

クロマツ海岸林の植栽本数について

坂本知己^{1*}

On the Planting Density to Make the *Pinus thunbergii* Coastal Forest

Tomoki Sakamoto^{1*}

要旨: クロマツ海岸林の植栽本数の決め方について文献調査を行った。植栽本数を決めるにあたって考慮すべき諸条件は示されているが、諸条件に基づいて植栽本数を決める具体的な手順は示されてこなかった。一般的とされる植栽本数 10,000 本/ha は、理論的に決められたというより、諸戸 (1921) の著した教科書の数値が実践の中で引き継がれてきたものと考えられる。改めて、植栽本数の決め方を次のように提案した。クロマツの生育には密植するほど有利だが、労力と経費の点から、現実的な上限を 10,000 本/ha とする。最少の植栽本数の目安は、期待する樹高に達したときに林冠が閉鎖する立木密度である。活着後も防風工による植栽木の保護が必要になるような海風環境の厳しい植栽地では、樹高が保護工の高さに達したときに林冠が閉鎖する立木密度以上の植栽本数にする。なお、この立木密度は、保護高の高さが 1 m の場合には 10,000 本/ha になる。

1 はじめに

わが国の海岸林の多くはクロマツの人工林である。このクロマツ海岸林が抱える問題に、マツ材線虫病による枯損とならんで過密化がある。これは適正な密度管理がなされていないからに他ならない。クロマツ海岸林の密度管理については、いくつかの方法・手順が示されている。筆者は、そのうちのひとつ「クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方」(森林総合研究所, 2011) の制作に携わった。それをご覧になった方から、「そんなに頻繁に本数調整をする予算はない。そもそも 10,000 本/ha も植える必要があるのか」という主旨のことを伝えられた。この後半部分の疑問に回答するには、10,000 本/ha 植えの根拠、言い換えれば、植栽密度の決め方を示せばよいわけだが、適切に回答することはできなかった。筆者自身、植栽密度の決め方は気にはなっていたが、既存の研究成果の中に数字の根拠を見つげることができなかったからである。

すでに全国の海岸に海岸林ができあがっている現在、今さらという感はあるが、海岸林造成における植栽密度は何で決まるのかということについて、改めて文献を紐解いて整理することとした。そして、その結果に基づいて、今後、植栽密度をどのようにして決めるのがよいかについて叩き台となる考え方を示したい。なお、とくにことわらない限り、対象樹種はクロマツである。また、植栽密度は、植付け本数、植栽本数と記されることがある。これ以降は、「治山技術基準解説 防災林造成編」(林野庁, 2015a ; 以下、「技術基準」) にならって植栽本数と記す。

2 技術基準における記述

海岸林の造成技術は、「技術基準」にまとめられている。まずは、「技術基準」を確認する。

「技術基準」には、植栽本数について次のように書かれている。すなわち、①「植栽本数は、汀線及び林帯前縁からの距離並びに土壌及び気象条件の良否等を考慮して決定するものとする。」②「主林木の植栽本数は、林帯が早期に最適密度となるように定めるものとする。」③「植栽本数は、現地の土壌条件の良好なところでは少なく、条件の劣悪なところでは多くして、早期にうっ閉するように決定するものとする。」とある。

①は、植栽本数は一律ではなく、諸条件によって変ることを意味している。すなわち、植栽本数は、10,000 本/ha に固定されたものではないことを示している。②は最適密度の定義によるが、これを少なくとも林冠が閉じた状態と解釈すれば、早期に林冠を閉鎖させる(鬱閉させる)ことが重要であることを意味している。林分が鬱閉するまでの時間は成長速度によるが、植栽本数が多いほど林冠は早く閉鎖する。③では同じ時間で鬱閉させようとすると、生育条件が厳しいほど植栽本数を多くする必要があることを示している。また、③では土壌条件だけを記しているが、①との関係から気象条件も含まれていると解釈できる。②、③は密植を求めるものである。

そして、「技術基準」の解説(林野庁, 2015b)には、④「植栽木によって砂地を早期に被覆し、飛砂の害、乾燥の害を最小限におさえる観点から密植するのが一般的である。」⑤「あまり密植すると、樹木の生育が阻害される。」⑥「密植の場合、植栽後の本数調整伐等の遅れが過密化を招き、飛砂防備、潮害防備等の機能が低下することが懸念されること

¹ 森林総合研究所, Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687 Japan

*Corresponding author: safe@ffpri.affrc.go.jp

から、植栽本数の決定にあたっては、本数調整伐等の保育作業の時期等についても考慮する。」とある。

④は、早期に鬱閉させる、すなわち密植の理由を示したものである。鬱閉させることで、植栽木が飛砂害、乾燥害を受けにくくするということであるが、同時に、鬱閉させることで保全対象に対する飛砂害軽減機能を発揮させることも含めていると解釈できる。

