林内作業車による水平根の切断が海岸マツ林林床のニセアカシアの根萌芽発生に与える影響

田村浩喜^{*1)}・星崎和彦²⁾・蒔田明史²⁾

1) 秋田県林業研究研修センター Forestry Research and Training Center, Akita Prefecture

2) 秋田県立大学生物資源科学部 Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

摘要：海岸マツ林を保全する上で、ニセアカシアの制御は重要な課題となっている。著者らは林内作業車を使用したクロマツ間伐後に、大量のニセアカシア根萌芽の発生を確認した。そこで、林内作業車によるニセアカシア水平根の損傷が根萌芽発生に与える影響を明らかにするため、林床にニセアカシアが生育しているマツ林で走行試験を行った。マツ林内において間伐作業等に用いるクローラタイプの作業車を直線走行させた後に方向転換させ、わだちの形成と根萌芽の発生を確認した。さらに、水平根を掘り出して損傷を調査した。方向転換した場所には明瞭なわだちが形成され、根萌芽の発生が認められた。一方直線走行跡にはわだちは形成されず、未走行地とともに根萌芽はほとんど発生しなかった。わだちの下にある水平根には、切断や傷の跡が見られた。基部方向が切断された18本の水平根のうち17本から根萌芽が発生しており、わだちの形成と基部方向の切断が有意に根萌芽の発生を促すことが明らかになった。マツ枯れ防除の際にも、間伐と同様の林内作業車が用いられるため、地表攪乱を引き起こし根萌芽の発生を促す可能性がある。さらなるニセアカシアの分布拡大を防ぐために、松枯れ防除の際の作業方法にも留意する必要性が考えられた。

キーワード：ニセアカシア, 水平根, 根萌芽, 林内作業車, わだち, 海岸マツ林

TAMURA, Hiroki, HOSHIZAKI, Kazuhiko and MAKITA, Akifumi: **Effect of damaged horizontal roots caused by forestry vehicles on the root sucker emergence of *Robinia pseudoacacia* in a coastal *Pinus thunbergii* forest**

Abstract: To control the *Robinia pseudoacacia* populations is an important issue in maintaining coastal *Pinus thunbergii* forests. The authors confirmed the occurrence of numerous root suckers of *R. pseudoacacia* after thinning works using forestry vehicles. A study was conducted in a coastal *P. thunbergii* forest with *R. pseudoacacia* undergrowth to analyze the effect of damaged horizontal roots caused by forestry vehicles on the root sucker emergence of *R. pseudoacacia*. A crawler type vehicle was turned and run straight in a thinned and non-thinned area of a *P. thunbergii* forest. After confirming the emergence of root suckers, the horizontal roots were exposed, and the damage of the roots was observed. Visible ruts were formed by the turning of the vehicle, and root suckers occurred in both thinned and non-thinned areas. Few root suckers were formed in the straight running and non-running area. The horizontal roots under the ruts were severed or injured. Root suckers occurred on 17 out of 18 horizontal roots that were cut in the proximal direction. Formation of ruts and the cutting of horizontal roots in the proximal direction are clarified to cause the emergence of root suckers. The control of pine wilt disease is likely to lead to sucker emergence because it involves ground disturbance as well as thinning. In cases of forest works on pine wilt disease, further attention is necessary not to disturb the forest floor for controlling the *R. pseudoacacia* populations.

Key words: *Robinia pseudoacacia*, horizontal root, root sucker, crawler type vehicle, rutting, coastal *Pinus thunbergii* forest

1. はじめに

ニセアカシア (*Robinia pseudoacacia* L.) は、1873年に日本に導入されて以降、荒廃地緑化に貢献してきた¹⁹⁾が、近年では様々な立地への逸出や分布拡大が報告され、在来植生を乱すものとして問題となっている^{9, 12, 16)}。海岸砂防林ではク

ロマツ (*Pinus thunbergii* Parlatores) の肥料木として導入されたが、今日では被圧や土壌環境の変化により²⁰⁾、クロマツ林を維持する上でニセアカシア制御が重要な課題となっている⁸⁾。そのため、海岸林の適切な管理にあたってニセアカシアの分布拡大機構を明らかにすることは重要である。

