

天橋立公園「松の育成状況調査」
報告書概要

平成15年8月

京都府立大学大学院農学研究科
森林生態学研究室

池田 武文

目次

はじめに	1
. 植生・立地調査	2
. 高等菌類の発生消長調査	7
. 景観調査	13
おわりに	18

はじめに

日本各地の海岸には現在もさまざまな海岸林が分布しており、特有の景観をかたち作っている。特に砂浜は「白砂青松」という言葉でその景観が描写されている。海岸松林は、古くより防風林、防砂林、防潮林として人々の生活を守り、そこに生育するマツを中心とする樹木やその落ち葉は燃料や肥料として人々の生活と密接に関係しながら維持されてきた。元来、砂地である海浜という立地条件は水を保つ保水性や栄養分に乏しく、強い潮風のために樹木にとっては大変厳しい生育環境である。このような場所でも大きく生育できる樹木はクロマツぐらいである。このクロマツの林にも土壌条件がよくなれば広葉樹が侵入し、遷移が進むことが予想される。しかしながら、日本の海岸松林は広葉樹化があまり進まず、クロマツのままで遷移が止まっているところが多い。それは、厳しい生育環境が大きな理由ではあるが、前述したように、燃料や落ち葉採取といった人の松林への関与が土壌形成を妨げたことも理由として考えられる。

京都府宮津市に位置する天橋立は、多くの海岸松林の中でも砂嘴という独特の地形と松林の美しさから、日本三景の一つに数えられ、古くより日本を代表する景勝地として知られている。毎年、全国各地から多くの観光客が訪れ、丹後地方の貴重な観光資源となっている。近年、天橋立の松林ではマツ材線虫病による松枯れ被害によるマツの枯損や、高齢木の衰弱が認められた。このような状況をふまえ、昭和60年度には「京都府立天橋立公園の松並木保護管理対策」についての調査が行われた。ここでは、松くい虫被害の防除に力を入れるとともに、マツの立地環境の改善や衰弱木の治療などが提言された。これを受けてとられた対策の結果、マツ材線虫病によるマツの枯損被害は低いレベルを保ち、天橋立の松林は良好に維持されてきた。ところが、平成13年度にはそれ以前に比べて多くのマツの枯損が発生した。このことに対応するため、平成13年から14年度にかけて天橋立公園松枯れ対策検討会が設置され、そこで検討された対策を実施することで、平成14年度以後、松枯れ被害は確実に減少し、当初の目的を達成することができた。

以上のような経緯をふまえ、ここでは今後も松枯れ対策を継続するとともに、未永く天橋立の松林を健全に維持するための方策を確立するための基礎的な調査を行った。調査内容は、植生・立地調査と高等菌類の発生活消長調査、景観調査である。これらの調査のうち、植生・立地調査と高等菌類の発生活消長調査は、まず天橋立松林の現状を分析し、松林の健全性維持および立木密度管理のための間伐や除伐の計画を立案するための基礎資料とする。また、景観調査では間伐、除伐後の景観をシュミレーションすることで、最適な松林の維持管理方法の検討に役立つ。

なお、植生・立地調査は京都府立大学大学院農学研究科森林生態学研究室（代表：池田武文）、高等菌類の発生活消長調査は京都府樹木医会（代表：伊藤武）、景観調査は独立行政法人森林総合研究所関西支所（代表：深町加津枝）によりそれぞれ実施され、池田が最終的なとりまとめを行った。

I. 植生・立地調査

はじめに

本調査では、天橋立の植生と土壌の調査を行うことにより、松林の植生と土壌環境の現状ならびに植生遷移のなかでの位置づけを生態学的に明らかにし、今後の保全事業に対する指針を提案する。

1 調査地の概要

地形：天橋立は、内海の阿蘇海と外海の宮津湾を隔てている全長 3.6 km の海に突き出た砂嘴で、長さ 2.7 km の大天橋と 0.9 km の小天橋とからなる。ここで、植生調査を実施するにあたり、まず、全域を踏査し、その結果をもとに 10 カ所の調査区を設定した(図-1)。なお、小天橋西側の陸地に第二小天橋があるが、本調査では除外している。

