

砂防植栽が流出水質に与える影響

京都大学大学院 ○浅野友子・内田太郎・勝山正則
京都大学農学研究科 大手信人・水山高久

1 はじめに

日本の山地では、明治以来、土砂災害の防止を目的に全国各地で山腹緑化工が行われてきた。山腹緑化工の効果、すなわち森林に期待されている機能は数多くあり、主要なものとしては流量調節機能、土砂流出防止機能、そして環境保全機能が挙げられる。中でも、近年酸性雨の問題が顕在化するにつれ森林の水質浄化機能の重要性は高まりつつあるが、これまでにその機構が十分に明らかにされたとはいいがたい。そこで、著者らは山腹緑化工地の森林が水質形成機構にどの様に影響を与えているかを明らかにし、砂防植栽林の水質浄化機能を評価することを目的とし、1995年以来、植栽年度の異なる砂防植栽林流域及び裸地流域で水質水文観測を行っている（浅野ら、1996）。特に本研究では森林のもつ酸緩衝機能に注目し、流域内土壌浸透過程における様々な反応をH⁺の供給・消費によって説明した上で、森林の発達に伴うH⁺供給源・消費源の変化やそれらの空間分布の変化に焦点を当て、考察を行う。

2 方法

対象流域は滋賀県南東部田上山地に位置し、同じ花崗岩地質を持つが、山腹工施工年度の異なる2つの森林流域及び山腹工未施工の裸地流域である。桐生マツ沢試験地は80年前より、若女試験地は60年前より山腹緑化工が施工され、それぞれの経過年数にしたがって森林植生及び土壌の発達が見られる。また、流域末端に設置された堰堤の効果で、流域末端には2m以上マサ土が堆砂した特徴的な地形を形成し、そのため比較的大きな恒常的飽和地下水帯が存在する。一方、裸地谷試験地は斜面下部谷沿いを除き、ほとんどは風化堆積物と基岩が露出した裸地斜面であり、流域全般にわたり土層厚も薄く飽和地下水帯も小さい。

それぞれの流域において雨量、流量を測定すると同時に林外雨、林内雨、降雨イベント時に一時的に発生する斜面上部の地下水、斜面下部に存在する恒常的な地下水帯の水、湧水、渓流水を採水した。試水は、採水直後にpH、EC、pCO₂を測定し、実験室にて溶存イオン及びSiO₂濃度を測定した。また、各流域で土壌pH、交換態陽イオン、CECの分析を行った。

3 結果と考察

(1) 森林植生の生物活動によるH⁺供給量の増加

図1に流域内でのpHの変化を示す。横軸には水文過程に沿った採水地点を並べた。3流域での降水と湧水の年平均pHは、それぞれおよそ5および5.5であり、3流域間に違いがなかった。しかし、土壌浸透過程（林内雨から斜面直下型井戸までの過程）においてpHは森林流域では一時的に低下するのに対し、裸地谷では低下せず異なる傾向を示した。

pHの変化や溶存物質の濃度変化から以下の知見を得た。生物活動や大気降水の影響を直接受ける表層土壌層と、それ以下の下層土壌層をそれぞれコンパートメントと考えると、森林流域では表層土壌層で大気降水に加え植生の養分吸収や、有機物の分解によるNO₃⁻生成など生物活動に伴うH⁺供給があり、土壌水のpHは低下する。しかし、下層土壌浸透過程では表層土壌層からのH⁺とともにCO₂によって供給されるH⁺も、一定のH⁺濃度になるまで化学的風化によって消費される。一方、裸地谷流域では表層土壌層に大気からのH⁺や、CO₂によるH⁺が供給されるが、生物活動によるH⁺供給は森林流域と比較すると少なく、ここでは供給されたH⁺は一定の濃度になるまでその場で化学的風化によってすぐに消費される。

