

4章 その他（災害関連）

4-1 積雪期間の短縮により予測される林野火災発生危険日数の増加

積雪地域での森林では、冬季に林床が根雪によって覆われます。林野火災の発生件数は、非積雪地域に比べて積雪地域では少なくなります。その原因は、林床に達した雨水は即座に林床土壤に浸透するため雨が止んだ直後から林床可燃物の乾燥が始まるのに対し、雪は林床に達した後も積もって林床表面を被覆し続けるためです。積雪は、林床可燃物を湿らせて不燃状態に保ちます。気候変動の進行により、日本でも降雪量の減少や積雪期間の短縮化が予想されています。そのため現在の気候では2、3月は積雪期間中であるため林野火災発生の危険性が低い地域でも、気候変動によって積雪期が短縮化して林床可燃物の乾燥が進むと、積雪地域でも林野火災発生危険日数が増加すると予想されます。そこで林床可燃物の含水状態の変動を予測するモデルを用いて積雪地域の森林を対象に、12月～翌4月に雪ではなく雨のみが降った場合での林野火災発生危険日を判定しました。

【林床可燃物の含水状態を予測するモデルと様々な森林における林床面日射量】

林床可燃物の含水状態を予測するモデルは、林床可燃物をバケツとみなして作成したモデルを使います(図42)。バケツ内の水量の多寡が林床可燃物の含水状態を表します。降水がバケツに溜まり、バケツ内の水量が増えます。バケツが満水になると降水はあふれて、森林土壤に流下します。降水が止んだ後には、林床可燃物に含まれている水が蒸発し、バケツ内の水量は次第に減少します。なおモデル上のバケツの最大貯留量は林床可燃物の量によって変わると考えます。

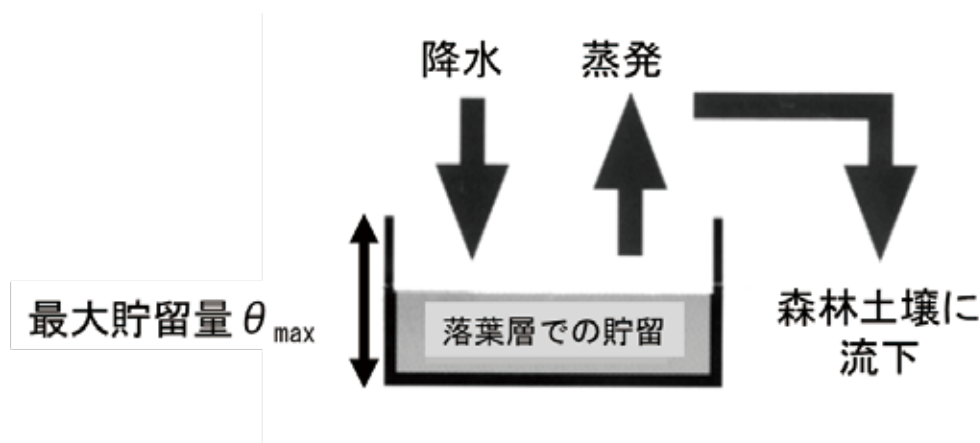


図42. 林床可燃物の含水状態の変動を予測するモデルの概要（玉井・後藤（2020）を一部改変）

ここでは、皆伐地、スギ無間伐林、スギ間伐林、スギ再間伐林、ヒノキ若齢林、落葉広葉樹林およびアカマツ林を対象として予測を行いました。この予測には、林床可燃物の含水状態を予測するモデル（図42）、各対象地の林床面日射量観測値、最寄りのアメダスにおける降水量観測値を用いました。スギ無間伐林から皆伐地へと、樹冠層が疎になるにつれて林床面日射量は増加します（図43）。