気象条件：天橋立は東—南—西の三方を山に囲まれ、北方には宮津湾が広がっているため、日本海に面した海岸よりも風波の影響は比較的少ないものと思われる。年平均気温は 14.3℃、月ごとの平均気温から計算した暖かさの指数 WI は 113.8、寒さの指数 CI は -2.8 であることから、天橋立は照葉樹林帯（常緑広葉樹林帯）に含まれる地域である。

2 植生調査

調査区の設定：調査はコドラート法に基づいて行った。調査区の区画は基本的には 20m x 20m の方形区とし、一部砂嘴の狭い箇所は 20m x 10m とした。

1) 植生調査：方形区に含まれる低木層以上の木本の樹木位置を x-y 座標上にプロットし、胸高直径と樹高を測定した。草本層については、出現種ごとに Broun-Blanquet の被度・群度階級により判定した。

2) 林内の明るさの測定：方形区の内と外の明るさを光量子センサで測定した。

以上の調査データをもちいて、調査区ごとに胸高断面積合計、密度、被度、優占度、相対優占度、優占値、多様性指数を算出し、全調査区を対象に、出現したそれぞれの樹種の頻度、数度をもとめた。

3 立地調査

立地環境を把握するために、植生調査を行った調査区内の土壌調査を行った。調査内容は、土壌断面の観察、土壌の物理性、土壌の化学性の 3 項目である。

1) 土壌断面の観察：土壌断面の作成は幅約 1 m で、深さは地下水があらわれるまで掘り進んだ。その断面の層位、構造、土色、根系分布を土壌断面図として記録した。また、土壌の層ごとに採土円筒とポリ袋に土を採取した。同時にその場で土色帳をもちいて土の色を判定した。さらに、深さごとの土壌の硬度を測定した。

