

人工ミネラルを用いた自然環境保全の試み

国土防災技術（株） 非会員 ○田中 賢治

国土防災技術（株） 非会員 朝日 伸彦

摘要：近年、森林の量的充実が進む中で、人工林の間伐等の森林施業の遅れなどに起因した森林の質的劣化が指摘されており、そこに生立する全ての生物の基盤となる土壌の劣化が森林の荒廃に影響している。

本論文では、鉄分やカルシウム等のミネラル分が多いことで水産資源の再生に注目されているが、森林では利用されてこなかった製鉄の過程で産出する製鋼スラグを原料にした人工ミネラルが森林の下層植生回復に及ぼす効果について試験を行った内容を報告する。

1. はじめに

日本は国土の約7割が森林であり、その中の40%が人工林で構成されている。今まで、森林は木材の生産現場という位置付けであったが、近年においては地球温暖化防止、水源涵養機能、レクリエーションの場、防災機能など、実に様々な役割が求められてきている。

一方で、造林されて40年以上経過していることによる森林の量的充実が進む中で、人工林の間伐等の森林施業の遅れなどに起因した森林の質的劣化が各地で指摘されている。このような背景から、平成19年から国土緑化推進機構等の補助事業で島根県や鳥取県、長崎県、栃木県等で森林の健全度調査を実施してきた経緯がある。この森林の調査によって、長期にわたって森林施業がされないことで暗く鬱閉した森林となっており、植栽木以外の植物が生育できずに生物の多様性が失われている状態を散見する機会が多くあった。人工林では、放置された期間が長いほど荒廃してしまい、間伐を行っただけでは森林環境が改善しないことが示唆されてきたのである。

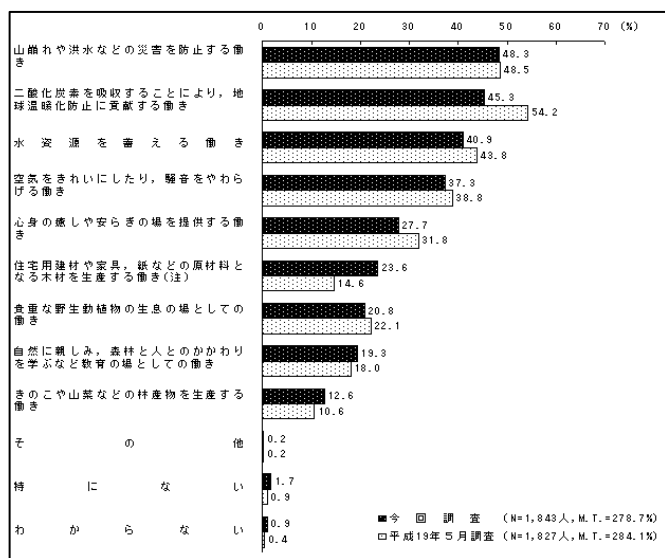


図. 1 森林への関心の変化
(森林と生活に関する世論調査)



写真. 1 下層植生の少ない森林

具体的には、間伐等の森林施業の手遅れによる影響は、立木の生長不良や倒木被害の発生ばかりでなく、そこに成立する全ての生物の基盤となる土壌の劣化・荒廃に影響している。特に、極めて長期間に亘って施キーワード 森林施業、森林の健全度、製鋼スラグ、人工ミネラル、腐植土

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目18番5号 国土防災技術（株）事業本部 tel 03-3432-3567

業が行われず、下層植生が失われて様々な養分を供給する表層土が消耗・喪失した土壤環境では、間伐等の森林施業を行って光環境を改善しても土壤栄養の供給不全によって下層植生の回復が遅れてしまい、森林が健全であることで発揮できる国土の保全や水源のかん養等の森林に期待される様々な機能の回復に時間を要してしまう。本論文では、これまで森林環境での分野で利用されていなかったが、製鉄の過程で産出し、鉄分やカルシウム等のミネラル分が多く、水産資源のかん養面など多方面で注目されはじめている製鋼スラグを原料にした人工ミネラルを用いて、森林土壌の化学性改善が森林の下層植生の回復に及ぼす効果について試験を行った内容を報告するものである。