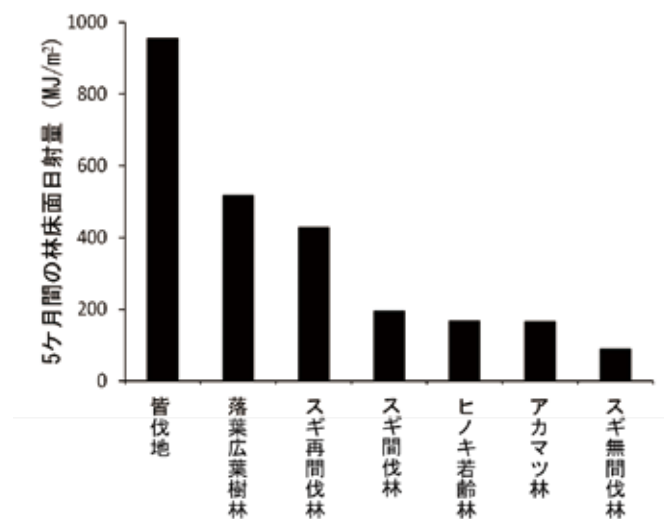
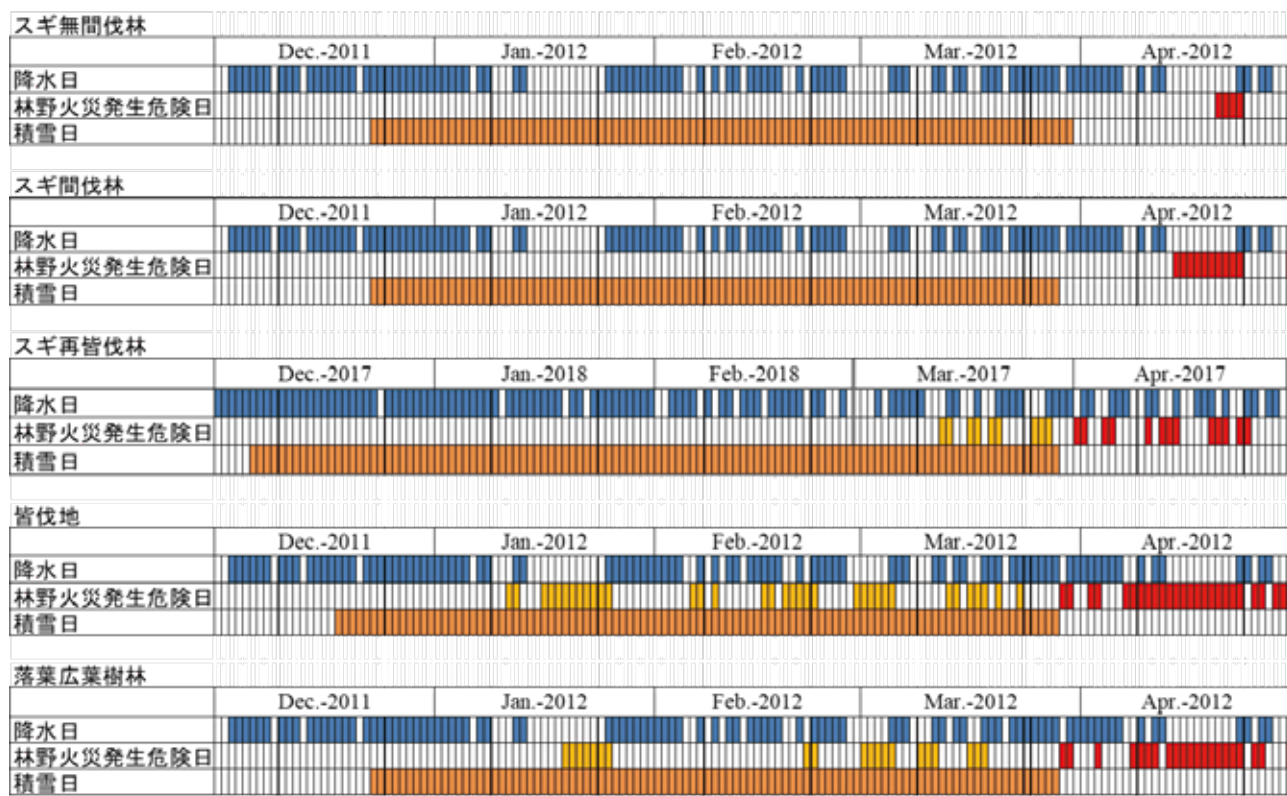


図 43. 対象とした森林における観測期間中（12月～翌4月）の林床面日射量（玉井・後藤（2020）を一部改変）

【積雪期における無積雪の場合での林野火災発生危険日を推定】

ここではモデルを使って積雪期の林野火災発生危険日の推定を行いました。林野火災発生危険日は林床可燃物の含水量が小さくなる日とみなします。実際には雪として降った場合でも雨が降ったと仮定して、12月～翌4月の積雪期における林床可燃物の含水状態の変動をモデルによって推定したところ、積雪期間中でも林野火災発生危険日と判定される日がありました（図 44）。