2) 物理的特性：採土円筒を実験室にもち帰り、土壌の組成、含水率と透水性を測定した。

3) 化学的性質：ポリ袋に採取した土は実験室に持ち帰り、pH を測定した。

4) 地価水位の測定は、地面に塩ビ性の円筒管を埋め込み、その中の水面の深さを測定した。

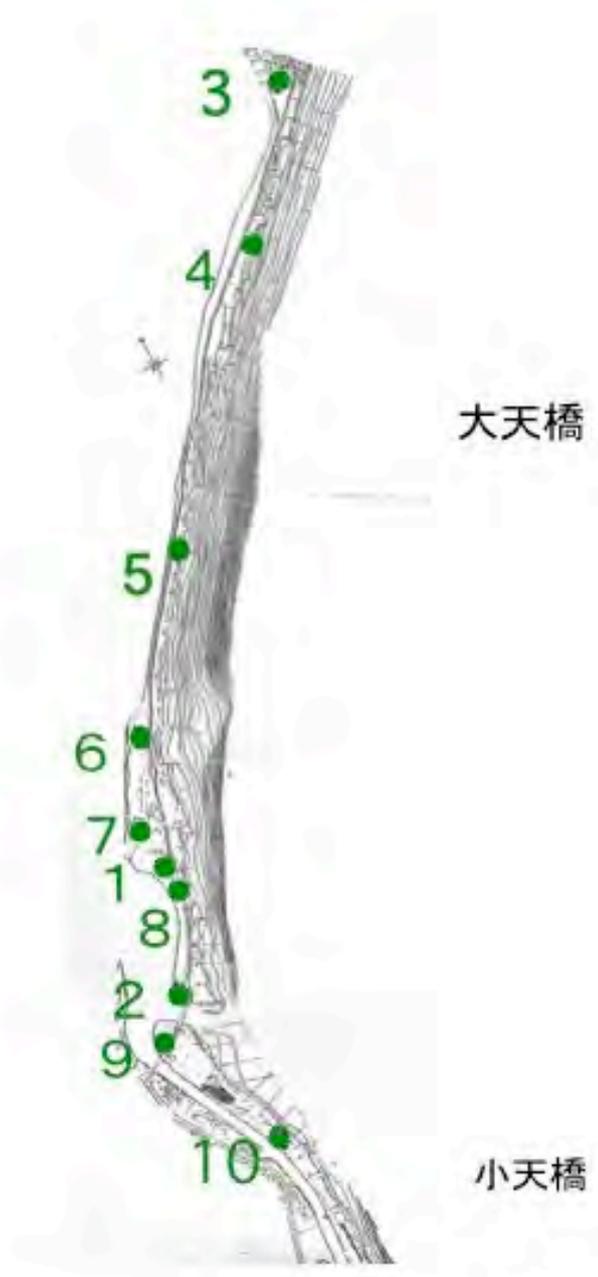


図1 調査地概要

4 結果と考察

1) 天橋立の植生

環境省により日本全国の植生図がデジタルデータとして示されている。それを参照すると、天橋立は全体がマツ林として記載されている。しかし、本植生調査の結果、天橋立は3種類の植生に分類することができた。つまり1. クロマツ林、2. 中間林、3. 針広混交林である。なお、報告書本編の提出後の追加調査により3種類の植生は以下の4区分がより適切であると判定した(図-2): 1. マツ林、2. 遷移進行型林、3. 針広混交林、4. 常緑広葉樹林。前者3区分のうち2. 中間林を2. 遷移進行型林と3. 針広混交林に細分し、3. 針広混交林を4. 常緑広葉樹林とした。この1から4は遷移の進行方向を示す。



図-2 天橋立の植生区分

以下にそれぞれの特徴を記す。4の常緑広葉樹林以外ではマツが優占し、一見するとマツ林に見える。しかし、それぞれの箇所に出現する樹種を比べると、出現する樹種のほとんどがマツで占められたマツ林は、大天橋の府中側から宮津湾に面した部分と小天橋南側であった(1. マツ林)。これらの中でも小天橋の旧旅館より南側の部分のみが典型的な海岸マツ林(写真-1)であるのに対して、他は全て林床に草本が繁茂し、大天橋府中側のなかよしの松から羽衣の松にかけては林床にクズが繁茂していた(写真-2)。小天橋横断道路北側の2. 遷移進行型林は、マツが優占するものの広葉樹の侵入がみられた。大天橋阿蘇海側に広がる3. 針広混交林はマツ以外に、トベラやモチノキ、ヤマモモ、タブノキなどの潮風に強い常緑広葉樹が混交していた。最後に、天橋立神社周辺は、マツも分布しているが、タブノキ、ヒメユズリハ等の高木やヤマモモ、ヤブツバキ等の垂高木が優占して生育する常緑広葉樹林となっていた。この区域は歴史的にみて常緑広葉樹を中心とする鎮守の森として扱われていたようである。このことは、府中側からの実景の写生に基づくと思われる天橋立真景図(島田、1800年代)の天橋立神社周辺に広葉樹と思われる樹木が描かれていることからもうかがえる。

さらに、それぞれの植生区分ごとの多様性を比較すると、1から4へと多様度は増加した。つまり、マツ林から広葉樹林に移るにつれて、そこに生育する種類が増加することが

わかった。

白砂青砂をイメージする海岸の松林には、白砂が示すように、草本類はほとんど繁茂していない。ところが、天橋立では小天橋の一部を除くほとんどの箇所では草本類や低木が繁茂し、白砂が見られない。このことは天橋立が富栄養化の方向にあることを示していると考えられる。



写真-1 代表的な海岸マツ林（プロット 10）



写真-2 クズが繁茂したマツ林（プロット 4）

つぎに、マツ林内の光環境と樹木の密度をみると、多くの箇所では林内の光環境の低下が見られ、特にプロット 3、4、5 では顕著であった。これは林内でのマツの生育を阻害し、マツが暗い林内でも生育可能な常緑広葉樹との競争に負けてしまうことを意味する。また、光環境低下の原因として、通常は本数密度が高いことが考えられるが、すべての箇所では密度が高いわけではなく、上層の樹幹の広がり関係していると考えられた。

2) 立地環境

土壌断面の調査結果から顕著な結果がえられた。それは、小天橋南側のプロット 10 とそれ以外の箇所で見られた大きな違いである。つまり、プロット 10 以外の箇所では全て砂の層の上に客土が行われているため、通常の海岸とは異なっており、小天橋南側のみに天橋立の本来の土壌状態が認められた。以上のような違いを反映して、土壌の断面は小天橋南側のような砂地であれば地表面にマツの落ち葉がたまり、それらが順次分解されることで断面の上ほど色が黒く、下になるほど砂の色となる（図-3）が、プロット 10 以外の箇所では、断面の中程に黒い腐植層や複数の客土層が出現した（図-4）。土壌硬度はプロット 10 に比べて他の箇所の硬度は高く、客土層の硬度が特に高かった。小天橋南端の海水浴場付近や小天橋の道路北側の硬度が最も高く、調査のためにスコップで土壌を掘る作業が難航するほどであった。このような箇所は土壌硬度の結果を反映して、透水性も低かった。

