒重と種皮色の林分内平均値および林分内変異係数と経緯度との相関

4.3.2.1 種子千粒重と種皮色の林分内平均値と経緯度との相関

Table 14. 各林分の種子千粒重と種皮色指数の平均値ならびに変異係数と経緯度との相関係数

Correlation coefficients of stand means or stand coefficients of variation both of the one-thousand-seed weights or seed-coat color indexes with latitude and longitude of the stands

		単 相 関 係 数 Simple-correlation coefficient		重 相 関 係 数 Multiple-correla- tion coefficient
		緯 度 Latitude	経 度 Longitude	
平 均 値 Mean value	種子千粒重 One thousand seed weight	-0.252	-0.120	0.297
	種皮色指数 Seed coat color index	-0.190	-0.458 *	0.569 **
変異係数 Coefficient of variation	種子千粒重 One thousand seed weight	0.229	0.178	0.230
	種皮色指数 Seed coat color index	-0.671 ***	-0.648 ***	0.691 ***

注 : * 5%レベルで有意, ** 1%レベルで有意, *** 0.1%レベルで有意。

Note: * Significant at the 5% level; ** Significant at the 1% level;

*** Significant at the 0.1% level.

各林分内の種子千粒重の平均値および種皮色指数の平均値と各林分の所在地の緯度および経度との相関係数は、Table 14に示すとおりである。

種子千粒重については、緯度ならびに経度との間には、有意な相関がみられなかった。種皮色は、西南地方では淡色が多く、東北地方では濃色が多かった。すなわち、種皮色指数については、経度との間に有意な単相関が、緯度ならびに経度との間に有意な重相関が認められた。

このクロマツの種皮色の濃淡の地域的变化については、アカマツにおける同様の中村⁷⁰⁾の調査での西南地方産は淡色であり東北地方産は濃色であるという結果と同様である。

ここで、経度との間に単相関が、緯度ならびに経度との間に重相関が認められた各林分内の種皮色指数の平均値をもとに、地域区分を行った。すなわち、巨視的な観点から、調査した22林分について種皮色指数が22林分全体の平均値の3.21より大きい11林分と小さい11林分に区分して、2つの地域区分を行うと、Fig. 16のように東北地方の北東部を除き、種皮色指数が大きく淡色が多い西南日本（Ⅰ）と同指数が小さく濃色が多い東北日本（Ⅱ）に大別された。

4. 3. 2. 2 種子千粒重と種皮色の林分内変異係数と経緯度との相関

各林分内の種子千粒重と種皮色指数の変異係数は、Table 11に示すとおりである。

各林分内の種子千粒重および種皮色指数の変異係数と各林分の緯度および経度との相関係数は、Table 14に示すとおりである。種子千粒重については、緯度および経度との間に有意な相関は認められない。一方、種皮色指数の変異係数については、緯度および経度との間に有意な負の単相関が認められ（Fig. 17およびFig. 18参照）、また、それらとの重相関についても有意な相関が認められた。なお、各林分の種皮色指数

の変異係数をグラフで表わすと Fig. 19のようになる。この図では、太平洋側地域と日本海側地域の2地域に区分して配列した。両地域ともに、南西から北東に進むに従って、変異が縮小傾向にあり、地理的勾配が認められる。

以上のように、千粒重については、林分内平均値および林分内変異とも緯度または経度との間に有意な相関は認められなかった。

一方、種皮色指数については、林分内平均値では、西南日本が3.24~3.56で暗褐色種子~灰色種子を生じる個体が混在し、東北地方が北東部の例外地域を除き暗褐色種子と濃褐色種子を生じる個体が多い傾向を示している。

林分内変異では、巨視的には南西から北東に進むに従って、変異が縮小していることが明らかになった。

一般に、林木遺伝資源の現地保存箇所の選定にあたっては、最小限、緯度的に片寄らないこと、ある気候区に片寄らないことが必要であるとともに、分布域の中で例えば極端に標高が高い林分など特異なもの

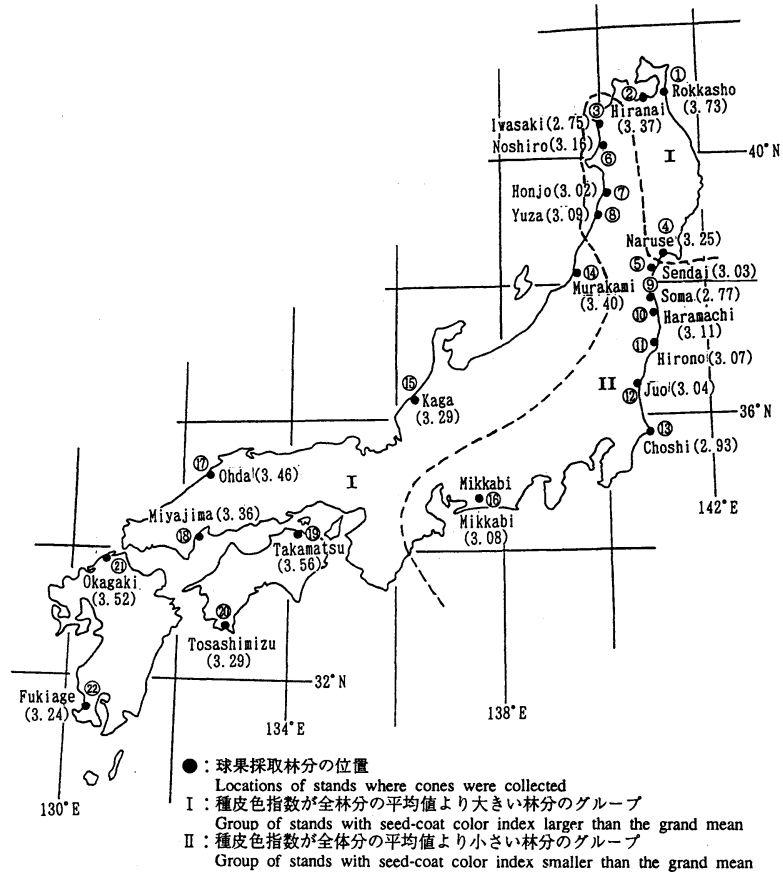


Fig. 16. 天然生クロマツの林分間の種皮色指数の相違の程度による地域区分図
Delineation of groups of stands by the degrees of differences of seed-coat color indexes among natural stands of Japanese black pine

注：括弧書きの数値は、各林分の種皮色指数を表す。

Note : Figures in parentheses show values of seed-coat color index of individual stands.

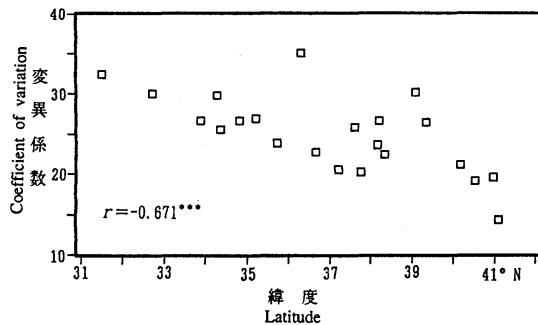


Fig. 17. 各林分の種皮色指数の変異係数と緯度との関係
Relationship between coefficients of variation of seed-coat color indexes and latitudes of the stands

Note : *** 0.1% レベルで有意。

*** Significant at the 0.1% level.

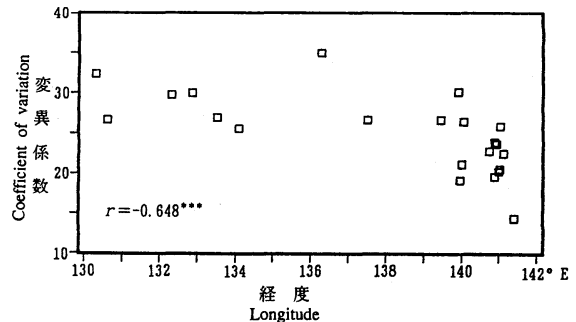


Fig. 18. 各林分の種皮色指数の変異係数と経度との関係
Relationship between coefficients of variation of seed-coat color indexes and longitudes of the stands

Note : *** 0.1% レベルで有意。

*** Significant at the 0.1% level.

は保存すること、遺伝的分化の中心において多くの林分を保存することが必要と言われている¹⁶⁾。

クロマツの遺伝資源の現地保存箇所の選定にあたっては、緯度および経度とのバランスを考慮しつつ箇所の選定を行うことの必要性が、上記の種皮色の地理的変異からも裏付けられた。

4.3.3 種子千粒重と種皮色間の関係

4.3.3.1 個体レベルでの種子千粒重と種皮色間の関係

各林分内において、個体ごとに種子千粒重と種皮色指数との間の関係をみるため、両者を階級区分した2元表に個体頻度をまとめ、 χ^2 検定を行った。この場合まず、Table 12に示すように種子の千粒重については7階級に、種皮色指数については、先の5階級にそれぞれ区分した。そして、種子千粒重と種皮色とのクロス表を作成し、それぞれのブロックにおける実測値と理論値の個体頻度を算出した。なお、一つのブロックの理論値が5以上となるようにブロックの統合を行った。例えば、三ヶ日町の場合では、Table 15のように9ブロックになり、 χ^2 検定によるP値は、0.3以上となる。

各林分の χ^2 検定の結果は、Table 16のとおりであり、原町市と加賀市を除き実測値と理論値の間に有意差は認められない。したがって、個体ごとの種子千粒重と種皮色指数とは互いに独立の関係にあるとみなされる。

Table 15. 三ヶ日町の林分における種子千粒重と種皮色指数の区分ごとの個体分布頻度についての χ^2 検定

The chi-square test of the frequencies of individuals in classes of the one-thousand-seed weights and the seed-coat color indexes at Mikkabi Town

種子千粒重 One-thousand-seed weight	種皮色指数 Seed-coat color index			合計 Total	χ^2 (P)
	1・2	3	4・5		
$\leq 12.5g$	8 (9.6)	21 (16.3)	9 (12.1)	38	
$12.5 < \sim \leq 15g$	8 (5.6)	7 (9.4)	7 (7.0)	22	
$15g <$	7 (7.8)	11 (13.3)	13 (9.9)	31	
合計 Totals	23	39	29	91	4.54 (0.3~0.5)

注：各上段の裸書きの数値は母樹の実測値を、各下段の括弧書きの数値はその期待値をそれぞれ表す。

Note: Figures without parentheses of the upper line show observed values of seed trees, and figures in parentheses of the lower line show expected values of seed trees.

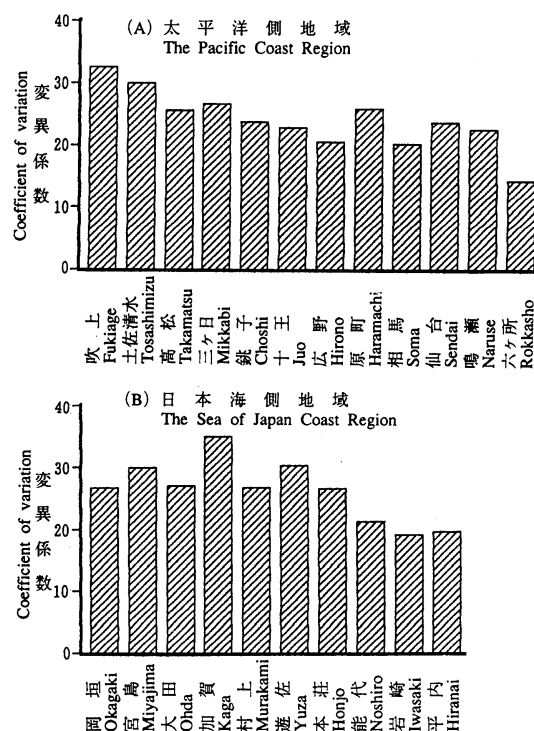


Fig. 19. 各林分における種皮色指数の変異係数
Coefficients of variation of seed-coat color indexes in individual stands

Table 16. 各林分における種子千粒重と種皮色指数の区分ごとの個体分布頻度についての χ^2 検定
 The chi-square tests of the frequencies of individuals in classes of the one-thousand-seed weights and the seed-coat color indexes of individual stands

林分 Stand	球果採取 母樹数 Number of sampled trees	区 分 の 範 囲 Range of divisions		自由度 Degree of freedom	χ^2 (P)
		種子千粒重 One-thousand-seed weight	種皮色指数 Seed-coat color index		
吹上 Fukiage	71	$\leq 12.5g$, $12.5 < \sim \leq 15g$, $15g <$	1・2・3, 4・5	2	5.90 (0.05~0.1)
土佐清水 Tosashimizu	51	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	2, 3, 4・5	2	0.94 (0.5~0.8)
高松 Takamatsu	43	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	2・3, 4・5	1	2.46 (0.1~0.2)
三ヶ日 Mikkabi	91	$\leq 12.5g$, $12.5 < \sim \leq 15g$, $15g <$	1・2, 3, 4・5	4	4.54 (0.3~0.5)
銚子 Choshi	58	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	1・2, 3・4	1	2.27 (0.1~0.2)
十王 Juo	110	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	1・2, 3, 4・5	2	2.57 (0.2~0.3)
広野 Hirono	61	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	2・3, 4・5	1	1.87 (0.1~0.2)
原町 Haramachi	56	$\leq 15g$, $15g <$	2・3, 4	1	7.78** (0.001~0.01)
相馬 Soma	47	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	2, 3・4	1	0.50 (0.3~0.5)
仙台 Sendai	93	$\leq 12.5g$, $12.5 < \sim \leq 15g$, $15g <$	2, 3, 4	4	4.39 (0.3~0.5)
鳴瀬 Naruse	106	$\leq 15g$, $15g <$	1・2, 3, 4・5	2	1.65 (0.3~0.5)
六ヶ所 Rokkasho	51	$\leq 10g$, $10g <$	3, 4・5	1	0.42 (0.3~0.5)
岡垣 Okagaki	91	$\leq 10g$, $10 < \sim \leq 12.5g$, $12.5g <$	1・2・3, 4・5	2	1.97 (0.3~0.5)
宮島 Miyajima	66	$\leq 12.5g$, $12.5 < \sim \leq 15g$, $15g <$	1・2・3, 4・5	2	4.71 (0.05~0.1)
大田 Ohda	37	$\leq 15g$, $15g <$	2・3, 4・5	1	0.01 (0.9~0.95)
加賀 Kaga	101	$\leq 12.5g$, $12.5 < \sim \leq 15g$, $15 < \sim \leq 17.5g$, $17.5g <$	1・2・3, 4・5	3	9.13* (0.02~0.05)
村上 Murakami	67	$\leq 15g$, $15g <$	2, 3, 4・5	2	1.02 (0.5~0.8)
遊佐 Yuza	57	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	1・2, 3, 4	2	2.59 (0.2~0.3)
十王 Honjo	53	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	1・2・3, 4	1	2.26 (0.1~0.2)
能代 Noshiro	103	$\leq 17.5g$, $17.5g <$	2, 3, 4	2	1.00 (0.5~0.8)
岩崎 Iwasaki	48	$\leq 12.5g$, $12.5g <$	2, 3・4	1	0.44 (0.5~0.8)
平内 Hiranai	123	$\leq 7.5g$, $7.5 < \sim \leq 10g$, $10 < \sim \leq 12.5g$, $12.5g <$	2・3, 4・5	3	6.53 (0.05~0.1)

注：各林分の各区分における期待値は5以上になるようにした。ただし、広野町については最小の期待値は3.8である。** 1%レベルで有意, * 5%レベルで有意。

Notes: For each division of each stand, expected values were made to be more than 5, but the smallest expected value, that of Hirono Town, was 3.8. ** Significant at the 1% level. * Significant at the 5% level.