ニセアカシアは種子繁殖¹⁶⁾のほか、水平根から発生する根

萌芽により群落を拡大することが知られている⁶⁾。根萌芽には、若い根から恒常的に発生して個体の分布を拡大させるもののほか^{6,11)}、地上部の伐採等の攪乱によって発生するものもある¹³⁾。

海岸マツ林に生育しているニセアカシアの場合、根萌芽の発生のほとんどは水平根の伸長に伴う恒常的なものであるとされているが⁸⁾、筆者らは、間伐に伴う林内作業の後に大量のニセアカシア根萌芽の発生を確認した(田村ら、未発表)。根萌芽は限られた場所に高密度で発生しており、作業による攪乱が原因ではないかと思われた。

水平根が物理的な刺激を受けると根萌芽を発生させることは、アスペン (*Populus tremuloides* Michx.) をはじめ多くの樹種で確認されているが^{1, 4, 5, 7, 15, 17, 21)}、林内作業による攪乱がニセアカシアの根萌芽発生に与える影響については明らかになっていない。

そこで、本研究では海岸マツ林の伐採作業で用いられた林内作業車の走行試験を行い、走行に伴う地表攪乱の様子を観察し、ニセアカシアの根に対する損傷を調べた。さらには、水平根の損傷状況と根萌芽の発生状況との関連を明らかにして、海岸マツ林における林内作業車の走行がニセアカシア根萌芽の発生に与える影響を検証した。

2. 材料と方法

2.1 調査地

調査地は、秋田市下新城の中野にある45年生5.72haの海岸マツ林のうち、約9,000m²である(図-1)。汀線からの距離は250m、標高は5mでほぼ平坦な砂地であるが、林分の東側には比高1.5mの人工砂丘の高まりがある。クロマツが高木層を形成し、平均樹高は9.1mである。低木層はニセアカシアで、林縁部から林内に広がっている。樹高は林縁部で5~6m、林内では1~2mである。草本層はほとんど無く、クロマツの落葉が堆積した地表を見渡すことができる。

調査地の北半分では2004年2月にクロマツが間伐され

た。クロマツ本数密度は、間伐された林分(間伐区)では1,500本/ha、間伐されなかった林分(無間伐区)では2,940本/haであった(田村ら、未発表)。同年5月には間伐区の林床でニセアカシアの根萌芽が大量に発生している様子が観察された。間伐による林内の光条件を明らかにするために、魚眼レンズ(フィッシュアイコンバータFC-E8, Nikon, Japan)を装着したデジタルカメラ(Coolpix4500, Nikon, Japan)で2006年9月に地上高2mから全天空写真を撮影し、コンピュータソフトCanopOn2¹⁸⁾を用いて算出した開空度は、間伐区20.4%、無間伐区17.1%であった。

2.2 林内作業車走行試験

根の損傷や萌芽発生に対する作業車走行の影響を明らかにするために、2005年4月に作業車の走行試験を行った。使用した作業車は間伐作業で集材に使用されたものと同じ林業用バックホー(ヤンマーViO35-2 G&W, 鉄クローラ形式, 機械質量4,022kg, クローラ幅300mm, 最低地上高320mm, 全長4,730mm, 全幅1,550mm, 全高2,470mm)²²⁾である。走行試験は光環境の差異が及ぼす影響を検証するために間伐区と無間伐区の両方で行い、作業車を十数メートル進行させて出発地点まで戻す走行をさせて比較した。また、地表かく乱の強度を変えるために直進走行させて表土に圧力をかけるだけの部分と、方向転換させてクローラが表土を移動させる部分とを作った。