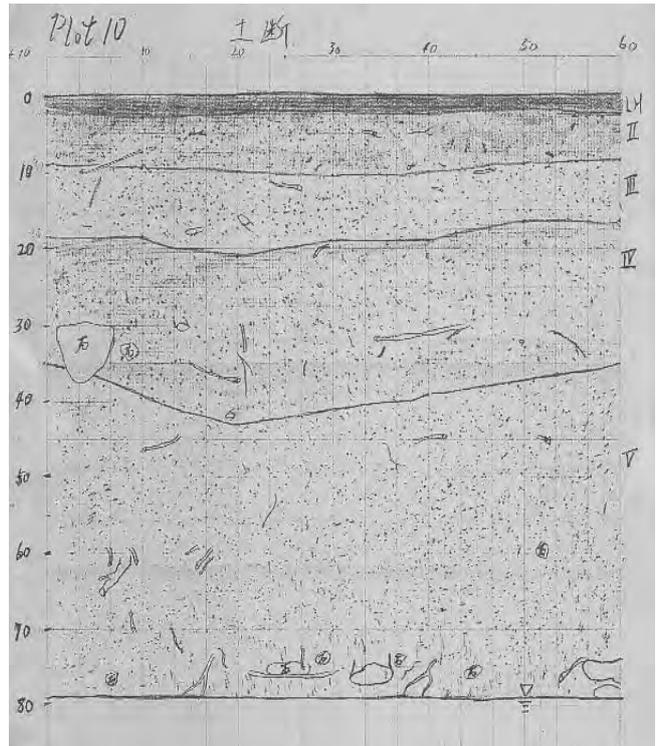


図-3 プロット10 (小天橋南半分)
の土壌断面

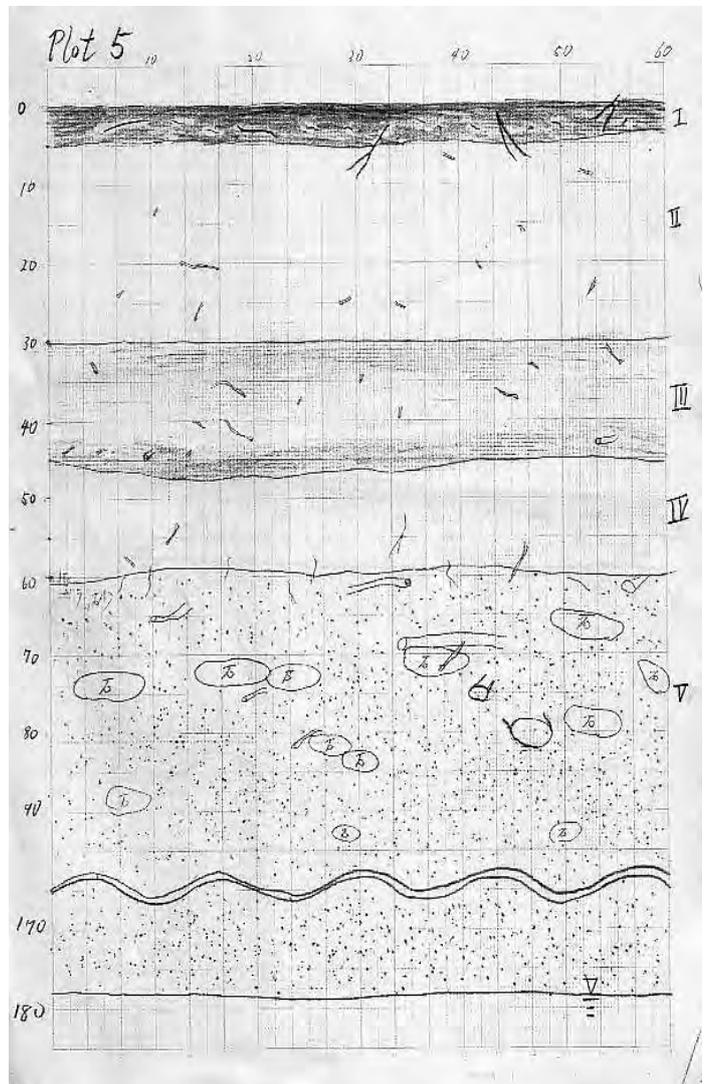


図-4 プロット5の土壌断面
地中45cmの深さまでに2回の
客土層が見られる

つぎに、pH の状況を検討した。通常、砂浜では落葉したマツの葉が徐々に分解される過程で、有機酸が生成され、それが砂に浸透していくため、地表近くの pH が最も低く、土中深くなるにつれて砂浜本来の pH に近づくとという特性を示す。天橋立では上に示した土壌断面の特徴を反映して、pH は小天橋南側のプロット 10 の場合、断面の上から下にかけて徐々に上昇したが、他の箇所では必ずしもそのような変化を示さず、上昇した pH が断面の途中で再度低下し、また上昇することが認められた。これは客土の影響が大であると考えられた。これまでも植生の発達していない海に接近した砂浜の pH は 8 前後となることが報告されているが、植生の侵入が進むと pH は有機酸の影響で低下することも知られている。天橋立では pH の値は 5 から 6 の範囲であった。このような pH の状態は他の海岸マツ林でも報告されており、マツ等樹木の生育を阻害するものではないと考えられる。

地下水位については、季節による変動が認められ、夏期に高く、冬期に低下した。特に夏期の地下水位は地表から約 50 cm の高さまで上昇していた。天橋立の地下水は真水であることが知られており、このことは樹木の成長にとって好条件であるように考えられるが、実際には、水の中で根は生存できない。そのため地下部の根系の厚さは地下水に規定され、天橋立のマツは土中深くまで根を侵入できないことがわかった。

II. 高等菌類の発生消長調査

はじめに

