中国半乾燥地の固定砂丘上における *Artemisia ordosica* Krasch. 群落の構造に *Juniperus sabina* L. と土壌表層の環境条件が与える影響

松本哲也^{*1)}・三木直子²⁾・廣部 宗²⁾・張 国盛³⁾・王 林和³⁾・吉川 賢²⁾

1) 岡山大学農学部 Faculty of Agriculture, Okayama University

2) 岡山大学大学院環境生命科学研究科 Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

3) 中国内モンゴル農業大学 Inner Mongolia Agricultural University

摘要: 中国内蒙古自治区の毛烏素沙地において、緑化植物である落葉半灌木 *Artemisia ordosica* Krasch. の群落構造に、同じ固定砂丘上に分布する匍匐性針葉樹 *Juniperus sabina* L. と土壌表層の環境条件が与える影響について調査を行った。固定砂丘上の群落に調査区を設置し、株密度、株位置、株サイズ、結実状況を調査し、表層土壌の環境条件を測定した。その結果、両種は排他的な分布をしており、土壌表層の養分量が多く *J. sabina* と近い場所では群落の株密度と合計樹冠投影面積は小さい傾向があった。したがって、固定砂丘上では土壌表層の養分条件の差異よりも、*J. sabina* との資源を巡る競合が *A. ordosica* 群落に影響する可能性が示唆された。

キーワード: 半乾燥地, 土壌養分条件, 土壌水分条件, *Artemisia ordosica* Krasch., *Juniperus sabina* L.

MATSUMOTO, Tetsuya, MIKI, H., Naoko, HIROBE, Muneto, ZHANG, GuoSheng, WANG, LinHe and YOSHIKAWA, Ken: **Effects of *Juniperus sabina* L. and soil surface environmental conditions on stand structure of *Artemisia ordosica* Krasch. on fixed sand dune in semiarid area, China.**

Abstract: We investigated the effect of soil surface environmental conditions on the stand structure of *Artemisia ordosica* Krasch., which is a deciduous semi shrub and one of the revegetation plant in semiarid area, China. The effect of *Juniperus sabina* L., which has prostrate life-form and often distributed with *A. ordosica* was also considered. Individual density, position, size, existence of fruits, and soil surface conditions were measured. The results suggested that both species exclude with each other and the *A. ordosica* community on the fixed sand dune was influenced by the competition to get the resources with *J. sabina* rather than the nutrient conditions of soil surface.

Key words: semiarid area, soil nutrient condition, soil water condition, *Artemisia ordosica* Krasch., *Juniperus sabina* L.

1. はじめに

中国全土での砂漠化土地面積は 2,623,700 km² に及び、これは国土面積の 27.3 % にもなる¹⁾。砂漠化による生態系の劣化は周辺地域の環境劣化を引き起こすため²¹⁾、在来植物の保全とそれらを用いた緑化が必要である²⁰⁾。

砂漠化が進行している地域の一つに半乾燥地に属する毛烏素沙地がある²³⁾。毛烏素沙地には、流動砂丘、固定・半固定砂丘、灘地（湿生草地）がモザイク状に分布しており、土壌養分条件や水分条件の違いによってそれぞれ異なる植生を示している⁸⁾。

Artemisia ordosica Krasch. (中国名: 黒沙蒿, 油蒿) は、キク科ヨモギ属の半灌木である¹³⁾。固定・半固定砂丘から流動砂丘まで広く分布し、その面積は毛烏素沙地の 31.2 % (12583.7 km²) に及ぶとされている⁸⁾。*A. ordosica* は成長が速く¹³⁾、また埋砂環境下でも生育できる¹⁰⁾ことから、砂丘の安定化の過程で重要な役割を果たすと考えられ、砂丘を固

定するための緑化植物として広く用いられている⁸⁾。したがって、緑化植物として重要とされる本種の更新や成長に関わる生態学的な知見の重要性は極めて高い。

A. ordosica の群落構造に関する先行研究としては、生育する砂丘の種類（固定砂丘、半固定砂丘、流動砂丘）間で比較したものがあ⁹⁾。この研究は、*A. ordosica* 群落全体の現存量が流動砂丘から固定砂丘にかけて増加することを報告している。その違いには、0~100 cm 深の平均の土壌含水量、土壌有機物、窒素、リン酸の量が流動砂丘よりも固定砂丘で多いという水分・養分量の違いが関係している可能性を示している。