2. 試験方法

2.1 試験実施箇所

平成 19 年から森林の管理や保全啓発活動を島根県で行っている NPO 法人もりふれ倶楽部と共同で荒廃した森林に間伐を行って試験区画を設けた。試験箇所は、未整備の島根県奥出雲町のヒノキ林（1 号地）および飯南町のスギ林（2 号地）で、平成 19 年より調査・施業・実験を実施している箇所である。

1 号地では、ネザサが下層植生にまばらに生える程度しか確認できずに植被率 5%，相対照度が 0.6%であったが、強度の間伐によって平均 38.7%に改善した。また、2 号地では、ヤマグワ・ヌルデ等の先駆種とイヌツゲ等の耐陰性植物が共存した下層植生が散見できるが、植被率は 7%，相対照度は 2.4%であったので、この箇所においても間伐によって 55.6%まで改善した。

2.2 試験に用いた人工ミネラル

今回の試験に利用した鉄鋼スラグは、高炉で鉄鉱石を熔解・還元する際に発生する高炉スラグと鉄を精錬する製鋼段階で発生する製鋼スラグに大別できる。特徴としては、鉄鋼石から鋼を作り出す還元・精錬段階で生まれる（ SiO_2 ）などの鉄以外の成分が、石灰（ CaO ）と溶解・結合した副産物であることから、工場生産による安定した品質をベースとして、省エネルギー・省資源・ CO_2 削減を可能にする「地球にやさしい資材」といえる。

また、鉄鋼スラグは、含有する石灰の影響で、水と反応すると pH が 10～12 に上昇し、コンクリート再生路盤材、セメント安定処理土と同等か、それ以下のアルカリ性を示す特徴を有している。

今回の森林土壌を健全化する試みでは、鉄鋼スラグのうちでアルミニウムの含有量が低く、鉄の含有量が高く、植生への生育阻害要因の少ない製鋼スラグ（転炉スラグ）を用いることで、酸性緩和とミネラル供給に効果を発揮することを期待して試験を行った。

表. 1 鉄鋼スラグの化学組成

(単位：%)

	高炉スラグ	転炉スラグ
CaO	41.7	45.8
SiO ₂	33.8	11.0
T-Fe	0.4	17.4
MgO	7.4	6.5
Al ₂ O ₃	13.4	1.9
S	0.8	0.06
P ₂ O ₅	<0.1	1.7
MnO	0.3	5.3



写真. 2 製鋼スラグ

2.3 試験実施箇所

両試験地の林内に 2m×2mの区画を 5 区画設け、各区画に 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%（表土 2cm 容積比）の人工ミネラルを散布した（図. 2）.