4.3.3.2 林分レベルでの種子千粒重と種皮色間の相関

種子千粒重と種皮色指数との間において、各林分のその平均値および変異係数について、相関の有無を調べたところ、平均値については $r = -0.123$ 、変異係数については $r = -0.076$ と、いずれも有意な相関は認められなかった。

このことは、林分レベルでみた場合でも、種子の千粒重と種皮色指数とは互いに独立の関係にあることを示唆している。

4.4 まとめ

遺伝資源としてのクロマツの現地保存の方法、とりわけ保存箇所の効果的な選定方法の検討を進めるための基礎情報を得るため、この項では、アイソザイム分析の補助とすることの可否を確かめるため、アイソザイム分析で使用したものと同一の母樹から採取した種子を用いて、千粒重と種皮色の林分内と林分間の変異について追究した。

千粒重については、林分内平均値および林分内変異とも緯度または経度との間に有意な相関は認められなかった。

一方、種皮色指数については、林分内平均値では、西南日本が暗褐色種子～灰色種子を生じる個体が混在し、東北地方が北東部の例外地域を除き暗褐色種子と濃褐色種子を生じる個体が多い傾向を示した。林分内変異係数では、緯度および経度との間に有意な負の相関が認められ、巨視的には南西から北東に進むに従って、変異が縮小していることが明らかになった。すなわち、アロザイム変異と同様に、西南日本の方が東北日本よりも種皮色の変異が大きいことを示すものである。

なお、種子千粒重と種皮色指数間の関係については、個体レベルでも、また林分レベルでも、ともに互いに独立の関係にあることが示唆された。

5 総合考察

本研究は、わが国の主要造林樹種であるクロマツについて、遺伝資源保存を積極的に進めるため、松枯れ被害後のクロマツ現存林分の概況調査およびアロザイムを指標とした集団遺伝学的手法により、本州、四国および九州の各地で選定したクロマツ天然生林、22林分の遺伝的変異を明らかにしたものである。併せて、同一林分の種子千粒重および種皮色の変異についても明らかにした。すなわち、クロマツの地域的な遺伝的分化および遺伝的多様性を個体別のアロザイム遺伝子型、種子千粒重および種皮色の調査資料の解析により明らかにした。

クロマツの天然分布地域をほぼカバーするように、本州・四国・九州地域において選定したクロマツ天然生林、22林分において母樹別に採取した総計1,584母樹の種子を供試した。アイソザイム分析は、アルコール脱水素酵素など6酵素種、計14遺伝子座を対象とし、集団遺伝学的解析によって林分内、林分間および地域別の林分群間の遺伝的分化を調べた。その結果、わが国のクロマツは西南日本（九州・四国・中国）と東北日本（本州中部以北）の2つに区分され、さらに前者は2区、後者は3区に細区分された。種子千粒重に

は地域差が認められなかったが、種皮色は東北地方の北東部を除けば西南地域から東北地域へ移るほど濃色化が強まるとともに変異が縮小するクラインが認められた。これはアロザイム変異と類似の変化のパターンであった。

以下、この項においてはクロマツのアロザイム変異性、林分間の遺伝的差異、アロザイム変異と種子形質の関係および本研究におけるクロマツの地域による遺伝的分化と林業種苗法により規定されている現行のクロマツの種苗配布区域との食い違いを論じた。その成果をもとに、最後にクロマツの遺伝資源保存のあり方について提言をまとめた。

5.1 クロマツのアロザイム変異性

針葉樹類は、他の植物種に比較してアロザイム変異が大変大きいことが報告されている⁵²⁾。そして、HAMRICK and GODT²⁰⁾が取りまとめた55種(亜種を含む)の裸子植物における平均ヘテロ接合度(H_T)の平均値は、0.173である。本研究における調査対象の全林分の平均ヘテロ接合度(H_T)は0.259であり、分析した酵素種が必ずしも同一ではないが、クロマツの種として保有している遺伝的変異性は針葉樹の中でも大きいといえる。なお、クロマツの H_T (0.259)は、同じマツ属のカリビアマツの4天然林集団についての11遺伝子座での0.297⁴⁶⁾やヨーロッパクロマツの28天然林集団についての4遺伝子座での0.326⁸³⁾、ヨーロッパアカマツの9天然林集団についての11遺伝子座での0.307²¹⁾に比べても大差はなく、マツ属の他の種と同程度であった。

5.2 クロマツ林分間の遺伝的差異

本研究のクロマツでは、分集団間の分化の程度を示す遺伝子分化係数(G_{ST})は0.073で、各集団間の遺伝的差異を示す遺伝距離(D)の平均値は0.025であった。HAMRICK and GODT²⁰⁾が取りまとめた80種(亜種を含む)の裸子植物における G_{ST} の平均値は、0.068であり、HAMRICK²⁰⁾が取りまとめた91種の植物のうち、15種30例のマツ科樹種の G_{ST} は、0.003~0.258である。これらの値と比較すると、クロマツは、他の多くの針葉樹やマツ科樹種とおおむね同程度の値であることがわかる。なお、クロマツの G_{ST} (0.073)は、同じマツ属のシベリアアカマツの8天然林集団についての20遺伝子座での0.041²⁰⁾やロシア東部のハイマツの5天然林集団についての22遺伝子座での0.043¹⁹⁾、ヨーロッパアカマツの0.017²¹⁾に比べれば大きく、カリビアマツの0.131⁴⁶⁾やヨーロッパクロマツの0.135⁸³⁾に比べれば小さな値を示している。すなわち、クロマツは、マツ属の他の種(亜種)と比較しても同程度の遺伝的分化が起きていると考えられる。

また、遺伝的な相違の程度により作成したFig. 15の地域区分図では、おおむね太平洋側から日本海側の南北の線で区分されている。そして、クロマツの各林分における平均ヘテロ接合度(H_e)は0.21~0.27であり、林分間で遺伝的変異の大きさに著しい差はみられなかったが、巨視的には、西南日本の方が東北日本よりも遺伝的変異が大きいといえる。

以上のように、クロマツは、①他の針葉樹と同程度の遺伝的な分化が起きていると考えられる、②遺伝的変異の大きさに林分間で著しい差はないが、巨視的には西南日本の方が東北日本よりも遺伝的変異が大きい、という結果が得られた。

なお、Fig. 15の天然生クロマツの林分間の遺伝的な相違の程度による地域区分図においては、それぞれの地域はおおむね太平洋側から日本海側に至る南北の線で区切られている。その原因については、太平洋側と日本海側とそれぞれにおいて同時並行的に西南日本から東北日本へと分布を拡大していったことによるものか、その他の要因によるものか、現在のところ不明であるが、このような地域区分がなされたことは大変興味深いことである。また、YASUE *et al.*¹⁴⁰⁾ は、Fig. 20のとおり、スギのジテルペン炭化水素組成の個体割合に基づくスギ天然林の地理的区分を行っている。この区分において、東北地方の裏スギと表スギの境は、秋田県南部から南へ伸びる線で区分されている。クロマツの場合も、Fig. 15の地域区分図の東北地方においては、同様な地域で区分されている。

これは青森・秋田両県地域の天然生のスギとクロマツはともに太平洋側の集団としての遺伝的要素を保有していることを意味し、非常に興味深いことである。なお、YASUE *et al.*が区分した裏スギはジテルペンの一種のスクラレンを含有する個体が多い特色をもち、スクラレンはコケ・シダなどに多く含まれる成分である。一方、青森・秋田両県地域の表スギはフィロクラデンを含有する個体が多く、この成分は高等植物に多く含まれるジテルペン成分である。このように、東北地方北西部の青森・秋田両県地域は、地理的には日本海側に位置しているが、遺伝的には、スギと同様にクロマツも太平洋側の集団としての要素をもっていることが明らかになった。

5.3 アロザイム変異と種子形質の変異との関連

3項で明らかにしたクロマツの各林分ごとの6酵素種14アイソザイム遺伝子座の平均ヘテロ接合度 (H_e) と、4項で明らかにした同一の各林分の種子千粒重の変異係数および種皮色指数の変異係数との間の相関関係を調べた。

種子千粒重の変異係数に対しては $r = -0.051$ で、種皮色指数の変異係数に対しては $r = 0.347$ で、ともに有意な相関は認められなかった。この原因として以下のいずれかが推測される。

- ① アロザイム変異、すなわち、平均ヘテロ接合度 (H_e) が、最大の林分で0.27、最小の林分で0.21と林分間に著しい差がなかったことから、有意な相関がみられなかったと考えられること。
- ② 各林分におけるアロザイム変異と種子千粒重および種皮色指数のいわゆる形態的変異とは互いに独立の関係にあること。

なお、リギダマツの事例においては、天然林から採取した種子から養苗した稚苗についての生重量、苗

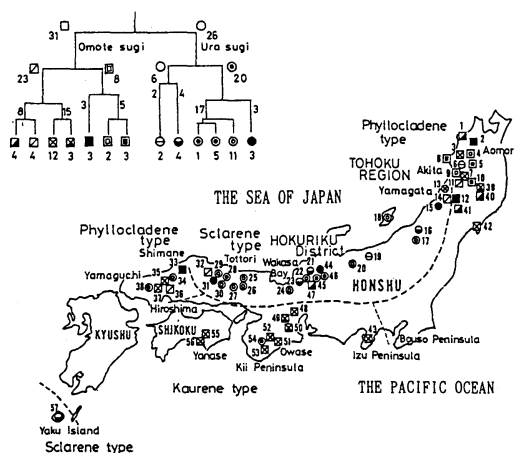


Fig. 20. スギのジテルペン炭化水素組成の個体割合に基づくスギ天然林の地理的区分 (YASUE *et al.*, 1987)¹⁴⁰⁾
Geographical differentiation of natural *Cryptomeria japonica* stands analyzed by diterpene hydrocarbon constituents of individual trees (YASUE *et al.*, 1987)¹⁴⁰⁾

注：凡例はOHBA (1993)⁹¹⁾ による。

Note: The legend was made by OHBA (1993)⁹¹⁾.

高、苗径、最長根の長さ、針葉長などの形態的形質等の林分間の相違の程度によるクラスター分析結果とアイソザイム分析による遺伝的な相違の程度による同様のクラスター分析結果とは、一部地域を除きおおむね一致している¹⁵⁾。

クロマツのアロザイム変異と種皮色の変異との共通点として、次のことがあげられる。

- ① クロマツのアロザイム変異と種皮色の変異は、ともに南西から北東へ進むに従って縮小しているという共通点が認められること。
- ② アロザイムの場合と同様に、種皮色についても、東北地方においては、日本海側の青森県・秋田県の両地域は、太平洋側の変異と類似していること。しかも、YASUE *et al.*¹⁴⁰⁾の報告したスギのジテルペン変異においても太平洋側の遺伝要素が日本海側の青森県・秋田県の一部に分布し、クロマツの遺伝的変異の分化に共通点がみられる。

そして、クロマツにおいて、アロザイムを指標とした林分間の遺伝的な相違の程度により作成したFig. 15と林分間の種皮色指数の相違の程度により作成したFig. 16とを巨視的に対比してみると以下のとおりである。アロザイムの場合は、大きくは西南日本（Ⅰ）と東北日本（Ⅱ）とに区分され、種皮色の場合も、おおむね西南日本（Ⅰ）と東北日本（Ⅱ）に区分されている。すなわち、アロザイムの地理的な変異と種皮色の地理的な変異には、おおむね同様の傾向がみられる。このことは、巨視的な観点からの遺伝的な相違の程度による地域区分を行う場合には、アイソザイム分析の補助として、多数の林分について種皮色の調査を加えることの有効性を示唆している。

5.4 クロマツの種苗配布区域と遺伝資源保全

3項のFig. 15の天然生クロマツの林分間の遺伝的な相違の程度による地域区分図などから、クロマツについての林業種苗法で規定されている種苗の配布区域との関連および遺伝資源の現地保存箇所の選定について考察する。

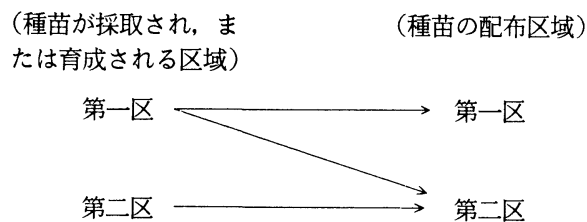
5.4.1 クロマツ種苗の配布区域

林業種苗法（昭和45年法律第89号）第24条第1項において、「農林水産大臣は、造林の適正かつ円滑な推進を図るため特に必要があると認められるときは、農林水産省令で定めるところにより、一定の区域において採取され、または育成される種苗について気候その他の自然条件からみておおむねその樹木としての生育に適すると認められる区域を配布区域として指定することができる」と規定されている。そして、1971年（昭和46年）の農林省告示第179号において、スギ、ヒノキ、アカマツおよびクロマツの4樹種についてのみ種苗の配布区域が定められている。

なお、わが国においては不良種子あるいは適地を誤った林業種苗の使用を避ける目的で、1934年（昭和9年）に「造林用種子払下規則」が制定され、その際、「林木種子配給区域」も制定された。この地域区分は、夏季に比較的に雨が多い表日本型気候、冬季の降水の多い裏日本型気候などの特性、森林植生および樹種別の生育状態などを考慮して定められた。この告示は昭和14年に制定された林業種苗法に付随して、1951年（昭和26年）に農林省告示によって「林木種子配給区分」が「種苗の配布区域」に改正され、施行され

た。すなわち、この区分は昭和初期までの森林・造林に関する知見によるものである。1971年（昭和46年）にこの地域区分の再採用をせざるを得なかったのは、この区分を変更するのに十分な造林・遺伝情報の蓄積がなかったためである。

クロマツの種苗の配布区域は、Fig. 21のように本州脊梁山脈を境にして第一区（日本海側）と第二区（太平洋側）に分けられており、種苗の配布は下記のように、日本海側（第一区）で採取または育成された種苗は、全国で植栽でき、太平洋側（第二区）で採取または育成された種苗は、太平洋側（第二区）のみで植栽できることとなっている。これは、少雪地帯の種苗を多雪地帯に造林して、成林しなかった失敗事例が多いことに基づくものである。



ところで、Fig. 21に、既存の種苗の配布区域とアイソザイム分析での林分間の遺伝的な相違の程度により作成した地域区分図とを対比して示した。この図からも明らかなように、既存の種苗の配布区域は、日本海側と太平洋側とに区分されているが、アイソザイム分析では、特に西南日本（Ⅰ）と東北日本（Ⅱ）の間では遺伝的な相違が比較的大きい。したがって、種苗の配布区域については、西南日本（Ⅰ）と東北日本（Ⅱ）に区分し、その間の造林事業用の種苗の交流は、差し控えることが肝要と考えられる。

なお、村井ら⁶⁸⁾は、クロマツの植生分布図、苗木の形態調査結果等に基づき、Fig. 22のクロマツ種苗配布区域想定図を提案している。この提案では、東海—敦賀線で東北日本と西南日本に区分し、さらに、西南日本を南九州とそれ以外の区域に区分している。この提案においても配布区域を日本海側と太平洋側に区分するのではなく、東北日本と西南日本に区分すべきこととされているが、その重要性が、対立遺伝子レベルでの本研究において確認できたこととなる。

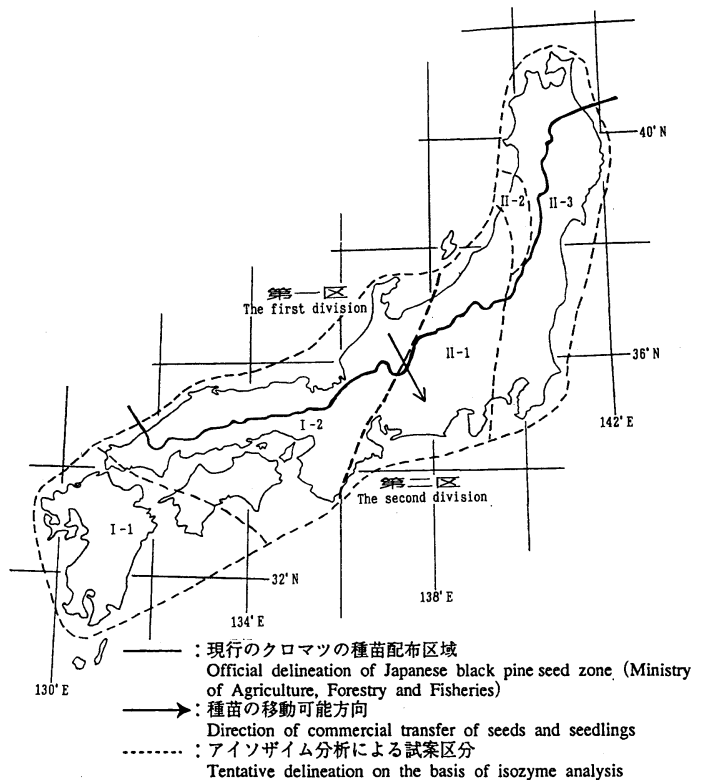


Fig. 21. クロマツの種苗の配布区域とアイソザイム分析による試案区分
Official delineation of seed zone and tentative modified one on the basis of isozyme analysis in Japanese black pine