2.3 調査方法

走行試験中に直線走行と方向転換時にクローラがどのように動いてわだちが形成されるのかを観察した。わだちは地表が5cm以上深くなった部分とした。走行試験終了後に間伐区、無間伐区ともに12m×10mの調査区を設置して、作業車の軌跡の位置を記録した。間伐区は平坦であるが、無間伐区は人工砂丘に重なったため西方向に8度傾斜している。その後2005年10月に、クロマツ個体とニセアカシアの幹位置を記録した。ニセアカシアは走行前からあった親株と、走行後に発生した根萌芽、親株萌芽、種子由来の実生を区別した。根萌芽と実生は地際を掘って水平根を確認して区別した。翌2006年7月には新たに根萌芽等が発生しているかを調査した後、走行の強度による根の損傷を確認するために、方向転換、直線走行、未走行部分にそれぞれ2m方形区を設定した(図-2)。深さ15cmまで土壌をはぎ取り水平根を観察した。ニセアカシアとクロマツの根の判別は、表面に擦り傷をつけてマツヤニのにおいを確認した。水平根は分岐や損傷ごとに区切ったものを1本とし、長さおよび基部方向の太さを測定した。また、根萌芽発生の有無を記録するとともに、水平根に損傷がある場合は切断、傷に区分して基部方向から末端方向かを記録した。水平根の伸長方向は分岐する度に細くなる様子から推定した。

2.4 解析方法

根萌芽の発生に影響を及ぼす要因を明らかにするために、一般化線形モデル(Generalized linear model, 以下、GLM)による解析を行った。応答変数は区切りごとの水平根が根萌芽を発生させた有無とし、発生ありを1、発生なしを0とし

図-1 調査地の位置

国土地理院航空写真(2009年10月撮影)を加工して作成。

Fig. 1 Location of the study site

Created by processing an aerial photograph (taken in October 2009) published by Geospatial Information Authority of Japan.

図-2 作業車の軌跡とニセアカシア根萌芽が発生した位置

A1：間伐区の方角転換，A2：直線走行，A3：未走行，B1：無間伐区の方角転換，B2：直線走行，B3：未走行。

Fig. 2 Traffic trails of a forestry vehicle and positions of the emerged root suckers of *R. pseudoacacia*

Panel A and B show a thinned and non-thinned area, respectively. A1, A2, and A3 show direction change, straight running, and no running, respectively, in a thinned area. B1, B2, and B3 show the same vehicle route in a non-thinned area.

た。応答変数は二項分布に従うと仮定し，リンク関数にはロジットを用いた。はじめに2m方形区の状態を解析し，説明変数はわだち（あり＝方向転換区，なし＝直線走行区および未走行区），光環境（間伐区，無間伐区）とした。次に水平根の状況が根萌芽発生に影響しているかについて解析を行った。説明変数は基部方向の損傷（切断，傷，なし），末端方向の損傷（切断，傷，なし），長さ，直径とした。A2区，A3区，B2区，B3区では根の損傷も根萌芽の発生もほとんどみられなかったため，A1区とB1区の水平根を対象にして解析した。解析には統計ソフト R ver.3.2.6¹⁰⁾を使用した。

3. 結 果

3.1 わだちの形成

作業車が方向転換したところには明瞭なわだちが形成された（図-2）。クローラタイプの作業車は方向転換する際に曲がろうとする側のクローラにブレーキをかける。クローラは内輪差によって横滑りして機体の方向が変わる。この時にクローラの金属板が表土を削りながら移動させてわだちを形成していた。そのため，A1区やB1区のわだちなどでは落葉層が移動して砂が露出しており，特に回転半径の小さな内側のクローラ走行後で顕著だった。わだちの深さは5～10 cm程度だった。

また傾斜した場所で方向転換した場合には砂がより大きく露出した。例えば，無間伐区（B）の南側にある方向転換場所では地形が西側に傾斜していたため，作業車の車体が大き

写真-1 わだちに沿って発生したニセアカシアの根萌芽

Photo 1 Root suckers of *R. pseudoacacia* emerged along rutting

く傾き，クローラが回転するたびに自重によって砂が崩れ，1 m程度西側にずり下がった。この場合，斜面下部に位置していた外輪のクローラのほうがより多く表土を押しわけ，わだちの深さは30 cm程度になった。