降水日（青色）、林野火災発生危険日（赤：無積雪期間に判定された日、黄色：積雪日に危険日と判定された日、白色：危険日と判定されなかった日）、積雪日（橙色）

図 44. 観測期間中に判定された林野火災発生危険日と降水日、積雪日（データは玉井・後藤（2020）に基づく）

【予測された林野火災発生危険日数と林床面日射量、降水量の関係】

積雪地域で条件の異なる森林の違いについてモデルを使って比較しました。林野火災発生危険日数は、12月～翌4月に林床面日射量の多いスギ再間伐林、落葉広葉樹林、皆伐地や、12月～翌4月に積雪地でありながら降水量の少ない群馬県高山村のヒノキ若齢林で多い結果となりました（図45）。このことは、降水量が同程度であった森林では林床面日射量が多いほど林野火災発生危険日は多く、林床面日射量が同程度であった森林では降水量が少ないほど林野火災発生危険日は多いことを示しています。このことから今後の気候変動により積雪期間が短くなった場合には、樹冠層の発達していない人工林や積雪期間中に落葉する広葉樹林、積雪地でありながら降水量の少ない地域の森林において、林野火災発生危険日数が増加すると予測されました。

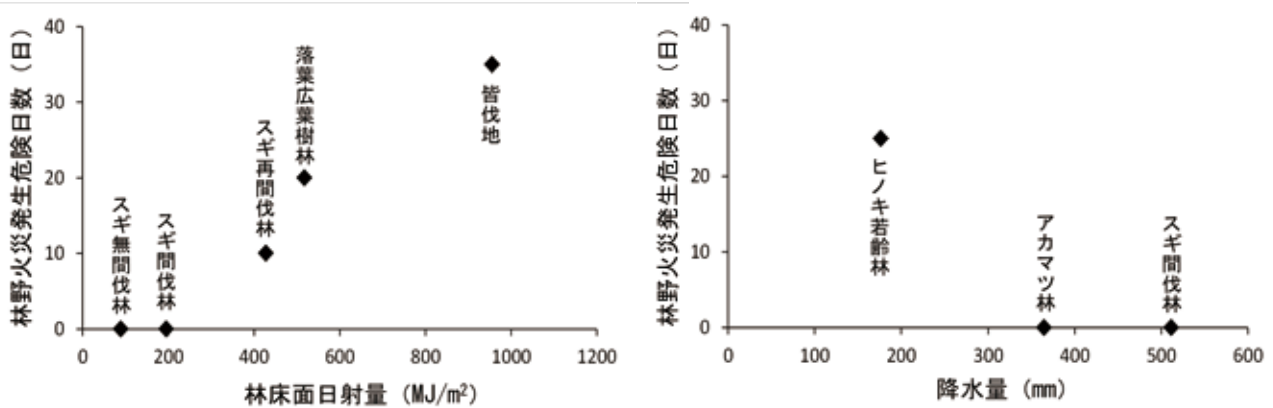


図 45. 積雪期間中に判定された林野火災発生危険日数と林床面日射量（左）および林野火災発生危険日数と降水量の関係（右）データは玉井・後藤（2020）に基づく

2025年2月26日に岩手県大船渡市で発生した山林火災（大船渡市山林火災）は、延焼面積が3400 haに達して（林野庁 2025）、平成以降で日本最大規模の山林火災となりました。大船渡市は傾斜が急な山地という延焼のしやすい地形であったこと、火災発生時は風が強かったことなどの悪条件が重なりました。中でも、出火当時の30日間前までの降水量が3.5 mmと非常に少なく、さらに、出火後にまとまった降雨があったのは8日目のことであり（気象庁 2025）、林床の乾燥が延焼の大きな要因の一つと考えられました。

従来では積雪により林野火災の発生が稀であった地域でも、積雪期間の短縮により林床が乾燥して林野火災が発生するリスクが高まる可能性が示されました。林野火災予防を啓発する際の科学的根拠となる成果です。