⑤は植栽木の生育の面から密植にもほどがあることを、⑥は密植後の管理上の問題点を示したものである。

具体的な植栽本数は、「技術基準」の参考（林野庁、2015c）に示されていて、「汀線に近い林帯前縁部等、樹高成長が期待できない箇所では、主林木及び肥料木の合計の植栽本数を 10,000 本/ha 程度としている。林帯幅が広い場合、林帯前縁から風の影響の少ない内陸部にいくに従い、本数を 2,500 本/ha 程度まで減少させている例がある。」とある。具体的な植栽本数の例は示されているが、①で記された植栽地の条件、ならびに②で記された鬱閉までの時間、⑤で記された密植の程度を考慮して植栽本数を具体的に算出する方法は示されていない。

3 海岸線の植栽本数に関する既存の知見

「技術基準」は、これまでの海岸線造成に関する知見に基づいて作られている。そこで、技術基準の根拠となっている知見を海岸線造成を取り扱った教科書、ならびに海岸線の造成に関する報告・論文に求めることとした。

3.1 教科書における記述

諸戸（1921）は、なるべく密植、一般に 3 尺（約 91 cm）間隔で植えるとした。密植の理由として、クロマツは、隣り合う個体の枝葉が互いに接するようになると急に上長成長がよくなること、密植することで早く土地を被覆し風および太陽の有害な作用に対して安全となることを記している。「技術基準」にある乾燥害は、この太陽の有害なる作用と対応する。なお、苗木供給にゆとりがある場合は、植栽間隔を短くするのではなく、4～8 本の苗を一穴に植える方がよいとしている。

原（1950）は、鳥取・秋田・山形の各県の実例を紹介するとともに、河田（1940）の見解（後述）についても触れているが、植栽本数の根拠については触れていない。

若江（1961）は、なるべく密植することで早く地面を被覆し、風および乾燥の害に対し安全になるとしている。また、通常 10,000 本/ha 植えが用いられるとしている。

飯塚（1964）・末（1969）は、ふつう 1×1 m 間隔とする、と記すものの、その理由には触れていな

い。

倉田（1979）は、クロマツ・肥料木を各 10,000 本/ha が標準で、状況によって各 20,000 本/ha と記しているが、数値の根拠や、植栽地の条件を考慮する具体的な手順については示していない。

金内（1985）・奥村（1991）・遠藤（1992）も、一般に 10,000 本/ha、と記すに止まっている。

高谷（1991）は、植栽本数に触れていない。

鈴木（1992）は、倉田（1979）、河田（1940）を引用しているが、植栽本数の決め方には触れていない。

河合（1997）は、一般に主林木、肥料木の合計が 10,000 本/ha 程度を標準とし、内陸に入るにしたがい 5,000～8,000 本/ha に減少させるとしているが、その理由と、具体的な数値の求め方は記していない。

以上のように、海岸線の造成を扱った教科書では、諸戸（1921）・若江（1961）を除いて、密植の理由を記したものは確認できなかった。そして、若江（1961）の記述は実質的に諸戸（1921）と同じなので、植栽本数に関する限り海岸線造成の教科書は 100 年近く「なるべく密植、一般に 3 尺（約 91 cm）間隔」が続いたことになる。すなわち、条件に応じた植栽本数の決め方、植栽後どの程度の期間で林分を閉鎖させるか、植栽本数と本数調整との兼ね合いについては示されていない。

3.2 代表的な実践例

教科書に植栽本数の決定方法が記されていないことから、実際の海岸線の造成にあたっては先行事例が重視されたと考えられる。そこで、各教科書で「一般的に」として、10,000 本/ha 植えが紹介されていることから、できるだけ古い文献を中心に代表的な実践例を対象として 10,000 本/ha 植えとした考え方を探ることとする。具体的には、農商務省山林局（1918）、三浦（1923）、富樫（1939）、星野（1939）、河田（1940）を確認した。

農商務省山林局（1918）に記された植栽本数は、次の通りである。すなわち、水林国有林（秋田県）では、3 尺方形植え（12,100 本/ha 植え）と記されている。大聖寺海岸国有林（石川県）では、当初 4～3.5 尺正三角形植え（7,859～10,265 本/ha）を行い、その後、クロマツ 3.5 本/坪（10,588 本/ha）、同時植栽のネムノキやハリエンジュを合わせると 4 本/坪（12,100 本/ha）に変更している。吹上濱国有林（鹿児島県）では、6,000～8,000 本/町歩（6,050～8,067 本/ha）の正三角形植えが行われていた。いずれも、植栽本数の根拠は記されていない。

