

4 高吸水性高分子材(SAP)を用いた半乾燥地における植林技術開発

4.1 SAP に保水された水分の土壌物理学的な有効性評価

4.1.1 背景と目的

乾燥地・半乾燥地における植林の最大の課題は乾季における土壌水分の確保である。半乾燥地域は通常数ヶ月の乾季があり、乾季になる前に植栽し十分な根系の発達を促すことが重要である。保水材の利用により根系発達がよくなったり、乾季に入っても土壌水分が多少維持されて成長抑制期間が短くなれば、苗木の成長にも影響を与える可能性がある。

土壌水分は植物が全部利用できるわけではない。樹木を含む植物の根の吸水力は、土壌の水分保持力との引っ張り合いであり、土壌の保持力が強いと植物根は水を利用できない。SAP 中の水分については、その吸水力の強さから植物根の吸水力を上回るのではないかという懸念をしばしば聞くことがある。過去の研究事例では必ずしもその懸念を支持するようなデータは見当たらないが、議論の中で SAP 水のポテンシャル(吸引力)の強さに言及する報告はある。本年度は保水力への懸念の真偽を明らかにすることが目的である。

土壌水分の植物に対する有効性は物理的に土壌に圧力をかけて水分を絞り出したり、吸引したりして土壌水分の変化を求める土壌物理学的な方法で評価できる。SAP 試験を想定していたミヤンマーでは物理分析装置がないため日本国内で分析を行うこととした。

土壌保水材として利用される SAP は、その使用に際し、水を加えてゲル状にして施用する場合と、粉末のまま施用する場合がある。ゲルの場合は土壌に注入器で入れ、粉末の場合は植栽時に植穴に入れることが多い。前者は機械化が進む産業植林で水管理の一貫として行われ、後者は植栽時に限定される利用方法である。今回、組成の異なる 4 種類の SAP を用いて、ゲル状と粉末状の違いによる SAP 添加土壌の吸水性(=排水性、土壌水分特性曲線)を明らかにすることを目的とした。

4.1.2 試験方法

試験に使った SAP は 4 種類を比較した(表 1)。製品の特長の中で重要な部分は下線を引いた。試料は三洋化成工業株式会社から提供を受けた。

表 1 供試 SAP の種類と性状

SAP 種類	形状	色	臭い	かさ密度 g/mL	粒度中心径
1 サンフレッシュ GT-1	粉末状	白色	ほとんど無臭	<u>0.36</u>	150-500μm
2 サンフレッシュ ST-500D*	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.62	300-500μm
4 BASF 類似品	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.69	300-500μm
3 Aquasorb 3005K	粉末状	白色	ほとんど無臭	0.75	<u>1.7-2.8mm</u>

つづく

SAP 種類	ポリマー	対イオン
1 サンフレッシュ GT-1	ポリアクリル酸	非開示
2 サンフレッシュ ST-500D*	ポリアクリル酸	Na
3 BASF 類似品	ポリアクリル酸	K
4 Aquasorb 3005K	ポリアクリル酸+アクリルアミド	K

SAP 添加土壌の土壌水分特性曲線を求めるため、4 種の SAP (GT-1, ST500D, BASF 類似品, 3005K) と土壌 (珪砂 No5、マイゾックス現場密度用砂) を用いた。水ポテンシャル測定の実験装置は砂柱法と加圧式の pF 測定装置 (砂柱法キット DIK-3521、広域土壌 pF 測定器 DIK-3404 Wide Range pF Meter 大起理化工業株式会社) を用いた (図 1)。これらの実験装置は日本大学生物資源科学部森林資源科学科小坂泉先生の協力を得た。



図 1 土壌水ポテンシャル測定装置

実験 1

SAP を加水したゲル状態で施用する場合を想定し、加水量の違いが吸水・排水過程に及ぼす影響について以下の 2 点を調べた。

- 1) SAP 濃度を一定とし、水添加量を変えた SAP ゲルによる吸水・排水過程を比較
- 2) GT-1 ゲルを用いて、SAP 濃度を変えて吸水・排水過程を比較

材料と方法

100mL 採土円筒の仮比重に相当する量の珪砂 152 g を入れ、所定の量の SAP と水 (SAP に対し 25～100 倍) を加え、混合した。底を濾紙で留めた土壌採土円筒 100mL (ステンレス製試料円筒

DIK 1801)に上記 SAP 添加土壌をスプーンで押しこめた。水添加により SAP が膨潤し、土壌が全部入らないため、残量を秤量し、差し引きからコア中の珪砂量を求めた。SAP 添加量を変える試験 1)は SAP 0.26%(w/w)を基本にした。2)の目的のため、対照 SAP 0%; 低濃度 GT-1 0.133%(G-L); 高濃度 GT-1, 0.528%(G-H)を測定した。

結果

1) 吸水による膨潤

−10 cm に調整した砂柱法装置に円筒試料をおいたところ、コア底面から水を吸収し、SAP が膨潤してコア上面より砂が盛り上がった。GT-1 を除いたすべての SAP 種において、SAP ゲルの水分が少ないほど膨潤量が大きい傾向となった。24 倍の水を添加したゲル試料では、3005K が最も大きな吸水量を示し、含水比 0.353 g/g となり、GT-1 は吸水量が最も少なく 0.115 g/g であった。GT-1 では G-H(SAP 0.528%添加)も吸水量が多く、含水比 0.303 g/g となった。膨潤した状態のまま試料の脱落を防ぎながら pF の測定を続けた。

SAP の乾燥重量に対する吸水量を SAP 吸水率%とすると、72~159%を示した(図 2)。SAP 添加濃度 0.26%で平均 109%の吸水率を示し、ゲルの加水量との関係は SAP 種によって異なった。GT-1 では他の SAP と異なり SAP 濃度が高いほど吸水率は小さくなった(G-L, G20, G-H の比較)。

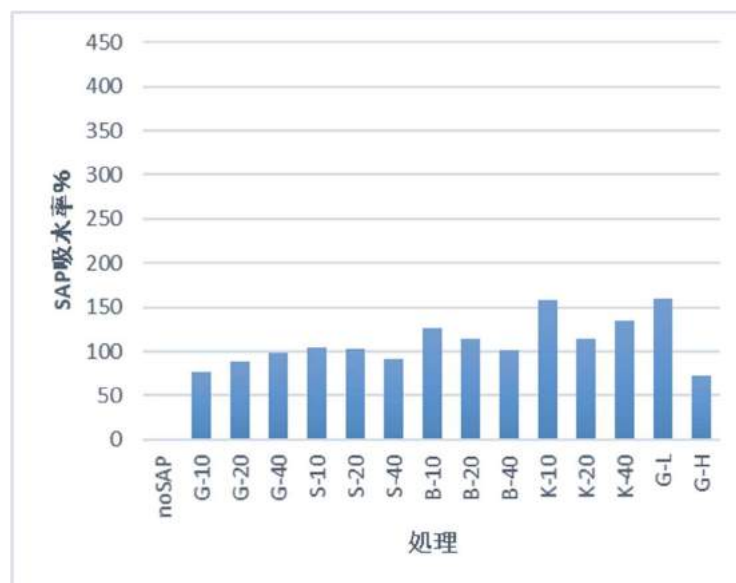


図 2 試験開始時(−10cm)における SAP 吸水率%(水分/SAP 乾重)の比較

2) 土壌水分吸収特性曲線

SAP 添加試料は膨潤するので定容積として解析できないため、土壌乾燥重量当たりの含水量(含水比 θ)として表した(図 3)。GT-1 は、マトリックポテンシャル−10cm 時の含水比が高い試料ほど排水過程の含水比は高く推移し、pF 曲線はほぼ平行した。そのため、SAP 添加量が同じでも、−1000 cm 時の含水比は吸水量により異なり、0.055~0.106 程度の差があった。一方、ST500D では、加水量の多いゲル S-40 の含水比が−20cm~−200cm の範囲で他より高く推移し、同様に、

BASF では-40cm~-200cm の範囲で高い含水比で推移したが、最終的には-1000cm でほぼ同じ含水比になった。3005K は-10cm では含水比に差が見られたが、-30cm 付近から K-20 と K-40 の差がなくなり、K-20 の方が 0.02 程度低い状態で推移した。その結果、マトリックポテンシャル-1000 cm (pF3) 時の含水比は、ST500D、BASF、Aquasorb3005K で 0.1 程度の差にとどまった。一方、GT-1 は G-10、G-20、G-40 がそれぞれ含水比 0.055、0.085、0.105 であり、同一ポテンシャルでも 0.5 程度の差があった。

