

論文

石綿鉦山跡地の土壌 Ni が発芽段階のシラカンバおよびケヤマハンノキに与える影響

平林毅一郎^{*1}・木村徳志^{*2}・鴨田重裕^{*3}・楠本大^{*4}

The effects of nickel in the soil of a deserted asbestos mine on the germination of *Betula platyphylla* var. *japonica* and *Alnus hirsute*

Kiichiro HIRABAYASHI^{*1}, Noriyuki KIMURA^{*2}, Shigehiro KAMODA^{*3}, Dai KUSUMOTO^{*4}

1 はじめに

石綿（アスベスト）はかつて建築物の断熱材や防火材等に重用された。東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林（北海道富良野市）には 1939 年から 1949 年まで石綿の採掘が行われていた鉦山跡地がある。この鉦山は石綿の原料となるクリソタイルを超塩基性岩類と呼ばれる蛇紋岩から産出した。蛇紋岩土壌は 1) ニッケル (Ni) やクロム (Cr) といった重金属を含んでいること, 2) 高濃度のマグネシウム (Mg) を含んでいること, 3) 窒素・リン・カリウム・カルシウム等の植物必須元素が少ないことなどが特徴に挙げられる (香山, 2004)。こうした特徴により, 蛇紋岩を含む土壌は多くの植物にとって生育不適であり, 植生が一度破壊されるとその回復は非常に困難である。60 年以上経過した現在も鉦区 (37 林班 A 小班内), ズリ捨て区 (36 林班 A 小班内) ともにわずかな植物の侵入がみられるのみで, 裸地に近い状態となっている (図-1)。裸地化した斜面は雨水等による浸食を受けやすく, 表層の崩壊や土砂の流出が起こりやすい状態にある。特に本鉦山跡地のような蛇紋岩土壌は可塑性と粘着力に乏しく, 土粒子間の結合が弱いこと, わずかな水分増加により容易にせん断を受け, 液状化と地層の流動を起こしやすい (堀川, 1993)。アスベストは肺癌や悪性中皮腫などといった人体への健康被害が報告されており, また, 本鉦山跡地は人家や農地に面した斜面に位置し, この有害物質の飛散による被害も懸念されるため (蛭原ら, 2001), 植生の回復促進が緊急の課題になっている。

蛇紋岩土壌に含まれる Cr の大部分は難溶な状態で鉦物中に存在し, 可給態 Cr も無害な三価 Cr であるため植物の生育に影響を与えることは少ない (山田, 1993)。Mg は植物の必須元素であるが, 過剰な Mg は根ミトコンドリアの活性を阻害して特に根部重量や最大根長を低下させたり, 植物体内でカルシウムと置き換わり細胞壁や細胞膜の機能を低下させたりすることが報告さ

*1 公益財団法人 日本生態系協会
Ecosystem Conservation Society - Japan

*2 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林
The University of Tokyo Hokkaido Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

*3 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林樹芸研究所
Arboricultural Research Institute, The University of Tokyo Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

*4 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林田無演習林
The University of Tokyo Tanashi Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo



図-1 石綿鉱山跡地鉱区の現況

Fig. 1 The state of the deserted asbestos mine

れている（嶋田, 1972; 波多野・増沢, 2008）。Ni は Cr と同様に大部分は難溶な状態であるが、交換性 Ni は種子の発芽抑制、根冠の有糸分裂妨害の原因となるほか、高濃度では葉のクロロシス、ネクロシス、奇形を引き起こし、クロロフィル濃度の低下と光合成能力の低下を招く（MISHRA and KAR, 1974; 波多野・増沢, 2008）。茅野・北岸（1965）は、銅、Ni、コバルト、亜鉛、マンガンの中で Ni は銅に次いで二番目に水稻の生育に与える毒性が強いと結論付けた。高岸ら（1973）は蛇紋岩土壌における一般作物の生育障害の主因は Ni 過剰吸収にあると述べており、Ni への耐性が石綿鉱山跡地における植物の生育にとって重要な鍵となるといえる。この様に、Ni と Mg が蛇紋岩土壌への植生侵入を妨げる要因と考えられる。本研究ではまず最も影響が大きいと考えられる Ni に着目し、Ni が樹木実生の発芽定着に及ぼす影響を検討した。