三浦（1923）によれば、新潟市の海岸線造成では、クロマツを 4,000～6,000 本/町歩（4,033～6,050 本/ha）の密度で植えていた。植栽本数の根拠は記していない。

富樫 (1939) は、旧秋田営林局管内 (秋田県、山形県) でクロマツ : 10,000 本/ha, アキグミ : 10,000~20,000 本/ha の混植をしているが、その根拠については言及していない。

星野 (1939) も、猿ヶ森海岸林 (青森県) の造成において 10,000 本/ha 植えを採用しているが、その根拠は示していない。

河田 (1940) は、3 尺方形植栽 (12,100 本/ha) を採用している。これは、2 尺方形植栽 (27,225 本/ha), 3 尺方形植栽、4 尺方形植栽 (6,806 本/ha) と植栽本数を変えた植栽試験を行った結果、上長成長は 2 尺方形植栽がよかったが、経費 (苗木代金, 人夫賃金など) を含めて総合的に判断して、3 尺方形植栽が最も実用的としたものである。なお、上長成長の点で 2 尺方形植栽が優れていたのは、諸戸 (1921) が、密植の理由としてクロマツは隣り合う個体の枝葉が互いに接するようになると急に上長成長がよくなる、と記したことと対応する。

以上のように、実践例の中で、採用した植栽本数の採用根拠を確認できたのは、河田 (1940) だけであった。

3.3 「技術基準」と既存の知見との対応

既存の知見と「技術基準」との対応を確認する。「技術基準」に記されている植栽本数を決定するにあたって考慮する点は、改めて次のように整理できる。

- a 早期に林冠が閉鎖すること
- b 植栽地の条件に応じて植栽本数を多くすること
- c 本数調整伐等の保育作業に考慮すること

a は、早期の意味する具体的時間が決まれば、期待できる成長量 (とくに枝の成長量) から植栽本数を算定することができるが、上で参照した文献に、林冠が閉鎖するまでに要する時間に触れたものは確認できなかった。

b は、期待できる成長量を求めるにあたって、土壌条件、気象条件の影響を考慮する必要に触れたものである。河合 (1997) が内陸に入るに従い植栽本数を減少させるとしたことは、b に関係すると考えられる。なお諸戸 (1921) は成長速度が植栽本数の影響も受けることに触れており、河田 (1940) の植栽試験はそのことを裏付けるものであった。この密植の効果には、競争による上長成長の促進と隣接木による気象条件の緩和が考えられる。

c は早期鬱閉と本数調整作業の兼ね合いについて述べたものである。極端に言えば、隣接木と枝が接する間隔で植えれば植栽と同時に林冠を閉鎖させることができるが、そうすると速やかに本数調整を開始しなければならないので、その植栽本数は意味をなさない。

「技術基準」では明示されていないが、c には、本数調整だけでなく植栽作業の手間と経費も入ると考える。この点も考慮して、河田 (1940) は、初期成長が最良の植栽本数を選ぶことが造成事業としては最善とはならないと判断した。

「技術基準」に記された視点に基づいて植栽本数を算定するためには、林冠が閉鎖するまでの目標年数と、植栽地の条件に対応した成長速度を具体的に知る必要があるが、関係の教科書や実践例の中にそれらについて言及したものは確認できなかった。

これまでに見てきたように、「技術基準」には、植栽本数に関する考え方は記されているが、植栽本数を決定するにあたって必要となる情報とその取り扱い方は「技術基準」だけでなく、その基となったはずの既存の教科書、実践例にも確認できなかった。

3.4 植栽本数 10,000 本/ha の位置づけ

植栽本数を決めるにあたって考慮すべき諸条件は示されても、その諸条件に基づいて植栽本数を具体的に求める手順が分からないために、諸戸 (1921) で一般的と記された 3 尺 (約 91 cm) 植え (12,100 本/ha) が使われ、それが 3 尺から 1 m に変わって 10,000 本/ha として受け継がれたのだと考える。また、クロマツの初期の生育には密植するほど有利であるから、労力と費用の点を除けば、10,000 本/ha 植栽が問題となることがなかったことから、そのまま引き継がれてきたのではないかと考える。