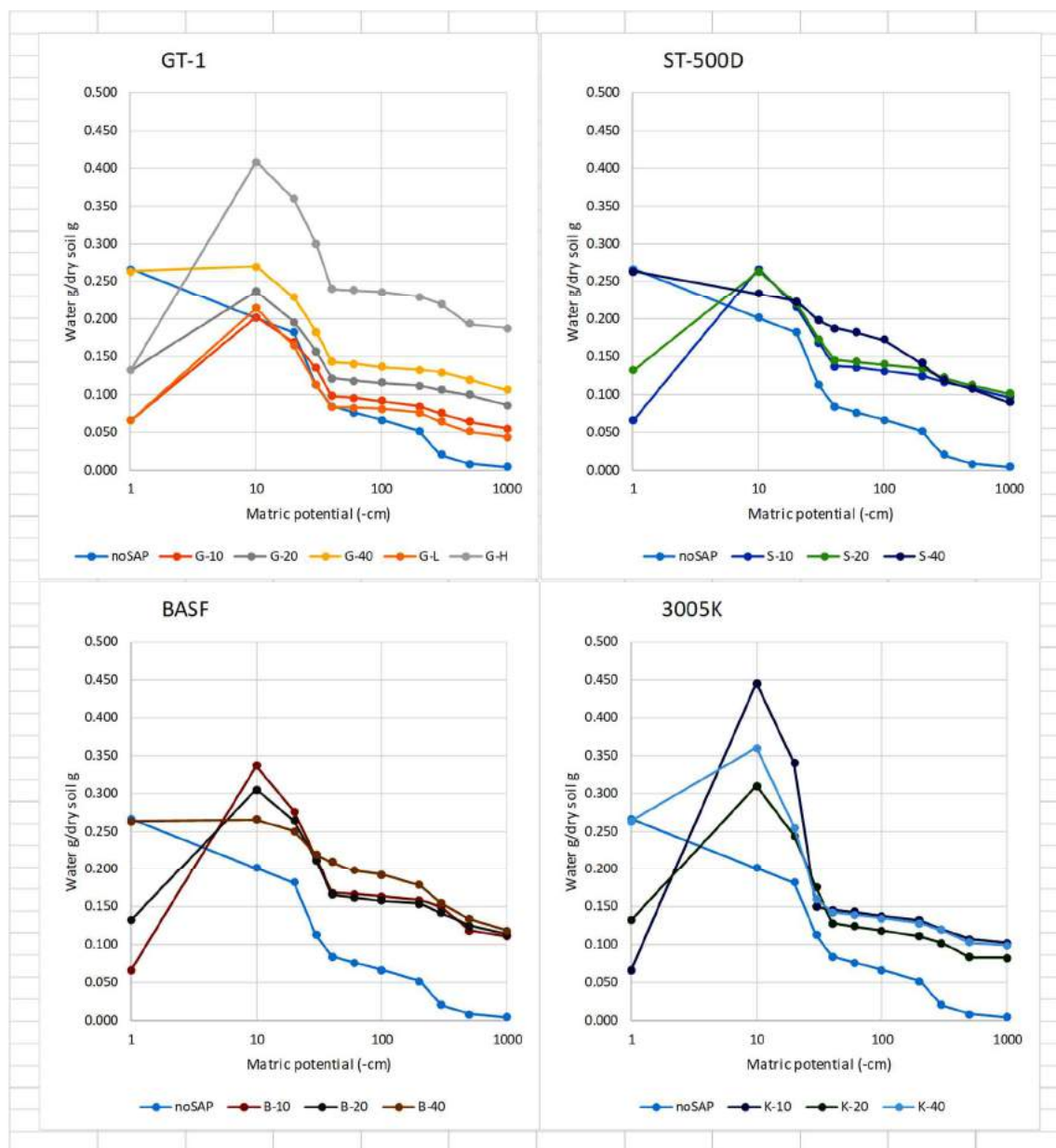


図 3. SAP 種による添加土壌の水分特性曲線の比較。

SAP の初期加水量は SAP-10, -20, -40 はそれぞれ 10, 20, 40 g 添加に相当。

X 軸 Matric potential の 1 は砂柱法測定前の初期重量を示した。

実験 2

実験 2 は SAP を粉体で施用した場合の SAP 濃度の違いと SAP 種類の違いの比較である。土壌物理分析は実験 1 と同様に行い、-40cm までは砂柱法で、それ以降-1000cm までは加圧板法で測定した。なお、どちらの実験も初期設定時(砂柱法マトリックポテンシャル-10cm)時に、SAP 混合土壌が吸水・膨潤したため、土壌乾重ベースの含水比の変化により解析した。

1) 土壌水分吸収特性曲線

排水された水分量(=保水量)を比較するため、マトリックポテンシャル-10cm の土壌含水比と-1000cmの含水比の差をとり排水量とした。SAP 無添加の珪砂は 0.197 であったが、SAP 添加により、GT-1 は 0.143~0.170、ST500D は 0.147~0.226、3005K4 は 0.227~0.343 に増加した(図 4)。重力排水を-40 cm (pF1.6)までとすると、-40 から-1000cm の間は重力排水が終わった後の長期的に保水される水分といえる。この値は、SAP 無添加の対照では 0.08 であるが、SAP 添加土壌では、GT-1 は 0.037~0.043、ST500D は 0.041~0.098、3005K4 は 0.043~0.045 であり、対照より少ない場合が多かった。-10~-40cm の間の重力排水される水分は Aquasorb3005K (K-10, K-20, K40) が全般に大きかった。

次に GT-1 の添加濃度を増加させた場合の保水量を見ると、SAP を 0、0.133、0.264、0.528%(w/w) と増加しても、-10~-40cm および-40~-1000cm の排水量の増加は明瞭でなかった(図 5)。具体的には、SAP 添加量を増加しても-40~-1000cm は対照(無添加)よりも低かった。-10~-40cm の範囲でも SAP 濃度 0.264%までは排水量は変化せず、0.528%添加の場合にやや増加した。

SAP 種間差を比較した。SAP0.26%添加で、-1000cm以下のポテンシャル(pF3 以上)の含水比は 10%程度であり、SAP 種による違いはほとんどなかった。

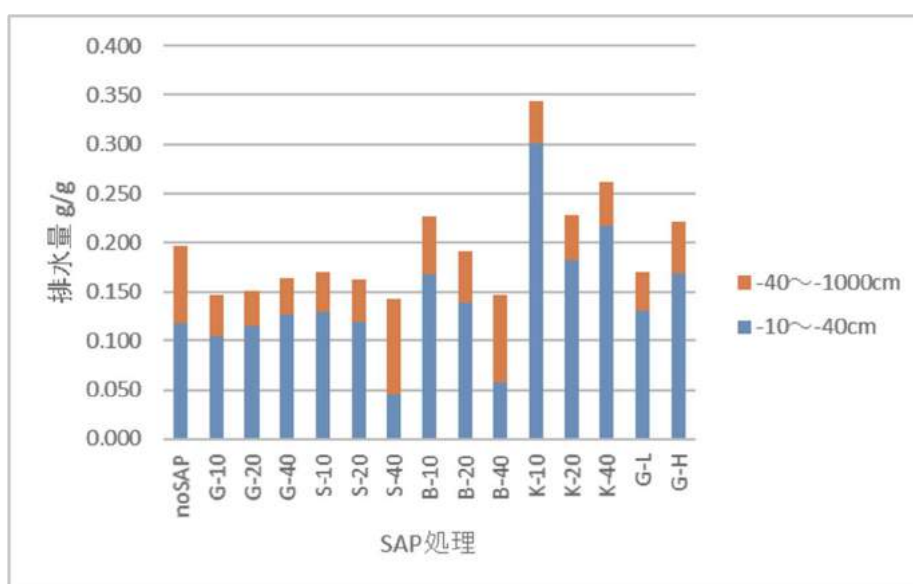


図 4. SAP 処理によるマトリックポテンシャル吸引圧-10~-40cm の排水量と-40~-1000cmの排水量の比較

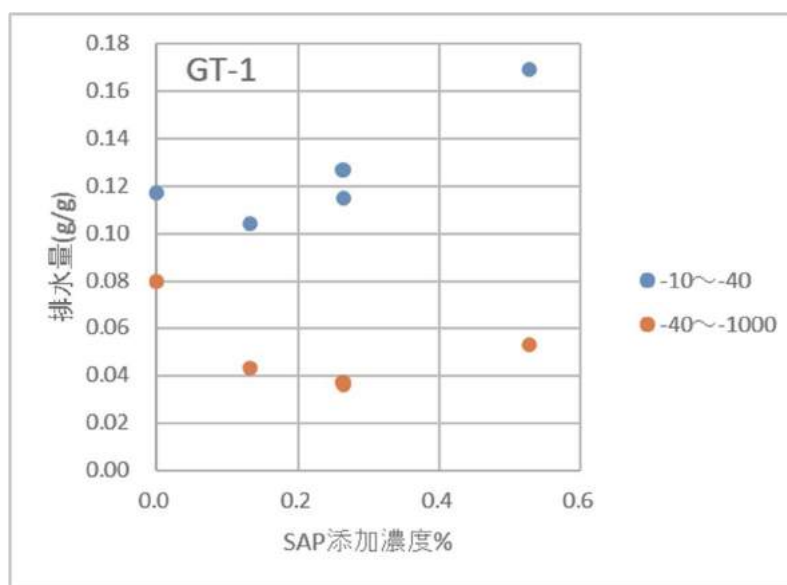


図 5. SAP 種 GT-1 添加量と保水量(-10~-40cm)および(-40~-1000cm)との関係

考察

1) 吸水性

SAP ゲルを添加した土壌コアを -10cm のポテンシャルの砂柱法 pF 測定装置におくと、S-40 を除くすべてのコアで吸水し、珪砂は膨潤した。その膨潤・吸水はゲル調整時の加水量によって大きく異なり、水添加量が少ないゲルほど吸水量が大きくなるという結果であった。これは事前に予想しておらず、この理由も今のところよくわからなかった。