一方，直線走行したところでは落葉層が1～2 cm低くなっただけで表面にクローラの型が薄く残った程度だった。

また，いずれの走行方向においても，作業車は地表の凹凸やマツの根張りによって車体を前後左右に揺らしながら走行していた。

3.2 間伐区と無間伐区の根萌芽の発生

写真-1にわだちの周辺から発生した根萌芽を示す。間伐

表-1 作業車による水平根の損傷と根萌芽の発生

Table 1 Damages to horizontal roots by forestry vehicles and occurrence of root suckers

	A1	A2	A3	B1	B2	B3
間伐	あり	あり	あり	なし	なし	なし
走行方法	方向転換	直線走行	未走行	方向転換	直線走行	未走行
わだち	あり	なし	なし	あり	なし	なし
水平根の延長 (m)	28.43	29.25	56.94	24.94	25.79	24.21
内訳 わだち	14.07	0.00	0.00	23.70	0.00	0.00
走行	0.00	12.05	0.00	0.00	7.03	0.00
未走行	14.36	17.20	56.94	1.24	18.76	24.21
水平根の本数 (本)	49	43	75	42	44	35
うち損傷あり	24	1	0	19	0	0
うち根萌芽発生	14	1	0	10	0	0
根萌芽の本数 (本)	23	1	0	13	0	0

A1: 間伐区の方角転換, A2: 直線走行, A3: 未走行, B1: 無間伐区の方角転換, B2: 直線走行, B3: 未走行。水平根の本数は、分岐や損傷ごとに区切って1本と数えた。
A1, A2, and A3 show direction change, straight running, and no running, respectively, in a thinned area. B1, B2, and B3 show the same vehicle route in a non-thinned area. The number of horizontal roots was counted for each branch or damage.

区には親株が118本あり、走行後に発生した根萌芽(2005年)はわだちが形成された7.6 m²に26本が集中し、直線走行した9.5 m²に3本、未走行の102.9 m²にまばらに6本見られた(図-2)。無間伐区には親株が31本あり、根萌芽(2005年)は54本発生した。40本はわだちがある17.2 m²に、8本が直線走行の7.7 m²に、6本が未走行の95.4 m²に見られた。翌2006年には根萌芽の発生数は間伐区5本、無間伐区4本と大きく減少した。親株萌芽は、2005年に間伐区10本、無間伐区11本、2006年に間伐区2本、無間伐区0本だった。実生は確認されなかった。

3.3 2 m 方形区の水平根の状況と根萌芽の発生

水平根の直径は全2 m 方形区全体で4.6±2.8 mm(平均値±標準偏差)だった。各2 m 方形区の水平根の延長は、平均で6.1~14.2 m/m²と高密度であり、A1区とB1区にはわだちができた場所にはあわせて合計37.77 mの水平根があり、切断や傷が多数見られ36本の根萌芽が発生していた(表-1)。図-3のA1区には、わだちと重なる水平根に多数の損傷があり、中でも作業車が右上から左下に方向転換した際に内輪が形成したわだちには、切断された水平根が重なっている。これらは、ゆがんだ曲線になっているものや、どの水平根に接続していたのか見当がつかないものがある。また右隅に向かって延びている4本の水平根では、根萌芽は切断面の近く(基部方向)から発生していた。図-3のB1区には、左上から右側に方向転換したときに形成されたわだちがあり、内輪側のクローラが通過した右上部分の水平根に、切断や傷が集中していた。周辺には切断された水平根が見られ、基部方向から根萌芽が発生している様子が確認された。

わだちの下で損傷を受けていた水平根を図-4に示す。地表側には強く擦られたような傷が3か所に見られ、傷の末端側から根萌芽が発生していた。水平根は分岐した際には末端方向が細くなっていたが、この図のように直線的に伸びている場所から根萌芽が発生している場合には、根萌芽で同化した養分を末端方向へ転流するため、基部方向に比べて根萌芽の末端方向で水平根が太かった¹⁰⁾。右奥に伸びる根は、発

図-3 わだちの形成と水平根の損傷

A1: 間伐区の方角転換, A2: 直線走行, A3: 未走行, B1: 無間伐区の方角転換, B2: 直線走行, B3: 未走行。

Fig. 3 Rut formation and horizontal root damages

A1, A2, and A3 show direction change, straight running, and no running, respectively, in a thinned area. B1, B2, and B3 show the same vehicle route in a non-thinned area.