本研究で用いる樹種は 2006 年に行われた本鉱山跡地の木本植物の調査結果（木村ら、未公開データ）を基に選定した。シラカンバは、演習林が 2005 年に行った鉱山跡地を含まない林内における 50m × 50m のプロットサンプリングによる林況調査（未公開データ）によれば、37 林班 A 小班、36 林班 A 小班的林内における本数割合はそれぞれ 4.7%、0% であったが、木村らが調査した鉱山跡地内における本数割合は鉱区で 21.6%、ズリ捨て区で 20.8% を占めた。また、個体サイズにおいても鉱山跡地と接する林縁部では 15m、鉱山跡地内部でも 5m に達する個体が見られている。そこで本研究では、シラカンバを植生回復の有力候補樹種として実験に供試することとした。

また、ケヤマハンノキは一般に山地の砂防用に用いられる汎用樹種であり（平井, 1996）、アカエゾマツやダケカンバなどの蛇紋岩土壌で見られる樹種と比較しても蛇紋岩土壌による樹高成長への影響が軽微だという報告もある（山田, 2001）。しかし、本鉱山跡地内では鉱区で 2.6%（本数割合）確認されたのみであり、鉱山跡地に生育する本数は少ない。そこで本研究では、ケヤマハンノキについてもシラカンバと同様の調査を行い、シラカンバと比較検討することとした。

本研究では北海道演習林の石綿鉱山跡地において交換性 Ni の土壌中濃度に着目し、土壌分析を行った。また、鉱山跡地で見られる高濃度の交換性 Ni 条件においてシラカンバが発芽・発根

し生育する能力を持つかどうかを明らかにするため、Niを含む培地にシラカンバとケヤマハンノキの種子を播種し、発芽および発芽直後の成長を調べた。

2 材料と方法

2.1 現地調査

植生回復の候補樹種としたシラカンバの現存木の様子と新規参入個体の確認、土壤のサンプリングを2012年10月9、10日に実施した。

鉱山跡地でシラカンバが生育可能な土壤のサンプリングを以下のように行った。本鉱山跡地にシラカンバの生育箇所付近の土壤を採取した。鉱区、ズリ捨て区それぞれで5本ずつ、計10本のシラカンバの根元の土壤を採取した。土壤の採取には直径10cm、高さ10cmの採土円筒を用い、1本のシラカンバにつき根元を中心とする半径50cmの円周上の6箇所から採取し、混合して用いた。

2.2 鉱山土壤の土壤含水率とNi濃度の測定

秤量した生土(1~2g)を紙袋に入れ、80℃で一昼夜熱乾した。乾燥後再度重量を計測して、含水率を計算した。測定は各土壤について4回繰り返した。

生土1gと1N酢酸アンモニウム20mLを混合し、30分間振とうして可給態イオンを抽出した。これをろ過して得たる液を抽出液とした。シラカンバ10本分のサンプル全ての土壤について抽出液:1N塩酸=9:1の比率で調製した。調製した試液のNi²⁺濃度を原子吸光光度計(HITACHI製、Z-6100)を用いて測定した。標準曲線の作成には、1000ppmの標準試薬を希釈して調製した5ppm、10ppm、20ppmの標準液を用いた。測定値から土壤中の交換性Ni濃度を求めた。繰り返しは各土壤について3回とした。

2.3 高濃度Ni下での種子・実生培養実験

シラカンバの種子は北海道演習林樹木園で2012年に採取されたもの、ケヤマハンノキの種子は北海道演習林樹木園で2013年に採取されたものを使用した。シラカンバの種子は前年産であったため、発芽時期を揃える処理として2日間流水処理したのち20日間低温下に置いてから実験に供した。ケヤマハンノキの種子は当年産であったため流水処理および低温処理は行わなかった。

イオン交換水に2%のアガロース、塩化ニッケル(NiCl₂)を混合し、オートクレーブにかけ、よく溶解・混合してシャーレに撒き、凝固させた。NiCl₂の混合量によって複数の処理区を作成した。なお、NiCl₂以外の栄養塩類添加やpHの測定・調整は行っていない。