4-2 岩手・宮城内陸地震災害地における土壌の水分状態の特徴

【岩手・宮城内陸地震による土砂災害】

2008年6月14日に岩手県奥州市と宮城県栗原市において、マグニチュード7.2（最大震度6強）の地震（岩手・宮城内陸地震）が発生しました。この大地震によって、荒砥沢ダムでの大規模地すべりをはじめ、耕英地区での山腹崩壊群、積雪が残る東栗駒山頂近くの山腹崩壊とドゾウ沢での土石流、一迫川上流域での大規模な岩盤崩壊・深層崩壊など、震源地周辺の山地で無数の中・小規模の斜面崩壊が発生しました（林野庁東北森林管理局 2009, 三森ら 2010, 2012）。中でもドゾウ沢での土石流や河道閉塞などの災害は、災害時の土壌の水分状態が被害の程度を左右したと考えられます（図46）。地震によって緩んだ地盤は地震前よりも降雨によって崩壊地が拡大しやすく、また積雪地域では融雪によって一層荒廃が進んだことが報告されています。そこで、地震が発生したときの震源地周辺の山地の土壌水分はどのような状態（土壌湿潤）だったのかを調べます。先行降雨指数（antecedent precipitation index: API）は、過去の日降雨量の重み付き総和で計算され、直接土壌水分が測定できない場合の土壌水分の指標として幅広い研究分野に採用されています。積雪地域において寒候期の降水は、固体として地表に一時的に留まります。そこで、融雪量を考慮した先行土湿指数（antecedent soil moisture index: ASI）によって、震源地周辺の山地の土壌湿潤を評価します。



図46. 市野々原地すべり（朝日航洋撮影）（右）、ドゾウ沢土石流（左）（三森ら,2012）

【先行降雨指数と先行土湿指数】

先行降雨指数（antecedent precipitation index: API）は、直接土壌水分が測定できない場合の土壌水分の指標として幅広い研究分野に採用されており、過去の日降雨量の重み付き総和で計算します：

$$API_n = \sum_{i=1}^n P_i / i$$

ここで、 i は対象とする日からさかのぼった日数、 P_i は対象とする日から*i*日前の日降水量（mm）、 n はさかのぼる日数です。

積雪地域において寒候期の降水は、雪として地表に積もります。そのため、この期間の土壌の水分状態を評価するためには、積もった雪が溶けて地表から浸透する融雪量を考慮する必要があります。そこで、ここでは融雪量を考慮した先行土湿指数（antecedent soil moisture index: ASI）

を次式で計算します：

$$ASI_n = \sum_{i=1}^n (M_i + P_i) / i$$

ここで、 M_i は対象とする日から i 日前の日融雪量 (mm) です。日融雪量は、日平均気温データから改良型ディグリー・デー法 (河島・和泉 2008) で計算しました。 P の値について雪と判断された場合は 0 とし、雨と判断された降水はその日の内に地表へ浸透すると仮定しました。積雪期間全体で考えると、観測された降水量の総和は、雨と判断された降水量と雪と判断されて気温から計算された融雪量の総和と等しくなるはずですが、実際に算出された値と観測値の間には差が生じることから、この差を計算された日融雪量に応じて比例配分して補正を行いました。

【震源地近傍の AMeDAS 祭時における先行土湿指数の季節変化】

本研究では $n = 30$ とし、震源地近傍の AMeDAS 祭時 (標高：320 m) の 27 年間の気象データを利用して、 ASI_{30} を計算します (図 47)。月別 ASI_{30} の平均値は、厳冬期の 2 月に最も小さい値 (6.9 mm) を示し、最も高い値は 4 月 (34.9 mm) で、次いで 9 月 (34.5 mm) と 7 月 (31.9 mm) の順となります。これは、融雪期である 4 月と梅雨前線が北上する 7 月および秋雨前線が活発になりやすい 9 月の降雨によって ASI_{30} が大きくなるためと考えられます。また、100 mm を超える ASI_{30} は、2 月を除く各月で得られ、8 月 (26 回) に一番頻度高く記録しました。さらに 200 mm を超える ASI_{30} は、8 月 (3 回)、9 月 (2 回) および 10 月 (1 回) に記録しました。地震発生日の ASI_{30} は、20 mm 以下と小さく、融雪期や豪雨直後の湿潤な状態でなかったことが災害時の被害の低減につながったと考えられます。さらに、その後 6 月下旬まで乾燥した状態が継続します (図 47)。乾燥状態が継続したことは、復旧作業を進めるために好都合な気象条件だったと考えられます。