生した根萌芽の根元から放射状に伸長した二次側根⁶⁾と見られた。このほかの水平根にも、地表側の半分が金属板に削り取られたようなものや、分岐していた水平根が引っ張られて抜けたようなくぼみや、分岐部の裂け目も確認された。傷の深さは表皮が軽く傷ついた程度のもので直径の4分の3程度に及ぶものまで様々であった。根の損傷の程度と萌芽発生との関係については、今回の調査では明らかにできなかった。

A2区とB2区の作業車が直線走行した場所には、水平根は合計19.08 mあった。切断された水平根はA2区に1本だけあり、基部方向から根萌芽が1本発生していた。この他に損傷した水平根はなかった。A3区とB3区には水平根が合計81.15 mあり、損傷はなく根萌芽もなかった。

図-4 林内作業車によって損傷したニセアカシア水平根と発生した根萌芽
右側の基部方向から伸長した水平根には、作業車による傷がある（矢印）。

Fig. 4 Damages due to forestry vehicle and emerged root sucker on horizontal root of *R. pseudoacacia*. The horizontal root extending from the proximal direction on the right side is damaged by a forestry vehicle (arrows).

3.4 損傷タイプによる根萌芽の発生

水平根の損傷タイプによる根萌芽の発生状況を表-2に示す。全2m方形区にあった水平根288本のうち、両端とも損傷がなかった244本からは1本の根萌芽も発生していなかった。一方、根萌芽を有していた水平根25本のうち、24本は基部方向に損傷が認められ、特に基部方向で切断された水平根18本中17本には根萌芽が発生していた。

3.5 根萌芽発生の要因

GLM分析の結果、わだちの存在が根萌芽の発生に対して顕著に有意な影響をもたらしていた（表-3）。間伐による光条件の改善は有意な効果がなかった。一方、水平根の損傷について解析したところ、基部切断が有意な説明変数として選択され（表-4）、根萌芽は基部方向が切断された水平根から発生しやすいことが示された。

4. 考 察

ニセアカシアの根萌芽は、通常は水平根の伸長に伴い若い根から毎年恒常的に発生するといわれているが、本調査地では作業車走行による水平根の損傷によって大量に発生することが明らかとなった。ニセアカシアは根萌芽を恒常的に発生させるとともに、水平根に潜伏芽を蓄積している^{6,9)}。根の先端で作られるサイトカイニン側芽の成長を促すが、通常潜伏芽は主幹の頂芽で作られるオーキシンによる生理的な過程を通じて根萌芽への成長を抑制されている^{3,5)}。本調査地で根萌芽を発生させた水平根の多くは基部方向が切断されており（表-2）、GLMの解析において根萌芽が発生する要因として基部切断の効果が選択された（表-4）。このことは、オーキシンによる成長抑制（頂芽優勢）が遮断され、根萌芽の発生に結び付いた可能性がある^{7,21)}。先駆性樹種であるニセアカシアにとって、攪乱に伴う根萌芽の発生メカニズムを有していることは分布域の拡大に寄与している可能性が大きいものと考えられる。

表-2 全詳細調査区における損傷タイプ別の水平根の総本数
Table 2 The total number of horizontal roots in each damaged class in the minute observation plots

損傷タイプ		水平根		総本数
基部	末端	根萌芽あり		
切断	切断	1	/	2
切断	傷	1	/	1
切断	なし	15	/	15
傷	切断	1	/	1
傷	傷	6	/	16
傷	なし	0	/	3
なし	切断	0	/	1
なし	傷	1	/	5
なし	なし	0	/	244
計		25	/	288

表-3 わだち形成と間伐作業が根萌芽発生に与えた効果に関する一般化線形モデルの結果

Table 3 Results of GLM for the emergence of root suckers on rut formation and thinning operation

要因*	推定値	P
切片	-5.48	<0.0001
わだち	4.28	<0.0001
光環境	0.32	0.493

*：わだちなし、無間伐をそれぞれベースラインとした。

*：“Non-rutted” and “non-thinned” were set as baselines.