本研究では寒天中のNi濃度を、本鉱山跡地土壤中の交換性Ni濃度を基に定め実験することとした。実験は寒天培地を用いて行ったため、現地で採取した土壤サンプルの交換性Ni濃度を含水率を用いて土壤水のNi濃度として算出した。なお、本鉱山跡地土壤は砂質土壤であったことから、本研究では土壤へのNi吸着を考慮していない。土壤水のNi濃度の平均値は11.5ppmであった。この値を基に、本研究では0ppm(無処理区)、0.5ppm(Ni0.5区)、1ppm(Ni1区)、5ppm(Ni5区)、10ppm(Ni10区)の5通りのNi濃度で実験することとした。

樹木種子をシャーレ1枚につき120粒播いた。繰り返しは1処理区につきシラカンバは3シャーレ、ケヤマハンノキは6シャーレである。播種したシャーレを22℃恒温のインキュベータ(SANYO製、MIR-153)内で暗条件にて培養した。

播種後 16 日目まで発芽の有無を継続的に調べた。また、発芽した個体は発芽を確認した日から 10 日後に採取して、形態を観察し、幼根端から子葉までの長さ（実生長）を計測した。

有意差の検定は、全ての処理区同士で比較する際には多重比較法である Tukey-Kramer 法を、2 処理区で比較する際には t 検定を用いた。

3 結果と考察

3.1 鉱山跡地の土壌環境およびシラカンバの生育状態

鉱山跡地の土壌は採掘によって表土が剥ぎ取られ、風化した基岩の粗い礫が多く混ざった砂質状の土壌であった。

10 サンプルの含水率は 12.4~20.9% の範囲で $16.19 \pm 2.97\%$ （平均値 \pm 標準偏差）であった。含水比は 14.2~26.4% の範囲で $19.45 \pm 4.26\%$ （平均値 \pm 標準偏差）であった。自然含水比が 5~30% の土壌は砂質土壌とされ（日本建築総合試験所, 2014）、対象鉱山跡地の土壌は性質が砂質に近く、保水力が低く乾燥しやすい土壌であると考えられた。

10 サンプルの平均交換性 Ni 濃度は 0.25~6.93mg/kgDW の範囲で、 $2.45 \pm 2.19\text{mg/kgDW}$ （平均値 \pm 標準偏差）であった。交換性 Ni 濃度の分析結果のヒストグラムを図-2 に示す。本鉱山跡地のシラカンバ生育箇所毎に見ても Ni 濃度が最大約 28 倍の幅で変化していた。

非汚染森林土壌の A0 層を除いた表層土における Ni 濃度は、抽出法による分析で 0.25mg/kgDW という報告がある（浅見, 2010）。この値と比較すると、本鉱山跡地のシラカンバ生育地点の土壌交換性 Ni 濃度は非汚染森林土壌の約 10 倍高い値となった。

本鉱山跡地現地に生育するシラカンバは、図-3 に示すように葉縁が褐色に変色した葉が一部に見られ、根については土壌のごく表層または土壌から露出させて長い水平根を伸長させている様子が見られた。こうした水平根について、伸長の長さは確認した中では最大 5m であった。また、シラカンバの実生・稚樹は確認できず、新規個体の定着は起こっていないものと推察された。

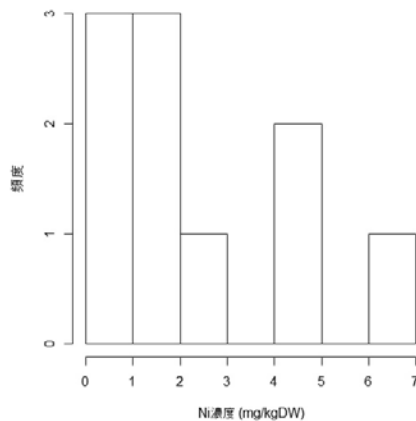


図-2 石綿鉱山跡地土壌の交換性 Ni 濃度頻度

Fig. 2 The frequency of the exchangeable nickel concentration of the asbestos mine soil