本種の成長期間および伸長成長量が、固定砂丘上では地下水面からの距離との間に明瞭な関係を示さないことが報告されている⁴⁾。また、*A. ordosica* は土壌表層に根系を持ち、主として降雨を利用していることが明らかとなっている¹²⁾。加えて、容易に不定根を発生させる性質があるため¹⁴⁾、飛砂の被覆を受けて不定根を出し、土壌表層の水分を効率よく利用していると考えられる。これらのことから、*A. ordosica* の成

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒700-8530 岡山市北区津島中 1-1-1 E-mail : a.matsumotoi@s.okayama-u.ac.jp

長に対して土壌表層の水分条件の与える影響が非常に大きいと考えられる。

土壌表層の水分の利用可能性に影響を与える要因としては、*Juniperus sabina* L. による、異なる土壌層間の水分の再分配の効果¹⁹⁾が挙げられる。*J. sabina* (中国名: 臭柏) は、*A. ordosica* と同様に、毛烏素沙地の固定・半固定砂丘上に広く自生するヒノキ科ビャクシン属の匍匐性常緑針葉樹である。本種は土壌深層に分布する主根と土壌表層に分布する不定根を持ち、地下水を効果的に利用していることが報告されている¹²⁾。特に、長期間にわたる無降雨による乾燥に対して、*J. sabina* は湿潤な土壌深層から乾燥した土壌表層へ、不定根を介した水の再分配を行っているとの報告がある¹⁹⁾。そのため、湿潤な土壌深層で吸収した水の乾燥した土壌表層への移動により土壌表層の乾燥が緩和される。また、*J. sabina* の土壌表層の水分条件以外への効果として、*J. sabina* は匍匐型の生活形であることから、防風と砂の固定効果が比較的高いといわれている¹⁶⁾。したがって *J. sabina* の被覆下では落葉落枝が供給・保持されるとともに、風成の微細粒子がトラップされることで土壌が発達する²⁾。加えて、*J. sabina* の被覆下では地表面温度が低いほか¹⁸⁾、動物による食害からパッチ内の植物を保護することも示されている¹¹⁾。以上のような効果は、土壌表層の様々な環境条件に影響を及ぼし、同じ固定砂丘上に分布する *A. ordosica* の生残や実生の更新を促す可能性が考えられる。

これまで、*A. ordosica* の群落維持メカニズムについて、流動砂丘、固定・半固定砂丘という立地条件の違いに着目した研究は見られるものの、同じ固定砂丘上に分布する *J. sabina* の影響についてはほとんど明らかになっていない。また、根系の分布から最も重要であると考えられる土壌表層の環境条件が *A. ordosica* の群落構造に与える影響についても十分には明らかになっていない。流動砂丘だけでなく、固定・半固定砂丘においても、風による侵食が容易に起こるために砂漠化の危険性が極めて高く⁸⁾、植生の保全や緑化による砂漠化の防止が重要であることから、両種が広く分布する固定砂丘上での両種の関係を明らかにすることは、在来植物を用いたより効果的な緑化手法を確立する上で極めて重要であるといえる。したがって本研究では、固定砂丘上に分布する *A. ordosica* 群落を対象として、*J. sabina* の影響を考慮した上で *A. ordosica* の群落構造に土壌表層の環境条件が与える影響について解明し、固定砂丘上に成立する *A. ordosica* の群落維持メカニズムについて明らかにすることを目的とした。

2. 調査地および調査方法

2.1 調査地

調査は中国内蒙古自治区の毛烏素沙地にある毛烏素沙地開発整治研究センター(北緯 38°18′, 東経 109°38′, 標高 1320 m)で行った。毛烏素沙地は中国内蒙古自治区の鄂爾多斯高原中央部に位置し、面積約 40,000 km² (北緯 37°~40°、

標高 1,000 m~1,500 m) の地域である⁸⁾。1960 年から 1980 年の気象データに基づいた報告⁷⁾によると、年平均降水量は 362 mm, 年平均気温は 6.4 °C (年間最高気温は 36.4 °C (7 月), 年間最低気温は -31.4 °C (1 月)) であり、半乾燥地に属する^{15), 23)}。

2.2 材料

Artemisia ordosica Krasch. (中国名: 黒沙蒿, 油蒿) は、中国の東部乾燥・半乾燥地域(内蒙古自治区, 寧夏回族自治区, 陝西省)に分布する⁹⁾ キク科ヨモギ属の半灌木であり、樹高は 50~100 cm になり、帚状の樹形を呈する¹³⁾。成長期は 5 月下旬から 9 月中旬である⁴⁾。また、成長速度が速く¹³⁾、砂の移動に強いいため、砂丘の固定のための緑化植物として広く用いられている⁸⁾。