表-4 水平根の損傷が根萌芽発生に与えた効果に関する一般化線形モデルの結果

Table 4 Results of GLM for the emergence of root suckers from injury to horizontal root

要因*	推定値	P
切片	-5.49	0.006
基部の傷	2.28	0.137
基部の切断	7.62	<0.0001
末端の傷	2.74	0.112
末端の切断	0.50	0.837
水平根の長さ	0.01	0.165
水平根の直径	-0.05	0.769

*：基部の損傷なし、末端の損傷なしをそれぞれベースラインとした。

*：“Non damaged in proximal side” and “non-damaged in distal side” were set as baselines.

水平根に切断や傷が多く見られた場所は、作業車が方向転換した場所であった。クローラが横滑りするときは、金属板が地表を削り取るように数十センチメートル動く。引っ張られて切断した水平根は、さらにわきに押しやられて不自然に曲がっていたと考えられる。引き抜けたり裂けたり、また地表に近い面に図-4のような傷があった水平根も、表面を削り取るようなクローラの動きによって損傷したと考えられる。これに対して作業車が直線走行した場所では、水平根はまっすぐに伸びていてほとんど損傷していないことから、作

業車の重さだけでは根萌芽が発生するような影響は受けないと考えられる。例外として、図-2の間伐区(A)には直線走行した場所にも何本か根萌芽が発生している。作業車は地表の凹凸によって車体が前後左右に揺れながら走行することから、局所的にクローラによる圧力が強くかかり、水平根が切断して根萌芽が発生した可能性がある(図-3 A2)。

間伐作業において、作業車は本数が密なマツの間を細かく方向転換しながら集材作業を行うため、いたるところでわだちが形成される。水平根は $6.1\sim 14.2\text{ m/m}^2$ という高い密度で分布していたことから(表-1)、わだちの下で水平根が損傷するものと思われる。このことが作業車の走行後に大量に根萌芽が発生したことにつながったのではないかと考えられる。

一方、間伐による光条件の改善は、根萌芽発生に有意な効果がなかった(表-3)。Call and Nilsen²⁾も、ニセアカシアが明るさに関係なく集材路に根萌芽が発生する様子を確認している。光は根萌芽の発生に必要ではなく⁴⁾、その後の成長に重要である^{15,17)}。

このように、地表攪乱を伴う林内作業は、ニセアカシアの根萌芽の発生を促進する可能性がある。同様の作業は、間伐のほかにマツ枯れ木の除去作業においても行われており、注意が必要である。ニセアカシアが分布する林分では、集材作業による地表攪乱をできるだけ少なくするような作業方法を検討すべきである。

謝辞：本研究は秋田県森林整備課からの委託により海岸林の機能を向上させる目的で行われました。拙稿に丁寧な助言をいただいた2名の査読者と編集委員の方に心より感謝申し上げます。秋田県立大学生物資源科学部の故小林一三名誉教授、秋田県森林技術センター(当時)の故佐藤好憲部長には研究の遂行に激励をいただきました。秋田県緑化推進委員会の金子智紀氏、林業研究研修センターの長岐昭彦氏、和田覚氏、新田響平氏には原稿への助言を、当時の同センター職員、県立大学森林科学講座の学生諸氏には野外調査の補助をいただきました。