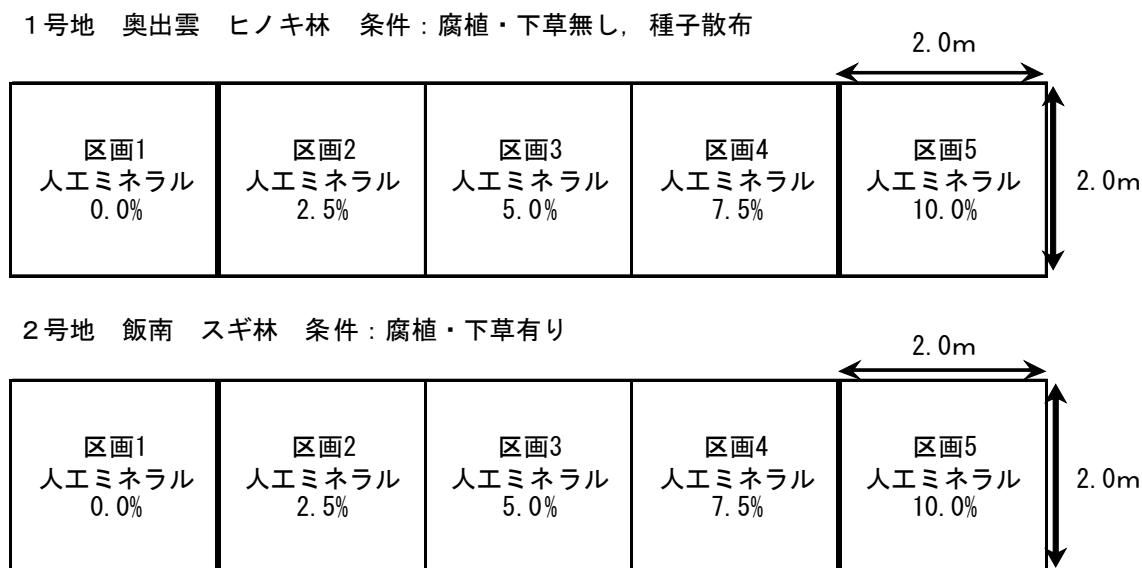


図. 2 設置区画のイメージ

1号地では、Ao層・A層等を含む表層土壌や下層植生が生育している地上部をはぎ取り、より表層土の消耗・喪失の進んだ土壌のモデル区画とした。

2号地では、表土と下層植生をそのまま残し、表層土が存在する森林土壌のモデル区画とした。また、1号地では表層土と共に埋土種子等も排除されるため、早期の効果検証を目的として緑化用種子（トールフェスク・クリーピングレッドフェスク・バミューダグラス・ヨモギ・メドハギ・ヤマハギ・コマツナギ）を各区画に対し同量を散布して植物の発芽・生育状況の経過を観察した。

経過調査は、各配合の効果を確認するために表. 2 に示す項目を実施した。

表. 2 調査分析内容

植生調査	土壌分析
下層植生の植被率	pH・腐植含有量
	交換性Ca・交換性Mg・交換性K
	二価鉄

3. 試験結果

試験開始から半年経過した時点で、1号地では、区画内に生育している下層の植物による植被率が0%, 2.5%散布区画では90%, 5.0%散布区画では75%, 7.5%散布区画では80%, 10%散布区画では85%となった。1号地では、初期の植被率が0%であるため半年経過時点での結果を比較したが、残存した地下部が生長した個体もあるため、試験開始時に散布した植物種のための植被率で比較すると、人工ミネラル2.5%散布区画において播種した種の植被率が高い傾向を示した（図. 3）。

2号地では、0%区画では初期の植被率5%であったが、半年経過後に7%となったのに対し、2.5%散布区画では5%から30%, 5.0%散布区画では5%から50%, 7.5%散布区画では3%から50%, 10%散布区画では初期被植率25%から100%となり、散布量の増加に伴って半年経過後の植被率が上昇することが確認できた。

(図. 4).

表. 3 に示した土壌化学性の変化では、1 号地、2 号地共に対照区である 0% 区画に比べ、2.5%～10% 散布区画の土壌を分析した結果から、全てのミネラル項目が増加しており、養分環境が改善されていることが確認できた。特に、植物が光合成を行う際に重要な二価鉄に関しては、1 号地では、2.5% 区画で 23.8ppm と最大になり、2 号地では 10% 区画で 62.8ppm が最大となった。