図-3 石綿鉱山跡地内部に生育するシラカンバの様子
左：葉，右：根 葉の褐変の一例を○で囲んで示した。

Fig. 3 The states of *B. platyphylla* growing in the deserted asbestos mine

3.2 高濃度 Ni がシラカンバに及ぼす影響

Ni 濃度と発芽数との関係

各 Ni 濃度下でのシラカンバおよびケヤマハンノキの発芽率を図-4に示す。シラカンバ，ケヤマハンノキともに処理区間での発芽率の明確な差は認められなかった。

Ni の種子発芽に対する毒性はオオムギやカブなどで報告されており，影響する濃度の範囲は植物種によってさまざまである (MISHRA and KAR, 1974)。本研究における設定濃度では，シラカンバおよびケヤマハンノキの種子発芽に対する影響は軽微であった。

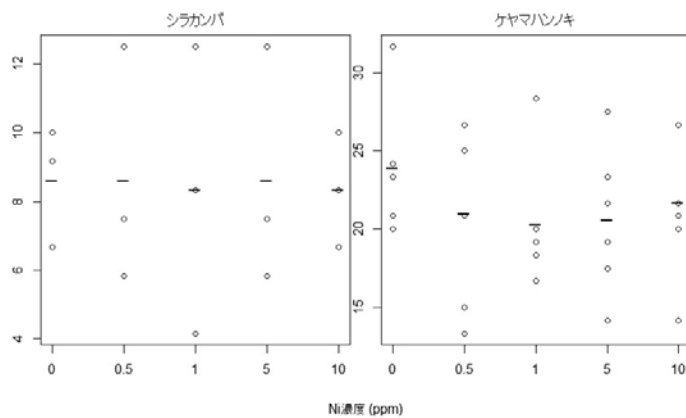


図-4 処理区ごとの種子の発芽数
“—”は各処理区平均を示す。

Fig. 4 The rate of germination for each treatment

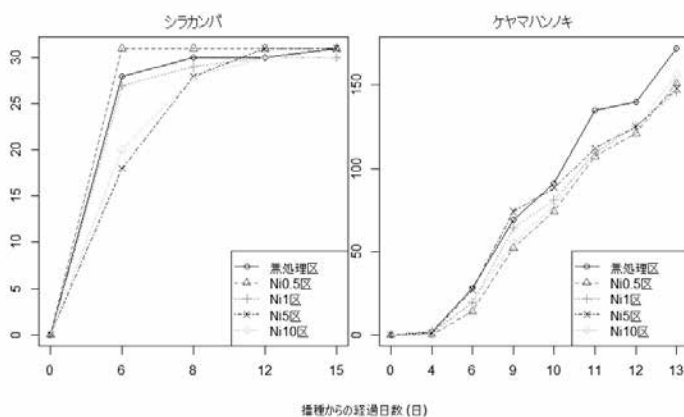


図-5 処理区ごとの種子の累積発芽数

Fig. 5 The cumulative number of germination for each treatment

Ni 濃度と発芽にかかる日数との関係

各 Ni 濃度下でのシラカンバおよびケヤマハンノキの播種日からの累計発芽数を図-5 に示す。シラカンバについては、無処理区、Ni0.5 区、Ni1 区は 6 日目までに 80% 以上が発芽してそれ以降は確認日ごとに 0~2 本程度のみ確認されているのに対して、Ni5 区、Ni10 区は 6 日目までに 60% 程度が発芽し、発芽個体の残りは 12 日目までに発芽していた。シラカンバは Ni 濃度によって発芽率は変化しないが、5~10ppm になると 30% 程度の種子で発芽に遅れが生じることがわかった。ケヤマハンノキについては、明確な傾向は見られなかった。

Ni 濃度と実生の形態との関係

各 Ni 濃度下でのシラカンバおよびケヤマハンノキの発芽 10 日後の実生長を図-6 に示す。シラカンバの発芽 10 日後の実生長を多重比較したところ、Ni5 区、Ni10 区では無処理区に比べ