5. 4. 2 遺伝資源の現地保存箇所の選定

林野庁の営林(支)局においては、1986年から林業用樹種および希少樹種を主体に遺伝資源の現地保存を進めるため、国有林において、主として天然林を対象に「林木遺伝資源保存林」の設定を行っている。また、林野庁の林木育種センターと営林(支)局、都道府県とが連携して、1964年から優良遺伝子群の確保のため、主要造林樹種を主体に優良林分(同遺伝子群)が伐採される前に種子を採取し、養苗のうえその後継林分としての「遺伝子保存林」の造成を進めている。



Fig. 22. クロマツ種苗配布区域想定図 (村井ら, 1966) (68)
Proposed delineation of Japanese black pine seed zone by MURAI et al. (1966) (68)

クロマツを保存対象樹種としている現地保存の林木遺伝資源保存林は、1992年度末現在、Fig. 23のように東北地方のみにおいて、天然林が3箇所(●印)、人工林が1箇所(★印)設定されている(66)。また、遺伝子保存林造成済みでその採種源が天然生林であるものについてその親林分の位置をFig. 23に▲印で示した。これらは、東北地方に1箇所、四国・九州地方に3箇所、合計4箇所がある(67)。

ところで、▲印の天然生林である採種源林分については、その周辺にこれらの遺伝子群を遺伝子保存林の造成という形で現地外保存がなされている。採種源林分とその後継林分としての遺伝子保存林とは、林分の位置の多少の移動と林分内容の変動はあるものの、遺伝子保存林も遺伝子群という集団の形態で保存されていることから、これも天然生林の現地保存の代替とみなしたうえで、以下にクロマツの遺伝資源の現地保存箇所の選定について考察した。

遺伝資源の保存にあたっては、現在および将来にわたっての育種材料や各種の研究材料としてそれらが利用されることを前提とすれば、可能な限り多様な遺伝資源を確保しておく必要がある。遺伝的多様性、すなわち、より多くの遺伝的変異の保存が重要である。

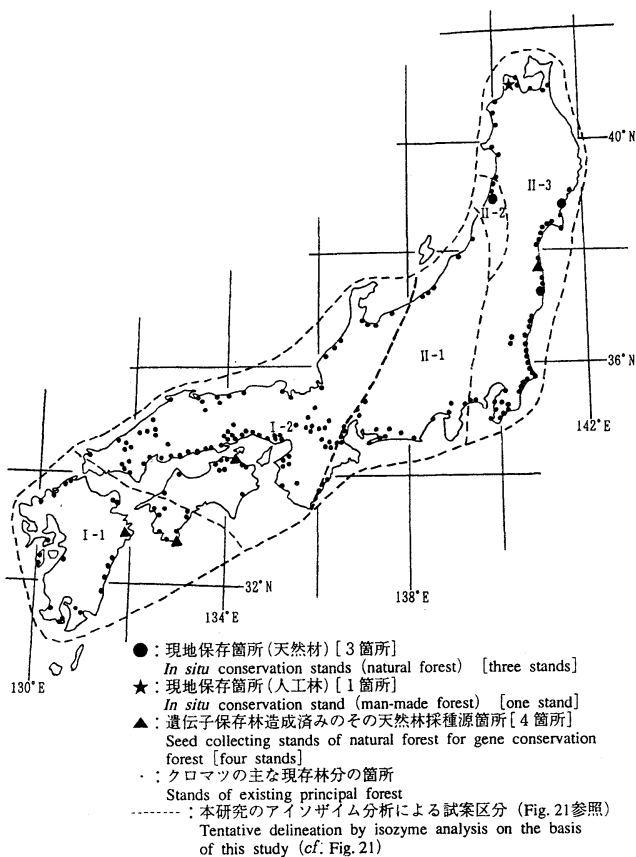


Fig. 23. クロマツ遺伝資源の現地保存箇所および遺伝子保存林造成済みのその天然林採種源箇所ならびにクロマツの主な現存林分の分布
In situ conservation stands and seed collecting stands of natural forest for gene conservation forests regarding genetic resources of Japanese black pine, and stands of existing principal Japanese black pine forests

内田(34)は、わが国のヒノキ天然林のアイソザイム11遺伝子座の分析により、四国の集団が木曽および関東地域集団よりも変異が大きく、3つの遺伝子座において、南高北低のクラインを認めている。また、光

辻⁵¹⁾は、わが国のブナ天然林のアロザイム変異を調査し、現在、ブナの極相林が多い東北地方よりも、九州・四国に遺存的に存在するブナ天然林の方がアロザイム変異が多いことを明らかにした。ヒノキ・ブナとも遺伝資源保存上、西南地域を重視すべきことを述べている。

一般に林木の遺伝資源保存において期待される遺伝子群は、①成長、②材質、③適応性および、④病虫害抵抗性である。①～③はそれぞれの生育現地で表現型として発現されるが、④は当該被害が発生した際にはじめて発現する形質である。また、各種の抵抗性遺伝子の存在頻度は低く、希少遺伝子と考えられている。一方、アロザイム変異が大きい、すなわち対立遺伝子の種類数が多い集団は、希少遺伝子を保有している可能性が高いと推測される。

以上の既報告および本研究のクロマツのアロザイム変異の保有状況に基づけば、現在、西南日本に残存しているクロマツ林分は、遺伝資源の遺伝子多様性の保持という観点から特に重視する必要がある。

現在、クロマツの天然生林に係る遺伝資源については、Fig. 23に示した●印と▲印の合計7箇所の遺伝子群が、現地保存または現地外保存されている。Fig. 23では、これらの箇所とアイソザイム分析での林分間の遺伝的な相違の程度により作成した地域区分図とを対比させて示した。この図からも明らかなように、Ⅱ-1の中部地方では、天然生林に係るクロマツの集団としての遺伝資源保存が皆無である。少なくとも、この地域での現地保存が不可欠である。さらに言えば、この図の各地域で地域内での地理的なバランスを考慮しつつ、さらに数箇所の保存林の設定が望まれる。

なお、マツ林は、西南日本を中心にマツ材線虫病により激減しているが、Fig. 23に示したように、人工林をも含めたクロマツ林は、未だかなりの箇所に存在している。クロマツの遺伝資源の保存を推進するに当たっては、天然生林はもちろんのこと、人工林をも含めた対応が必要と考えられる。これらの多くは、飛砂防止、防風、防潮などの保安林、または、風致林として保護されているが、遺伝資源の面からの保存林としての指定を早急に行う必要がある。

さらに、マツ材線虫病による被害の進展に対し、被害の発生のしにくい高海拔地域（300～400m以上）でのクローン集植、実生苗による現地外保存などを考える必要がある。

5.5 まとめ

わが国でクロマツが分布している青森県から鹿児島県に至る地域における22林分の天然生クロマツの合計1,584個体から採取した種子の単相胚乳を試料として、6酵素種14アイソザイム遺伝子座の遺伝子組成を調べ、集団遺伝学的な解析を行った。また、これらと同一林分の同一母樹から採取した種子について、千粒重と種皮色の調査を行った。

その結果、クロマツが保有している遺伝的変異について以下の知見が得られた。

- ① クロマツが種として保有する遺伝的変異性は、針葉樹の中でも比較的大きい。
- ② クロマツは、多くの針葉樹やマツ科樹種と同程度の遺伝的分化が起きていると考えられる。
- ③ 遺伝的変異の大きさに林分間で著しい差異はないが、西南日本の方が東北日本よりも遺伝的変異が大きい。
- ④ 遺伝距離と地理的距離との間には、正の相関があり、地理的距離が遠くなるほど遺伝的にも相違し

ている。

- ⑤ 遺伝的な相違の程度により九州から東北を地域区分すると、大きくは、西南日本と東北日本の2地域に、さらに細分すると5地域に区分される。
- ⑥ アロザイム変異と種子千粒重の変異係数および種皮色指数の変異係数との間には有意な相関関係は認められない。しかし、巨視的な観点からの遺伝的な相違による地域区分を行う場合には、アイソザイム分析の補助として種皮色の追加調査の有効性が示唆された。

さらに、これらの結果から、クロマツについての林業種苗法で規定されている種苗の配布区域との関連および遺伝資源の現地保存箇所の選定について考察すると、次のことが言えよう。

- ① 林業種苗法で規定されている既存のクロマツの種苗の配布区域は、気候とその他の自然条件から定められており、日本海側と太平洋側とに区分されているが、アイソザイム分析では、特に西南日本と東北日本との間では遺伝的な相違が比較的大きい。したがって、種苗の配布区域については、西南日本と東北日本に区分し、その間の造林事業用の種苗の交流を差し控えることが肝要と考えられる。
- ② 多様な遺伝資源の確保、すなわち遺伝的変異の確保の観点からは、最低限上記の5つの地域区分において、クロマツの天然生林の遺伝資源保存の空白地域である中部地方での現地保存の推進が不可欠である。さらに言えば、5つの各地域において、それぞれの地域内での地理的なバランスを考慮しつつ、数箇所の保存林の増設が望まれる。特に、マツ材線虫病によりマツが激減している西南日本においては、人工林をも含めた対応が必要と考えられる。

摘 要

本研究は、わが国の主要造林樹種であるクロマツ (*Pinus thunbergii*) について、遺伝資源保存を積極的に進めるため、すなわち遺伝資源としての現地保存、とりわけ保存箇所の効果的な選定方法の検討を進めるための基礎情報を得ることを主目的として、松枯れ被害後のクロマツ現存林分の概況調査およびアロザイムを指標として集団遺伝学的手法により、本州、四国および九州の各地で選定したクロマツ天然生林、22林分の遺伝的変異を明らかにしたものである。

クロマツは、木材資源として、また、国土保全上重要な機能を有するものとして、古くから重要視されてきている。そして、近年、マツ材線虫病によるマツ枯損が全国的に発生し、西日本の低海拔地域のクロマツは、アカマツ以上に壊滅的な打撃を受け、当該地方のマツ類の造林の衰退のみならず、両樹種の遺伝資源の消失が社会的にもクローズアップされている。このように、わが国においては、クロマツは、スギ、ヒノキなどととも、極めて重要な樹種の一つであったが、その材の利用性、環境保全上の有用性、また、景観上の特性などから将来も重要な樹種であることは確かであろう。

このクロマツについて、青森県から鹿児島県に至る全国22箇所のクロマツの天然生林の合計1,584個体から採取した種子の単相胚乳を用いて、6酵素種14アイソザイム遺伝子座の遺伝子組成を調査し、クロマツが保有する遺伝的変異、林分間の遺伝的差異を分析した。また、併せて、同一種子を用いて、千粒重と種皮色の林分内変異と林分間変異についても調査した。これらの結果をもとに、クロマツの造林用種苗の配布

区域および林木遺伝資源の現地保存箇所の選定について考察した。

第一に、クロマツの種子の単相胚乳を用いたアイソザイムの遺伝子分析では、すでに19酵素種について37遺伝子座の120対立遺伝子が明らかにされているが、本研究では、グルタミン酸アミノ転移酵素（GOT）アイソザイムの2遺伝子座において、新たに6個の対立遺伝子が明らかになった。

第二に、6酵素種14アイソザイム遺伝子座の遺伝子組成を調べ、集団遺伝学的な解析を行った結果、次の知見が得られた。

- ① クロマツが種として保有している遺伝的変異性、すなわち、調査対象の全林分の平均ヘテロ接合度（ H_T ）は、0.259であり、針葉樹の中でも比較的大きい。
- ② 分集団間の分化の程度を示す遺伝子分化係数（ G_{ST} ）が、この種では0.073で、多くの針葉樹やマツ科樹種と同程度の分化が起きていると考えられる。
- ③ 各林分の平均ヘテロ接合度（ H_e ）は0.21～0.27で林分間で著しい差はないが、巨視的には西南日本の方が東北日本よりも遺伝的変異が大きい。
- ④ 遺伝距離と地理的距離との間には、正の相関があり、地理的距離が遠くなるほど遺伝的にも相違している。
- ⑤ 遺伝的な相違の程度により九州から東北を地域区分すると、大きくは、西南日本と東北日本の2地域に区分され、さらに細分すると5地域に、すなわち、西南日本は、九州・四国西部の地域と四国東部・中国・近畿・北陸の地域に区分され、東北日本は、中部地方、山形県およびその他の地域に区分された。

第三に、種子千粒重と種皮色（種皮の色をその濃淡により5段階に指数化した）の2形質の調査においては、以下の知見が得られた。

- ① 2形質について、22林分間と日本海側地域と太平洋側地域の2地域間の差異については、両形質ともに地域内の林分間には有意差が認められたが、地域間には有意差が認められなかった。すなわち、両形質ともに地域間よりも林分間により大きな変異を有している。
- ② 種子千粒重については、林分内平均値と林分内変異は、ともに緯度または経度との間には有意な相関は認められなかった。一方、種皮色については、東北地方の北東部の例外地域を除き、南西から北東に進むに従って、濃色～淡色の種皮色の混合割合が、濃色の個体頻度が高くなる方向へと変化し、変異が縮小していることが明らかとなった。

この種皮色の調査からも、クロマツの遺伝資源の現地保存箇所の選定については、緯度および経度とのバランスを考慮して行うことの必要性が裏付けられた。

- ③ 2形質間の関係については、個体レベルでみた場合でも林分レベルでみた場合でも、ともに互いに独立の関係にあることが示唆された。

なお、アロザイム変異と種子千粒重および種皮色の2形質の変異との関係については、次の知見が得られた。

- ① 各林分ごとの6酵素種14アイソザイム遺伝子座の平均ヘテロ接合度（ H_e ）と同一の各林分の種子千粒重の変異係数および種皮色指数の変異係数との間には、ともに有意な相関は認められなかった。しか

し、アロザイムを指標とした林分間の遺伝的な相違の程度により作成した地域区分図と種皮色指数の林分間の相違の程度により作成した同様の図とは、おおむね同様の傾向がみられた。このことから、巨視的な観点からの遺伝的な相違の程度による地域区分を行う場合には、アイソザイム分析の補助として、多数の林分について種皮色の調査を加えることの有効性が示唆された。

第四に、以上の結果からクロマツについての林業種苗法で規定されている種苗の配布区域との関連および遺伝資源の現地保存箇所を選定について考察すると、次のことが言えよう。

- ① 林業種苗法で規定されている既存のクロマツの種苗の配布区域は、気候とその他の自然条件から本州脊梁山脈を境にして日本海側と太平洋側とに区分されているが、アイソザイム分析においては、西南日本と東北日本との間で遺伝的な相違が比較的大きい。したがって、種苗の配布区域については、西南日本と東北日本に区分し、その間の造林事業用の種苗の交流を差し控えることが肝要と考えられる。
- ② 多様な遺伝資源の確保、すなわち遺伝的変異の確保の観点からは、最低限上記の5つの地域区分でのクロマツの天然生林に係る集団としての遺伝資源保存の空白地域である中部地方での現地保存の推進が不可欠である。さらに言えば、5つの各地域において、それぞれの地域内での地理的なバランスを考慮しつつ、さらに数箇所の保存林の設定が望まれる。特に、マツ材線虫病によりマツが激減している西南日本においては、人工林をも含めた対応が必要と考えられる。

以上、本研究では、アロザイムを指標とした集団遺伝学的手法により、クロマツ天然生林22林分の遺伝的変異を明らかにした。その結果から、

- ① 西南日本と東北日本との間で遺伝的な相違が比較的大きいことから、種苗の配布区域については、西南日本と東北日本に区分し、その間の造林事業用の種苗の交流を差し控えることが肝要であることを提言した。
- ② クロマツの林分間の遺伝的な相違の程度により九州から東北を地域区分すると、大きくは、西南日本と東北日本の2地域に区分され、さらに細分すると5地域に、すなわち、西南日本は、九州・四国西部の地域と四国東部・中国・近畿・北陸の地域に区分され、東北日本は、中部地方、山形県およびその他の地域に区分された。しかも、西南日本の方が東北地方よりも遺伝的変異が大きいことを明らかにした。多様な遺伝資源の確保の観点からは、この区分に基づき、今後のクロマツの遺伝資源の現地保存箇所の選定を進める必要性を提言した。

謝 辞

本研究の遂行するにあたり、そのきっかけを与えていただくとともに終始励ましの言葉をいただいた塩崎實元関東林木育種場長、きっかけを与えていただくとともに終始ご指導をいただいた林木育種センター育種部長栄花茂博士、また、きっかけから取りまとめに至るまで終始懇切丁寧なご指導をいただいた筑波大学農林学系大庭喜八郎教授に心から謝意を表する。