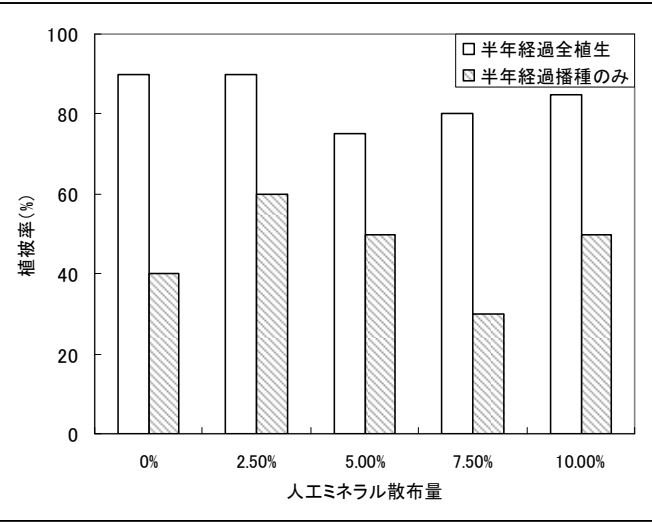


図. 3 人工ミネラル散布量と植被率の関係
(1 号地)

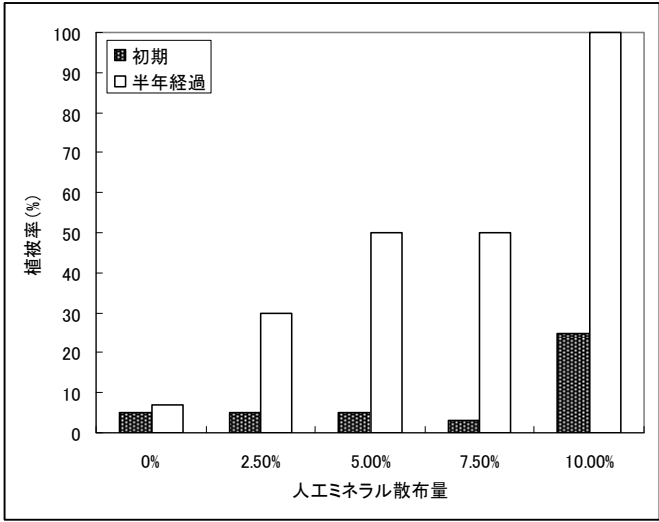


図. 4 人工ミネラル散布量と植被率の関係
(2 号地)

表. 3 人工ミネラル散布量と土壌化学性の変化

1号地	0.0%	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%	目安
pH	4.5	5.8	7.5	7.4	8.1	5.6～6.8
腐植含有量(%)	3.9	3.1	2.3	2.1	1.7	>5%
カルシウム (mg/100g)	70.0	254.0	577.0	761.0	1284.0	200～300
マグネシウム (mg/100g)	12.0	30.5	29.4	29.8	59.3	20～40
二価鉄(ppm)	2.5	23.8	19.8	21.5	22.4	
2号地	0.0%	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%	目安
pH	5.1	6.8	6.8	7.3	7.2	5.6～6.8
腐植含有量(%)	6.9	5.8	4.4	4.3	6.0	>5%
カルシウム (mg/100g)	132.0	905.0	715.0	1346.0	1159.0	200～300
マグネシウム (mg/100g)	21.3	53.8	46.4	80.8	65.2	20～40
二価鉄(ppm)	6.0	17.5	25.3	47.3	62.8	

また、二価鉄の増加は、植被率の結果と同じ散布区画で最大となり、植被率と同様の傾向が見られた。土壌 pH の変化は、1 号地の 5.0% 散布区画では pH が 7.5 となり、散布量 5.0% を超すと土壌 pH がアルカリへと傾くことが確認できた。2 号地では、10% 散布区画でも pH が 7.2 と中性となった。この pH の上昇は、表層土壌を剥ぎ取った 1 号地と表層土壌を残した 2 号地の腐植含有量の差が最大で 3% あったことに起因しているものと考えられ、2 号地では表層土壌に含まれる腐植物質のイオン交換機能によって、pH の上昇を緩和

し、鉄分が植物に吸収される二価鉄の状態を維持できていると考えることができる。

以上の結果から、下層植生が成立し難い土壤環境には、養分供給として人工ミネラルが養分環境の改善に有効であり、更に表層土壌を失った森林の土壤養分供給には、腐植成分を同時に施用することでより早期に下層植生を復元することができると思われることができた。