【高山地帯の先行土湿指数の変動】

この地震で崩土が長距離移動した土石流はドゾウ沢のみです (三森ら 2010)。2007-2008 年における高山地帯 (標高 1300 m) の ASI_{30} は 3.5 ~ 295.6 mm (60.5 ± 71.4 mm) と推定され、祭時 (標高：320 m) の ASI_{30} (3.1 ~ 136.4 mm ; 19.6 ± 18.3 mm) と比較して高い値を示します (図 48)。高山地帯では融雪期において、継続的に 50 mm を超える降雨が融雪水に加算され ASI_{30} が高くなっています。地震発生日の高山地帯の ASI_{30} は 195.6 mm で、祭時の ASI_{30} (18.0 mm) と比較して非常に湿潤な状態でした。アメダスメッシュ化データを利用した解析からも、災害地における 2008 年の積雪水量は 2007 年よりも多く、特に標高 1000 m 以上の高標高地域において顕著でした (安田ら 2012)。

気象庁は、全国のアメダス 1,316 か所 (約 17 km 間隔) で降水量を観測しています。このうち、946 か所ではさらに気温も観測しています (気象庁 2026)。先行降雨指数 (API)・先行土湿指数 (ASI) は、アメダスによる観測データで計算できるため、観測地周辺の土壌の水分状態を知るための有益な指標となります。

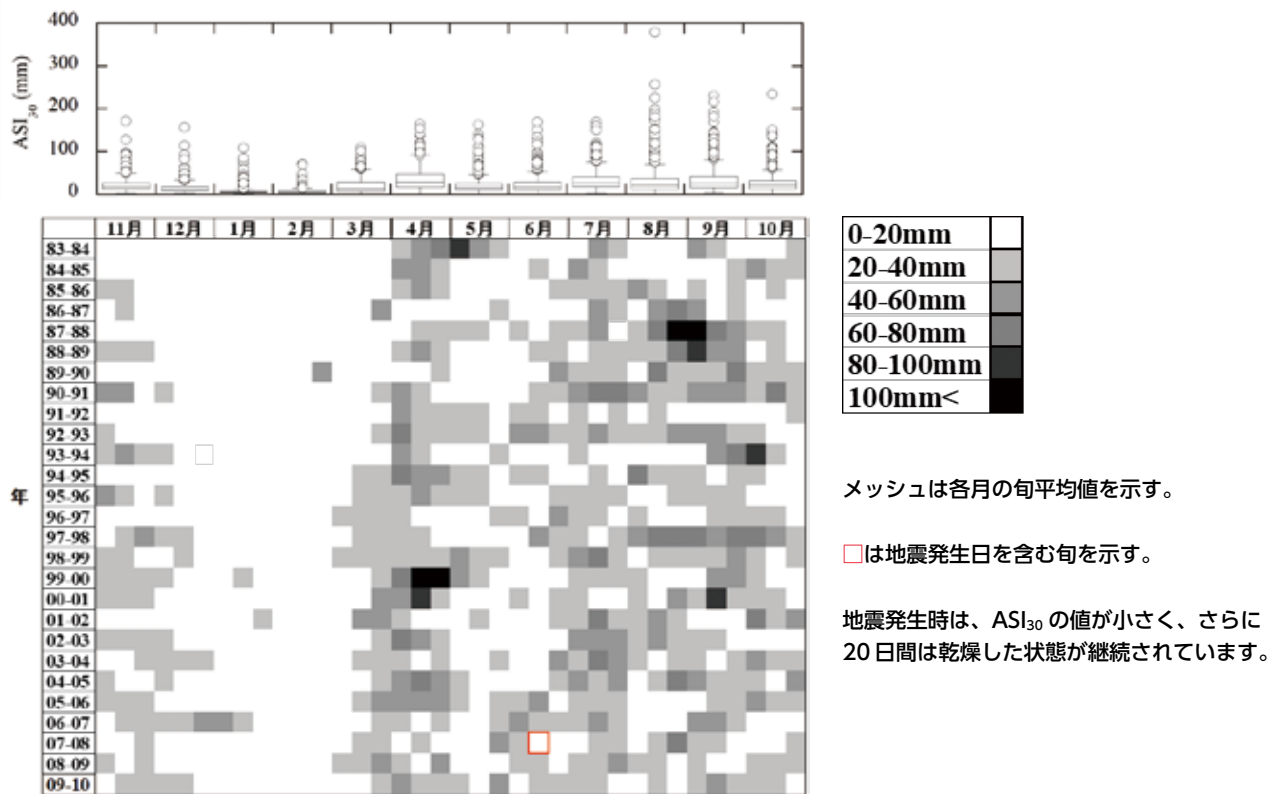


図 47. 祭時における 27 年間 (1983 年 11 月～ 2010 年 10 月) の ASI₃₀ の変化 (野口ら (2012) を一部改変)