本論文の取りまとめにあたり、筑波大学生物科学系猪川倫好教授、農林学系高柳謙治教授、生井兵治教

授および荒木眞之助教授には、丁寧なご校閲、ご教示をいただき感謝申し上げます。また、林木育種センター遺伝資源研究室の織田春紀室長および星比呂志博士からゆきとどいたご助言をいただいた。

材料である球果の採取からアイソザイム分析実験に至るまで、林木育種センター北海道育種場の生方正俊氏には非常なご協力をいただいた。国有林からの球果の採取にあたっては、関係する多くの営林署の方々にご協力をいただいた。市有林からの球果の採取にあたっては、島根県の大田市と高知県の土佐清水市の担当課の方々にご配慮をいただいた。

本研究は、以上の多くの方々のご指導、ご協力のもとに成し遂げられたものであり、お世話になった以上の各位に対し、心から感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) ADAMS, W. T. and JOLY, R. J. : Genetics of allozyme variation in loblolly pine, *J. Hered.*, **71**, 33-40 (1980)
- 2) ——— and ——— : Allozyme studies in loblolly pine seed orchards: Clonal variation and frequency of progeny due to self-fertilization, *Silvae Genet.*, **29**, 1-4 (1980)
- 3) ———, NEALE, D. B., DOERKSEN, A. H. and SMITH, D. B. : Inheritance and linkage of isozyme variants from seed and vegetative bud tissues in coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (MIRB.) FRANCO), *Silvae Genet.*, **39**, 153-167 (1990)
- 4) CALAMASSI, R., PUGLISI, S. R. and VANDRAMIN, G. G. : Genetic variation in morphological and anatomical needle characteristics in *Pinus brutia* T EN, *Silvae Genet.*, **37**, 199-206 (1988)
- 5) CHELIAK, W. M. and PYTEL, J. A. : Inheritance and linkage of allozymes in *Larix laricina*, *Silvae Genet.*, **34**, 142-148 (1985)
- 6) CONKLE, M. T. : Electrophoretic analysis of diversity and phylogeny of *Pinus brutia* and closely related taxa, *Systematic Botany*, **13**, 411-424 (1988)
- 7) COYLE, B. F., SHARIK, T. L. and FERET, P. P. : Variation in leaf morphology among disjunct and continuous populations of river birch (*Betula nigra* L.), *Silvae Genet.*, **31**, 122-125 (1982)
- 8) EGUILLUZ PIEDRA, T. : Geographic variation in needles, cones and seeds of *Pinus tecunumanii* in Guatemala, *Silvae Genet.*, **33**, 72-79 (1984)
- 9) EL-KASSABY, Y. A., PARKINSON, J. and DEVITT, J. B. : The effect of crown segment on the mating system in a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) seed orchard, *Silvae Genet.*, **35**, 149-155 (1986)
- 10) ——— and RITLAND, K. : Low levels of pollen contamination in a Douglas-fir orchard as detected by allozyme markers, *Silvae Genet.*, **35**, 224-229 (1986)
- 11) ———, YEH, F. C. and SZIKLAI, O. : Inheritance of allozyme variants in coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*), *Can. J. Genet. Cytol.*, **24**, 325-335 (1982)
- 12) 遠藤治郎・村井 宏・奥村武信・河合英二 : 主要海岸林の実態, 北陸地方, 東海・近畿地方, 京都府・中国地方, 四国・九州地方, 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用— (村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 編), ソフトサイエンス社, 東京, 513pp. (1992)
- 13) FINESCHI, S. : Genetics of chestnut (*Castanea sativa* MILL.), II. Uniformity of isozyme phenotypes in grafted orchards, *Silvae Genet.*, **37**, 82-83 (1988)

- 14) FRANKLIN, E. C. : Survey of mutant forms and inbreeding depression in species of the family Pinaceae, USDA Forest Serv. Res. Pap., SE-61, 1-21 (1970)
- 15) FRYER, J. H. : Agreement between patterns of morphological variability and isozyme band phenotypes in pitch pine, *Silvae Genet.*, **36**, 199-206 (1987)
- 16) 古越隆信・宮田増男 : 林木遺伝資源の保存対策, 関東林木育種場年報, **19**, 78~82 (1987)
- 17) 二井一禎・吉野東洲 : マツノザイセンチュウに対するマツ属の抵抗性, 京大演習林報告, **51**, 23~36 (1979)
- 18) 郷 正士 : アカマツ, クロマツの発芽分化, 日林誌, **43**, 306~305 (1961)
- 19) GONCHARENKO, G. G., PADUTOV, V. E. and SILIN, A. E. : Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines, I. Population structure, genetic variation, and differentiation in *Pinus pumila* (PALL.) REGEL from Chukotsk and Sakhalin, *Silvae Genet.*, **42**, 237-246 (1993)
- 20) ———, ——— and ——— : Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines, II. Genetic variation, diversity, differentiation, and gene flow in *Pinus sibirica* DU TOUR in some lowland and mountain populations, *Silvae Genet.*, **42**, 246-253 (1993)
- 21) GULLBERG, U. YAZDANI, R., RUDIN, D. and RYMAN, N. : Allozyme variation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Sweden, *Silvae Genet.*, **34**, 193-201 (1985)
- 22) GURIES, R. P., FRIEDMAN, S. T. and LEDIG, F. T. : A megagametophyte analysis of genetic linkage in pitch pine (*Pinus rigida* MILL.), *Heredity*, **40**, 309-314 (1978)
- 23) ——— and LEDIG, F. T. : Inheritance of some polymorphic isozymes in pitch pine (*Pinus rigida* MILL.), *Heredity*, **40**, 27-32 (1978)
- 24) 萩原信介 : ブナにおける葉面積のクラインについて, 種生物学研究, **1**, 39~49 (1977)
- 25) HAMRICK, J. L. : The distribution of genetic variation within and among natural plant populations, In: SCHONEWALD - COX, C. M., CHAMBERS, S. M., MACBRYDE, B., and THOMAS, W. L. (eds.), Genetics and conservation. 335-348, 500-508, The Benjamin/Cummings Pub. Comp. Inc., California, 335-348, 500-508 (1983)
- 26) ——— and GODT, J. W. : Allozyme diversity in plant species, In: BROWN, H. D., CLEGG, M. T., KAHKER, A. L., and WEIR, B. S. (eds.), Plant population genetics, breeding, and genetic resources, Sinauer Associates Inc., Sunderland, 43-63 (1989)
- 27) HATTEMER, H. H., STEINER, W. and KOWNATZKI, D. : Genetic markers in birch, *Silvae Genet.*, **39**, 45-50 (1990)
- 28) HAYASHI, S., SAKAI, K. and MURAI, M. : Genetic studies in natural populations of *Pinus*, II. Geographical variation in relation to natural selection, Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ., **12** (21), 87-101 (1976)
- 29) 林 弥栄 : 日本産針葉樹の分類と分布, 農林出版, 東京, 246pp. (1960)
- 30) ——— : 有用樹木図説 (林木編), 誠文堂新光社, 東京, 472pp. (1969)
- 31) 岩田利治・草下正夫 : 邦産松柏類図説, 産業図書, 東京, 247pp. (1952)
- 32) 川尻正二 : 大氷河時代, 東海大学出版会, 東京, 227pp. (1979)
- 33) KIKUTI, H. and OHBA, K. : A complementary gene inheritance of a needle morphology of outward hooking in sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON, *Silvae Genet.*, **30**, 135-141 (1981)
- 34) KIM, ZIN-SUH : Inheritance of leucine aminopeptidase and acid phosphatase isozymes in beech (*Fagus sylvatica* L.), *Silvae Genet.*, **28**, 68-71 (1979)
- 35) 岸 洋一 : マツ材線虫病—松くい虫—精説, トーマス・カンパニー, 東京, 292pp. (1988)
- 36) 清原友也・徳重陽山 : マツ生立木に対する線虫 *Bursaphelenchus* sp. の接種試験, 日林誌, **53**, 210~218 (1971)
- 37) 小林富士雄・細田隆治・奥田素男・竹谷昭彦 : 各種穿孔虫からのマツ材線虫の分離, 22回日林関西支講, 137~139

(1971)

- 38) 河野耕藏・長坂寿俊・織田春紀・栄花茂・久保田権：ナラ類の種内交配および種間交雑における堅果生産とアイソザイムの遺伝様式，林木育種場研究報告，**9**，15～36（1991）
- 39) KRUGMAN, S. L. and JENKINSON, J. L. : *Pinus* L., Seeds of Woody Plants in the United States, Forest Service, USDA Agric. Handbook, 450, 598-638 (1974)
- 40) 倉田 悟：原色日本林業樹木図鑑 第1巻，地球出版，東京，331pp. (1971)
- 41) LIN, T. P., LU, C.H.-S. and YANG, J.-CH. : Allozyme variation in four populations of *Taiwania cryptomerioides* in Taiwan, *Silvae Genet.*, **42**, 278-284 (1993)
- 42) LUNDKVIST, K. : Inheritance of leucine aminopeptidase isozyme in *Picea abies* K. *Hereditas*, **76**, 91-96 (1974)
- 43) 真宮靖治：マツノザイセンチュウの起源をめぐって—アメリカ・フランスでの見聞から，林業技術，**468**，7-10（1981）
- 44) MAMIYA, Y. and KIYOHARA, T. : Description of *Bursaphelenchus lignicolus*. n. sp. (Nematoda: Aphelenchoidae) from pine wood and histopathology of nematodeinfested trees, *Nematologica*, **18**, 120-124 (1972)
- 45) MARKERT, C. L. and MøLLER, F. : Multiple forms of enzymes : Tissue, ontogenetic, and species specific patterns, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, **45**, 753-763 (1959)
- 46) MATHESON, A. C., BELL, J. C. and BARNES, R. D. : Breeding systems and genetic structure in some Central American pine populations, *Silvae Genet.*, **38**, 107-113 (1989)
- 47) MATZIRIS, D. I. : Genetic variation in morphological and anatomical needle characteristics in the black pine of Peloponnesos, *Silvae Genet.*, **33**, 164-169 (1984)
- 48) MERZEAU, D., GIUSTO, F. DI, COMPS, B., THIEBAUT, B. LETOUZEY, D. and CUGUEN, J. : Genetic control of isozyme systems and heterogeneity of pollen contribution in beech (*Fagus sylvatica* L.), *Silvae Genet.*, **38**, 195-201 (1989)
- 49) MIROV, N. T. : The Genus *Pinus*, The Ronald Press, New York, 602pp. (1967)
- 50) MITSOPOULOS, D., J. and PANETSOS, C.P. : Origin of variation in fir forests of Greece, *Silvae Genet.*, **36**, 1-15 (1987)
- 51) 光辻知己：西南日本ブナ天然林のアイソザイム分析による集団遺伝学的研究，修士論文，筑波大学，87pp. (1993)
- 52) MITTON, J. R., STURGEON, K. B. and DAVIS M. L. : Genetic differentiation in ponderosa pine along a steep elevational transect, *Silvae Genet.*, **29**, 100-103 (1980)
- 53) 宮田増男・生方正俊：シラベおよびウラジロモミのアイソザイムの遺伝，日林誌，**75**，356～360（1993）
- 54) 宮脇 昭：日本の植生，学習研究社，東京，535pp. (1977)
- 55) 三好教夫：人類文明と攪乱の地史，日本の植生—侵略と攪乱の生態学（矢野悟道編），東海大学出版会，226pp. (1988)
- 56) ———・伊藤秀三：雲仙・原生沼の花粉分析，雲仙・原生沼の研究，長崎県環境部，16～18（1980）
- 57) 百瀬行男：自然交配におけるアカマツてんぐ巣病症状の分離，日林誌，**49**，66～68（1967）
- 58) MORAN, G. F. and ADAMS, W. T. : Microgeographical patterns of allozyme differentiation in Douglasfir from southwest Oregon, *Forest Science*, **35**, 3-15 (1989)
- 59) ———, BELL, J. C. and MATHESON, A.C. : The genetic structure and levels of inbreeding in a *Pinus radiata* D. DON seed orchard, *Silvae Genet.*, **29**, 190-193 (1980)
- 60) 森本桂・岩崎厚：マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割，日林誌，**54**，177～183（1972）
- 61) MÜLLER - STARCK, G. : Cross-fertilization in a conifer stand inferred from enzyme gene-markers in seeds, *Silvae Genet.*, **26**, 223-226 (1977)

- 62) ———— : Reproductive systems in conifer seed orchards, I. Mating probabilities in a seed orchard of *Pinus sylvestris* L., *Silvae Genet.*, **31**, 188-197 (1982)
- 63) ———— : Genetic differences between tolerant and sensitive beeches (*Fagus sylvatica* L.) in an environmentally stressed adult forest stand, *Silvae Genet.*, **34**, 241-247 (1985)
- 64) ———— : Genetic differences among seed samples from provenances of *Pinus sylvestris* L., *Silvae Genet.*, **36**, 232-238 (1987)
- 65) ———— and LIU, Y. Q. : Genetics of *Cunninghamia lanceolata* HOOK., 1. Genetic analysis, *Silvae Genet.*, **37**, 236-243 (1988)
- 66) ———— and ———— : Genetics of *Cunninghamia lanceolata* HOOK. 2. Genetic variation within and between two provenance samples, *Silvae Genet.*, **38**, 172-177 (1989)
- 67) 村井正文 : 我が国における遺伝子分析研究の現状, 林木の育種, **140**, 8~10 (1986)
- 68) 村井三郎・佐々木研・高橋直治 : 日本産二葉松の地域系統類別に関する研究, (V) アカマツ, クロマツ種苗配布区域に対する意見, 77回日林講, 254~256 (1966)
- 69) 武藤 惇 : 天然生スギ集団における針葉形質の変異, 林業試験場研究報告, **277**, 21~40 (1975)
- 70) 長坂寿俊・河野耕蔵 : トドマツ交配種子によるアイソザイム遺伝様式, 林木育種場研究報告, **8**, 169~179 (1990)
- 71) 中山 学・小林義雄 : マツ属 *Pinus* LINN., 日本の樹木種子, 針葉樹編 (浅川澄彦・勝田 征・横山敏孝 編), 林木育種協会, 東京, 65~76 (1981)
- 72) NA'EM, M., TSUMURA, Y., UCHIDA, K., NAKAMURA, T. and OHBA, K. : Inheritance of isozyme variants of megagametophyte of Japanese red pine plus tree clones in eastern Japan, *Bull. Tsukuba Univ. Forests*, Vol. **5**, 49-140 (1989)
- 73) ————, ————, ————, ————, SHIMIZU, S. and OHBA, K. : Inheritance of isozyme variants of megagametophyte in Japanese red pine, *J. Jpn. For. Soc.*, **71**, 425-434 (1989)
- 74) ————, ————, ————, ———— and OHBA, K. : Allozyme variation in Japanese red pine trees selected from natural forests, *J. Jpn. For. Soc.*, **73**, 448-452 (1991)
- 75) 中村 純編 : 稲作の起源と伝播に関する花粉分析学的研究, 特定研究「古文化財」昭和52年度報告, 83~88 (1978)
- 76) ———— : 花粉分析による稲作史の研究, 特定研究「古文化財」総括報告書, 185~204 (1980)
- 77) 中村賢太郎 : わが国の造林と技術の変遷, 造林技術の実行と成果—これからの造林の指標として— (造林技術編集会編), 日本林業調査会, 東京, 405pp. (1967)
- 78) 中村得太郎 : アカマツに於ける種子の形状比及び色の分類学的価値, 東大演習林報告, **29**, 1~46 (1940)
- 79) NEAL, D. B. and ADAMS, W. T. : Inheritance of isozyme variations in needle tissues of balsam fir (*Abies balsamea*), *Can. J. Bot.*, **59**, 1285-1291 (1981)
- 80) NEI, M. : Genetic distance between populations, *Am. Nat.*, **106**, 283-292 (1972)
- 81) ———— : Analysis of gene diversity in subdivided populations, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **70**, 3321-3323 (1973)
- 82) ———— : Molecular evolutionary genetics, Columbia University Press, New York, 512pp. (1987)
- 83) NIKOLIĆ, D. and TUCIĆ, N. : Isoenzyme variation within and among populations of European black pine (*Pinus nigra* A. RND), *Silvae Genet.*, **32**, 80-89 (1983)
- 84) 農林水産省経済局統計情報部 : 林業センサス累年統計書, 農林統計協会, 東京, 327pp. (1993)
- 85) ———— : 昭和50年度; 平成元年度林業生産統計年報, 農林統計協会, 東京, 109pp. (1977; 1991)
- 86) 農林水産省農林水産技術会議事務局・林野庁林木育種センター : 林木遺伝資源保存目録 (No.5) —林木遺伝資源保存林編—, 349pp. (1993)
- 87) ————・——— : 林木遺伝資源保存目録 (No.6) —遺伝子保存林編—, 195pp. (1994)
- 88) 大庭喜八郎 : クロマツの黄子苗を生ずる劣性遺伝子および自然自殖率の推定, 日林誌, **54**, 28~29 (1972)