(2) 森林植生による化学的風化の促進

湧水から渓流水にかけてはCO₂の脱気が主な酸緩衝反応である。図2には、CO₂の溶解平衡式（CO₂+H₂O ⇌ HCO₃⁻+H⁺）、溶解平衡定数（[HCO₃⁻][H⁺]/[CO₂]=10^{-7.81}（25°C））をもとに、3流域における湧水と渓流水のpH-pCO₂-HCO₃⁻の関係を表した。3流域は溶存pCO₂にばらつきがあるにも関わらず湧水地点の年平均pHが一致していることより鉱物と地下水の間でH⁺濃度を介して平衡状態が成立している可能

性があると考えられる。すなわち鉱物の溶出速度はpHに依存するといわれており、3流域は同じ基岩地質をもつのでpH5.5付近で溶出速度が0に近づき、さらにH⁺が供給されない限りそれ以上は化学的風化のおこりにくい状態に達していると考えた。以上の結果は次の2つのことを示していると考えられる。まず、①3つの対象流域では供給されるH⁺に対し、消費するのに十分な滞留時間があること、②主要なH⁺消費源である化学的風化のポテンシャルが十分高いこと、である。石積み堰堤は、土層厚を増加させることによって水の滞留時間を確保し、比較的新鮮で風化ポテンシャルの高い土砂を保持する、という意味で水質形成に与える効果が大きいと考えられる。

次に各流域の湧水が、大気CO₂濃度と平衡するまで完全に脱気すると、理論的にはそれぞれ図2の(◇)で示す値になる。最終的な渓流水のpHは桐生マツ沢、若女、裸地谷でそれぞれ7.2、7.0、6.9を示し、森林が発達するにつれて渓流水のpHが高くなることを示している。すなわち植生が酸緩衝機構に及ぼす効果として、土壌中のH⁺供給源であるCO₂濃度を高めることによって化学的風化を促進し、アルカリ度を高め、地下水の湧出・脱気後の渓流水pHをより高める効果があることが示された。これらの植生による酸緩衝効果が発揮されるためにも、前述のように十分な化学的風化のポテンシャルが存在するのと同時に、流域内で十分な滞留時間があることが必要条件となっている。

(3) 森林の成立に伴うH⁺供給源・消費源の空間分布の変化

各流域で年間H⁺フラックスを算出した結果、どの流域においても、流域内外から供給されるH⁺のほとんどは、流域内で効率よく消費されていることが示された。裸地流域では表層土壌層に供給されたものは、表層土壌層で消費されている一方、森林が成立する流域では、葉によるエアロゾルの捕捉や表層での生物活動によってH⁺供給量が増加し、消費が追いつかなくなるため、供給されたH⁺の一部は下層土壌層へ流入し、消費されていることが示された。ここでも森林流域における酸緩衝機能に果たす下層土壌層の重要性が示された。