4 経済林での植栽本数

4.1 既存の知見

植栽は造林技術の人工更新技術のひとつでもあるので、造林学の教科書に対象を広げ、植栽本数の決め方について過去の知見を確認することとした。

本多 (1928) は、各地の実例を記した後、「最近の傾向は漸く本数を減じて其植付け手入を丁寧になし苗木を完全に活用するにあり」(原文はカタカナ) として、実際の造林上最適な植栽本数として、スギ、ヒノキ : 2,000~6,000 本/町歩 (2,017~6,050 本/ha), アカマツ, クロマツ : 通常 3,000~4,500 本/町歩 (30,25~4,537 本/ha), 砂防工 3~10 本/坪 (9,075~30,250 本/ha) と幅のある数字を記している。そして、実際の植栽における疎密を決定する条件として、その地における植林発達の歴史、運搬の便・苗木の価格、樹種及び用途、土性、気候、諸害、副産物、労力 (労賃)、鬱閉の関係を考慮するとしている。ただし、植栽本数につながる具体的な数値は、植栽後 5, 6 年で鬱閉し、その後 4, 5 年は間伐しなくても生育できる植栽間隔とする、とした以外に示していない。

藤島 (1930) は、無節通直の幹材を得るために鬱閉状態にしなければならないとして、実際は、苗

木の準備、植付けの労力から限度があるとしながら、理想は天然下種更新のような稚樹が密生した状態とした。通例の範囲として、スギ：3,000～8,000本/ha、クロマツ：3,000～4,500本/haを示した。植栽本数で考慮する項目として、樹種、立地、天然生稚樹、木材利用の目的、集約度を挙げた。

土井（1935）は、考慮する項目として、交通の便否、被害の多少、樹種、産物利用の目的を挙げ、実際の植栽本数として、スギについては植栽本数の範囲として1,000～20,000本/ha、普通は2,500～5,000本/ha、アカマツについては2,500～5,000本/haを記した。

林野庁（1955）では、「優良林木を育成するためには、できるだけ多数の苗木を植付けて除伐間伐などの保育を慎重に行い、その中から比較的少数の林木を選出する取扱いがもっとも適当」であるが、実際はいろいろな事情で変化するもので、樹種、環境、経営方針、経済状態などを基礎として検討することとしている。実例として、クロマツの植栽本数の範囲は2,000～6,000本/ha、一般には3,000本/haとしている。

中村（1956）は、樹種、地位、地利、林業の集約度、小丸太の需給状態、苗木の価格、伐期齢、生産目標、除伐、間伐の方法によって変るとした。

高原（1965）は、「植付け本数を支配する要因は極めて多く、各種の因子を総合して決定しなければならない」、「大きな要因としては、樹種の性質、気候や土壌などの環境、経済的条件などがある」とした。実例として、スギでは吉野（奈良県）の10,000～15,000本/ha、飼肥（宮崎県）の1,000～1,500本/haと大きな開きがあることを紹介し、クロマツについては皆伐用材林として4,000～5,000本/haを記している。

以上のように、各教科書には、植栽本数を決めるにあたって考慮すべき項目と実例は記されているが、各項目を考慮して植栽本数を導いた具体的な手順は記されていない。この状況を、倉田（1982）は、「無責任に因子を多く取り上げて、何が何だかわからぬようにぼかして」と批判している。

このことは、現在も変わっていないと考えられる。例えば、河原（2001）は、植栽本数（植付け本数）は樹種、環境、生産目標などによって異なること、間伐材の価格、労賃、運搬の便宜も影響すること、大型林業機械を導入する場合には少なくなることを、中村（2009）は、樹種の特性、立地条件、経済的条件などを加味して決めること、陽樹は疎植、陰樹は密植することを、吉田（2016）は、植栽本数は、樹種の生育特性や立地条件、経済的条件によって決められるとし、標準より多ければ密植、少なければ疎植として、それぞれの利点を記しているが、条件に基づいた植栽本数の算定手順にはいずれも触

れていない。また、いずれの文献もスギの場合、一般的、あるいは標準的な植栽本数は3,000本/ha程度と記しているが、3,000本/haとする考え方や、条件に応じて3,000本/haからどの程度密植、あるいは疎植にするのがよいのかについては言及していない。

なお、倉田（1960）によれば経済林の植栽本数について、明治20年（1887年）以来、ほぼ10年目ごとに議論が行われてきたようである。議論が繰り返されたということは、植栽本数がはっきりした科学的な根拠と手順に基づいて決められて来なかったことを伺わせる。

4.2 立木密度の許容範囲

先にみたように、経済林における植栽本数に関係する要因はいろいろと示されているが、それらを具体的に考慮して植栽本数を決定する手順は確認できなかった。

そんな中で、四手井（1960）は、間伐との関係で、立木密度の枠組みについて生態学的な視点と経済的な視点を分けて示した。すなわち、生態学的には、単木の成長量の面では林分密度は林冠が閉鎖するぎりぎりの立木密度（最低）に抑え、林分現存量を最大にするには自然間引きが生じる直前の立木密度（最大）にするのがよく、立木密度をその間のどこにするのかは生産目的と経済性によって決められる、とした。