2.3 調査方法

2.3.1 植生調査

固定砂丘内の緩やかな北向き斜面上において、*J. sabina* と同所的に分布する *A. ordosica* 群落内に 14 m×14 m の調査区を設置した。14 m×14 m の調査区を 2 m×2 m の 49 サブプロットに分割して、*A. ordosica* と *J. sabina* を対象に植生調査を行った。*A. ordosica* は、株密度と株の位置(プロット内での座標)を記録した。それに加えて、株サイズとして樹高を測定し、樹冠部の縦幅(y 軸方向)と横幅(x 軸方向)から樹冠投影面積(Crown Projection Area, CPA)を算出した。また、2005 年から 2011 年に行った追跡調査より、前年に確認されなかった株のうち、70%~85%の株の樹高が 25 cm 未満であることが確認されている(著者ら 未発表)。したがって樹高 25 cm 未満の小株のうち基部が木質化していない株を新出株、それ以外を残存株、全株のうち花序の着いている株を結実株とした。*J. sabina* は、プロット内で被覆しているパッチの縁の位置(プロット内での座標)を、x 軸側のパッチでは x 軸方向に 10 cm 間隔で、y 軸側のパッチでは y 軸方向に 10 cm 間隔で記録し、そのデータを基に画像解析ソフト(LIA32, <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/>)によって被覆度を算出した。調査は 2014 年の 8 月に行った。

2.3.2 測量

2 m×2 m のサブプロットの四隅(格子点上)の 64 点においてレーザー距離計(TruPulse360°, Laser Technology Inc., USA)を用いてプロットの原点からの比高を測定し、その値から、Yamakura *et al.* (1995) を参考に、サブプロットの傾斜角度を求めた¹⁷⁾。また、プロット近くの 1 地点で穴を掘り、地下水面から地表面までの距離を測定し、プロット内での地下水位が一定であると仮定した上で、各点の比高から地下水面からの距離を算出した。調査は 2014 年 8 月に行った。

2.3.3 土壌の電気伝導度

土壌の塩類濃度の指標として電気伝導度(Electro Conductivity, EC)を測定した。2 m×2 m のサブプロットの四隅(格子点上)において、表層の有機物層を除いた表層土壌を 100 cc の土壌カラムを用いて採取し、そのうち約 50 g

図-1 調査区における樹冠投影図 円形は *A. ordosica* の樹冠、網掛け部分は *J. sabina* のパッチを示している。また、実線で囲んだ場所が一般化線形モデル解析に用いたサブプロットである。

Fig. 1 The tree crown projection diagram in the study plot. Circle and the shaded part show the crown projection area of *A. ordosica* and the patch of *J. sabina*, respectively. The surrounded area by solid line is subplot which is used in this GLM analysis.

を実験室に持ち帰った。室内で数日間自然乾燥させた後、40℃の強制対流式乾燥機 (DO-600FA, アズワン株式会社, 日本) で2日間乾燥させ、風乾土壌試料とした。その風乾土壌5gに対しイオン交換水25mlを加えて1時間攪拌し、電気伝導度計 (CONDUCTIVITY METEERES-14, 堀場製作所, 日本) を用いて測定した。試料の採取は2014年8月に行った。

2.3.4 土壌の含水率

2m×2mのサブプロットの四隅 (格子点上) において、土壌水分計 (Theta Probe ML 2x, Delta-T Devices Ltd, U.K.) を用いて土壌の体積含水率を測定した。なお、測定は *A. ordosica* が水分を利用すると考えられ¹²⁾、*J. sabina* の不定根が多く分布する深さ15~20cm¹²⁾で行った。測定に当たっては、根堀りを用いて地表面から15cm深の穴を掘り、その位置から下向きにセンサを挿入することで測定した。測定は2014年8月に行った。

2.3.5 土壌の養分含有率

ECの項 (2.3.3) で述べた風乾土壌試料から大小の有機物を取り除いた後、5gを計り取り、乳棒と乳鉢を用いて粉砕した。その粉砕試料を用いて全炭素量、全窒素量を測定し、全炭素含有率と全窒素含有率を算出した。分析にはCNコード

図-2 調査区における各株の分布 図内の曲線は *J. sabina* のパッチ縁を示している。

Fig. 2 The distribution pattern of *A. ordosica* individuals in the study plot. The curved line shows the edge of *J. sabina* patch.