-40cm 以上のポテンシャル(低 pF)では吸水量の増加が大きく、これは植物にとって利用しやすい有効水になる。この部分は SAP がなければ 24 時間程度で速やかに排出される水分であるが、SAP に吸収された状態で長時間保持される可能性がある。今回は取扱説明書を参考に高ポテンシャル(低 pF)では 1 週間程度、低ポテンシャル(高 pF)では 3 週間程度の間隔で測定している。SAP の保水効果は、通常なら直ぐに排水される水分を保持することにより発揮されるようであり、排水の非常に良い砂質土壌の易有効水量を増加させる。これが SAP の保水機能の重要なメカニズムであると考えられた。

2) 排水過程

今回の一連の実験は、同じ SAP 添加率でも初期(-10cm)の含水比が異なった状態で pF の測定を開始したことになる。ST-500D と BASF はゲルの水添加量の多い S-40 および B-40 の pF 保水曲線が高い値であり、この部分の保水性が大きくなったことを示している。一方、GT-1 と 3005K は -40 cm までは無添加の珪砂と同じような曲線形状を示し、その後、緩やかになり排水量は小さくなった。3005K は -10cm~-30cm の排水量が大きく、重力排水をとらえやすいと考えられた。

珪砂の土壌水分特性曲線は、-30cm~-40cm のところに変曲点があり、曲線はなだらかになる。これは砂質土壌の一般的な孔隙特性を示している。SAP を添加しても曲線形状はあまり変わらず、珪砂の含水比が全般に高くなるだけであった。-40cm と -1000cm 間の排水量は、SAP 無添加コア

よりむしろ小さく、土壌が湿った状態でも有効水はほとんど増えないことになる。

マトリックポテンシャル -1000 cm は $\text{pF}3$ であり、植物にとって有効水の範囲である。今回は測定できなかったが、有効水の全体量を判断するには、永久萎凋点 -15000 cm ($\text{pF}4.2$) までの土壌水分保持量の評価が今後の課題である。

-1000cm ($\text{pF}3$) 時点の含水比は GT-1 を除き、 0.1 程度にとどまり、SAP 種差は小さかったことから、低ポテンシャル(高 pF)の水分は通常 10% 程度と考えられた。一方、GT-1 は -10cm の含水比の違いのまま -1000 cm まで推移し、初期吸水量が多くとも少なくとも排水量は同程度であり、 -1000cm 時の含水比の差となっている。GT-1 は添加量を増やすと保水性は高まるが、 -1000cm までの有効水量としては変わらないことになる。

GT-1 の試験では、SAP 添加率が増加しても、 $-10\sim -40\text{cm}$ および $-40\sim -1000\text{cm}$ の範囲の排水量に増加傾向は認められなかった。この結果からは、GT-1 の場合、保水効果が同じであれば低い SAP 濃度でも十分に機能すると考えられた。

実験 2

本実験の目的は SAP を粉体のまま施用する場合を想定し、加水せずに粉末 SAP を珪砂に混合し、ポテンシャル -10cm で飽水後に排水過程を測定することである。以下の 2 点を検討する。

- 1) GT-1 を用い、SAP 添加量の違いによる土壌水分特性曲線の変化
- 2) SAP 添加量 0.2% の添加割合における SAP 種の違いを比較

材料と方法は実験 1 と同様であるが、初めから砂の容量をコアの $2/3$ 程度に減らして珪砂 100 g とし、粉末の SAP を砂とよく混合し、底を濾紙で留めた 100 mL の円筒に入れた。実験 1 と同様に、コアを -10cm の砂柱法 pF 測定装置におき、飽水させた。GT-1 の濃度 0.4% および 0.8% の添加率の試料は予想以上に吸水膨潤して珪砂がコアの上面を越えて崩れた。そのため、コア上端ではみ出した分を切断して試験を行った。コア内の珪砂重量は土壌水分特性曲線試験終了後の乾燥重量から求めた。

砂柱法に続いて加圧板法で -1000cm のポテンシャルまで排水量を測定した。ただし、加圧板法の -200cm の測定は省略した。土壌水分特性曲線は、実験 1 と同様、乾土重量当たりの水分量として含水比を求めた。試料がこぼれた GT-1(0.4)と GT-1(0.8)を除いて 2 連で行い平均した。

結果

- 1) GT-1 の SAP 添加量増加に伴う吸水量の違い

SAP (GT-1) 添加量が多いほど、 -10 cm の飽水時の SAP 添加珪砂の含水比は高くなった(図 6)。GT-1 を 0.8% 添加すると含水比は最大 1.66 となり、GT(0.4)の含水比(0.83)の 2 倍であった。あらかじめ水を添加しゲルにした実験 1 よりも吸水量、膨潤は大きかった。

SAP の乾燥重量に対する最大吸水率%の SAP 種間差は、SAP 0.2% の場合、 $252\sim 292\%$ を示した(図 7)。GT-1 の SAP 添加濃度が上昇するに従い、珪砂の含水比は上昇した。SAP 乾燥重量に対する吸水量を計算すると、 $208(0.8\%)\sim 407(0.1\%)$ 倍となり、SAP 添加量が少ない方がその吸水膨潤率は高かった(図 7)。

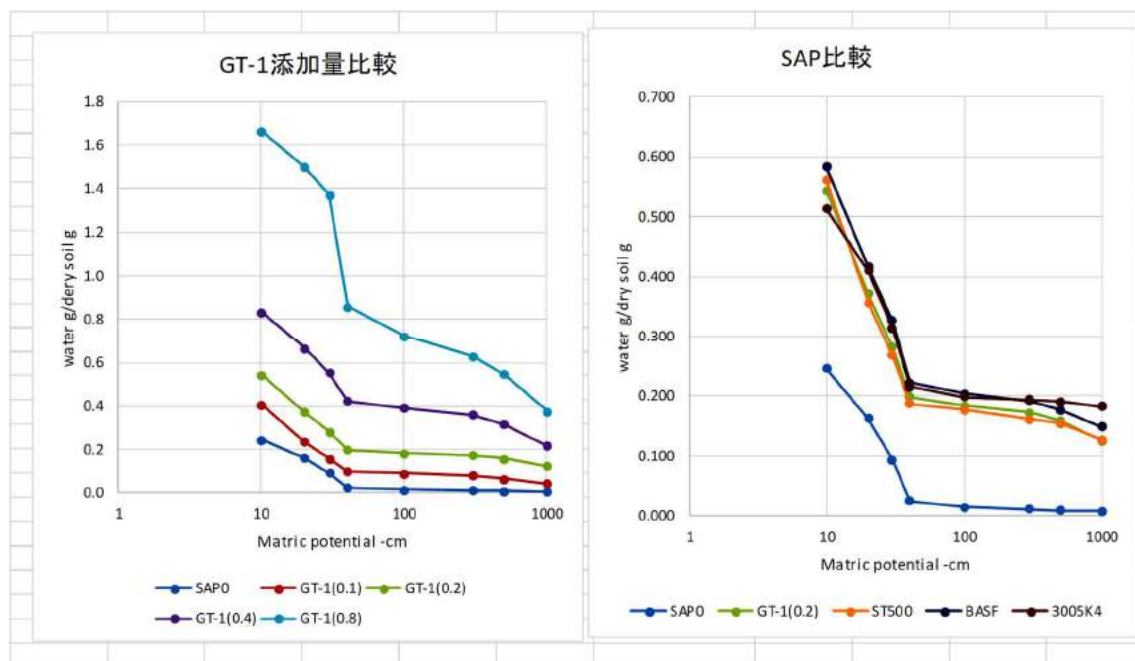


図 6 SAP 添加試料の水分特性曲線
左図:SAP 添加量の比較、右図:SAP 種の比較(SAP 濃度 0.2%)