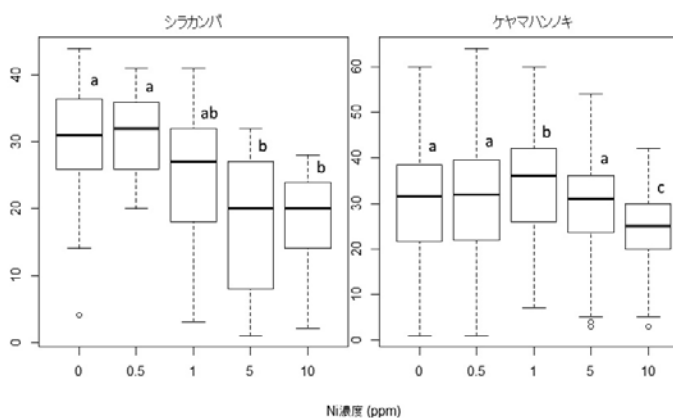


図-6 処理区ごとの発芽 10 日後の実生長

アルファベットの添え字は異なる添え字の間で有意な差 (Tukey-Kramer 法) がみられたことを示す。

Fig. 6 The length of ten-day-old seedlings for each treatment

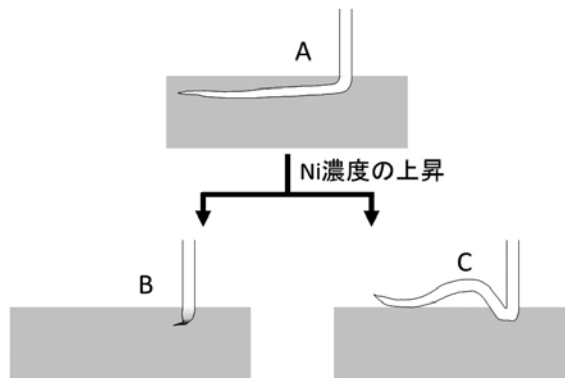


図-7 Ni濃度の上昇による実生根の形態変化

A：水平根，B：黒化根，C：露出根

Fig. 7 The shape change of seedling root by increased nickel concentration

て有意に実生長が短いことが確認された (Tukey-Kramer 法, $p < 0.01$)。ケヤマハンノキの発芽 10 日間後の実生長については, Ni10 区で無処理区に比べて有意に実生長が短かった (Tukey-Kramer 法, $p < 0.05$)。以上のように, Ni が高濃度になるに従い発芽から 10 日経過した実生の長さが短くなる傾向が見られ, その傾向はケヤマハンノキよりもシラカンバで顕著であった。

また, 実生の長さ以外にも, 発芽個体の根の形態に変化が見られた。発芽後の実生は, Ni が低濃度だと寒天中に発根した後, 水平方向に根を伸長させた (水平根; 図-7 A)。しかし, Ni が高濃度の処理区では, 水平根に加えて, 根端が黒く変色し, 水平方向の根の伸長が確認できないもの (黒化根; 図-7 B), 寒天の中から根を露出して空気中で伸長するもの (露出根; 図-7 C) が観察された。なお, 樹木において主根を直根, 側根を水平根と呼称することがあるが, 本培養実験で観察された幼根の形態としての水平根とは意味合いが異なるので注意していただきたい。

Ni5 区と Ni10 区について, 実生の形態別の割合を表-1 に, 実生の長さを形態別に比較したグラフを図-8 にそれぞれ示す。黒化根はケヤマハンノキでのみ観察され, シラカンバは黒化根が見られなかった。シラカンバは Ni5 区と Ni10 区でいずれもケヤマハンノキに比べて露出根の割合が大きかった。Ni5 区と Ni10 区のシラカンバで多かった露出根の個体は, 水平根の個体に比べて有意に実生長が長かった。

発芽直後の実生の初期成長は, 種子が内部に持っている胚乳の養分を用いて行われる。そのため, 胚乳の養分を用いている期間の成長は, 外部環境である Ni の影響が顕れにくいと考えられる。種子サイズを比較すると, シラカンバの種子はケヤマハンノキの種子の $1/3 \sim 1/2$ 程度の大

表-1 処理区ごとの実生根の形態の比率

Table. 1 The ratio of the shape of roots for each treatment

樹種	処理区	計測数	水平根 (%)	露出根 (%)	黒化根 (%)
シラカンバ	Ni5区	31	80.6	19.4	0.0
	Ni10区	30	60.0	40.0	0.0
ケヤマハンノキ	Ni5区	148	74.3	2.0	23.6
	Ni10区	156	17.3	19.2	63.5