これは、最大の立木密度より多く植えるということは、太陽エネルギーの利用の点から無駄な樹木があることであり、最低の立木密度より少ないということは、太陽エネルギーを無駄にしていることなので、立木密度を両密度の間に保つことが太陽エネルギーの効率的な利用の点から経済林として理に合うことを述べたものである。生態学的な視点から示された立木密度の範囲のどこに設定するかは、求める材や、収入と経費、気象害のリスクを考慮して決めることになる。

そして、通常、植栽時の立木密度、すなわち植栽本数では鬱閉しておらず、成長に伴って鬱閉に達する。したがって、経済林においても植栽本数は何年で鬱閉させたいかで決まると考えられるが、本論は海岸林の植栽本数を扱っているので、経済林についてはこれ以上深追いしないことにする。

4.3 標準3,000本/haの経緯

経済林の植栽本数の決め方について文献を渉猟している中で、3,000本/haが標準とされることに関する記載があった。経済林の3,000本/haは、標準の植栽本数とされる点で、海岸林造成の10,000本/haと通じるところがある。海岸林造成における植栽本数に関するテーマとしては少し横道に逸れるが、

参考までに、そのことについて記しておきたい。

藤島 (1930) は、スギの植栽本数 3,000 本/ha は鬱閉までの時間から見て適当、と記している。しかしながら、「適当」と判断する根拠は示されていない。

倉田 (1960) は、「標準 3,000 本植えは、実は科学的には何等の根拠もない出所によっている」としている。また、四手井 (1960) も 3,000 本という数字には「はっきりした生態学的意味も、経済学的意味も見出し得ない」、「ただ、大ざっぱに、山へ木を植えて、林を作ろうというような林業には、程々な造林法であるといえよう」としている。

では、植栽本数 3,000 本/ha は、どのように決まったか。倉田 (1960)、中村 (1963a)、齋藤 (1963)、中村 (1963b)、倉田 (1982) などによれば、民有林では造林補助金との関係、国有林では苗木供給可能量から決められたようである。

なお、現在の植栽本数は低コスト再造林の流れの中で 3,000 本/ha より低密度を指向し、樹種特性を考慮した疎植の下限を探る研究がされている (例えば、森林総合研究所東北支所, 2016)。

さらに横道に入るが、吉野林業の密植、餌肥林業の疎植は、元々は、林業上の目的というより経済的な理由ならびに山作 (間作) との関係で決まったことが論じられている。例えば、倉田 (1982) によれば、吉野では、小面積で皆伐して山作を行い、植栽後、1 代限りで立木を売ったので、植栽本数が多い方が収益面で有利で、餌肥では地力が落ちるぎりぎりまで山作を続けたので疎植が有利だった、とある。

なお、山作 (間作) を行うなど、太陽エネルギーの利用効率の最大化を植栽木だけに求めなければ、すなわち、鬱閉させる必要がなければ、生態学的視点は立木密度の下限を決めない。言い換えれば、経済林の立木密度は自然科学の許容範囲の中で、実質、土地利用・木材利用の視点で決まると考える方が分かりやすい。

5 海岸林の植栽本数の求め方

以上確認してきたように、海岸林、経済林ともに、植栽本数を決めるにあたって考慮すべき諸条件は示されているが、諸条件に基づいて植栽本数を求める手順は示されてこなかった。植栽本数を決めるにあたって考慮すべき諸条件を総合的に考慮する手順を既存の文献に確認できなかったことから、10,000 本/ha という植栽本数は、理論的に決められてきたというより、諸戸 (1921) の著した教科書の影響を強く受け、実践の中で引き継がれてきた数値と解釈するのが妥当と考える。

しかしながら、10,000 本/ha 植栽は、その後、人為的に大きく本数を減らす必要がある。現実的には、

これが不十分で、多くのクロマツ海岸林が過密になっていると考えられる。そこで、植栽本数を減らせる可能性を探るために、海岸林の植栽本数の求め方について、改めてこれまでの知見に基づいて考え方を整理し叩き台として示すこととする。

5.1 立木密度

四手井 (1960) が指摘したように生態学的な視点から立木密度に許容範囲があることは、海岸林でも変わらない。その許容範囲の中で、経済林の場合は、収益性を前提に、間伐材の需要見通しや求められる幹形などに応じて立木密度が管理される。これに対して海岸林は、収益を求めない。