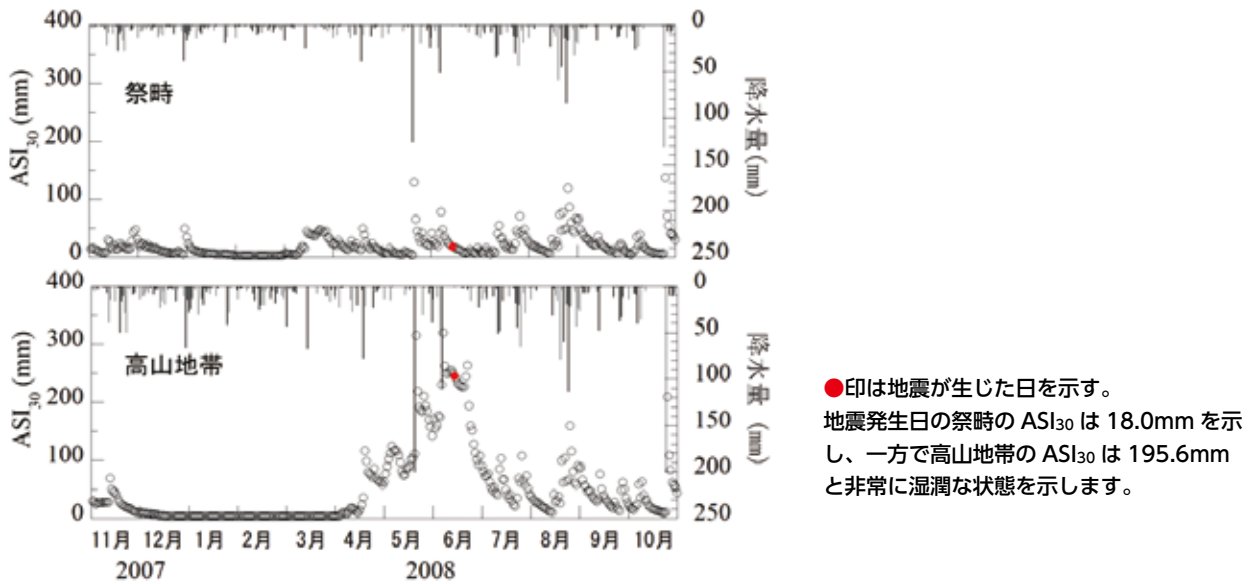


図 48. 祭時 (標高: 320m) と高山地帯 (標高: 1300m) の日降水量と先行土湿指数 (ASI₃₀) の変化 (野口ら (2012) を一部改変)

4-3 海岸林の再生に向けた地下水位変動の重要性

2011年（平成23年）3月11日に日本の三陸沖の太平洋を震源として、日本の観測史上最大規模のマグニチュード9.0（最大震度7）の地震（東北地方太平洋沖地震）が発生しました。この超巨大地震は太平洋沿岸に甚大な津波被害をもたらし、海岸林は倒伏、幹折れ、根返りなどの壊滅的な被害を受けました（田村 2012, 坂本 2012）。津波災害に強い新しい海岸林を造成するには、樹木の根系が土壌深くまで健全に発達する必要があると、それには、地下水からある程度高い地盤を確保することが望ましいと提言されています。このように海岸林の再生のため、地下水位の変化の情報は重要ですが、その実態は明らかではありませんでした。そこで、津波による被害が甚大であった宮城県仙台市宮城野区の海岸林で、マツの被害状況を調べるとともに、地下水位の変化を詳細に観測しました。

【被害を免れたマツ林と被害が顕著なマツ林の立地環境比較】

貞山堀の堤防は地盤高が3 m程度と高く、この堤防上に生育するマツは（図49上左）、根系が土壌深くまで発達していたため（図49上右）、津波の被害を免れました。一方、貞山堀より内陸側では地盤高が1 m程度と低く湿地になっており、ここに生育していたマツは、津波によって根返り被害を受けました（図49下左）。そのような場所の地下水位は高く、根系が十分に発達していません（図49下右）。また、過湿であるため班鉄層が形成されていました（図49下中央）。これまでの知見と同様に、マツの根系の発達は、地下水位が高いと悪く、地下水位の深さに依存することが確認できます。