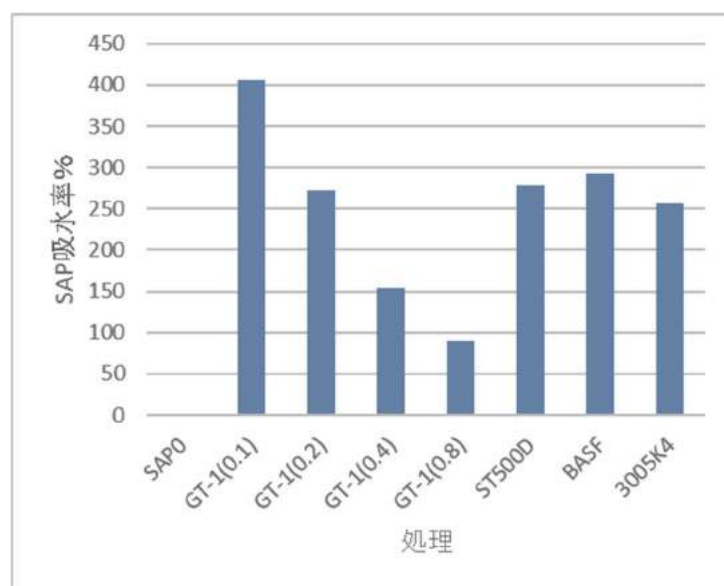


図 7. 試験開始時(-10cm)における SAP 吸水率%(水分/SAP 乾重)の比較

2) SAP 種の排水過程の比較

SAP 濃度 0.2%における排水量について SAP 種間差を比べると、試験開始時(マトリックポテンシャル -10 cm)の含水比は、最小が 3005K4 の 0.513、最大は BASF の 0.584 でその差は小さかった(図 6 右)。水分特性曲線は SAP 種にかかわらずほぼ同じ形状を示し、重力排水される-10cm から-40cm の SAP 種間差は 0.298~0.375 であったが、有効水の-40cm から-1000cm は 0.032~

0.073 程度の差にとどまった。低ポテンシャル(高 pF)部分の曲線が多少異なり、-1000 cm の時の最小値は ST500D で 0.127、最大値は 3005K の 0.182 であった。一方、SAP 無添加の珪砂は-40cm 時に含水比 0.025 まで低下し、-1000 cm のポテンシャルでほぼ排水された。

SAP 添加量が増加すると、保水(排水)量は増加した(図 8)。-10cm から-40cm の範囲の含水比の差は、GT-1(0.1) で 0.307 であり、GT-1(0.8)は最大 0.805 であった。-40cm と-1000cm の範囲の含水比との差では GT-1(0.1)では 0.056 であり、GT-1(0.8)では最大 0.485 であった。GT-1 は SAP 添加量に比例して保水(排水)量はどちらの範囲でもほぼ直線的に増加した(図 9)。

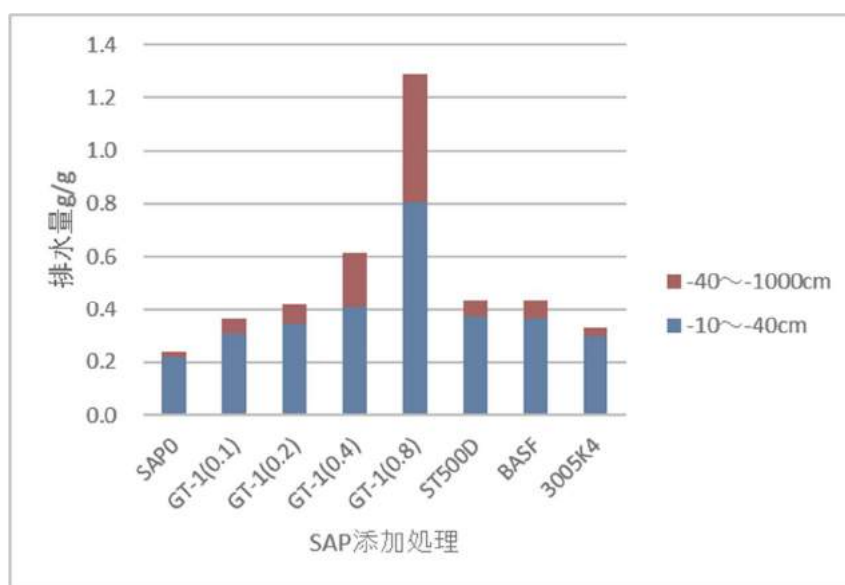


図 8 SAP 処理によるマトリックポテンシャル-10~-40cm と-40~-1000cmの保水量の比較

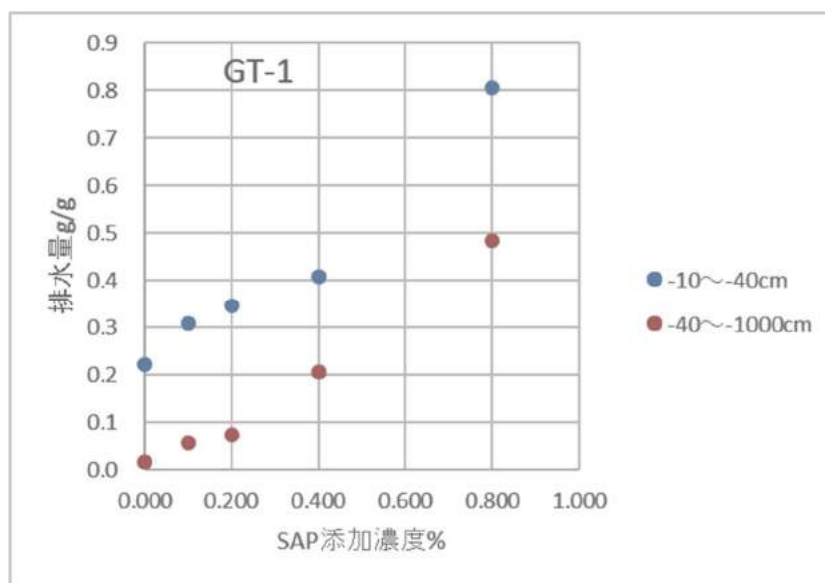


図 9 SAP 種 GT-1 添加量(粉末)と保水量(-10~-40cm)および(-40~-1000cm)との関係

考察

ここでは、実験 1 の結果とあわせて考察する。

1) SAP の吸水量

実験 1 のゲル状 SAP の結果と実験 2 の粉体の結果で大きく異なった点は、初期の-10cm の吸水量である。実験 2 の場合、GT-1 の SAP 添加量が増加するに従い、ほぼ比例して保水量が増加した。SAP 添加珪砂は吸水によりコアの上方に抵抗なく膨潤したようで、GT-1(0.8)では含水比 1.66 に達した。実験 1 のゲル施用の場合、SAP 濃度 0.528%で含水比最高 0.446 であったので、その膨潤性は 1/3 以下である。さらに、実験 1 によると、ゲルの加水量が少ない方が、-10cm の吸水割合が大きいことから、施用時の加水量が膨潤性に影響を与えていたが、さらに粉体 SAP の結果をあわせて見ると、事前に吸水させない場合が最も膨潤量が大きく吸水量も多かった。実験開始時の吸収水分重量に対する SAP 乾燥重量を SAP 吸水率%とすると、実験1では 73~159%であったが、実験 2 では 91~407%と大きかった。粉体の SAP 濃度 0.1%における吸水率 407%は SAP 性能の上限に近い値であった。

この高い吸水性が、屋外の植林現場で発現するかは、SAP 施用場所の土壌条件に影響をうける。SAP の施用位置については、地表付近に施用した場合は膨潤可能だが、地中では表土からの圧力で膨潤が制限されるので、高い吸水性は期待できないと考えられる。SAP の膨潤が土壌粒子の間隙内に制限される。今回使用した珪砂の間隙率は 42.6%であったため、最大吸水率を 400%とすると SAP 濃度 0.1%で十分という計算になる。ただ、SAP 性能の発揮は周囲の間隙の状態に左右され、また SAP 性能の劣化も生じるので、余裕をもたせると濃度 0.2%程度以上が適当と考える。現地土壌で簡単な予備試験を行って判断する方がよいと思われる。