(MT-700, ヤナコ分析工業, 日本) を用いた。

2.3.6 統計解析

A. ordosica, *J. sabina* それぞれの、また両種間の空間分布の解析には、座標が既知の個体数データを区画法により空間解析を行う手法である SADIE を用いた (SADIEShell ver. 1.22, <http://home.cogeco.ca/~sadiespatial/index.html>)。その際、個体の識別の困難な *J. sabina* に関しては、被覆度0%を0, 0-25%を1, 25-50%を2, 50-75%を3, 75-100%を4として評価した。

A. ordosica 群落の個体群の構造に土壌表層の環境条件と *J. sabina* が与える影響については一般化線形モデル (Generalized Liner Model, GLM) を用いて解析した。*A. ordosica* と *J. sabina* は排他的な分布をすることが認められたため、*J. sabina* の被覆度が80%を上回るサブプロットは解析から除外した (図-1)。また、各説明変数間で多重共線性が生じるのを防ぐために主成分分析を行い、土壌環境、*J. sabina* からの距離、地下水面からの距離、そして傾斜角度などの変数を2つの主成分に縮約し (表-1)、モデル解析の説明変数として用いた。モデル選択には赤池の情報量基準 (Akaike's Information Criterion, AIC) を基準とした変数減少法による変数選択を行った。主成分分析と GLM には統計ソフト (R x64 3.1.2, <http://www.r-project.org/index.html>) を使用した。株密度の応答変数の確率分布は負の二項分布を仮定し、対数リンク関数を用いた。サブプロットごとの合計

図-3 調査区内の土壌表層の環境条件 図内の曲線は *J. sabina* のパッチ縁を示している。

Fig. 3 The soil surface environment conditions in the study plot. The curved line shows the edge of *J. sabina* patch.

表-1 主成分分析の結果

Table 1 Results of principal component analysis

	第1主成分	第2主成分
土壌全炭素含有率	-0.39	-0.43
土壌全窒素含有率	-0.39	-0.43
土壌含水率	-0.30	0.38
土壌電気伝導度	-0.43	-0.24
<i>J. sabina</i> からの距離	0.43	-0.23
地下水面からの距離	0.43	-0.26
傾斜角度	0.21	-0.55
累積寄与率	0.59	0.84

CPA と平均株サイズ (平均 CPA, 平均樹高) の応答変数の確率分布はガンマ分布を仮定し, 対数リンク関数を用いた。また, ガンマ分布は 0 よりも大きな値をとるため, 株の存在しないサブプロットの合計 CPA と平均株サイズ (平均 CPA, 平均樹高) については Itô and Hino (2008) を参考に 0.1 を代入して解析を行った⁵⁾。

3. 結果

3.1 *A. ordosica* および *J. sabina* の調査プロット内の分布

A. ordosica の各株のプロット内での分布および *J. sabina* のパッチによる被覆を図-1 と図-2 に示す。全株については, 北西側の *J. sabina* によって全面的に被覆を受けているサブプロットでは生育が確認出来なかった (図-1, 図-2 (a))。その一方で, 北東側の *J. sabina* によって被陰されているサブ

プロット内の 3 箇所では計 10 株の生育が認められた。全株, 新出株では南側の *J. sabina* から最も離れた場所で株数が最多だった (図-2 (a), (b)) が, 残存株, 結実株では必ずしもそのような傾向は見られなかった (図-2 (c), (d))。

SADIE を用いて分布様式を解析した結果, *A. ordosica* ($I_a = 1.99, P < 0.05$) も *J. sabina* ($I_a = 2.51, P < 0.05$) も有意に集中的な分布を示していた。また, 両種は有意に排他的な分布をしていた ($X = -0.66, P < 0.05$)。

3.2 土壌条件

図-3 に本調査地の土壌表層の環境条件を表す各変数のサブプロット別の分布を示す。全炭素含有率, 全窒素含有率, 土壌含水率, 土壌電気伝導度についてはいずれも北西側で値が高い傾向があったが, *J. sabina* の被覆の少ない場所間では比較的差は小さかった。地下水面からの距離は北側で値が低い傾向がみられた。その一方で, 傾斜角度に関しては南側でやや高い傾向が見られた。

3.3 主成分分析の結果

土壌表層の環境条件に影響を与えられとされる 7 つの変数について主成分分析を行った (表-1)。その結果, 変数全体をどれだけ説明しているかを示す累積寄与率が第 1 主成分と第 2 主成分で 84 % に達していたため, GLM による解析には第 1 主成分と第 2 主成分を用いた。また, 第 1 主成分では全炭素含有率, 全窒素含有率, 土壌電気伝導度, *J. sabina* からの距離と地下水面からの距離の係数が高かった。したがって, 第 1 主成分は土壌養分条件と *J. sabina* の影響を代表する変数とした。同様に, 第 2 主成分は傾斜角度の影響を代表