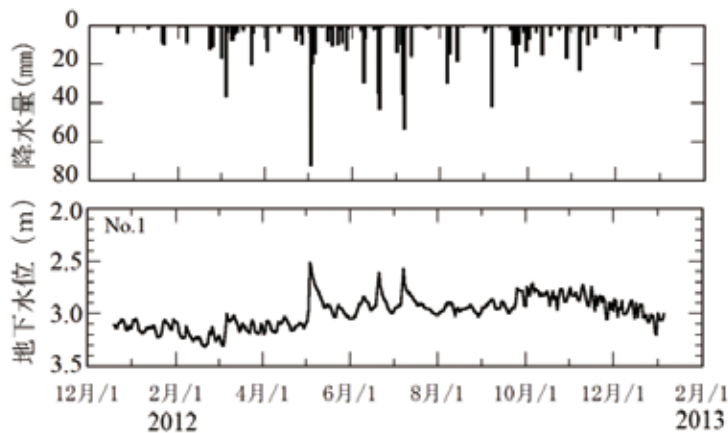


図 49. 宮城県仙台市宮城野区の海岸林と土壌断面（野口ら（2014）を一部改変）

被害を免れた貞山堀近くのマツ林（上左）と土壌断面の様子（上右）および根返りによる被害を受けたマツ林（下左）、過湿による班鉄層（○印）（下中央）、土壌断面の様子（下右）。

【海岸林における地下水位の変動】

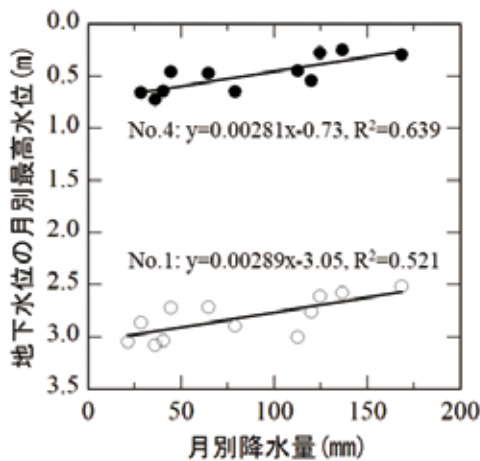
海岸林における地下水位の観測によると、地下水位は降水量に応答しており、降水量が少ない冬期に低く、7月から10月の降水量が多い夏期に高い季節変化を示します（図50）。



地下水位は、地上高を 0m として地上から地下水面までの距離として、値が小さくなると水位が高くなることを示す。

図 50. AMeDAS 名取の日降水量と海岸林の地下水位 (No.1) の変化 (野口ら (2014) を一部改変)

毎月の降水量と地下水位の最大値には、高い相関関係があります（図 51）。この関係を使って、過去 10 年間の月別最高地下水位を推定した結果、マツの根返りの被害があった地点では、地下水位は地面の高さより $-0.30 \sim 0.73$ m（平均値：0.46 m）となり、地下水位が高いため根系の発達に障害が生じる立地環境となっていました。盛土などを行って、根系の成長に必要な立地環境を確保する必要があります。津波の被害を免れたマツが存在する貞山堀の堤防での地下水位は、 $1.99 \sim 3.05$ m（平均値：2.77 m）と推定され、根系が十分に発達できる立地環境です。



地下水位は、地上高を 0 m として地上から地下水面までの距離として、値が小さくなると水位が高くなることを示す。

No.1 は被害を免れた貞山堀近くのマツ林での地下水位で、No.4 は被害を受けたマツ林での地下水位を示す。

図 51. 月別降水量と地下水位の月別最高水位の関係 (野口ら (2014) を一部改変)

地下水位の観測から、降水量から過去に溯って地下水位の季節変動を推測できることがわかりました。この関係を使えば、地面の掘削や通年の観測を行わなくとも、根系の発達可能な深度が推測でき、健全な根系の発達に必要な盛土の高さが計算できます。この成果は、津波に強い海岸林を造成することに役立つと期待されます。