- 89) ——— : マツの生態と松くい虫抵抗性育種, 日本の松の緑を守るNO.39, (社)日本の松の緑を守る会, 東京, 6~14 (1990)
- 90) ———・岩川盛夫・岡田幸郎・村井正文 : アカマツの葉緑素変異苗の発生ひん度による自然自殖率の推定. 日林誌, **53**, 327~333 (1971)
- 91) OHBA, K. : Clonal forestry with sugi (*Cryptomeria japonica*), In: AHUJA, M. R. and LIBBY, W. J. (eds.), Clonal forestry, II. Conservation and appliation. 66-90, Springer-Verlag, Berlin, 66-90 (1993)
- 92) 大西郁夫 : 出雲海岸平野第四紀堆積物の花粉分析, 地質学雑誌, **83**, 603~616 (1977)
- 93) OKUIZUMI, H. : Clone analysis of collected sugi-cutting cultivars of the Kyushu region by the multilocus genotypes of twelve isozyme loci, J. Jpn. For. Soc., **75**, 293-302 (1993)
- 94) ——— : Clone analysis of collected sugi-cutting cultivars from the Sanbu area, Chiba Prefecture, by the multilocus genotypes of twelve isozyme loci, J. Jpn. For. Soc., **75**, 398-404 (1993)
- 95) 奥泉久人・大庭喜八郎・白石進 : スギのアスパラギン酸アミノ転移酵素アイソザイムの遺伝, 日林誌, **72**, 58~61 (1990)
- 96) O'MALLEY, D. M., ALLENDORF, F. W. and BLAKE, G. M. : Inheritance of isozyme variation and heterozygosity in *Pinus ponderosa*, Biochem. Genet., **17**, 233-250 (1979)
- 97) 小沢準二郎 : 針葉樹のタネ生産と管理, 地球出版, 東京, 451pp. (1962)
- 98) 林木育種センター : 林木育種事業統計 (平成2年度~平成4年度), 152pp. (1992~1994)
- 99) 林業発達史調査会 : 日本林業発達史 上巻, 林野庁, 東京, 779pp. (1960)
- 100) 林野弘済会 : 解説日本林業統計, 林野弘済会, 東京, 200pp. (1967)
- 101) ——— : 林業統計要覧 1968年版~ 1991年版, 林野弘済会, 東京, 191pp. (1968~1991)
- 102) ROBERTS, J. H. and CONKLE, M. T. : Genetic structure in loblolly pine stands: Allozyme variation in parents and progeny, Forest Science, **30**, 319-329 (1984)
- 103) RUDIN, D. : Leucine-amino-peptidases (LAP) from needles and macrogametophytes of *Pinus sylvestris* L. Inheritance of allozymes, Hereditas, **85**, 219-226 (1977)
- 104) ——— and EKBERG, I. : Linkage studies in *Pinus sylvestris* L. - using macrogametophyte allozymes, Silvae Genet., **27**, 1-12 (1978)
- 105) SAKAI, K., HAYASHI, S. and IYAMA, S. : Genetic studies in natural populations of *Pinus*, I. Genetic variability in local populations from several prefectures, Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ., **10** (19), 37-49 (1974)
- 106) SALAZAR, R. : Genetic variation in needles of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* BARR. et GOLF. from natural stands, Silvae Genet., **32**, 52-59 (1983)
- 107) SCHILLER, G., CONKLE, M. T. and GRUNWALD, C. : Local differentiation among Mediterranean populations of aleppo pine in their isoenzymes, Silvae Genet., **35**, 11-19 (1986)
- 108) SCHOLZ, F. and BERGMANN, F. : Selection pressure by air pollution as studied by isozyme-gene-systems in Norway spruce exposed to sulphur dioxide, Silvae Genet., **33**, 238-241 (1984)
- 109) SCHROEDER, S. : Isozyme polymorphisms in silver fir (*Abies alba* MILL.), Silvae Genet., **38**, 130-133 (1989)
- 110) 清藤城宏 : アイソザイム遺伝子をマーカーにしたヒノキ天然林の繁殖構造の解析, 日林誌, **72**, 431~434 (1990)
- 111) ——— : シラベの雌性配偶体の遺伝子分析, 山梨県林業技術センター報告, **18**, 1~9 (1992)
- 112) SIEN, H.-H. and LINDGREN, D. : Study of the pollination pattern in a Scots pine seed orchard by means of isozyme analysis, Silvae Genet., **30**, 7-15 (1981)
- 113) 白石 進 : アイソザイム分析法—その実際と林木育種研究への利用 (1), 林木の育種, **142**, 23~25 (1987)

- 114) ——— : アイソザイム分析法—その実際と林木育種研究への利用 (2), 林木の育種, **143**, 34~38 (1987)
- 115) SHIRAIISHI, S. : Linkage relationships among allozyme loci in Japanese black pine, *Pinus thunbergii* PARL., *Silvae Genet.*, **37**, 60-66 (1988)
- 116) ——— : Inheritance of isozyme variations in Japanese black pine, *Pinus thunbergii* PARL., *Silvae Genet.*, **37**, 93-100 (1988)
- 117) 白石 進・上中久子 : ヒノキ針葉パーオキシダーゼ・アイソザイムの遺伝, **94**回日林論, 287~288 (1983)
- 118) SHIRAIISHI, S., KAMINAKA, H. and NISHIMURA, K. : Genetics of glutamate oxaloacetate transaminase isozymes of needle and pollen tissues in *Chamaecyparis obtusa*, *J. Jpn. For. Soc.*, **68**, 499-504 (1986)
- 119) ———, ——— and OHYAMA, N. : Genetic variation and differentiation recognized at two allozyme loci in hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), *J. Jpn. For. Soc.*, **69**, 88-93 (1987)
- 120) SNEATH, P. H. A. and SOKAL, R. R. : Numerical taxonomy, W. H. Freeman and Co., San Francisco, (1973)
- 121) STAUFFER, A. and ADAMS, W. T. : Allozyme variation mating system of three Douglas-fir stands in Switzerland, *Silvae Genet.*, **42**, 254-258 (1993)
- 122) 杉本順一 : 世界の針葉樹, 井上書店, 東京, 302pp. (1987)
- 123) SUYAMA, Y., TSUMURA, Y. and OHBA, K. : Inheritance of isozyme variants and allozyme diversity of *Abies mariesii* in three isolated natural forests, *J. Jpn. For. Soc.*, **74**, 65-73 (1992)
- 124) 高橋 誠 : アイソザイムによる東北日本ブナ天然林の集団遺伝学的研究, 修士論文, 筑波大学, 87pp. (1991)
- 125) THIEBAUT, B., LUMARET, R. and VERNET, PH. : The bud enzymes of beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic distinction and analysis of polymorphism in several French populations, *Silvae Genet.*, **31**, 51-60 (1982)
- 126) 戸田忠雄 : マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業の近況, 林木育種ニュース, **12**, 2~5 (1992)
- 127) 徳川宗敬 : 江戸時代に於ける造林技術の史的研究, 地球出版, 東京, 373pp. (1941)
- 128) 徳重陽山・清原友也 : マツ枯死木中に生息する線虫 *Bursaphelenchus* sp., 日林誌, **51**, 193~195 (1969)
- 129) 戸丸信弘・津村義彦・大庭喜八郎 : チョウセンゴヨウのアイソザイムの遺伝, 日林誌, **72**, 194~200 (1990)
- 130) TSUMURA, Y., TSUBURAYA, H. and OHBA, K. : Genetic control of isozyme variations of megagametophytes of *Ginkgo biloba*, *J. Jpn. For. Soc.*, **69**, 386-390 (1987)
- 131) ———, UCHIDA, K. and OHBA, K. : Genetic control of isozyme variation in needle tissues of *Cryptomeria japonica*, *J. Hered.*, **80**, 291-297 (1989)
- 132) 鶴見和恒・大庭喜八郎・村井正文 : スギ雄花の色の不完全優性遺伝の可能性, 日林誌, **70**, 39~41 (1988)
- 133) ———, ———, ——— : スギにおける球果の色の遺伝, 日林誌, **70**, 371~374 (1988)
- 134) 内田煌二 : アイソザイムによるヒノキの遺伝育種に関する研究, 博士論文, 筑波大学, 148pp. (1993)
- 135) UCHIDA, K., TSUMURA, Y. and OHBA, K. : Inheritance of isozyme variants in leaf tissues of hinoki, *Chamaecyparis obtusa*, and allozyme diversity of two natural forests, *Japan. J. Breed.*, **41**, 11-24 (1991)
- 136) ———, YAMASHITA, H., TSUMURA, Y., TAKAHASHI, C. and OHBA, K. : Analysis of clones of Nangohi, a vegetatively propagated cultivar of *Chamaecyparis obtusa* ENDL. based on isozyme genotypes, *Japan. J. Breed.*, **43**, 219-230 (1993)
- 137) WITTER, M. S. and FERET, P. P. : Inheritance of esterase and acid phosphatase isozymes in Virginia pine and application of the isozyme technique to a seed orchard population, *Silvae Genet.*, **28**, 213-220 (1979)

- 138) WOODS, J. H., BLAKE, G. M. and ALLENDORF, F. W. (1983) Amount and distribution of isozyme variation in ponderosa pine from eastern Montana, *Silvae Genet.*, **32**, 151-157 (1983)
- 139) 山崎次男・岩村通正：赤松品種に関する研究（第1報）（アカマツ針葉の変異に関する調査），*日林誌*, **33**, 51～56 (1951)
- 140) YASUE, M., OGIYAMA, K., SUTO, S., TSUKAHARA, H., MIYAHARA, F. and OHBA, K. : Geographical differentiation of natural cryptomeria stands analyzed by diterpene hydrocarbon constituents of individual trees, *J. Jpn. For. Soc.*, **69**, 152-156 (1987)
- 141) 矢頭献一：図説日本の樹木，朝倉書店，東京，176pp. (1977)
- 142) YAZDANI, R., MUONA, O., RUDIN, D. and SZMIDT, A. E. : Genetic structure of a *Pinus sylvestris* L. seed-tree stand and naturally regenerated understory, *Forest Science*, **31**, 430-436 (1985)
- 143) 横山敏孝：スギにおける胚の形成と球果の成長，*林業試験場研究報告*, **277**, 1～20 (1975)

Population Genetical Study on the Genetic Resources
of Japanese Black Pine (*Pinus thunbergii* PARL.) in Japan

Masuo MIYATA⁽¹⁾

Summary

Japanese black pine, *Pinus thunbergii* PARL. is one of the major tree species in Japan. The genetic variation and differentiation within and among 22 stands of natural black pine using the 14 allozyme loci encoding six enzyme systems were investigated to obtain basic information for *in situ* conservation of black pine as a genetic resource. Variations of one-thousand-seed weights and seedcoat color indexes within and among those stands were investigated too. The heterozygosity of the total stands (H_T) was 0.259. This value was comparatively larger than those of other conifer tree species. The coefficient of gene differentiation (G_{ST}) was 0.073. Black pine was about equally differentiated in comparison with many other conifers. The mean heterozygosity (H_e) of each stand was estimated to range from 0.21 to 0.27, and similar values were found among stand, but, the populations in the Southwestern Japan showed larger values than those in the Northwestern Japan. The examined stands were classified first into two groups: namely, the Southwestern Japan group and the Northeastern Japan group. Finally, the stands were classified into five areas. It is preferable that *in situ* conservation of the black pine gene resources should be done in these five areas. It is wished that commercial transport of the black pine seeds and seedlings between Southwestern Japan and Northeastern Japan might better be withheld.

(1) Kyushu Regional Breed. Office, National Forest Tree Breed. Center, Nishigooshi Kumamoto
861-11

付表. 国有林におけるクロマツ天然林の主な現存林分一覧表

この付表は、クロマツ天然林の主な現存林分を、営林（支）局の1988年4月1日現在、使用されている森林調査簿から整理したものである。ただし、森林調査簿において天然林となっているものであっても、過去に植栽されたものが、その後の保育管理等の関係で天然林として扱われるようになったものも含まれている。

なお、九州については、主な林分のうち代表的な林分の資料しか入手できなかった。

この付表での用語の意味は以下のとおりである。

- ① 面積歩合：当該林小班（以下「林分」という。）における全林地面積に占めるクロマツの生育面積の割合を百分率で表わした。
- ② 面積：当該林分の林地面積のうち、クロマツの生育面積をha単位で表わした。
- ③ 材積歩合：当該林分における全材積に占めるクロマツの材積の割合を百分率で表わした。
- ④ 材積：当該林分におけるクロマツの材積を m^3 単位で表わした。
- ⑤ 立木度：収穫予想表での単位面積あたりの材積に対する当該林分の単位面積あたりの材積の比を10倍した整数で表わした。
- ⑥ 疎密度：ここでいう疎密度は樹冠疎密度のことで、単位面積あたりの樹冠投影面積を単位面積で除して算出した値が、 $1/10$ 未満を散（A）、 $1/10 \sim 4/10$ 未満を疎（S）、 $4/10 \sim 7/10$ 未満を中（T）、 $7/10$ 以上を密（M）で表わした。

Appendix 1. 国有林におけるクロマツ天然林の主な現存林分一覧表
 A list of existing principal natural stands of Japanese black pine in national forests in Japan