収益を求めない海岸林の立木密度は何で決まるかとなれば、海岸林は防災機能を確実に発揮し続けることが第一義であるから、林帯が存在し続けるために、健全な樹木で構成される健全な林帯を造ることが焦点となる。具体的には、海岸林自体の諸害、とくに気象害の危険性を下げるために、鬱閉しながらも形状比を低く保つように密度管理することになる。

なお、いくつか提案されている目標となる立木密度 (例えば、森林総合研究所, 2011) には差はあるが、経済林における差に比べて格段に幅がなく、実際上は問題となるほどの差ではない。

5.2 植栽本数の上限

植栽時の立木密度が植栽本数である。植栽本数の上限としては、天然下種更新地に見られる植栽時点で鬱閉するような高密度 (例えば、八神, 2013 : 400,000 本/ha ; 山中, 2018 : 300,000~500,000 本/ha) が考えられるが、植栽の手間と経費、本数調整の手間と経費を考えると現実的ではなく、それより低い植栽本数とならざるを得ない。

現実的な上限として、10,000 本/ha を提案したい。その理由は、これまで標準とされ現場での実績が豊富な 10,000 本/ha に関して少な過ぎて問題が生じたという報告を確認していないことと、それ以上密に植栽するのは植栽ならびに本数調整の作業性の点から不利と考えることからである。

なお、植栽間隔 3 尺 (約 91 cm) を提示した諸戸 (1921) が、苗木にゆとりがある場合に植栽間隔を詰めるのではなく一穴に植える本数を増やす、としたことも、隣り合う個体の枝葉が互いに接するようになる急成長がよくなることのほかに、保育上の作業性があつたのではないかと考える。

5.3 植栽本数の下限

海岸林の最前縁であっても天然更新によると考えられるクロマツが単木状態で生育しているのを見ることができることから、生態学的な視点からすれば

ば、立木密度に下限はない。海岸林の造成で植栽本数の下限を考えるのは、鬱閉した林帯の造成を前提としているからである。以下、鬱閉させることを前提に植栽本数の下限について検討する。

5.3.1 仕立て本数

最少の植栽本数は、予想する林冠高（ここでは上層樹高の平均値）に達したときに林冠が閉鎖する立木密度であり、林冠高に応じた最終的な仕立て本数が目安になる。例えば、予想林冠高 5 m で 2,900 本/ha、10 m で 980 本/ha が仕立て本数のひとつの目安となる（森林総合研究所，2011）。環境条件が厳しいところほど、頭打ちとなる樹高が低いため仕立て本数は多くなり、最少の植栽本数は多くなる。

5.3.2 林冠が閉鎖するまでの時間

植栽本数によって林冠が閉鎖するまでの時間が変る。鬱閉に期待するのは、地表を樹木で覆うことによって、飛砂の発生を抑えることである。飛砂の発生を抑えたい海岸砂地に新植する場合は、いち早く林冠を閉鎖させたいのでより多くする必要がある。それに比べて、砂草による被覆状態がよい場合、あるいはより内陸側の植栽地で海側に既存の林帯があり飛砂発生の危険性が少ない場所では、鬱閉までに要する時間の優先順位が下がる。すなわち、植栽本数を決める条件のひとつは、植栽後、何年で林冠を閉鎖させたいかということである。

鬱閉を厳密に定義することは難しいが、便宜的には、枝張り（林冠幅）が植栽間隔を上回ったときに林冠が閉鎖したとみなせる。この判断基準で小倉・坂本（2015）、小倉ほか（2017）は、石川県の例として飛砂・海風が十分に抑えられた生育条件のよい場所では、10,000 本/ha 植栽で 4～5 年、5,000 本/ha 植栽では 5～6 年、2,500～3,000 本/ha 植栽で 6～7 年で閉鎖すると算定している。これによれば、鬱閉の時期が 1～2 年遅れることを受け入れられるのであれば、植栽本数を概ね半減できる。今後、林冠閉鎖までの期間に関する調査事例が整えば、上限とした 10,000 本/ha と比べて許容できる林冠閉鎖の遅れから植栽本数を決めることができると考える。

なお、上に記した鬱閉までの期間は、生育条件のよい場合である。生育条件が厳しい場所では、鬱閉までにより時間を要するので、同じ期間で林冠を閉鎖させるためには植栽本数を増やす必要がある。

5.3.3 植栽木相互の保護効果

鬱閉に期待することのもう一つは、樹木相互による海風環境からの保護である。このことで海岸林は厳しい条件下での上長成長が可能になる。風衝林形はこのことを示している。

理想的には植栽直後からこの効果を期待したい。しかしながら、稚樹の発生密度の高い天然下種更新地と違って、先に上限とした 10,000 本/ha 程度であれば、この相互保護効果を発揮するには植栽間隔が離れ過ぎているため、植栽木相互の保護効果は、苗木の活着と初期成長には期待できないと考えられる。