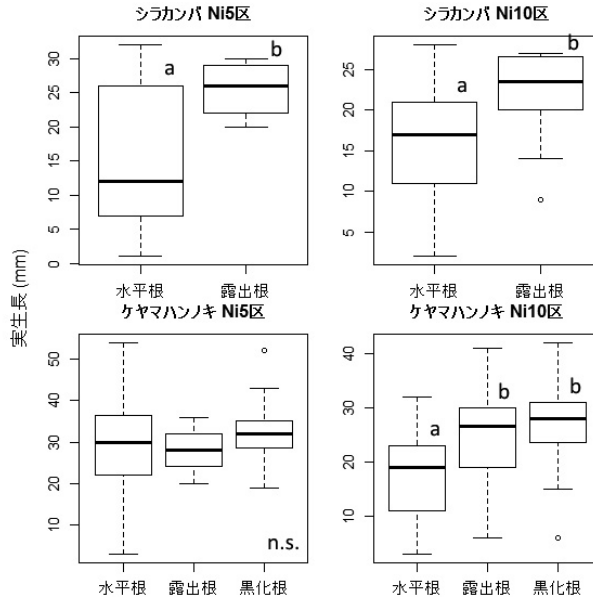


図-8 Ni5区およびNi10区における形態別の実生長

アルファベットの添え字は異なる添え字の間で有意な差 (Tukey-Kramer 法) がみられたことを示す。

Fig. 8 The length of seedlings classified by shape in 5ppm and 10ppm nickel treatment

きさである (図-9)。また、シラカンバの種子はおよそ 0.22g/千粒 (森, 1998a), ケヤマハンノキの種子はおよそ 0.66g/千粒 (森, 1998b) であり重量も 1/3 程度となっている。このことから、種子サイズの小さいシラカンバの方がサイズの大きいケヤマハンノキよりも低濃度で外部環境である高濃度 Ni の影響が出始めるものと考えられる。

ケヤマハンノキでは高濃度 Ni によって黒化根が多く生じたのに対して、シラカンバは黒化根が見られずケヤマハンノキよりも露出根の割合が大きかった。シラカンバの露出根の個体は水平根の個体に比べて実生長が大きかったことから、露出根の個体は高濃度の Ni が含まれる寒天を避けて伸長したために Ni の毒性による成長阻害を受けなかったことが、実生長の維持又は増大

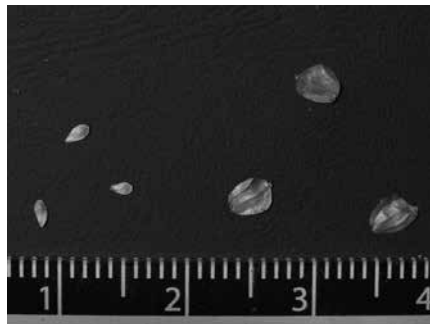


図-9 シラカンバとケヤマハンノキの種子サイズ
左: シラカンバ, 右: ケヤマハンノキ

Fig.9 The seed size of *B. platyphylla* and *A. hirsuta*

に繋がったと考えられる。

図-8において、ケヤマハンノキはNi5区で形態による実生長の違いが見られなかった。これは種子が持つ養分量での生育が表れているため、Ni濃度が実生長に影響していないものと考えられる。また、Ni10区では露出根個体および黒化根個体が水平根個体よりも有意に長かった。黒化根個体は地下部が殆ど生育していないので、ほぼ地上部のみの計測値となる。幼根の根端部における水分・養分吸収機能が早々に破壊されたため、Niの影響も受けずに種子の養分量を全て使って地上部を伸長させることができたものと考えられる。

以上より、シラカンバはケヤマハンノキより低濃度でNiによる成長抑制を受けるものの、高濃度のNiを避けて根を伸長させる能力がケヤマハンノキと比較して高いと考えられる。また、ケヤマハンノキは種子が持つ養分量が多いため初期成長は良いが、シラカンバに比べて根が黒変しやすく、多くの個体がいずれ成長を維持できなくなり、枯死するものと考えられた。

佐藤(1995)はシラカンバ、アカエゾマツを含む4樹種の天然生稚樹や苗畑における実生の成長を調べ、水平根の発達が地上部の成長に大きく関与していたことを報告している。対象鉾山跡地の鉾区において生育するシラカンバ成木についても、水平根を部分的に地上に露出させながらも広範囲に伸長させている様子を確認したことから(図-2右)、シラカンバは土壤中のNi濃度に対して順応的に根を発達させることによって対象鉾山跡地での生存可能性を高め、また樹高成長などの生育を維持していることが推察される。