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
青森	三厩村	増川	28に	45	1.10	45	215	195	10	M
青森	平館村	蟹田	15に	10	1.66	10	166	45	10	M
青森	平内町	青森	432る	90	0.78	90	180	85	10	M
青森	平内町	青森	432お	55	0.52	55	108	60	10	M
青森	平内町	青森	433た ₁	50	3.50	50	210	75	10	S
青森	平内町	青森	433た ₂	50	0.61	50	37	75	10	S
青森	六ヶ所村	横浜	45ろ ₃	90	1.42	90	86	95	6	T
青森	六ヶ所村	横浜	45は ₁	40	4.56	40	387	85	7	M
青森	六ヶ所村	横浜	45い ₁	40	7.44	40	1,041	85	11	M
青森	六ヶ所村	横浜	45ろ ₁	20	2.45	20	233	90	7	M
青森	六ヶ所村	野辺地	139ほ	70	3.61	70	741	59	9	T
青森	六ヶ所村	野辺地	215わ ₂	40	0.45	40	79	69	14	T
青森	深浦町	深浦	1ま	10	0.71	10	71	63	9	T
青森	深浦町	深浦	4そ	20	0.65	20	46	70	10	T
青森	深浦町	深浦	30い	10	0.99	10	79	60	10	T
青森	深浦町	深浦	47く	15	0.34	15	45	66	12	T
青森	深浦町	深浦	61の	100	5.81	100	930	78	6	T
青森	岩崎村	深浦	82い	10	3.12	10	312	75	9	T
青森	岩崎村	深浦	83と	10	0.91	10	54	65	8	T
青森	岩崎村	深浦	94の	20	2.87	20	201	70	9	T
青森	岩崎村	深浦	102ち	10	0.37	10	19	60	8	T
青森	岩崎村	深浦	102ね ₄	20	0.45	20	36	60	10	T
青森	岩崎村	深浦	102ね ₅	20	2.01	20	161	60	10	T
青森	岩崎村	深浦	102ね ₆	20	1.71	20	137	60	10	T
青森	岩崎村	深浦	107く	10	0.34	10	27	60	10	T
宮城	本吉町	気仙沼	46と ₁	100	0.85	100	98	94	6	T
宮城	本吉町	気仙沼	46ち	100	0.96	100	110	94	6	T
宮城	本吉町	気仙沼	46る	100	1.04	100	161	94	6	T
宮城	本吉町	気仙沼	53ら	95	5.01	95	1,127	89	6	T
宮城	志津川町	気仙沼	66い	10	0.18	10	19	104	6	T
宮城	牡鹿町	石巻	3ほ	10	3.09	10	679	195	10	T
宮城	牡鹿町	石巻	11い ₂	50	1.96	50	323	104	6	T
宮城	牡鹿町	石巻	11に ₆	50	0.29	50	59	104	10	T
宮城	牡鹿町	石巻	11は ₁	5	0.18	5	45	70	10	T
宮城	石巻市	石巻	44い ₁	50	3.76	50	619	104	6	T
宮城	石巻市	石巻	44い ₃	50	1.23	50	177	104	6	T
宮城	矢本町	石巻	46い ₁	40	4.02	40	823	94	7	T
宮城	矢本町	石巻	46ろ ₃	40	2.33	40	477	94	9	M
宮城	矢本町	石巻	46は	70	8.23	70	1,729	69	10	M
宮城	矢本町	石巻	46ほ	80	3.10	80	604	114	7	T
宮城	矢本町	石巻	46と ₁	90	13.90	90	2,712	114	7	T
宮城	矢本町	石巻	46と ₂	90	4.11	90	555	109	7	T
宮城	矢本町	石巻	46ち ₁	65	3.28	65	738	110	7	T
宮城	矢本町	石巻	46ち ₆	65	1.31	65	282	109	7	T
宮城	矢本町	石巻	46ち ₈	90	1.80	90	333	94	6	T
宮城	矢本町	石巻	46ち ₉	65	1.23	65	192	104	7	T
宮城	矢本町	石巻	46ぬ ₁	70	0.80	70	152	69	8	M
宮城	矢本町	石巻	46ぬ ₂	60	0.76	60	170	109	9	T
宮城	成瀬町	石巻	48に ₁	20	5.43	20	1,059	99	7	T
宮城	成瀬町	石巻	49い ₁	40	2.04	40	377	119	7	T
宮城	成瀬町	石巻	49い ₂	40	1.26	40	234	119	7	T
宮城	七ヶ浜町	仙台	86い ₇	100	3.02	100	517	121	8	T
宮城	仙台市	仙台	86ほ	100	0.26	100	39	155	7	T
宮城	仙台市	仙台	87い ₁	100	0.26	100	13	110	3	T
宮城	仙台市	仙台	87い ₅	15	0.05	15	31	120	5	T
宮城	仙台市	仙台	87ろ ₂	65	1.21	65	127	110	5	T
宮城	仙台市	仙台	87は	75	0.27	75	16	97	4	T
宮城	仙台市	仙台	87へ ₁	70	1.59	70	151	125	5	M
宮城	仙台市	仙台	87ち ₂	100	0.16	100	19	135	6	T
宮城	仙台市	仙台	87ち ₅	100	0.77	100	108	155	6	T
宮城	仙台市	仙台	87り ₂	100	3.38	100	473	155	6	T
宮城	仙台市	仙台	87ぬ ₁	100	9.72	100	1,361	155	6	T
宮城	仙台市	仙台	87ぬ ₂	100	0.34	100	44	155	6	M
宮城	仙台市	仙台	87お	100	7.42	100	1,076	170	7	M
宮城	仙台市	仙台	87わ ₁	60	0.68	60	75	155	5	T
宮城	仙台市	仙台	87か	90	1.15	90	149	160	6	T
宮城	仙台市	仙台	87よ ₁	30	1.59	30	127	115	4	T
宮城	仙台市	仙台	87よ ₂	30	0.17	30	13	130	4	M
宮城	仙台市	仙台	87そ ₁	10	0.34	10	43	130	6	T
宮城	仙台市	仙台	87ら	20	1.19	20	95	95	4	T
宮城	仙台市	仙台	88る ₁	35	3.64	35	765	140	9	M
宮城	仙台市	仙台	88よ	45	2.89	45	491	150	8	T
宮城	仙台市	仙台	88れ	80	6.02	80	902	160	7	T

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩 合(%)	面積 (ha)	材積歩 合(%)	材積 (m ³)	林齢	立木度	疎密度
宮城県	仙台市	仙台台	88つ ₁	15	1.65	15	255	135	7	T
宮城県	仙台市	仙台台	88つ ₄	70	0.20	70	29	145	7	T
宮城県	仙台市	仙台台	88む	95	1.45	95	153	145	5	T
宮城県	仙台市	仙台台	88う	95	8.42	95	1,094	170	6	T
宮城県	仙台市	仙台台	88の	55	1.48	55	222	160	7	T
宮城県	仙台市	仙台台	88お ₃	25	0.28	25	44	150	7	T
宮城県	仙台市	仙台台	88お ₄	25	0.46	25	73	150	7	T
宮城県	仙台市	仙台台	88く	65	0.25	65	14	75	3	T
宮城県	仙台市	仙台台	88や ₂	100	0.45	100	63	155	7	M
宮城県	仙台市	仙台台	88や ₅	15	0.49	15	78	75	7	M
宮城県	仙台市	仙台台	89い ₁	100	8.51	100	808	170	5	T
宮城県	名取市	仙台台	89い ₂	95	5.70	95	484	105	4	T
宮城県	名取市	仙台台	89い ₄	100	1.28	100	102	160	4	T
宮城県	名取市	仙台台	90い	85	1.73	85	277	175	7	T
宮城県	沼田市	仙台台	90ろ ₁	20	2.44	20	317	170	6	T
宮城県	沼田市	仙台台	90に ₁	55	0.31	55	22	100	4	T
宮城県	沼田市	仙台台	90に ₄	20	0.20	20	16	160	4	T
宮城県	沼田市	仙台台	90ほ ₁	40	3.21	40	369	120	5	T
宮城県	沼田市	仙台台	91い	100	1.97	100	118	150	3	T
宮城県	沼田市	仙台台	91に ₄	75	4.85	75	631	155	6	T
宮城県	沼田市	仙台台	91に ₅	75	0.75	75	97	155	6	T
宮城県	沼田市	仙台台	92と	100	5.05	100	530	170	5	T
宮城県	沼田市	仙台台	92ち	45	3.19	45	255	170	4	T
宮城県	沼田市	仙台台	92る ₅	15	0.17	15	26	140	7	T
宮城県	沼田市	仙台台	92お ₁	10	0.48	10	39	130	4	T
宮城県	沼田市	仙台台	92わ ₂	100	1.65	100	91	175	3	S
宮城県	沼田市	仙台台	92か ₁	95	3.65	95	365	135	5	T
宮城県	沼田市	仙台台	92か ₂	100	1.39	100	139	150	5	T
宮城県	亶理町	仙台台	98い ₁	85	0.65	85	69	135	5	S
宮城県	亶理町	仙台台	98ほ ₁	55	0.23	55	36	155	7	T
宮城県	亶理町	仙台台	98と	85	4.02	85	321	115	4	S
宮城県	亶理町	仙台台	98ち	95	7.43	95	854	120	5	T
宮城県	山元町	仙台台	99ろ	55	1.04	55	63	110	3	S
宮城県	山元町	仙台台	99に	45	0.95	45	57	130	3	S
宮城県	山元町	仙台台	99へ	30	0.22	30	21	120	5	T
宮城県	山元町	仙台台	99と	30	0.14	30	13	120	5	T
宮城県	山元町	仙台台	99る	30	0.54	30	48	120	5	T
宮城県	山元町	仙台台	99か	95	0.71	95	57	130	4	T
宮城県	山元町	仙台台	99う	95	5.13	95	410	120	4	T
宮城県	山元町	仙台台	99お	100	1.37	100	137	160	5	T
宮城県	山元町	仙台台	99や ₁	95	0.31	95	29	155	5	S
宮城県	山元町	仙台台	99け ₁	90	1.76	90	140	140	4	S
宮城県	山元町	仙台台	100い ₁	90	6.54	90	654	140	5	S
宮城県	山元町	仙台台	100と ₃	60	0.26	60	26	140	5	S
宮城県	山元町	仙台台	100り ₁	100	1.94	100	213	110	5	T
宮城県	山元町	仙台台	100れ ₁	100	1.63	100	212	155	6	T
宮城県	山元町	仙台台	100れ ₂	100	1.12	100	134	155	6	T
宮城県	山元町	仙台台	100そ ₂	95	1.46	95	146	155	5	T
宮城県	山元町	仙台台	100つ	100	0.27	100	19	105	4	S
宮城県	山元町	仙台台	100な	100	1.05	100	200	165	8	T
秋田県	能代市	能代台	155い	80	13.64	80	4,802	140	10	M
秋田県	能代市	能代台	155い ₉	71	1.61	71	564	140	10	M
秋田県	能代市	能代台	155ろ	81	21.21	81	7,910	140	10	M
秋田県	能代市	能代台	155は	81	18.44	81	6,286	140	10	M
秋田県	能代市	能代台	155ほ	61	1.30	61	344	140	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	37ち	72	0.25	72	59	160	8	M
秋田県	本荘市	本荘台	38ほ	36	0.42	36	96	135	9	M
秋田県	本荘市	本荘台	38ほ ₁	36	0.57	36	118	135	8	M
秋田県	本荘市	本荘台	40い	81	0.71	81	130	125	6	M
秋田県	本荘市	本荘台	40ろ	51	1.37	51	246	130	7	M
秋田県	本荘市	本荘台	42ほ	90	0.27	90	64	130	6	M
秋田県	本荘市	本荘台	42と	91	0.86	91	166	160	7	M
秋田県	本荘市	本荘台	44お	86	0.45	86	119	130	9	M
秋田県	本荘市	本荘台	45ろ	54	0.64	54	109	130	6	M
秋田県	本荘市	本荘台	45わ	90	1.15	90	319	130	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	46り	31	0.22	31	48	130	9	M
秋田県	本荘市	本荘台	46か	81	0.75	81	206	130	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	51い	92	1.55	92	430	150	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	51ろ	80	0.45	80	102	66	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	51は	91	0.39	91	108	150	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	51ほ	90	0.78	90	115	66	7	M
秋田県	本荘市	本荘台	51へ	100	0.45	100	125	150	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	52い	93	1.66	93	531	130	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	52ろ	79	0.28	79	62	62	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	52は	70	0.35	70	80	62	10	M
秋田県	本荘市	本荘台	52に	71	0.70	71	177	130	9	M
秋田県	本荘市	本荘台	52ほ	56	0.49	56	82	150	6	M

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
秋田	本荘市	本荘	52へ	61	2.08	61	503	150	9	M
秋田	本荘市	本荘	52り	90	0.26	90	84	130	10	M
秋田	本荘市	本荘	53い	100	0.98	100	273	140	10	M
秋田	本荘市	本荘	53ろ	71	0.35	71	70	140	7	M
秋田	本荘市	本荘	53に	21	0.43	21	80	130	7	M
秋田	本荘市	本荘	54い	90	1.13	90	325	130	10	M
秋田	本荘市	本荘	54い ₁	90	1.17	90	337	130	10	M
秋田	本荘市	本荘	54に	90	1.33	90	385	130	10	M
秋田	本荘市	本荘	54ち	81	1.08	81	275	130	9	M
秋田	本荘市	本荘	54り	100	0.35	100	64	63	9	M
秋田	本荘市	本荘	54る	32	0.17	32	33	63	10	M
秋田	本荘市	本荘	54か	10	0.17	10	28	130	7	M
秋田	本荘市	本荘	55い	71	1.29	71	261	130	7	M
秋田	本荘市	本荘	55は	70	0.22	70	45	130	7	M
秋田	本荘市	本荘	55へ	51	0.21	51	24	61	8	M
秋田	本荘市	本荘	55と	31	0.12	31	22	130	7	M
秋田	本荘市	本荘	55ち	10	0.14	10	18	75	9	T
秋田	本荘市	本荘	55ぬ	41	0.74	41	95	75	7	T
秋田	本荘市	本荘	55か	90	0.35	90	57	60	9	M
秋田	本荘市	本荘	55よ	31	0.58	31	111	130	7	M
秋田	本荘市	本荘	55た	50	0.23	50	31	60	10	M
秋田	本荘市	本荘	56ろ	80	0.38	80	89	60	10	M
秋田	本荘市	本荘	56は	81	1.19	81	330	130	10	M
秋田	本荘市	本荘	56ほ	81	0.32	81	93	130	10	M
秋田	本荘市	本荘	56そ	20	0.52	20	109	140	8	M
秋田	本荘市	本荘	57い	100	0.18	100	33	135	6	T
秋田	本荘市	本荘	57は	100	1.35	100	392	140	10	M
秋田	本荘市	本荘	57ぬ	100	0.43	100	92	140	7	M
秋田	本荘市	本荘	57わ	100	0.25	100	75	140	10	M
秋田	本荘市	本荘	57れ	89	8.79	89	2,348	140	10	M
秋田	本荘市	本荘	57む	100	0.23	100	49	140	7	M
秋田	本荘市	本荘	57け	100	0.29	100	87	140	10	M
秋田	西目町	本荘	56り	82	0.10	82	27	130	10	M
秋田	西目町	本荘	56ぬ	100	0.25	100	57	130	8	M
秋田	西目町	本荘	56か	81	0.75	81	216	130	10	M
秋田	西目町	本荘	56よ	90	0.72	90	184	130	9	M
山形	酒田市	酒田	122い	100	2.50	100	475	150	9	M
山形	酒田市	酒田	122ろ	100	0.38	100	80	150	10	M
山形	酒田市	酒田	122は	100	1.29	100	273	150	10	M
山形	酒田市	酒田	123ろ	100	2.34	100	445	150	9	M
山形	酒田市	酒田	123に	100	3.13	100	660	150	10	M
山形	酒田市	酒田	123へ	100	0.55	100	169	150	10	M
山形	酒田市	酒田	124ろ	100	1.33	100	295	150	10	M
山形	酒田市	酒田	124は	100	4.01	100	762	150	9	M
山形	酒田市	酒田	124に	100	3.84	100	730	150	9	M
山形	酒田市	酒田	124へ	100	0.78	100	165	150	10	M
山形	酒田市	酒田	124り	100	2.56	100	676	150	10	M
山形	酒田市	酒田	124り ₄	100	1.08	100	330	150	10	M
山形	酒田市	酒田	125い	100	1.00	100	190	150	9	M
山形	酒田市	酒田	125ほ	100	0.22	100	42	130	9	M
山形	酒田市	酒田	125と	100	1.83	100	406	150	10	M
山形	酒田市	酒田	125ぬ	100	2.48	100	734	105	10	M
山形	酒田市	酒田	125る	100	0.86	100	255	150	10	M
山形	酒田市	酒田	126ろ	100	2.24	100	616	150	10	M
山形	酒田市	酒田	127い	100	1.52	100	289	150	9	M
山形	酒田市	酒田	127ろ	100	1.03	100	207	150	9	M
山形	酒田市	酒田	127ろ ₂	100	3.50	100	592	150	8	M
山形	酒田市	酒田	127は	100	3.63	100	766	150	10	M
山形	酒田市	酒田	127に	100	1.01	100	213	150	10	M
山形	酒田市	酒田	127に ₃	100	0.58	100	123	150	10	M
山形	酒田市	酒田	127に ₄	100	0.20	100	44	150	10	M
山形	酒田市	酒田	128い	100	1.56	100	262	65	10	M
山形	酒田市	酒田	128い ₁	100	0.22	100	42	150	9	M
山形	酒田市	酒田	128ろ	100	4.70	100	893	150	9	M
山形	酒田市	酒田	128は	100	5.17	100	1,091	150	10	M
山形	酒田市	酒田	128は ₃	100	0.23	100	49	150	10	M
山形	酒田市	酒田	128に	100	3.60	100	760	150	10	M
山形	酒田市	酒田	128ほ ₁	100	0.29	100	61	150	10	M
山形	酒田市	酒田	128ほ ₃	100	0.63	100	159	150	10	M
山形	酒田市	酒田	129い	100	2.04	100	322	150	7	M
山形	酒田市	酒田	129ろ ₂	100	1.00	100	222	150	10	M
山形	酒田市	酒田	129ろ ₃	100	1.00	100	275	150	10	M
山形	酒田市	酒田	129は	100	4.16	100	924	145	10	M
山形	酒田市	酒田	129に	100	3.11	100	722	150	10	M
山形	酒田市	酒田	129ほ	100	2.20	100	510	150	10	M
山形	酒田市	酒田	129ほ ₃	100	1.06	100	292	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130ろ	100	2.28	100	554	150	10	M