植栽直後の苗木を守っているのは、苗木相互の保護効果ではなく、静砂垣や衝立工といった防風工である。なお、防風工の機能を果たすのは人工工作物に限らず、隣接する林帯にも期待できる。すなわち、植栽地の周辺、とくに海側に林帯が存在する場合、それを防風工とみなすことができる。

言い換えれば、防風工の保護効果が及ばない樹高になったときに植栽木相互による保護が必要になる場合、その樹高で林冠が閉鎖している必要がある。小倉・坂本（2015）、小倉ほか（2017）の調査例では、10,000 本/ha 植栽の場合、樹高 1 m で隣り合う植栽木の枝は重なり合い、この段階では相互保護効果が発揮されていると考えられる。一般的な静砂垣の高さ約 1 m は、凶らずも 10,000 本/ha 植栽における林冠閉鎖時の樹高に対応している。隣接する林帯に保護効果が期待でき、その樹高が一般的な静砂垣より高いのであれば、その樹高に応じて植栽木の林冠が閉鎖する樹高を高く、すなわち、植栽本数を減らされる可能性がある。

5.4 経済性

海岸林は、今のところ収益を考えていないが、事業として行われる以上、労力と経費は考慮しなければならない。従って、林冠が閉鎖するまでの時間を短くするために植栽本数を多くするにあたっては、植栽経費が高くなること、ならびに閉鎖後の本数調整開始時期が早くなり回数が増えること、逆に植栽本数を減らすと林冠が閉鎖するまでに時間がかかる分、下刈りの期間が長くなる可能性があることとの兼ね合いを検討することになる。

なお、小倉・坂本（2015）は、植栽から立木密度を 2,500 本/ha に減らすまでの直接工事費は、植栽費と苗木代が 6 割（普通苗）～8 割（抵抗性苗）以上を占めるため、下刈り量の増加を考慮しても植栽本数を減らすことで大きく削減できると試算した。

5.5 試算

最後に、試算として、クロマツ海岸林の植栽本数の決め方を記す。

植栽本数の上限を 10,000 本/ha とする。密植するほど、クロマツの生育には有利と考えられるが、労力と経費の関係から、実践の裏付けのある本数に止めるのが現実的と考えた。

最少の植栽本数の目安は、期待する樹高に達したときに林冠が閉鎖する立木密度である。

活着後も防風工による植栽木の保護が必要になるような海風環境の厳しい植栽地では、樹高が保護工の高さに達したときに隣り合う植栽木の枝が触れ合う植栽間隔まで植栽本数を増やす。この本数は、保護高の高さが1mの場合、10,000本/haになる。

最終的な植栽本数は、植栽、下刈り、本数調整の労力と経費を考慮して決定する。

6 おわりに

10,000本/haという数値には、これまで理論的な裏付けが不十分だったとしても、実績の裏付けを持つ一定の重みがある。これは、海岸林造成技術が理論的な知見の裏付けだけではなく、各地での実績が認められて確立したものとなるからで、そのために現場実践例が欠かせないからである。

東日本大震災後の海岸林の再生事業では、5,000本/ha植栽が広く行われている。これは、理論的に導かれた植栽本数というより、先行事例を参考にしながらも、大面積を短期間に造成するにあたって生じた苗木の供給体制の制約によるものである。その意味では、東日本大震災後の海岸林の再生事業の実績を防風工などの植栽条件と合わせて整理し、標準とされた10,000本/haを見直す際の具体的な条件を明らかにする機会と考える。