2) 土壌水分特性曲線

粉体で SAP を施用した土壌の吸収・膨潤は大きく、測定したすべてのマトリックポテンシャルの範囲で排水量が増加した。GT-1 濃度 0.1%では 407%吸水し、そのうち-10~-40cm のポテンシャルの割合が 84.6%であった。SAP 濃度 0.8%では SAP 吸水率が 91%に低下し、-10~-40cm のポテンシャルは全吸排水量の 62.4%に減少し、低ポテンシャル(高 pF)の割合は増加した。実験 2 で行った粉末 SAP 添加の実験は、実験1のゲルの加水量が少ない状態(無加水)に相当すると考えられる。この状態は、ゲル中の SAP 濃度が高くポリマーの電子密度も高いはずであり、電子の反発力も強く、その結果、吸水量が増加したのかもしれない。次に示した高分子の吸水を理論化した Flory の式によれば、ポリマーの吸水力とは、水とポリマーの親和性、イオン浸透圧、架橋密度で決定され、それらのパラメータは重合体の体積、荷電密度、外部溶液のイオン強度、溶媒のモル体積、重合体の体積などが影響する。使用した SAP 製品の詳細な情報は開示されていないので、解析には限界があるが、同一の製品で同一の周辺環境なので、荷電密度の影響が大きいと推察された。

P. J. Flory によれば、吸水力（吸水後の重量／吸水前の重量）は次式で表される⁴⁾。

$$Q^{5/3} = \left\{ \underbrace{(1/2 \times i/V_u \times 1/S^{1/2})}_{\text{イオン浸透圧}} + \underbrace{(1/2 - X_1)/V_1}_{\text{ポリマーと水の親和力}} \right\} \underbrace{\nu/V_0}_{\text{架橋密度}}$$

(式 1)

ただし Q : 吸水力

i : 重合体単位当りの電荷

V_u : 重合体繰り返し単位の分子体積

S : 外部溶液のイオン強度

X_1 : 溶媒とポリマーの相互作用パラメーター

V_1 : 溶媒のモル体積

V_0 : 膨潤前の重合体体積

ν : 網目中の分子鎖の有効数

実験 2 で示されたように、SAP が自由に膨潤できる状態では SAP 自体の膨潤特性が保水量を決めているようである。各ポテンシャル測定点で添加量と含水比は比例関係が見られた(図 9)。一方、実験1は何らかの理由で SAP の膨潤が制限された状態で、低ポテンシャルの範囲における排水量は増加しなかった(図 5)。このことは、SAP が速やかに吸収する水分は、高ポテンシャル(低 pF)領域の重力水が多いことを示しているものと考えられる。

実験1と同様、SAP 吸水率の面からは低施用量の方が効率的に吸水した。膨潤率が高いほど、高ポテンシャルの有効水が多くなるが、SAP 添加量が増えるほど低ポテンシャル領域の水分も増加する。植物にとっては吸水エネルギーを考えると、むやみに SAP 施用量をあげる必要はないと考えられる。

結論

SAP をゲル状で施用した場合と粉末で施用した場合の吸水排水特性を評価した。どちらも SAP の膨潤を制限しない条件で行ったが、吸水(膨潤)量は粉末 SAP で大きく、ゲルの加水を増やすほど低下した。ゲルで吸水・膨潤が低下する原因は今のところよく分からなかった。

保水量だけで考えると、地表付近の土壌が膨潤できる状態が有利である。ただし、土壌が膨潤することにより、土壌が動くので根系への影響があるように思われる。SAP を土壌下層に施用する場合、灌水や降水でどの程度吸水できるかは今回判断できなかった。予備的な実験によると、採土円筒の蓋を閉めると、土壌孔隙内のみで吸水した。その場合、SAP を 0.1%程度以上入れても吸水量に変わりはなかった。SAP の劣化や土壌間隙のばらつきを考えると、多少多めとしても 0.2%程度の SAP 施用量で十分と考えられた。

今回使用した SAP4 種の比較では、土壌水分特性曲線に大きな違いはなかった。-40cm より高いポテンシャルで大きな保水特性を示し、-40~-1000cm 間の排水量はすくなく、-1000cm 以下の高 pF 条件で含水比 10%程度の水分を含んでいた。このことから、SAP は砂質の土壌ですぐに

流去する重力排水を保持することによる保水効果が大きいと考えられた。-1000cm 以下の水分の有効水についての評価が今後必要であるが、その割合は10%程度と少なく、主要な部分ではないと考えられた。

4.2 苗木ポット試験による SAP 保水材の有効性評価

4.2.1 背景と目的

前節では土壌物理学的方法により水ポテンシャルを測定し、土壌水の有効性を評価した。一方、実際に植物を栽培して蒸散や生育から土壌水の有効性を評価することも可能であり、実際的な方法ともいえる。そこで、苗木を灌水条件で栽培したのち、灌水を遮断して人為的に乾燥状態をつくり、苗木の生存から枯死にいたる変化、蒸散量の変化などを測定することとした。

本試験の仮説として以下の項目が挙げられる。SAP 添加により土壌の有効水が増加するので、1) 苗木の活着が促され、初期成長が良くなる。2) 土壌有効水の増加にともない蒸発散量がふえる。3) 灌水停止後の土壌水が多いので、苗木の生存期間が長くなる。4) 苗木が枯死した時点(永久萎凋点)の土壌水分量は SAP を入れる方が高くなり、土壌物理学的手法の結果と合致する。

当初、試験はミャンマー中央乾燥地で行うことを考えたが、新型コロナウイルス感染による渡航制限のため国内試験とした。また熱帯産樹種の苗木の入手が困難で、結局、国内で調達した日本の造林樹種(スギとヒノキ)を用いた。SAP 保水材に含まれる有効水が植物に利用されるかどうかを確認することが主目的なので、国内樹種でも問題ないと判断した。また、スギやヒノキは膨大な研究蓄積があり、樹木の生理特性はよく知られている。これは利点であり、生理特性が不明な海外樹種を用いるよりも実験や解析をしやすいと判断した。

4.2.2 試験方法

土壌は保水性の低い川砂を用いた。使用した SAP は三洋化成工業株式会社の GT-1 (植物用)を用いた。苗木の育成は1/10000 ワグネルポットでおこなった。試験は森林研究・整備機構森林総合研究所のガラス室を借用した。苗木は茨城県種苗組合が出荷しているスギとヒノキのコンテナ苗(2年生)(出荷時苗高 45 cm)を用いた。

SAP は昨年の試験と文献を参考に 4 水準(0, 0.1%, 0.2%, 0.4% w/w)とした。各処理の繰り返しを 10 反復で実施した。ガラス室内のポットは処理ブロック毎にランダムに配置した。苗木の部位別重量等の基礎的な初期データは別途測定し、スギとヒノキそれぞれで処理・ブロック間差がないことを確認した。苗高および地際直径(高さ3cm)は、スギが平均 47cm、5.7mm、ヒノキは 46cm、5.7mm であり、地上/地下比はスギ 2.4、ヒノキ 3.2 であった。

苗の植え付けは 9 月 1 日に行い、1 月間は灌水下で育成した。植え付け時と育成終了時に苗高、直径、葉の伸長量などを測定した。10 月 1 日に再度ポットに十分灌水し、その後、苗木の状態を枯死するまで目視と触感で観察した。ポットからの蒸発散量を求めるため、生育と乾燥期間中、毎日ポット重量を測定した。これとは別に土壌水分センサーをさしたポットを準備しモニタリングした。

データは分散分析後に Tukey-Kramer 法で多重比較を行った。なお、途中の苗の生育を確認するため、植え付け 2 週間後に 1 ブロックの苗 1 セットを解体し、根の発根状態を確認した。

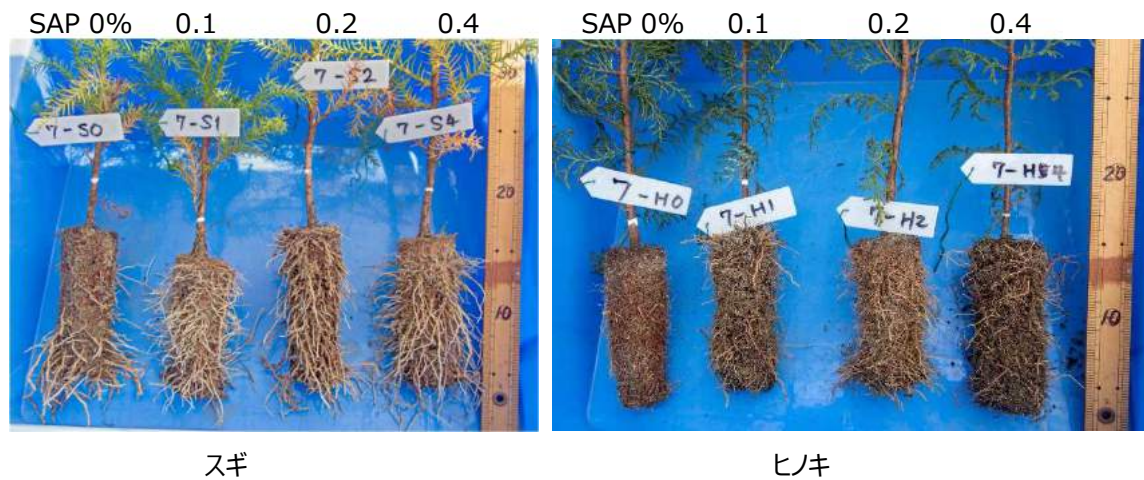


図 10 植え付け後 2 週間目の苗木の根系

4.2.3 結果と考察

1) SAP 添加により苗木の初期成長が良くなるか

苗植え付け 2 週間後に確認した苗木の根系の発達は SAP を添加した方が細根の伸長が良好に見えた(図 10)。灌水遮断までの 4 週間の苗木の成長については、スギ葉の伸長量、根の発根量(苗枯死後に測定)、蒸発散量を比較した。スギでは SAP 0.2%(w/w)以上の添加で有意に葉の伸長量が伸びた(図 11)。ヒノキでも SAP を添加した方が葉伸長は大きな傾向があるが 5%レベルの処理差は有意ではなかった。