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
山形	酒田市	酒田	130は ₁	100	1.86	100	452	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130に	100	3.61	100	877	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130に	100	5.16	100	1,146	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130と	100	0.90	100	219	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130ち	100	0.68	100	151	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130り	100	0.68	100	143	150	10	M
山形	酒田市	酒田	130り ₁	100	0.50	100	111	150	10	M
山形	酒田市	酒田	131い	100	2.52	100	426	150	8	M
山形	酒田市	酒田	131ろ	100	1.65	100	350	150	10	M
山形	酒田市	酒田	131は ₁	100	1.76	100	391	150	10	M
山形	酒田市	酒田	131に	100	1.54	100	391	150	10	M
山形	酒田市	酒田	131ほ	100	0.15	100	38	150	10	M
山形	酒田市	酒田	132わ	100	5.55	100	1,066	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133ろ	100	0.31	100	46	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133は	100	0.32	100	54	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133に	100	0.44	100	66	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133ほ	100	0.43	100	50	83	7	M
山形	酒田市	酒田	133へ	100	0.39	100	54	83	9	M
山形	酒田市	酒田	133と ₁	100	1.83	100	313	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133ち	100	0.24	100	38	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133り	100	0.33	100	57	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133ぬ	100	1.78	100	246	83	9	M
山形	酒田市	酒田	133ぬ ₁	100	1.00	100	117	83	8	M
山形	酒田市	酒田	133る	100	2.33	100	347	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133わ	100	1.11	100	190	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133わ ₁	100	0.25	100	37	83	10	M
山形	酒田市	酒田	133か	100	3.41	100	508	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134い	100	6.67	100	1,207	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134い ₁	100	11.94	100	2,161	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134ろ	100	2.63	100	392	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134は	100	0.79	100	118	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134に	100	1.85	100	276	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134ほ	100	0.79	100	118	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134へ	100	1.06	100	159	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134と	100	0.41	100	61	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134ち	100	0.67	100	100	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134り	100	0.32	100	47	83	10	M
山形	酒田市	酒田	134ぬ	100	1.03	100	132	83	8	M
山形	酒田市	酒田	134る	100	0.37	100	48	83	8	M
山形	酒田市	酒田	134る ₃	100	0.53	100	57	83	7	M
山形	酒田市	酒田	134わ	100	0.47	100	50	83	7	M
山形	酒田市	酒田	134か	100	0.91	100	68	83	5	M
山形	酒田市	酒田	134よ	100	27.81	100	2,976	83	7	M
山形	酒田市	酒田	134よ ₁	100	2.60	100	226	73	7	M
山形	酒田市	酒田	134よ ₄	100	8.50	100	366	83	3	M
山形	酒田市	酒田	142ち	100	1.15	100	340	135	10	M
山形	酒田市	酒田	142ち ₁	100	0.92	100	273	135	10	M
福島	新地町	原町	263り ₂	70	0.27	70	66	84	8	M
福島	新地町	原町	263は ₄	100	0.85	100	60	101	4	S
福島	新地町	原町	263り ₁	70	0.86	70	216	84	9	M
福島	新地町	原町	263い ₁	100	1.21	100	115	84	4	S
福島	新地町	原町	263い ₂	100	1.09	100	109	84	4	S
福島	新地町	原町	263ろ	100	0.33	100	66	101	7	M
福島	新地町	原町	263は ₁	100	1.59	100	111	101	4	S
福島	相馬市	原町	263て ₁	100	1.02	100	173	86	6	T
福島	相馬市	原町	263て ₃	100	3.57	100	750	101	9	M
福島	相馬市	原町	263ふ ₁	100	2.59	100	557	101	7	M
福島	相馬市	原町	263ふ ₂	100	0.24	100	74	101	10	M
福島	相馬市	原町	263こ	100	0.50	100	105	101	7	M
福島	相馬市	原町	263え ₁	100	0.19	100	30	101	5	T
福島	相馬市	原町	263の	100	1.00	100	135	69	5	T
福島	相馬市	原町	263く ₃	80	1.40	80	231	74	6	T
福島	相馬市	原町	263や	100	0.25	100	35	101	5	T
福島	相馬市	原町	263ま ₁	100	0.30	100	53	74	6	T
福島	相馬市	原町	263な	70	6.06	70	787	94	4	S
福島	相馬市	原町	263う	80	8.07	80	1,332	74	6	T
福島	相馬市	原町	263た	95	5.20	95	672	64	5	T
福島	相馬市	原町	263つ	70	6.15	70	800	94	4	S
福島	原町市	原町	123た	100	1.87	100	374	101	7	M
福島	原町市	原町	123れ	100	0.21	100	57	94	9	M
福島	原町市	原町	123そ ₁	100	1.78	100	409	94	8	M
福島	原町市	原町	123か ₂	100	0.75	100	135	63	7	M
福島	原町市	原町	123か ₃	100	1.35	100	189	61	5	T
福島	原町市	原町	123か ₄	100	0.57	100	125	101	8	M
福島	原町市	原町	123よ ₁	100	1.04	100	260	101	9	M
福島	原町市	原町	123よ ₂	100	1.57	100	393	101	9	M
福島	原町市	原町	123ち	100	0.18	100	27	101	5	T

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m³)	林齢	立木度	疎密度
福島	原町市	原町	123ぬ	100	0.86	100	116	69	5	T
福島	原町市	原町	123る	100	0.98	100	123	69	5	T
福島	原町市	原町	123お	100	1.10	100	330	101	10	M
福島	原町市	原町	123わ	100	0.25	100	38	101	5	T
福島	原町市	原町	123か ₁	100	1.32	100	238	101	6	T
福島	原町市	原町	123い	100	1.69	100	270	101	5	T
福島	原町市	原町	123ろ	100	0.17	100	48	101	10	M
福島	原町市	原町	123は	100	0.26	100	73	101	10	M
福島	原町市	原町	123に	100	0.76	100	228	101	10	M
福島	原町市	原町	123ほ	100	0.21	100	32	101	5	M
福島	原町市	原町	123と	100	0.30	100	45	101	5	T
福島	原町市	原町	122は	100	0.18	100	36	101	7	M
福島	浪江町	浪江	312ろ	100	0.57	100	29	101	4	S
福島	大熊町	富岡	47い	100	0.40	100	80	101	7	M
福島	大熊町	富岡	47ろ	100	0.27	100	32	101	4	S
福島	大熊町	富岡	47は	100	0.39	100	55	101	5	T
福島	大熊町	富岡	47へ	100	0.39	100	23	101	4	S
福島	大熊町	富岡	47ち	100	0.26	100	52	101	7	M
福島	富岡町	富岡	162そ	100	0.51	100	18	101	4	S
福島	富岡町	富岡	162ち	70	15.06	70	4,218	99	10	M
福島	富岡町	富岡	162り	100	3.95	100	1,284	95	10	M
福島	富岡町	富岡	162お	100	12.96	100	7,517	94	10	M
福島	富岡町	富岡	162に	100	5.23	100	1,438	84	10	M
福島	楢葉町	富岡	258い	95	1.04	95	176	79	6	T
福島	楢葉町	富岡	258ろ ₁	100	0.28	100	49	84	6	T
福島	楢葉町	富岡	258に	100	0.51	100	79	84	5	T
福島	楢葉町	富岡	258へ	60	0.11	80	20	101	5	T
福島	楢葉町	富岡	163ろ	90	2.41	90	652	64	10	M
福島	楢葉町	富岡	163に ₁	100	1.50	100	315	101	7	M
福島	楢葉町	富岡	163に ₂	100	2.13	100	447	101	7	M
福島	広野町	富岡	259い	100	1.72	100	258	101	5	T
福島	広野町	富岡	259ほ	100	0.20	100	20	101	4	S
福島	広野町	富岡	259と	100	0.51	100	51	101	4	S
福島	広野町	富岡	259ち	100	0.24	100	17	101	4	S
茨城	北茨城市	高萩	254い	100	0.27	100	24	59		M
茨城	北茨城市	高萩	254ろ	100	0.87	100	144	59		M
茨城	北茨城市	高萩	254に	70	1.43	70	228	64		M
茨城	北茨城市	高萩	254ほ	70	4.07	70	510	66		T
茨城	北茨城市	高萩	254へ	100	1.42	100	227	114		T
茨城	北茨城市	高萩	254と	100	0.79	100	142	114		T
茨城	北茨城市	高萩	254ち	60	0.43	60	17	66		T
茨城	北茨城市	高萩	254る	100	2.63	100	224	69		T
茨城	高萩市	高萩	254ぬ	50	3.36	50	168	114		T
茨城	高萩市	高萩	254い	65	0.46	67	75	69		T
茨城	高萩市	高萩	256い	100	14.81	100	1,629	119		T
茨城	日立市	高萩	234と	5	0.56	3	40	61		T
茨城	日立市	高萩	256ろ	100	1.29	100	297	64		T
茨城	新治村	笠間	16れ	52	0.94	67	145	42		T
茨城	八郷町	笠間	29し	30	1.08	30	76	50		S
千葉	大多喜町	千葉	46は	10	1.51	12	108	41		M
千葉	君津市	千葉	91た	25	0.26	31	40	65		T
千葉	富山町	千葉	118い	50	0.12	65	17	134		S
千葉	富山町	千葉	118ろ	70	0.47	90	67	125		T
千葉	富山町	千葉	118は	80	1.98	95	352	105		T
千葉	天津小湊町	千葉	118と	17	0.99	17	209	154		M
千葉	銚子市	千葉	118へ ₁	100	15.63	100	938	84		T
千葉	銚子市	千葉	118よ	100	6.12	100	765	42		M
千葉	銚子市	千葉	118つ ₁	100	1.28	100	166	99		M
東京	三宅村	平塚	101に	50	4.49	61	739	68		S
東京	三宅村	平塚	101ほ	50	2.34	61	299	68		S
東京	三宅村	平塚	101へ	100	4.75	100	95	73		A
東京	三宅村	平塚	101と	50	1.72	61	199	68		T
東京	三宅村	平塚	101ち ₁	60	1.39	71	133	73		S
東京	三宅村	平塚	101ち ₂	60	2.33	71	193	73		T
東京	三宅村	平塚	101り ₁	40	0.25	66	51	73		T
東京	三宅村	平塚	102い	15	0.98	30	98	73		T
東京	三宅村	平塚	102ろ	15	0.51	20	57	73		S
東京	三宅村	平塚	102り	100	0.22	100	11	103		S
東京	三宅村	平塚	102を	15	0.29	21	30	63		S
東京	三宅村	平塚	102わ	70	0.82	90	89	63		S
石川	小松市	金沢	69い		1.47		184	154		
石川	小松市	金沢	69は ₁		2.44		183	104		
石川	小松市	金沢	69は ₂		12.09		907	104		
石川	小松市	金沢	70い		18.73		1,404	114		
石川	小松市	金沢	70は		3.24		195	88		
石川	小松市	金沢	70に		4.40		330	114		
石川	小松市	金沢	71い		7.81		664	124		

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
石川	加賀市	金沢	81ろ		9.34		1,354	149		
石川	加賀市	金沢	81に		4.82		747	149		
石川	加賀市	金沢	81ほ		3.41		324	149		
石川	加賀市	金沢	82い		3.24		388	114		
石川	加賀市	金沢	82ろ		3.22		241	114		
石川	加賀市	金沢	82ほ		10.00		1,150	149		
石川	加賀市	金沢	82へ ₁		11.19		1,062	124		
石川	加賀市	金沢	82へ ₂		9.66		917	124		
石川	加賀市	金沢	82わ		1.29		129	114		
石川	加賀市	金沢	82か		2.11		126	114		
石川	加賀市	金沢	83に		0.58		69	114		
石川	加賀市	金沢	83と		10.36		1,140	114		
石川	加賀市	金沢	83る		3.04		304	114		
石川	加賀市	金沢	83わ		14.84		1,855	114		
福井	芦原町	福井	1に		15.52		1,397	99		
福井	敦賀市	福井	171い ₁		1.47		369	199		
福井	敦賀市	福井	171い ₂		0.59		59	199		
福井	敦賀市	福井	171ろ ₁		5.19		727	199		
福井	敦賀市	福井	171は		1.59		104	199		
岐阜	瑞浪市	中津川	119ほ	20	0.70	20	129	100	10	M
静岡	湖西市	浜松	11へ	20	0.55	24	73	84		M
静岡	湖西市	浜松	11り	43	0.16	53	24	84		M
静岡	湖西市	浜松	11わ	45	0.47	56	79	84		M
静岡	湖西市	浜松	11か	45	0.23	56	38	84		M
静岡	湖西市	浜松	11よ	45	0.19	56	32	84		M
静岡	三ヶ日町	浜松	51は	20	2.67	35	653	82		M
静岡	三ヶ日町	浜松	51ほ	5	0.12	8	13	82		T
愛知	大山市	岡崎	35い	40	5.98	40	269	66	5	T
愛知	大山市	岡崎	75ろ	10	0.57	10	23	64	6	T
愛知	瀬戸市	岡崎	76い	40	4.75	40	332	54	8	M
愛知	瀬戸市	岡崎	76は	40	0.33	43	11	54	3	S
愛知	瀬戸市	岡崎	82い	25	2.02	26	84	54	4	T
愛知	瀬戸市	岡崎	83い	10	0.66	10	23	54	4	T
愛知	瀬戸市	岡崎	106い	10	0.92	10	28	54	3	S
愛知	瀬戸市	岡崎	110い	10	0.35	10	14	54	4	T
愛知	瀬戸市	岡崎	110は	10	0.27	11	12	54	4	T
愛知	瀬戸市	岡崎	111い	10	1.36	10	205	54	9	M
愛知	瀬戸市	岡崎	116は	30	0.57	30	26	54	5	T
愛知	瀬戸市	岡崎	116と	30	0.89	30	31	54	4	T
愛知	瀬戸市	岡崎	122は	20	1.12	20	33	64	5	T
愛知	瀬戸市	岡崎	122と	21	0.44	21	13	64	5	T
愛知	額田町	岡崎	208に	68	0.29	68	37	70	7	M
愛知	豊橋市	岡崎	284は	40	0.52	41	32	85	4	T
三重	桑名市	亀山	25イ ₁		0.31		43	150		
三重	上野市	亀山	52い ₁		3.56		321	69		
三重	上野市	亀山	54い ₁		0.39		35	75		
三重	上野市	亀山	54い ₂		0.62		55	75		
三重	阿山町	亀山	64い ₁		0.22		22	73		
三重	阿山町	亀山	64か ₁		1.28		89	73		
三重	阿山町	亀山	65と		0.34		32	77		
三重	阿山町	亀山	76に		0.85		114	80		
滋賀	大津市	大津	29に ₁		0.46		67	99		
滋賀	大津市	大津	29る ₁		0.27		40	79		
滋賀	大津市	大津	29つ		0.31		36	79		
滋賀	大津市	大津	30い ₁		1.10		88	89		
滋賀	大津市	大津	32い		7.82		821	79		
滋賀	大津市	大津	32ほ		0.32		27	79		
滋賀	大津市	大津	32へ		0.59		24	79		
滋賀	大津市	大津	33り ₁		0.49		44	99		
滋賀	大津市	大津	37い		2.27		307	89		
滋賀	大津市	大津	38い ₂		1.87		315	89		
滋賀	大津市	大津	39は ₁		3.23		614	89		
滋賀	大津市	大津	57ろ ₁		0.97		131	109		
滋賀	大津市	大津	57ろ ₂		0.36		52	109		
滋賀	近江八幡市	大津	79に		0.21		31	109		
滋賀	信楽町	大津	103い ₁		0.68		106	89		
滋賀	信楽町	大津	104へ		1.25		131	89		
滋賀	信楽町	大津	105へ		1.02		71	89		
滋賀	信楽町	大津	107い ₁		1.22		176	89		
滋賀	信楽町	大津	114い ₁		0.83		125	89		
滋賀	信楽町	大津	103い ₂		0.68		106	89		
滋賀	栗東町	大津	1001い		5.39		324	89		
滋賀	栗東町	大津	1002い		1.30		201	79		
滋賀	栗東町	大津	1003い		4.02		181	79		
滋賀	栗東町	大津	1004い		2.73		95	79		
滋賀	栗東町	大津	1005い		2.47		249	79		
京都	宇治市	京都	503へ		0.24		14	89		