マツ林の地表部には様々な菌類が生育している。その種類や数は地上部に生育するマツを中心とする樹木や草本の種類や数と密接に関連しており、さらに植生遷移の段階によってその構成は変化（菌類遷移）する。ここでは天橋立公園に発生するこのような地表部の菌類、特に高等菌類（以下キノコと称する）の種類や分布状況と地下部の根の状態を調査することで、天橋立公園におけるマツ林の健全度を評価する。

1 調査の概要

1) 天橋立の全体キノコ発生状況調査

平成 14 年 7 月から平成 15 年 6 月にかけて、天橋立全域においてキノコの種類、数、発生場所の調査を行い、それぞれのキノコは生態機能別に分類した。つまり、菌根性菌と腐生性菌に区分し、後者は根系や樹幹に寄生する木材腐朽菌の計 3 分類とする。

2) プロット内調査

I. 植生・立地調査で調査を行った同一のプロットから林相、地表植生の異なる 5 つのプロット（10、9、8、7、4）（図-1）を選択し、それぞれについて、出現するキノコについて種類別、生態機能別に発生分布図を作成するとともに、腐植層調査、マツの樹勢診断と根系の性状調査おこなった。樹勢は（財）日本緑化センターが平成 6 年に作成した樹木診断報告書様式を一部改変した様式に基づき実施した。

2 結果と考察

1) 天橋立のキノコ発生状況

全体キノコ発生状況調査とプロット調査より以下の結果を得た。

確認された発生箇所は約 1,700 箇所、推定本数 14,500 本であった。過去のマツ林キノコ相の調査と比較して、明らかに天橋立の菌類相は豊富であり、とくに腐生性菌の種類が多いのが特徴である。

同時に行った植生・立地調査の結果から、天橋立のマツ林は植生遷移の状況から、クロマツ林、中間林、針広混交林に大別できた。次に、これら地上植生とキノコ相との関連を検討した。

一般的にマツ林は遷移の進行に伴ってマツ林分の健全度は次第に低下するので、キノコ相の変動を見ることでマツ林の健全度をある程度早期に把握できる。マツ林において菌根菌の発生箇所が多いとマツは健全な根系が密度高く土壤表面に分布し、発生箇所が少ないと根系密度は低く、不健全な場合が多い。広葉樹との混交が進むと腐生菌である落葉分解菌が優占する。