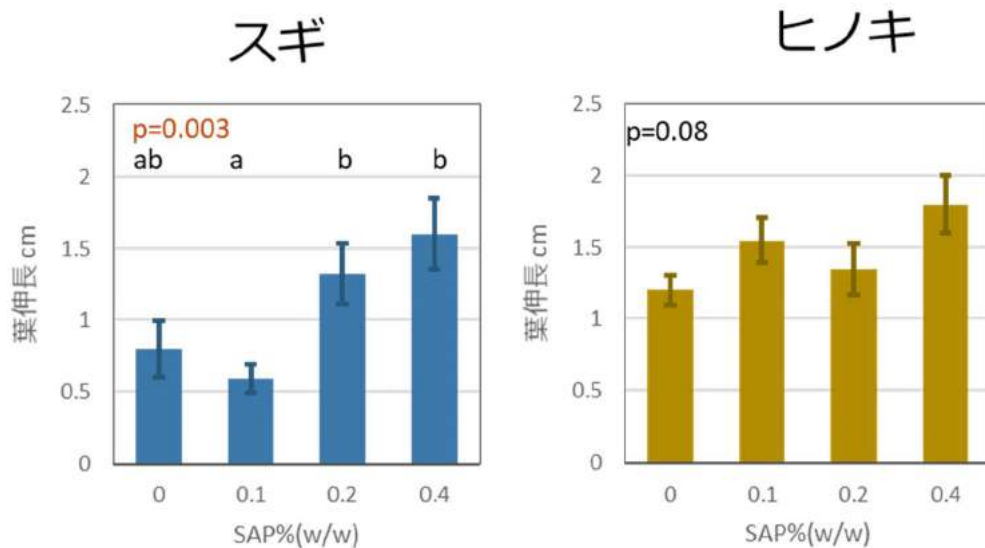


図 11 スギとヒノキの葉の伸長量 cm の比較

根の発根量はコンテナ苗のコンテナ部分から伸びた細根の乾燥重量(水洗後)で示した。スギは

SAP 0.2%(w/w)以上の添加で有意に発根量が増加した(図 12)。ヒノキは SAP 添加量で多い傾向があるが有意差はなかった。

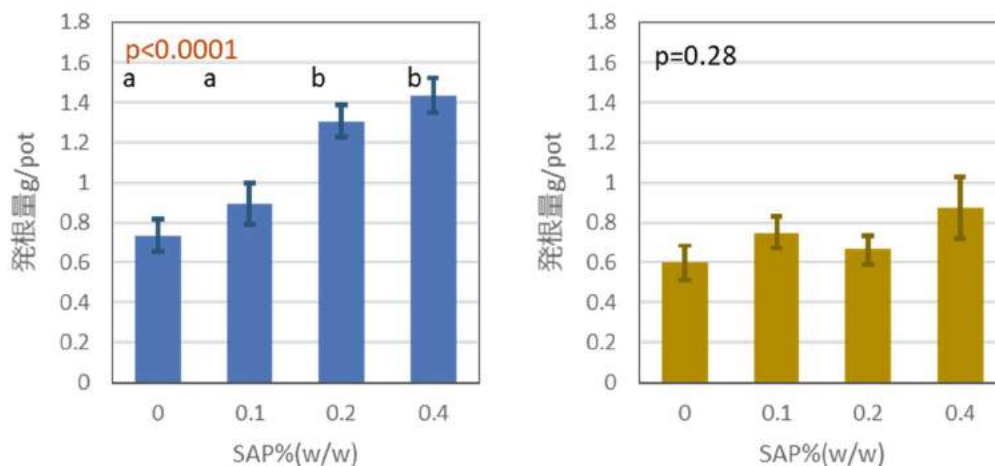


図 12 スギ(左)とヒノキ(右)の枯死後の発根量 g/ポットの比較

2) SAP 添加により枯死までの生存期間は延びるか

灌水停止から初期萎凋までの生存日数はばらつき大きく、10 日～15 日程度で有意差はなかった。初期萎凋点から完全に枯死するまでの日数は、SAP 添加量が多いと長くなる傾向があり、SAP0.4%添加でスギは 10 日ほど延びた(図 13)。ヒノキは 0.1%添加の枯死が有意に早い、データのばらつきが大きかった。

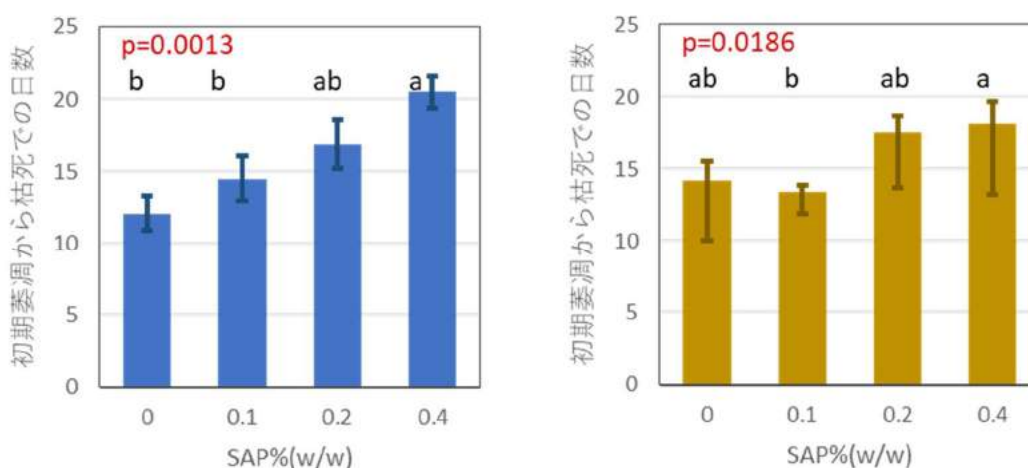


図 13 初期萎凋から枯死までの日数(スギ:左、ヒノキ:右)

灌水遮断日から枯死までの生存日数についても図 13 と同様の傾向であり、スギは 0.2%以上の SAP 添加処理で無添加より 10 日程度生存日数が長くなった(図 14)。ヒノキは 0.4%添加で 5 日ほど長くなった。

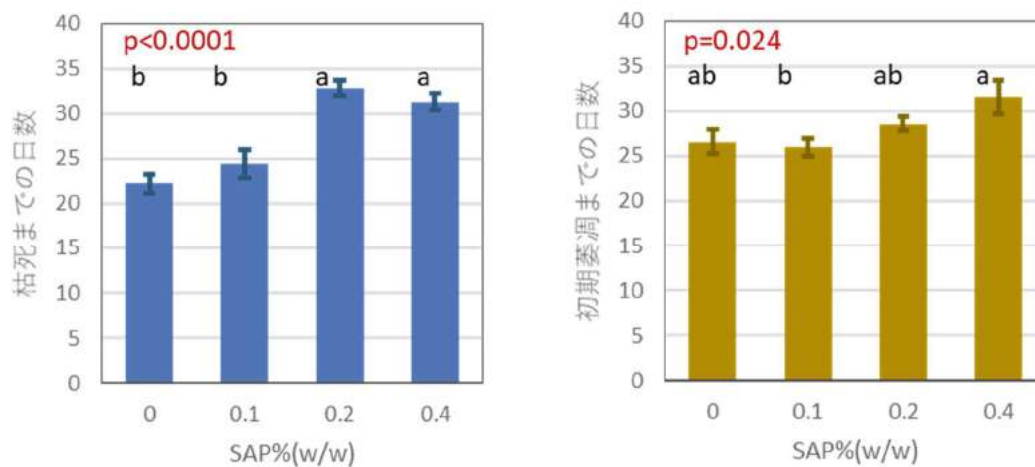


図 14 灌水遮断後、苗木が枯死するまでの日数

3) SAP 添加により枯死までの期間の蒸発散量(ポット全体)は増えるか

灌水遮断後、初期萎凋点から枯死までに生じた蒸発散量(ポット表面からの蒸発量と苗木からの蒸散量の合計)をポット重量の変化から求めた。ポット当たりの蒸発散量は、スギの場合、SAP0.2%以上添加により蒸発散量が増加した(図 15)。一方、ヒノキも 0.2%以上 SAP 添加で蒸散量が多い傾向があるが、有意な差ではなかった。