また、このことから、鉾山跡地内で新規に定着したシラカンバ個体が確認できなかった理由も考察できる。シラカンバの特性を、発芽後根を伸長させる段階で高濃度のNiを避けることで生育を維持することと位置づけるならば、発芽する箇所のNi濃度が最も重要だということになる。石綿鉾山跡地でシラカンバが生育するためには、生育初期の個体サイズが小さな時期ほど、身近な範囲にNi濃度の低い土壤が分布している必要がある。現在確認できる成木はNi濃度が比較的低い箇所が発芽した個体が生存しているのだとも考えられる。発芽段階で生存が可能なNi濃度として、今回現地土壤で計測し、実験の設計にも用いた約3mg/kgDWという値が目安になるであろう。

なお、北海道の蛇紋岩土壤ではトウヒ属樹木、特にアカエゾマツが特徴的な純林を成立させるが(香山, 2006)、山田(2001)はその生育特性には腐植に富むごく薄い表層土壤に根を分布できるアカエゾマツの浅根性が関与することを指摘している。本調査地におけるアカエゾマツは、林内での本数割合が37林班A小班で4.4%、36林班A小班で0.6%(2005年林況調査)であり、かつ鉾山跡地内の鉾区で0%、ズリ捨て区で0.2%であった。もともと林班内での生育割合が小さいうえに、鉾山跡地内ではさらに割合は小さかった。アカエゾマツ実生のNiに対する応答に関する検討は今後の課題である。

4 結論

対象鉾山跡地の条件におけるNiストレスに対して、発芽・実生段階のシラカンバは根の伸長方向を変化させることによって適応可能であることが示唆された。

石綿鉾山跡地にシラカンバを人為導入するうえで成功確率を高める知見として、播種よりも植栽の方が良いということ、播種するならば土壤の交換性Ni濃度が3mg/kgDW程度に抑えられていると良いということが挙げられる。また、シラカンバは初期の定着が成功すればその後の生育を維持する能力は高いということも、重要な知見である。

5 謝辞

本研究を実施するにあたって、現地調査・サンプリングを行った北海道演習林および実験を行った田無演習林の教員・職員の皆さまのお力添えをいただいた。北海道演習林の現地調査にご同行いただいた坂上大翼助教、土壌の分析を行わせていただいた造林学研究室の丹下健教授、益守真也講師に感謝する。また、北海道演習林には、論文の執筆に際して未公開データの利用を許可いただいた点でもお世話になった。ご協力いただいた多くの方への感謝の意を表明し、謝辞と代えさせていただく。

要旨

東京大学の北海道演習林には裸地化した石綿鉍山跡地がある。鉍山跡地土壤に含まれるニッケル (Ni) は、鉍山跡地内における植物の生育を難しくしているとされている。本鉍山跡地の植生回復を促進するために、過去に行われた植物調査の結果から緑化候補樹種としてシラカンバを、対照樹種としてケヤマハンノキを選定した。鉍山跡地の土壤の交換性 Ni 濃度を分析し、室内実験により鉍山跡地土壤の交換性 Ni 濃度が発芽段階のシラカンバおよびケヤマハンノキに及ぼす影響を調べた。この結果、鉍山跡地の Ni 量を再現した交換性 Ni10ppm までではシラカンバおよびケヤマハンノキの発芽率への影響はほとんど見られなかった。発芽後 10 日間の実生の成長は Ni の影響を受け低下したが、シラカンバはケヤマハンノキよりも多くの個体が Ni を避けて根を露出させ伸長していた。10ppm の Ni 濃度下では 60% 以上のケヤマハンノキの根端が黒変しており、いずれ枯死してしまうものと思われた。このことから、シラカンバは発芽直後に根を伸長させる際、Ni の濃度に対して敏感に反応し、高濃度 Ni を避ける能力が高いことがわかった。