大天橋の入り口付近（プロット 2、8）は他のプロットに比べてキノコの発生箇所は菌根、腐生菌ともに多かった。これは前者では踏圧場所が広いものの後者に比べて地表の草本類が比較的少ないことによると考えられる。特に、大天橋の後半付近に位置する壮齢マツ林（プロット 4）では、キノコ発生箇所、本数とも非常に少なくなかった。これは夏期に地表がほぼ全面にわたってクズを主とする草本類に覆われ、表層土壤の肥沃化が進行していることによると考えられた。

天橋立神社周辺（プロット 7）ではキノコが極端に少なかった。これはタブやヤマモモ等が内生菌根対象樹種であるためと考えられる。

小天橋の入り口（プロット 9）の園路付近は、高樹高、高齢のマツが生育しているが、激しい踏圧を受けているため、キノコの発生箇所が少なかった。

小天橋中央付近（プロット 10）はマツの本数密度が高く、樹齢も比較的若く、草本類も少なく天橋立本来の砂地上に生育している。そのため菌根性菌（ヌメリイグチ、チチアワタケ、ハツタケ、シモコシ等）の発生箇所が多く、全プロットのなかで最も菌類相が豊富で、健全な根系に支えられたマツが多いと考えられる。

天橋立全体で見ると、腐植層中の根系に菌根をつくるキノコが多く、天橋立のマツ林は林齢の差はあってもキノコ相からみると老化が進んでいるようである。

2) 腐植層調査

対象 5 プロットについて、キノコや根系の生育に関係の深い腐植層 (A_0) の中の粗腐植層 (F 層) と腐植層 (H 層) の厚さを調べた。

草本、とりわけクズがほぼ全域に繁茂していたプロット 4 は道路側の林縁部を除いて F-H 層の厚さは 3 ~ 4 cm と厚く、盛土に形成された A 層も全体に厚く、腐植の浸透はかなり深い。

常緑広葉樹が優占するプロット 7 では全体に腐植層が発達していた。盛土に形成された A 層は厚かった。

プロット 9 では地表は踏圧が激しく、見かけの F-H 層は薄いですが全体に圧縮されており、根系は表面に集まっているが、腐朽、脱落したものが多かった。

プロット 10 は草本類の繁茂も少なく、堆積物のほとんどがマツの針葉等で構成されて

いた。腐植の分解は遅れていた。マツの中細根の多くが H 層周辺に集中して分布し、菌糸網層も発達していた。

腐植層とキノコ相との関係は以下のものであった。腐植層、とくに F-H 層は、地上植生の生育状況や遷移、人為的な干渉（踏圧、客土、放置等）の進行に伴って発達状況が異なる。表層の根系、とくに細根系の分布密度と性状も F-H 層の厚さと関係しており、これは遷移の進行に伴う土壌の肥沃化の差によるものと考えられる。

キノコ相は、全体の傾向として F-H 層の厚さが 1～3 cm 程度のところで出現種数、個体数ともに増加する。1 cm 以下の裸地型や 4 cm 以上の腐植層が発達している場所ではキノコ相が単純になり、この傾向はとくに菌根菌で顕著であった。

F-H 層が発達していない場所で貧栄養条件となることが多く、マツ以外の植生は貧弱になる。根系は砂の層に集まり、ヌメリイグチ属やショウロ属、キシメジ属などの特定菌根菌が菌根をつくり、マツと共生関係をもつ。

F-H 層が厚くなり腐植の浸透が始まると、根系は地表近くに集まり、腐植層中のマツや広葉樹根系に寄生、共生するベニタケ属、テングタケ属、チチタケ属、イグチ属などの菌根菌が多くみられる。

灌木や草本が繁茂し、さらに土壌の富栄養化が進むと、マツの根系は地表近くに集中するものの、細根は少なく、不健全なものが増加する。菌根は脱落し、新しい菌根は形成されず、キノコの発生もほとんど見られない。

マツの純林では新鮮な落ち葉を一次分解するホウライタケ属、モリノカレバタケ属と粗腐植を分解するマツカサキノコ属のキノコに限られる。広葉樹が混交し、F-H 層が厚くなると、クヌギタケ属やモリノカレバタケ属のキノコに変化する。つまり、出現するキノコの種類によって腐植層の性状や表層根系のマツ林としての健全度を推定することが可能となる。