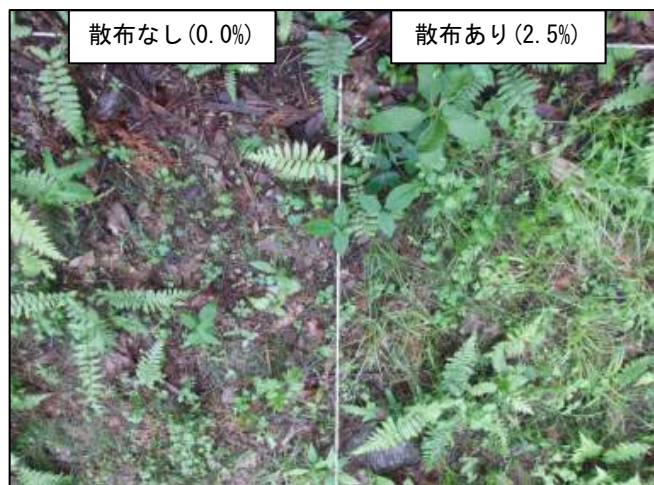


写真 3 1号地の生育状況（半年経過）

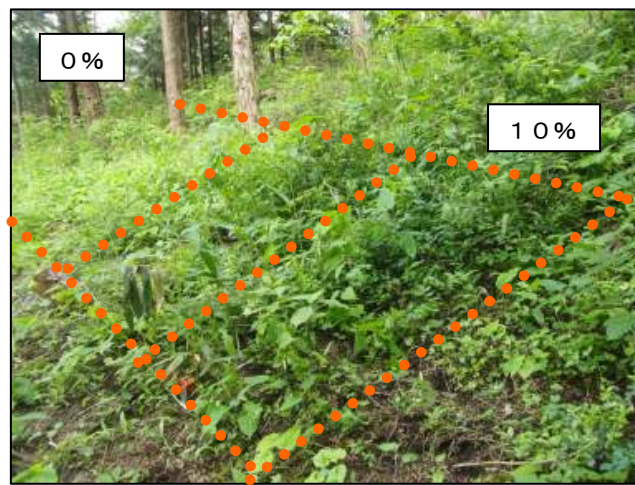


写真 4 2号地の生育状況（半年経過）

4. 今後の展開

森林の土壤表面に形成される Ao 層（腐植層）の形成は、100 年に 1cm 程度と言われるほど長い時間がかかることから、未分解の生チップを自然由来の溶液で処理することで極度の酸性状態にして植物の骨格を形成している部分を変質させて腐植を作る技術を用いて室内で検証実験を行った。

室内試験の結果から、人工的に作成した腐植土に転炉スラグを適量加えて植物を生育させると葉緑素含量を示す SPAD 値が 30 程度に安定し、平均と最大草丈で良好な結果を示すことが弊社の松江試験場で確認できた。

今回のような業種を超えた技術連携による一連の取り組みによって、森林の土壌を早期に腐植に富んで豊かな養分を包含する気象ストレスや災害に強い環境を作れる技術的なアプローチが見えてきた。今後は、更に散布量や他の資材の混合散布等、更に検討を深め、今後も森林土壌の早期復元を行う手法の開発に向けた取り組みも行っていきたいと考えている。

謝辞：本論文をまとめる際に、住友金属工業（株）和歌山製鉄所岡田副所長，鳥井参事，浜崎参事補には、多くのご助言，ご協力を頂きました。この場をお借りして，心より御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 田中賢治：「スギ・ヒノキ人工林における土壌の化学性による森林健全度評価の試み」，p 21-24，日本技術士会業績発表，2009
- 2) 田中賢治：「腐植とミネラル供給による森林健全化の試み」，p 21-24，日本技術士会業績発表，2012
- 3) 住友金属工業：「環境資材鉄鋼スラグ」，p8-11，鐵鋼スラグ協会，2009