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
京都	宇治市	京都	505ほ		0.47		28	89		
兵庫	神戸市	神戸	51イ		0.95		105	70		
兵庫	神戸市	神戸	52ほ ₁		0.66		72	70		
兵庫	神戸市	神戸	51ほ ₂		0.41		45	70		
兵庫	芦屋市	神戸	54ろ		1.43		71	84		
兵庫	芦屋市	神戸	56ろ		0.35		23	89		
兵庫	芦屋市	神戸	56は		2.05		164	84		
兵庫	西宮市	神戸	57い		1.16		122	84		
兵庫	西宮市	神戸	57ろ		1.34		141	84		
兵庫	西宮市	神戸	58い		2.31		243	84		
兵庫	西宮市	神戸	58ろ		1.46		153	84		
兵庫	西宮市	神戸	58に		0.74		78	84		
兵庫	西宮市	神戸	59い		4.85		510	84		
兵庫	西宮市	神戸	59は		0.66		69	84		
兵庫	西宮市	神戸	60い ₁		4.94		247	84		
兵庫	西宮市	神戸	60い ₂		3.53		177	84		
兵庫	西宮市	神戸	60い ₃		1.13		56	84		
兵庫	宝塚市	神戸	64い		3.60		288	109		
兵庫	宝塚市	神戸	65い		0.85		76	99		
兵庫	宝塚市	神戸	65は		0.74		63	104		
兵庫	宝塚市	神戸	66い		1.11		105	114		
兵庫	宝塚市	神戸	66は		2.28		103	120		
兵庫	加古川市	神戸	517い		1.45		73	80		
兵庫	加古川市	神戸	519り		0.89		67	80		
兵庫	加古川市	神戸	519ぬ		3.29		247	80		
兵庫	加古川市	神戸	520い		0.70		56	82		
兵庫	加古川市	神戸	520と		0.93		65	82		
兵庫	加古川市	神戸	521に		1.19		47	83		
兵庫	加古川市	神戸	521へ		1.09		55	82		
兵庫	高砂市	神戸	560へ		5.05		152	71		
兵庫	高砂市	神戸	570い		0.76		15	67		
兵庫	高砂市	神戸	570と		1.31		20	89		
和歌山	御浜町	新宮	81い		6.19		1,113	55		
和歌山	新宮市	新宮	84と		0.90		80	54		
和歌山	新宮市	新宮	84る ₁		0.45		25	84		
鳥取	鳥取市	鳥取	1い		0.67		67	157		
鳥取	鳥取市	鳥取	1ほ ₁		0.20		24	127		
鳥取	鳥取市	鳥取	1へ		2.17		260	127		
鳥取	鳥取市	鳥取	1ち		1.53		252	127		
鳥取	関金町	倉吉	59に		1.75		245	78		
鳥取	岸本町	倉吉	99と ₁		0.64		90	87		
鳥取	岸本町	倉吉	99と ₂		0.39		55	87		
鳥取	岸本町	倉吉	99り		4.98		1,245	87		
鳥取	岸本町	倉吉	100に ₁		2.64		542	91		
鳥取	岸本町	倉吉	100に ₂		1.99		398	91		
鳥取	岸本町	倉吉	101ろ		1.00		221	91		
鳥取	北条町	倉吉	113い		9.99		1,499	170		
鳥取	北条町	倉吉	113ろ		2.02		202	170		
鳥取	北条町	倉吉	113は		0.27		41	170		
鳥取	北条町	倉吉	113に		4.65		558	170		
島根	日原町	日原	18と		0.35		78	74		
島根	大田市	川本	15い		0.98		78	125		
島根	大田市	川本	15ろ		7.82		703	125		
島根	大田市	川本	19ろ ₁		2.18		164	125		
島根	大田市	川本	19ろ ₂		0.42		31	125		
島根	大田市	川本	19ろ ₃		0.41		31	125		
島根	大田市	川本	20は		0.48		29	99		
島根	大田市	川本	21い		1.25		175	125		
島根	大田市	川本	22い		0.18		17	125		
島根	弥栄村	川本	1024ろ		5.16		403	55		
岡山	金光町	岡山	78イ		0.99		104	84		
岡山	金光町	岡山	78ハ		4.54		273	84		
岡山	笠岡市	岡山	81ろ		1.56		195	74		
岡山	笠岡市	岡山	81に		1.77		221	74		
岡山	熊山町	岡山	93ろ		5.46		491	78		
岡山	熊山町	岡山	94い		3.98		478	73		
岡山	熊山町	岡山	95い		1.55		132	72		
岡山	熊山町	岡山	97ろ		4.75		333	84		
岡山	和気町	岡山	93は		2.30		184	78		
岡山	邑久町	岡山	102は ₁		2.03		81	104		
岡山	邑久町	岡山	102ほ		2.09		84	104		
広島	三次市	三次	40い		1.31		242	101		
広島	尾道市	福山	1い		4.15		581	110		
広島	沼隈町	福山	2い		2.88		158	85		
広島	福山市	福山	4い		0.54		49	79		
広島	福山市	福山	4へ		4.53		906	80		
広島	福山市	福山	5か		0.95		232	79		

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
広島	福山市	福山	7い		12.92		2,583	76		
広島	福山市	福山	8い		0.73		116	80		
広島	福山市	福山	8ち		10.01		2,052	79		
広島	福山市	福山	9か		0.63		51	115		
広島	福山市	福山	10い ₁		6.93		867	89		
広島	福山市	福山	10い ₂		1.35		142	89		
広島	福山市	福山	10り		0.62		77	90		
広島	福山市	福山	11は		2.23		356	84		
広島	福山市	福山	11ぬ		1.24		198	89		
広島	福山市	福山	13は ₁		0.26		43	95		
広島	福山市	福山	14よ		5.17		1,060	79		
広島	福山市	福山	15ろ		1.41		211	110		
広島	福山市	福山	15は		0.43		56	110		
広島	福山市	福山	15ほ ₁		3.34		568	110		
広島	福山市	福山	15ほ ₂		0.35		59	110		
広島	新市	福山	40に		0.58		102	95		
広島	東広島市	西条	16る		0.58		101	96		
広島	東広島市	西条	17ろ		1.88		329	96		
広島	東広島市	西条	19い		1.28		262	81		
広島	東広島市	西条	20い		7.65		1,454	86		
広島	東広島市	西条	47い ₂		0.38		94	90		
広島	東広島市	西条	47わ ₁		3.18		540	95		
広島	東広島市	西条	57い		4.36		436	87		
広島	安浦町	西条	26り		0.75		60	86		
広島	黒瀬町	西条	26に		0.56		107	86		
広島	黒瀬町	西条	26へ		0.82		169	86		
広島	黒瀬町	西条	57に		0.88		88	97		
広島	黒瀬町	西条	58い		1.19		125	95		
広島	黒瀬町	西条	63い		2.04		511	86		
広島	黒瀬町	西条	63に ₁		1.01		91	86		
広島	呉市	西条	78り		1.27		184	91		
広島	三原市	西条	1011い ₁		2.32		498	83		
広島	三原市	西条	1019い		0.49		73	86		
広島	三原市	西条	1019と		0.44		31	100		
広島	三原市	西条	1019ち ₁		1.49		74	100		
広島	三原市	西条	1019ち ₃		0.56		28	100		
広島	三原市	西条	1020に		1.50		247	81		
広島	三原市	西条	1062へ		0.94		84	91		
広島	三原市	西条	1063い		3.65		201	95		
広島	竹原市	西条	1055い		1.55		264	95		
広島	海田町	広島	8い		2.53		342	100		
広島	海田町	広島	8に		1.01		126	100		
広島	熊野町	広島	11い		1.06		117	95		
広島	熊野町	広島	12い ₁		4.17		542	95		
広島	熊野町	広島	12い ₂		0.97		126	95		
広島	熊野町	広島	12ろ		2.00		130	89		
広島	熊野町	広島	13い		4.82		699	95		
広島	熊野町	広島	14い		0.57		83	95		
広島	熊野町	広島	15い		0.49		84	95		
広島	呉市	広島	14ろ		2.28		307	89		
広島	呉市	広島	15ろ		1.13		153	95		
広島	呉市	広島	20い		1.83		237	100		
広島	呉市	広島	21い ₁		1.65		223	95		
広島	呉市	広島	25う		2.03		214	94		
広島	呉市	広島	25や		0.60		60	94		
広島	呉市	広島	25て ₁		1.18		124	94		
広島	広島市	広島	39に ₁		3.17		904	105		
広島	広島市	広島	39に ₃		1.03		160	105		
広島	広島市	広島	39へ		4.31		1,099	100		
広島	広島市	広島	40い		2.94		103	105		
広島	広島市	広島	41い		1.25		75	100		
広島	広島市	広島	41へ		7.70		539	100		
広島	広島市	広島	42は		1.11		78	100		
広島	広島市	広島	43ほ		5.64		282	94		
広島	広島市	広島	65い		2.23		178	105		
広島	広島市	広島	70い		4.21		484	94		
広島	宮島町	広島	71は		0.75		101	95		
広島	宮島町	広島	71に		2.16		335	94		
広島	宮島町	広島	72い		4.70		563	105		
広島	宮島町	広島	72ぬ		2.74		425	94		
広島	宮島町	広島	73ろ		3.63		532	105		
広島	宮島町	広島	73ほ		2.81		519	105		
広島	宮島町	広島	73へ		1.67		250	105		
広島	宮島町	広島	73ち		1.72		86	105		
広島	宮島町	広島	74か		2.55		306	105		
広島	宮島町	広島	75い		5.19		1,039	105		
広島	宮島町	広島	76ほ		0.69		165	105		

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m ³)	林齢	立木度	疎密度
広島	宮島町	広島	76わ		0.67		57	105		
広島	宮島町	広島	78い		1.62		251	115		
広島	宮島町	広島	83り		0.93		140	105		
広島	宮島町	広島	84い		6.40		512	105		
広島	宮島町	広島	84は		4.58		848	105		
広島	宮島町	広島	84に		1.10		165	150		
広島	宮島町	広島	85へ		2.45		245	150		
広島	宮島町	広島	85た		0.18		51	150		
広島	宮島町	広島	87は		0.25		45	105		
山口	下松市	山口	48へ		0.38		38	130		
山口	下松市	山口	48と		0.79		79	120		
山口	下松市	山口	48ぬ		3.38		507	180		
山口	下松市	山口	50い		5.14		514	125		
山口	下松市	山口	50ろ		1.45		160	125		
山口	下松市	山口	50り		1.89		189	125		
山口	下松市	山口	51ほ		1.30		91	130		
山口	下松市	山口	51と		2.84		369	180		
香川	引田町	高松	1い	60	0.74	60	97	90		
香川	引田町	高松	1に	60	0.52	60	91	85		
香川	引田町	高松	2ら	10	0.26	10	26	74		
香川	引田町	高松	5い ₁	30	2.82	30	127	95		
香川	引田町	高松	5い ₂	20	0.41	20	18	95		
香川	引田町	高松	5に	15	1.68	15	134	95		
香川	白鳥町	高松	6い	40	17.27	40	518	95		
香川	白鳥町	高松	6ろ	30	4.02	30	80	85		
香川	白鳥町	高松	6に	43	2.70	43	108	83		
香川	白鳥町	高松	6へ	80	8.85	80	177	95		
香川	白鳥町	高松	7い ₂	45	2.58	45	168	95		
香川	引田町	高松	8い ₁	10	2.54	10	127	85		
香川	引田町	高松	8ろ	35	8.15	35	245	90		
香川	志度町	高松	19ろ	70	0.20	70	12	85		
香川	庵治町	高松	21い	100	1.24	100	74	125		
香川	庵治町	高松	21は	50	1.59	50	135	95		
香川	庵治町	高松	21ほ	50	10.32	50	1,032	115		
香川	庵治町	高松	22ろ	70	11.84	70	1,303	125		
香川	庵治町	高松	22ほ	80	12.06	80	1,206	125		
香川	庵治町	高松	23い	70	13.77	70	826	125		
香川	庵治町	高松	24い	80	11.94	80	1,432	125		
香川	高松市	高松	25へ	70	8.32	70	956	165		
香川	高松市	高松	25へ ₂	70	9.73	70	876	165		
香川	高松市	高松	25へ ₃	70	0.72	70	50	165		
香川	高松市	高松	25へ ₄	50	0.62	50	25	165		
香川	高松市	高松	25へ ₅	70	1.56	70	101	165		
香川	高松市	高松	25へ ₆	65	11.38	65	796	165		
香川	高松市	高松	26に ₁	70	1.95	70	59	165		
香川	高松市	高松	26に ₂	70	4.10	70	287	165		
香川	高松市	高松	26に ₃	70	1.00	70	50	165		
香川	高松市	高松	26に ₄	70	0.56	70	28	165		
香川	高松市	高松	26に ₅	70	1.65	70	66	165		
香川	高松市	高松	26に ₆	70	1.42	70	59	165		
香川	高松市	高松	26ち ₁	70	12.04	70	602	165		
香川	高松市	高松	26ち ₂	70	18.59	70	930	165		
香川	高松市	高松	27い ₁	53	8.49	53	891	131		
香川	高松市	高松	27い ₂	70	0.39	70	43	155		
香川	高松市	高松	27ろ	70	0.78	70	63	125		
香川	高松市	高松	35い	95	5.82	95	465	125		
香川	高松市	高松	36い	65	10.08	65	907	135		
香川	高松市	高松	36ろ	60	13.20	60	924	135		
香川	高松市	高松	36に	60	12.87	60	1,030	135		
香川	高松市	高松	36ほ	60	0.80	60	40	135		
香川	高松市	高松	36へ	50	0.70	50	25	75		
香川	高松市	高松	37と	60	0.97	60	38	90		
香川	高松市	高松	39い	40	1.49	40	45	125		
香川	高松市	高松	39ろ	60	6.31	60	315	125		
香川	高松市	高松	39は	80	1.23	80	37	125		
香川	高松市	高松	39り	70	1.18	70	59	76		
香川	高松市	高松	39た	80	2.06	80	103	62		
香川	丸亀市	高松	47い	40	14.05	40	1,405	120		
香川	坂出市	高松	47ろ	70	16.84	70	2,023	100		
香川	飯山町	高松	47は	50	21.39	50	2,566	120		
香川	満濃町	高松	51い ₁	10	3.10	10	341	110		
香川	琴南町	高松	53は ₁	2	1.44	2	288	120		
香川	琴南町	高松	53は ₂	5	0.51	5	102	120		
愛媛	伊予市	松山	34は ₁	33	0.65	33	104	97		
愛媛	伊予市	松山	34ほ	48	4.46	48	491	50		
愛媛	砥部町	松山	35ろ	7	0.54	7	84	90		
愛媛	砥部町	松山	35は	5	0.10	5	20	87		

都道府県	市町村	営林署	林小班	面積歩合(%)	面積(ha)	材積歩合(%)	材積(m³)	林齢	立木度	疎密度
愛媛	宇和島市	宇和島	41に	8	0.07	8	20	116		
愛媛	松野町	宇和島	75ろ	5	0.30	5	39	71		
愛媛	城辺町	宿毛	93か	20	2.50	20	275	69		
高知	土佐清水市	清水	40ろ	5	1.25	5	112	61		
高知	土佐清水市	清水	89は	40	1.29	40	19	79		
高知	大月町	清水	103と	5	0.21	5	22	60		
高知	大月町	清水	108ろ	40	4.91	40	785	87		
高知	中土佐町	窪川	81へ	10	0.69	10	69	49		
福岡	岡垣町	直方	104ろs		10.48	90	1,048	160	5	M
福岡	岡垣町	直方	104は		44.48	95	4,448	160	5	M
福岡	岡垣町	直方	104はi		1.74	100	261	170	7	M
福岡	岡垣町	直方	105に		154.65	95	13,918	160	4	M
福岡	玄海町	福岡	113い		6.13	100	1,103	140	8	M
福岡	玄海町	福岡	113ろ		2.64	100	396	160	7	M
福岡	玄海町	福岡	113は		1.85	100	333	150	8	M
福岡	玄海町	福岡	113に		1.75	100	315	140	8	M
福岡	浜玉町	佐賀	125ろ		58.84	100	11,768	160	9	M
福岡	唐津市	佐賀	126は		107.99	100	19,438	150	8	M
宮崎	日向市	日向	79ほ		1.36	30	81	74	3	M
鹿児島	吹上町	鹿児島	70は		12.52	100	2,504	145	8	M
鹿児島	吹上町	鹿児島	71ろ		26.97	100	5,394	135	8	M
鹿児島	金峰町	鹿児島	76と		46.54	100	11,635	140	10	M
鹿児島	金峰町	鹿児島	77は		50.81	100	12,703	165	10	M
鹿児島	開聞町	鹿児島	85い		4.37	100	1,136	75	10	M
鹿児島	開聞町	鹿児島	85は		21.71	100	5,645	75	10	M
鹿児島	指宿市	鹿児島	85に		2.09	50	115	60	2	M
鹿児島	指宿市	鹿児島	85ほ		1.01	100	202	100	8	M