3) マツの樹勢診断と根系の性状

クズが旺盛に繁茂し、表層土壌の肥沃化がかなり進み、腐植層の形成も見られた大天橋傘松側、ほぼ中央のプロット 4 の健全度は 0.52 と非常に低い。根系は太根～中、細根のいずれも生育が悪く、腐朽、脱落し、ほとんど菌根が見られなかった。キノコは菌根、腐生菌とも少なく、草本やクズの繁茂がキノコの繁殖を抑制したようである。

常緑広葉樹が優占する天橋立神社周辺は 0.48 と非常に低い。マツは広葉樹と競合するため枝下高が極端に高くなっており、樹高の割には葉量が少ない。根系は厚い腐植層の中で広葉樹の根系と競合し、細根の分岐が少ない徒長ぎみの不良根系が多い。キノコ相は極めて貧弱である。

大天橋南端に近いプロット 8 の健全度は 1.00 で平均的な生育をしていた。地上部は本数密度が低く光条件はよいので葉量は多く葉の付着角度も鋭角で良好であるが、旧枝の枯れ枝や短小枝が目立つ。根系は太～中根が比較的健全であるが、細根の密度が低く腐朽しているものが目立った。

小天橋西端のプロット 9 の健全度は 0.57 とかなり低い。高齢で高樹高のマツが多く、葉量が少ない。針葉も軟弱気味で新梢の伸びも悪い。全体に枝下が高く、力枝の発達も悪い。根圏の拡大は中庸であるが、園路付近は踏圧の影響で中～細根の発達不良が見られ、

腐朽している根も多く見られた（図-5）。

小天橋中央部のプロット10の健全度は1.48で、調査プロットの中では最も高い値であった。地上部は葉量が多く、葉の付着角度も鋭角で、立木密度の割には枝下が全体に低く、樹形もバランスがとれていた。根系の水平、垂直分布は正常である。太い根の多くが健全な状態で砂中にあり、中根の分岐も良好で腐朽、脱落しているものは少ない。細根の多くも健全で腐植層中に分布し、菌根化しているものが多かった（図-6）。キノコ相は豊富で、健全なマツ林に多く見られるキノコであった。

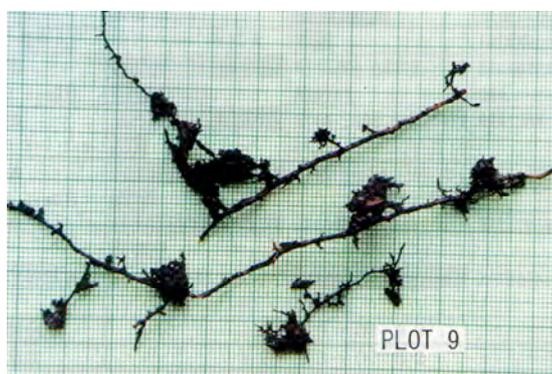


図-5 プロット9の表層根系



図-6 プロット10の表層根系

注：健全度区分、0～0.5 不健全林、 0.6～1.0 やや不健全、 1.1～1.5 普通林
1.6～2.0 健全林

まとめ

1 天橋立マツ林のキノコ相の特徴

天橋立のキノコ相は一般のマツ林と比較すると、出現した菌根菌、腐生菌の種類数が明らかに多い。特に、腐生菌では自然のマツ林では見られないような土壌中の有機物に依存するキノコが随所に見られた。これらは耕地や牧場、庭園のように人為による行為（耕起、施肥、客土など）が行われた跡地によく見られるキノコであり、過去の天橋立における工事や管理作業の内容を反映しているものと思われる。

2 マツの健全度とキノコ相の関係

外生菌根を作らない常緑広葉樹が優占する天橋立神社周辺では、菌根菌は少なく、腐植が豊富なためいろいろな落陽分解菌が多く発生していた。マツの純林であっても、地表に草本類が繁茂するとキノコ類の発生箇所が少なくなった。とくにクズが繁茂している場所ではキノコの発生はほとんど見られなかった。その理由としては、草本、クズの繁茂が土壌の肥沃化を促進させた可能性が考えられる。

草本類の侵入、繁茂が植生遷移の初期段階とみるなら、キノコ類の種の変化と減少をそれに先駆けて土壌中で進んでいる菌類相の遷移と考え、その時点で進行をできるだけ遅らせ、留めるような保全、管理作業を計画的に行う必要がある。

なお、天橋立において観察されたキノコのいくつかを以下の写真-3に示す。