引用文献

- [1]土井藤平 (1935) 造林学汎論. 養賢堂, 359pp
- [2]遠藤治郎 (1992) 海岸砂防緑化. 環境緑化学, 小橋澄治・村井宏・亀山章 編著, 朝倉書店, 188pp, 122-125
- [3]藤島信太郎 (1930) 更新論的造林学. 養賢堂, 497pp
- [4]原 勝 (1950) 砂防造林. 朝倉書店, 257pp
- [5]星野彌平 (1939) 猿ヶ森地方海岸砂防林の實態と其の特異性に就て. 昭和十三年度日本林學會大會講演集, 767-798
- [6]飯塚 肇 (1964) 森林防災学. 森北出版, 358pp
- [7]金内英司 (1985) 前砂丘の設計. 砂防体系シリーズ 海岸の砂防 (田中一夫・中島勇喜・遠藤治郎・金内英司) 86pp, 石崎書店, 53-69
- [8]河田 杰 (1940) 海岸砂丘造林法. 養賢堂, 54pp
- [9]河原輝彦 (2001) 植付け. 森林・林業百科事典, 日本林業技術協会編, 丸善, 58-59
- [10]河合英二 (1997) 飛砂防止基礎工. 新編治山・砂防緑化技術, 村井宏・堀江保夫 編, ソフトサイエンス社, 332pp, 65-74
- [11] 倉田益二郎 (1960) 植栽本数論 主として民有林におけるスギ、マツを対象として. 林業技術, 218, 1-5
- [12]倉田益二郎 (1979) 緑化工技術. 森北出版, 239~240
- [13]倉田益二郎 (1982) 植付本数はどうして決められた?. 現代林業, 66-69
- [14]三浦慶次 (1923) 新潟市海岸砂防林経営事蹟. 土木会誌, 9, 177-199
- [15]諸戸北郎 (1921) 理水及砂防工学 海岸砂防編. 三浦書店, 214pp
- [16]中村賢太郎 (1956) 育林学. 金原出版, 342pp
- [17]中村賢太郎 (1963a) 疎植と密植. 山林, 831, 87-89
- [18]中村松三 (2009) 植栽. 森林大百科事典, 森林総合研究所編, 朝倉書店, 326-327
- [19]中村藤二郎 (1963b) 国有林造林の植付本数. 山林, 831, 97-103
- [20]農商務省山林局 (1918) 国有林海岸砂防植栽事業調査. 山林彙報臨時増刊, 68pp
- [21]小倉晃・坂本知己 (2015) 日本海側の海岸クロマツ林における5千本植栽の生育状況 (I) —十分な防風対策下での植栽事例—. 海岸林学会誌, 14, 21-26
- [22]小倉晃・坂本知己・渥美幸大・八神徳彦 (2017) 海岸クロマツ林の低密度植栽の可能性—十分な防風対策下での初期成長—. 石川県林業試験場研究報告, 48, 6-10
- [23]奥村武信 (1991) 海岸砂地における防災林の造成. 新砂防工学, 塚本良則・小橋澄治 編, 朝倉書店, 132-134
- [24]林野庁 (1955) 育林綜典. 朝倉書店, 670pp
- [25]林野庁 (2015a) 治山技術基準解説 (防災林造成編), <http://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/kizyun/pdf/01kijyunn.pdf> (2018.05.18 確認)
- [26]林野庁 (2015b) 治山技術基準 (防災林造成編) の解説 (第3章 (その3)), <http://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/kizyun/pdf/05kaisetu3.pdf> (2018.05.18 確認)
- [27]林野庁 (2015c) 治山技術基準 (防災林造成編) の参考 (第3章 (その4) ~第5章), <http://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/kizyun/pdf/10sannkou4-1.pdf> (2018.05.18 確認)
- [28]齋藤基夫 (1963) 民有林の植付本数. 山林, 831, 90-96
- [29]四手井綱英 (1956) 林分密度の問題. 林業解説シリーズ, 86, 1-38
- [30]四手井綱英 (1960) 林分密度の問題などについて. 林業技術, 223, 5-8
- [31]森林総合研究所 (2011) クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方—本数調整と侵入広葉樹の活用—. 森林総合研究所 第2期中期計画成果 24, 55pp
- [32]森林総合研究所東北支所 (2016) 東北地方の多雪環境に適した低コスト再造林システムの実用化に向けた研究成果集「ここまでやれる再造林の低コ

- スト化—東北地域の挑戦—」. 森林総合研究所 第3期中期計画成果 33, 27pp
- [33]鈴木 清 (1992) 植生工法. 「日本の海岸林」, ソフトサイエンス社, 村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編, 386-391
- [34]高原末基 (1965) 人工造林. 造林学, 朝倉書店, 100-127
- [35]高谷精二 (1991) 海岸砂防. 「砂防学概論」, 鹿島出版会, 172-187
- [36]吉田俊也 (2016) 植栽本数. 造林学第四版, 丹下健・小池孝良 編, 朝倉書店, 118-119
- [37]富樫兼治郎 (1939) 日本海北部沿岸地方に於ける砂防造林. 興林會, 167pp
- [38]八神徳彦 (2013) 高密度に天然更新したクロマツ稚樹に対する除伐と地掻きの効果. 中部森林研究, 61, 81-82
- [39]山中啓介 (2018) 密度調整が天然更新した海岸クロマツ林の成長に与える影響. 日本緑化工学会誌, 43, 509-515
- [40]若江則忠 (1961) 日本の海岸林. 地球出版, 東京, 192 pp.
〔受付 平成30年9月7日, 受理 平成30年11月23日〕