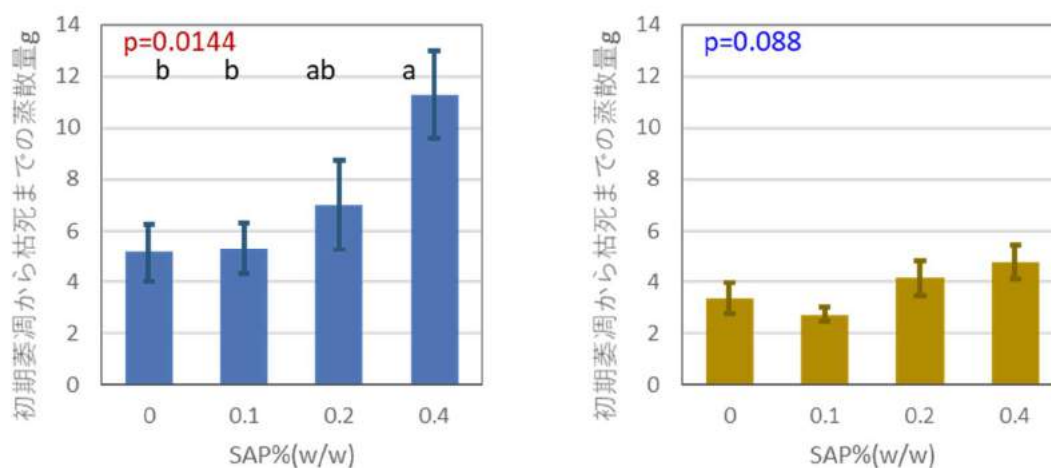


図 15 初期萎凋から枯死までの蒸発散量 g/pot

同様の方法で求めた、灌水遮断から枯死までの全期間の蒸発散量は、スギでは 0.2%以上で有意な増加がみられた(図 16)。一方、ヒノキではほとんど処理による有意差がなかった。

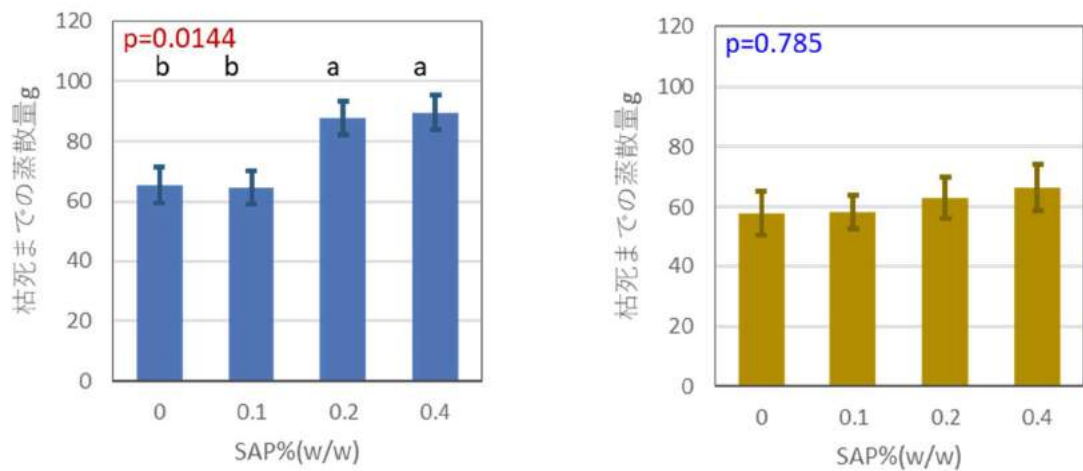


図 16 灌水遮断後、枯死までの全蒸発散量 g/pot

4) SAP 添加により蒸発散量は増えるか(葉量単位)

ポット当たりの蒸発散量は差がみられたが、蒸散量の原単位としての葉重量で除した蒸発散量を比較した。この場合、ポット上面からの蒸発量は無視することとなる。9 月の生育期間中の蒸発散量はスギもヒノキも処理による有意な差はなかった(図 17)。

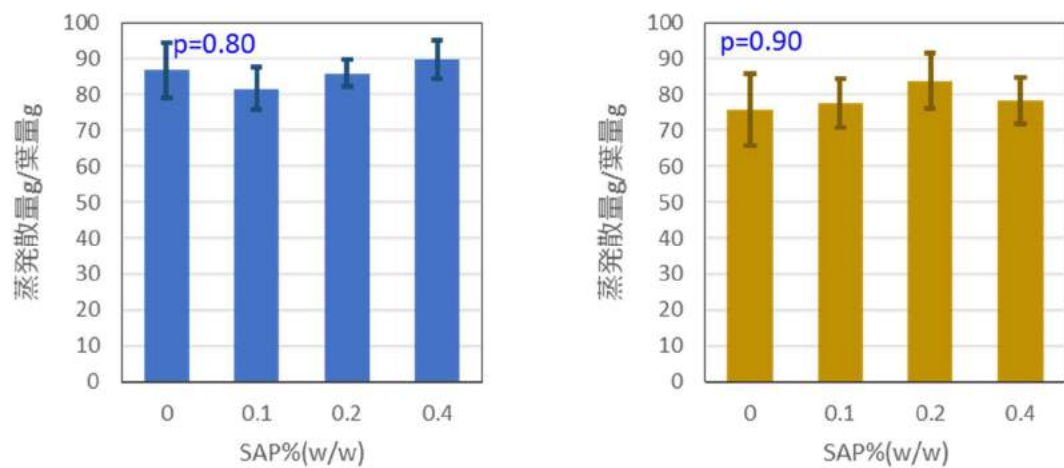


図 17 生育期間の蒸発散量 g/枯死後の葉量 g

灌水遮断後、枯死までの葉重量当たりの蒸発散量は、生育期間中と同様に、スギもヒノキも SAP 処理による有意差はなかった(図 18)。スギに比べヒノキの方が蒸散量は小さく、樹種特性を反映していた。

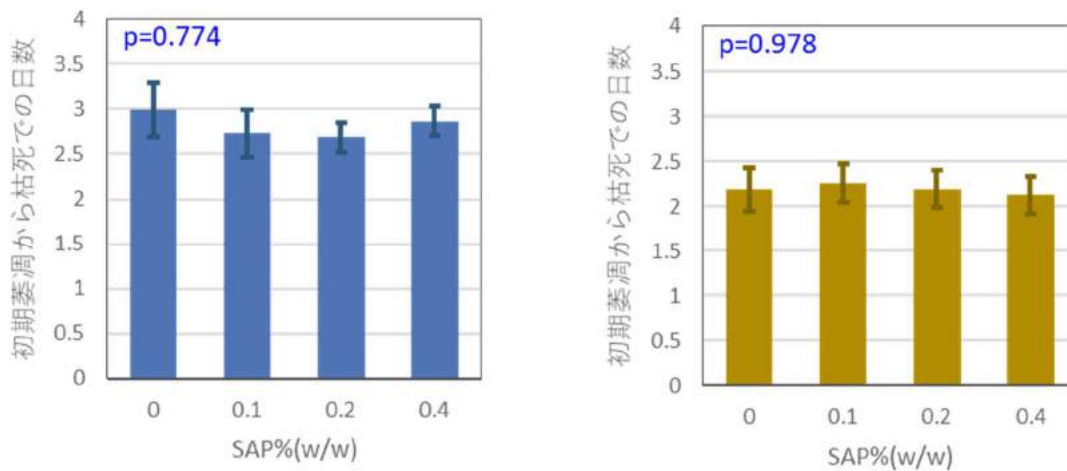


図 18 乾燥期間中、灌水遮断から枯死までの蒸発散量 g/枯死後の葉量 g

5) 枯死時点の土壌水分(永久萎凋点以上)は SAP 添加量により増加するか

プレッシャーチャンバー試験では pF3 までしか測定できない。植物の永久萎凋点は pF4.2 とされており、苗木の枯死時点の土壌水分がほぼ pF4.2 に相当すると考えられる。スギの場合、SAP 量が多いほど土壌水分が多いことが確認できた(図 19)。ヒノキの方が含水率は低い、同様の結果が得られた。