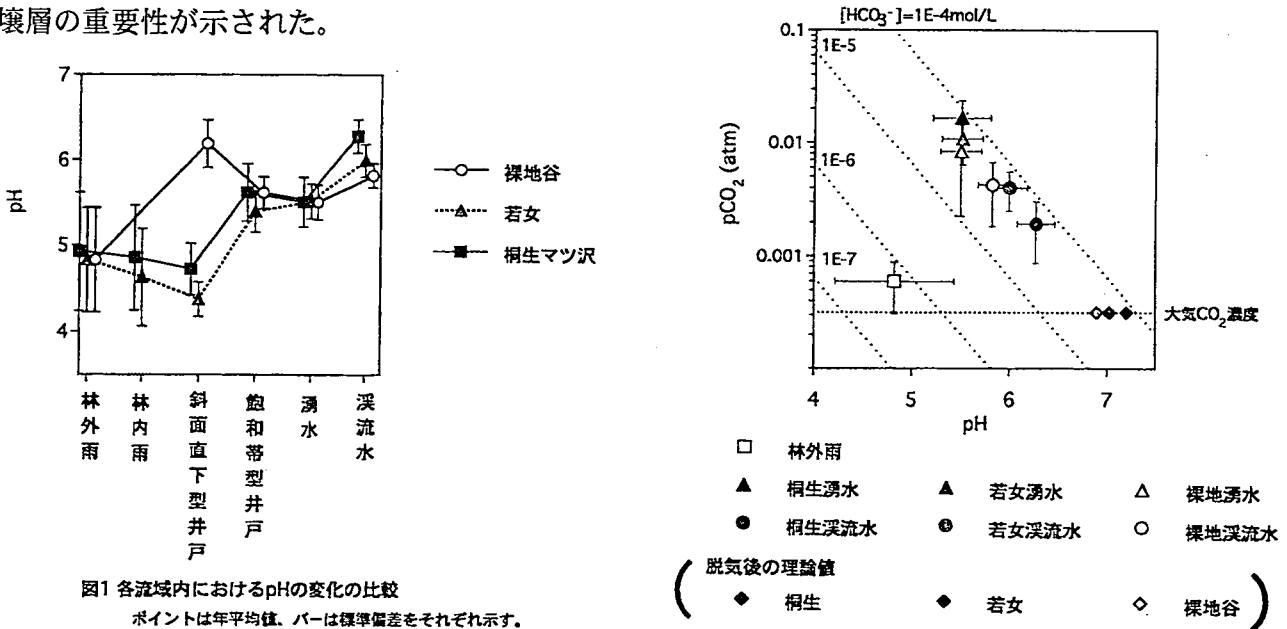


図1 各流域内におけるpHの変化の比較
ポイントは年平均値、バーは標準偏差をそれぞれ示す。

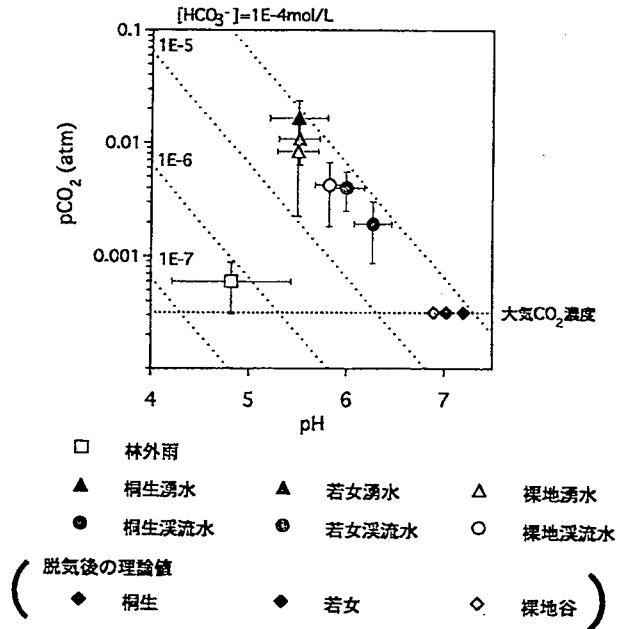


図2 湧水から渓流水にかけてのH⁺供給源・消費源

4 まとめ

酸緩衝機能という視点では、森林は以下に示す2つのマイナスとプラスの効果を持つと考えられる。

①森林はH⁺の供給源となるため長期的に見ると流域の酸性化を進めマイナスの効果をもたらすと考えられる。②化学的風化のポテンシャルが高く水の滞留時間も十分ある流域では、森林は渓流水pHをより高める効果があるため、短期的にはプラスに働いていると考えることができる。

石積み堰堤が、流域の酸緩衝機能に大きな影響を与えていることが明らかになった。すなわち堰堤は土砂移動を防止することによってH⁺消費能力を確保すると同時に、植生の発達を促し、H⁺供給源を増加させていると考えられる。

[参考文献] 浅野ら, (1996) 森林の成立過程における水質形成機構の変化—発達段階の異なる流域における水質・水文観測—, 京大演報, NO. 68, pp. 25-42,