キーワード：シラカンバ・ケヤマハンノキ・蛇紋岩土壤・ニッケル・根

引用文献

- 浅見輝男 (2010) [改訂増補] データで示す - 日本土壤の有害金属汚染. アグネ技術センター, 東京.
- 蛭原桃子・島津和泰・中川義久・福島敬和・野中由美・佐藤紘二 (2001) 石綿関連胸膜病変多発地区における悪性胸膜中皮腫の 1 例. 呼吸 10:1026-1029.
- 波多野肇・増沢武弘 (2008) 白馬山系蛇紋岩地の土壤特性と高山植物群落. 日本生態学会誌 58: 199-204.
- 平井信二 (1996) [12] カバノキ科 *Betulaceae*. (木の大本科解説編. 平井信二, 朝倉書店, 東京). 112-132.
- 堀川幸也 (1993) 蛇紋岩. (土壌の事典. 久間一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木皓・服部勉・三土正則・和田光史 (編), 朝倉書店, 東京). 159.
- 香山雅純 (2004) 11.3 土壌と栄養. (樹木生理生態学. 小池孝良編, 朝倉書店, 東京). 239-241.
- 香山雅純 (2006) トウヒ属樹木の蛇紋岩土壤における適応機構の解明と環境修復に関する研究. 北海道大学演習林研究報告 63:33-78.
- 茅野充男・北岸確三 (1965) 重金属元素の過剰による水稻の被害に関する研究 (第 1 報) 銅, ニッケル, コバルト, 亜鉛およびマンガンの処理濃度を変えたときの水稻の生育. 日本土壤肥料学雑誌, 37:342-347.
- MISHRA, D. and KAR, M. (1974) Nickel in plant growth and metabolism. *The Botanical Review* 40: 395-452.
- 森徳典 (1998a) カバノキ属 *Betula* Linn. (Birch). (日本の樹木種子 (広葉樹編). 勝田柁・森徳典・横山敏孝, 社団法人林木育種協会, 東京). 39-47.
- 森徳典 (1998b) ハンノキ属 *Alnus* Mill. (Alder). (日本の樹木種子 (広葉樹編). 勝田柁・森徳典・横山敏

- 孝, 社団法人林木育種協会, 東京). 48-55.
- 日本建築総合試験所, わかりやすい試験シリーズ 土-02 土の含水比試験. http://www.gbrc.or.jp/contents/test_research/test_series/document/so_02.pdf, 2014年2月21日閲覧.
- 佐藤隆夫 (1995) 樹木の根系の成長に関する基礎的研究. 北海道林業試験場研究報告 32:1-54.
- 嶋田典司 (1972) 作物のMg過剰障害に関する研究. 千葉大学園芸学部特別報告 6:1-105.
- 高岸秀次郎・東野正三・飯塚隆治 (1973) 蛇紋岩質土壤に生育する桑の異常障害に関する研究 第1報 異常症状および症状発生桑園土壤の化学性と桑の無機組成. 日本蚕糸学雑誌 42:135-143.
- 山田一郎 (1993) 蛇紋岩土壤. (土壤の事典, 久間一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木皓・服部勉・三土正則・和田光史(編), 朝倉書店, 東京). 159.
- 山田健四 (2001) 道北地方の蛇紋岩地帯における天然更新技術. 北海道立林業試験場研究報告 38:23-36.
(2015年2月27日受付)
(2016年1月20日受理)

Summary

There are deserted asbestos mines in the University of Tokyo Hokkaido Forest. It is hard for plants to survive in these mines because of nickel contained in the soil. With the aim of promoting the restoration of vegetation, we selected *Betula platyphylla* as a candidate tree species for revegetation at these mines and *Alnus hirsuta* as a control tree species based on a plant survey carried out in the past. We analyzed exchangeable nickel levels in mine soils and experimentally determined the effects of this amount of exchangeable nickel on *B. platyphylla* and *A. hirsuta* in the germination stage. *B. platyphylla* and *A. hirsuta* germination rates showed only a small response up to 10 ppm exchangeable nickel stress as the nickel amount in the mine soil. Although the initial growth of *B. platyphylla* was reduced by these nickel levels, more seedlings of *B. platyphylla* exposed and extended their roots away from the high-nickel growth medium than did seedlings of *A. hirsuta*. In 10ppm nickel concentration, more than 60% of *A. hirsuta* blackened their root tips and seemed to be dying prematurely. When extending its root immediately after germination, *B. platyphylla* shows sensitivity to nickel levels and avoids highly-concentrated nickel.

Keywords : *Betula platyphylla* var. japonica, *Alnus hirsuta*, serpentine soil, nickel, root