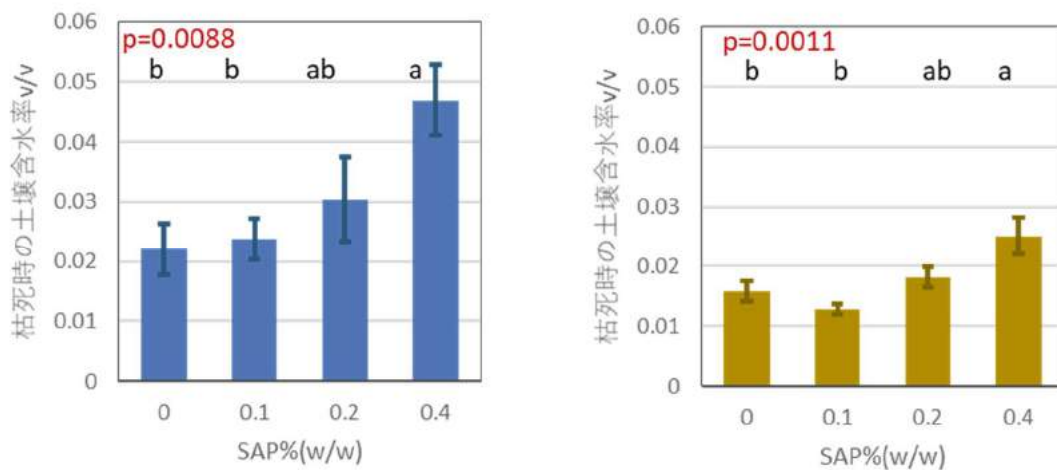


図 19 苗木枯死時点の土壌含水率%(v/v)

SAP 無添加との土壌含水率の差は pF4.2 以上のポテンシャルの水分と同等と考えられる。その値は体積含水率で 1~2%程度と非常に少なく、SAP の保持する水分のほとんどが有効水に区分できることが確認できた。土壌物理学的手法による結果を補完するデータであり、SAP の保水特性はほぼ解明できた。また樹種により違いがあることから、樹種の生理特性の理解が重要であることも示した。

6) 試験期間中の土壌水分の変化

苗木の育成期間と乾燥期間の土壌水分の変化は、これまで示した苗木の蒸散量変動傾向と一致した。しかしながら、SAP 添加量の大小(4 水準)と土壌水分の変動傾向(水準)は必ずしも比例せず、特に低濃度の SAP(0.1%)では SAP 無添加とあまり違いが見られなくなった。これは育成期間中に SAP の膨潤性能が劣化したり、根の水分吸収の強さに対応できなかった可能性が考えられる。

初期萎凋点(W)や枯死点(D)の土壌水分レベルは SAP 添加量で異なっており、SAP 添加量が多いほど土壌水分も高めの傾向が認められた。いずれにしろ、苗木の生死は、土壌含水比 0.1 (10% v/v) 以下のわずかな差で決まっているようであった。なお、苗木の生死は苗木のサイズも影響している可能性があるので、生存日数の評価はその点も考慮すべきであると考えられる。

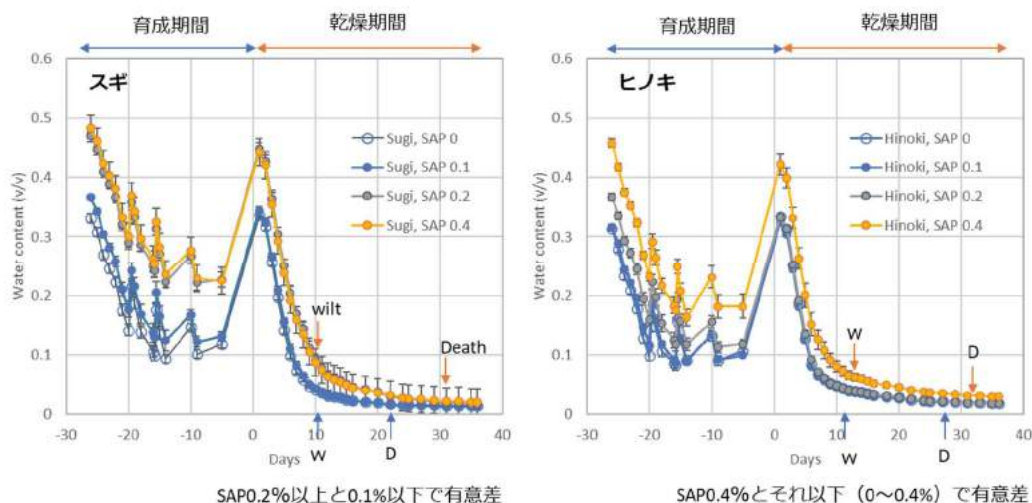


図 20 試験期間におけるポットの土壌水分(v/v)の変化

4.2.4 まとめ

日本の造林樹種(スギとヒノキ)で調べたSAPの保水効果の結果から、以下のことが確認できた。保水性のない川砂では苗木の生育期間中の土壌含水率(v/v)は約 15%~5%の範囲であったが、SAP 添加ポットは 35%~10%で維持された。植え付けから 4 週間後の根量は、スギの場合、SAP 0.2%以上で統計的に有意に多い発根量が確認でき、ヒノキも SAP 添加により発根が促進される傾向がみられたが、スギほど明瞭な差ではなかった。

4 週間育成した苗木ポットの灌水をとめて土壌を乾燥状態とし、枯死までの日数を調べましたところ、スギでは SAP 無施用より 0.2%以上入れたポット苗木の方が約 10 日長く生存した。ヒノキも生存期間は延びる傾向があったが、統計差はなく、樹種による違いが明らかとなった。

スギとヒノキは土壌水分に対する生理特性が異なることが知られているが、SAP に対する反応も異なっていた。今回の試験は研究蓄積が十分にある日本の造林樹種を使ったが、途上国では利用される苗木の研究例が少ないことも多い。できるだけ現地の植栽樹種と土壌を用いて SAP 添加試験をし、発根状態などを確認することが望ましい。これは 2 週間程度で判断できる。

植栽時

SAP水保持による重力水の有効化

発根量増

葉伸長増加

▶ 植栽直後、短期的に根伸長を促進
→ 活着に有効

乾燥時

地表面蒸発抑制

難有効水の増加

初期萎凋点～枯死の期間延長

▶ 灌水や降雨頻度の低下による乾燥リスクを緩和する可能性
→ 生残率向上

留意点

SAP施用範囲内で発根・伸長促進（誘導）
効果の持続期間はSAP有効水量の範囲に限定
樹種特性による効果の差あり

4.3 当該技術の普及に向けたコスト試算

SAP 施用の追加のコストを試算した。SAP 製品により価格は異なり、1kg あたり 900 円～1800 円である。土壌 1kg に対し SAP0.2%とすると 1.8 円～3.6 円になる。ポット試験では土壌 2kg 使い 3.6～7.2 円であった。ミャンマーの予備試験では 30cm 立方の大きな植穴を掘り、土壌 35kg であったので 63～126 円になった。植穴の大きさや濃度は現地の土壌や管理方法、気象条件にあわせて決めることが肝要である。産業植林で商業利用の場合は SAP 濃度を薄くして土壌に注入するとい、コストも変わる。最適な SAP 濃度と量の一般化にはさらなる検討が必要である。

4.4 試験対象国における技術普及説明会

ミャンマー中央乾燥地の予備試験には森林局の技術者が同行し、共に作業を行った。SAP への関心は高く、保水材としての意義や機能を説明した。その後、植林地に大臣が視察に来たとき、SAP をパネルを用意し、試験地の様子を森林局幹部が大臣に説明したという。



図 19 ミャンマー森林局技術者が自ら作成した幹部向けの説明パネル

4.5 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

- 1) 高橋ほか 2018 日本森林学科誌 100:229-236 林業・緑化分野における高吸水性高分子流の利用,
- 2) 高橋ら 2020 森林立地学会誌 62: 51-59 高吸水性高分子樹脂を添加した土壌の物理・科学・生物性
- 3) 高橋 2020 海外の森林と林業 107:23-27 高級性高分子樹脂(SAP)の植林への利用—SAPの利用と現場における土壌水分の変化—

4.6 参考文献

1. 遠山 証雄ら(1983) 保水剤利用による乾燥地緑化に関する研究 II 砂地無かん水下でのアクリル系吸水性高分子物質混合による緑化樹の活着. 砂丘研究 30(2) 270～275
 2. 大内 誠悟ら(1989) 高吸水性ポリマー混合が土壌の全容積、三相分布および有効水分に及ぼす影響. 日土肥誌 60:15-21
 3. Hüttermann A, Orikiriza L, and Agaba H (2009) Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. Clean-soil Air Water 37:517-526
 4. Bhardwaj AK, et al. (2007). Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. Soil Sci Soc Am J 71: 406-412.
 5. Sanz Gómez, J. (2016) Characterization and effects of cross-linked potassium polyacrylate as soil amendment. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
 6. 矢橋 晨吾ら(1990) 保水剤の添加による土壌物理性の変化: III. 保水剤が透水性に与える影響. 千葉大学園芸学部学術報告 43: 65-71.
- Montesano FF et al. (2015) Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. Agriculture and Agricultural Science Procedia 4: 451-458