引用文献

- 1) Brodie, C., Houle, G. and Fortin, M.-J. (1995) Development of a *Populus balsamifera* clone in subarctic Quebec reconstructed from spatial analyses. *Journal of Ecology*, 83: 309-320.
- 2) Call, L.J. and Nilsen, E.T. (2003) Analysis of spatial patterns and spatial association between the invasive tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*) and the native black locust (*Robinia pseudoacacia*). *The American Midland Naturalist*, 150: 1-14.
- 3) Cline, M.G. (1991) Apical dominance. *The Botanical Review*, 57: 318-358.
- 4) Del Tredici, P. (2001) Sprouting in temperate trees: A morphological and ecological review. *The Botanical Review*, 67: 121-140.
- 5) Frey, B.R., Lieffers, V.J., Landhäusser, S.M., Comeau, P.G. and Greenway, K.J. (2003) An analysis of sucker regenera-

tion of trembling aspen. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 1169-1179.

- 6) 玉泉幸一郎・飯島康夫・矢幡久(1991) 海岸クロマツ林内に生育するニセアカシアの根萌芽の分布とその形態的特徴, 九州大学農学部演習林報告, 64: 13-28.
- 7) Hayashi, A.H. and Appezzato-da-Gloria, B. (2009) Resprouting from roots in four Brazilian tree species. *Revista de Biologia Tropical*, 57: 789-800.
- 8) 河合英二(2012) 海岸林におけるニセアカシアの問題, 水利科学, 326: 83-91.
- 9) 小泉幸代・小山浩正(2012) 河川域におけるニセアカシアの水平根からの根萌芽発生様式, 東北森林科学会誌, 17: 31-35.
- 10) Kormanik, P.P. and Brown, C.L. (1967) Root buds and the development of root suckers in sweetgum. *Forest Science*, 13: 338-345.
- 11) Kurokouchi, H. and Hogetsu, T. (2014) Fine-scale initiation of non-native *Robinia pseudoacacia* riparian forests along the Chikumagawa River in central Japan. *Journal of Ecology and Environment*, 37: 21-29.
- 12) 蒔田明史・田村浩喜・三嶋賢太郎・高田克彦・星崎和彦(2009) 海岸マツ林に広がるニセアカシア, 崎尾均編, ニセアカシアの生態学, 文一総合出版, pp. 145-159.
- 13) Masaka, K., Torita, H., Kon, H. and Fukuchi, M. (2015) Seasonality of sprouting in the exotic tree *Robinia pseudoacacia* L. in Hokkaido, northern Japan. *Journal of Forest Research*, 20: 386-395.
- 14) R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (参照: 2020年3月9日).
- 15) Roy, M.E. and Nolet, P. (2018) Early-stage of invasion by beech bark disease does not necessarily trigger American beech root sucker establishment in hardwood stands. *Biological Invasions*, 20: 3245-3254.
- 16) 崎尾均(2015) なぜハリエンジュは日本の河川流域で分布を拡大したのか?, 日本緑化工学会誌, 40: 465-471.
- 17) Stenvall, N., Haapala, T., Aarlahti, S. and Pulkkinen, P. (2005) The effect of soil temperature and light on sprouting and rooting of root cuttings of hybrid aspen clones. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 2671-2678.
- 18) 竹中昭夫(2009) 全天写真解析プログラムCanopOn2. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/> (参照: 2019年2月27日).
- 19) 田村浩喜・金子智紀・蒔田明史(2007) 小坂鉦山煙害地に造成された50年生ニセアカシア林の生育実態, 日本緑化工学会誌, 32: 432-439.
- 20) Taniguchi, T., Tamai, S., Yamanaka, N. and Futai, K. (2007) Inhibition of the regeneration of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) by black locust (*Robinia pseudoacacia*) in coastal sand dunes. *Journal of Forest Research*, 12: 350-357.
- 21) Wan, X., Landhäusser, S.M., Lieffers, V.J. and Zwiazek, J.J. (2006) Signals controlling root suckering and adventitious shoot formation in aspen (*Populus tremuloides*). *Tree Physiology*, 26: 681-687.
- 22) ヤンマー建機株式会社(2018) ヤンマー建設機械総合カタログ. https://www.yanmar.com/media/jp/2018/catalog/construction_general_201811.pdf (参照: 2020年8月14日).

(2020年10月23日 受理)