表-2 一般化線形モデルによる解析結果

Table 2 Results of GLM analysis

応答変数	推定された係数±（標準誤差）			切片	応答変数の分布	リンク関数
	第1主成分	第2主成分				
全株						
株密度	1.71 **	±(0.57)		6.04 ***	±(1.14)	負の二項分布
合計CPA	0.34 **	±(0.12)		9.07 ***	±(0.23)	ガンマ分布
平均CPA	0.19 n.s.	±(0.10)		7.48 ***	±(0.21)	ガンマ分布
平均樹高	0.11 n.s.	±(0.07)		3.27 ***	±(0.13)	ガンマ分布
残存株						
株密度	0.22 **	±(0.08)		1.25 ***	±(0.16)	負の二項分布
新出株						
株密度				0.78 n.s.	±(0.47)	負の二項分布
結実株						
株密度	0.18 *	±(0.08)		0.38 *	±(0.18)	負の二項分布

n.s.: $P \geq 0.05$, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$

する変数とした。

3.4 GLM による影響解析の結果

サブプロットにおけるそれぞれの株密度について GLM で解析した結果を表-2 に示す。全株、残存株、結実株の株密度は、*J. sabina* あるいは地下水面からの距離が近く、土壤養分量が高い場所で低い傾向があった。全株の合計 CPA についても同様の傾向があったが、株サイズについては有意な影響はなかった。いずれの株においても傾斜角度による影響は認められなかった。また、新出株の株密度では今回考慮した環境要因による影響は認められなかった。

4. 考察

SADIE による空間分布解析の結果、*A. ordosica* と *J. sabina* は互いに排他的に分布することが明らかとなった。*J. sabina* は密な樹冠を形成する¹⁶⁾ことから、*J. sabina* の樹冠下では十分な光を得られないことや、定着や成長が物理的に制限されることが *J. sabina* の樹冠下に *A. ordosica* の分布がほとんど認められない原因であると考えられた。

土壤表層の環境パラメータを用いた主成分分析によって、*J. sabina* からの距離の近い場所では土壤養分量が高いという結果が得られた(表-1)。*J. sabina* は地表面に落葉落枝を供給するとともに匍匐型の生活形によってそれらが風によって散逸するのを防ぐため、その樹冠下では土壤養分量が多いことが知られている²⁾。したがって、本研究の調査区においても、*J. sabina* の周辺で土壤養分量が相対的に高い傾向を示したものと考えられた。

砂丘タイプ間での群落構造を比較した先行研究では、流動砂丘から固定砂丘にかけて全窒素含有率の平均値は 0.01 % から 0.04 % まで増加し、それに伴って *A. ordosica* 群落の現存量も増加したことから、流動砂丘や固定砂丘といった砂丘の種類の間では、養分量が多いほど現存量が大きいことが報告されている⁹⁾。しかし、今回 *J. sabina* による被覆がほぼ

認められない場所において GLM を用いて影響解析を行ったところ、*J. sabina* のパッチ縁からの距離と地下水面からの距離が近く、土壤養分量が高い場所で *A. ordosica* の株密度と合計 CPA が小さい傾向が見られた(表-2)。そのため、本調査地では、土壤養分量の違いよりも *J. sabina* 群落からの距離が *A. ordosica* の株密度と合計 CPA により強く影響を及ぼしている可能性が考えられた。

J. sabina からの距離が離れるほど *A. ordosica* の株密度と合計 CPA が大きくなる要因として、土壤水分などの資源を巡る競争がある可能性がある。*J. sabina* は、乾燥条件下で湿潤な土壤深層から乾燥した土壤表層へ水を再分配することで、土壤表層の乾燥を緩和することが知られている¹⁹⁾。そのため、*A. ordosica* の株密度などの群落構造に正の影響を及ぼすことが予想されたが、今回の結果からはそのような効果は認められなかった。このことは、水の再分配はあくまでも個体内、あるいは種内での効率的な水利用に寄与するものであり、他種の生育に影響しない可能性を示唆しているのかもしれない。あるいは他の要因としては、*Juniperus* 属の幾つかの種において他感作用が確認されている^{3), 6), 22)}ことから、*J. sabina* の生産する *A. ordosica* の成長を阻害する物質の影響の可能性もあるのかもしれない。一方で、今回の GLM による影響解析では解析対象外であるが、*J. sabina* の密な被覆のあるサブプロットのうち、6 箇所では僅かながら *A. ordosica* の生育が認められ、特に 1 箇所では、新出株が 4 株確認された。上述の通り、*J. sabina* と *A. ordosica* は資源を巡った競合関係にあると考えられる。しかし、新出株のような資源要求量の少ない生育ステージでは、*J. sabina* による砂の移動の防止効果¹⁶⁾や、土壤表層の乾燥の緩和効果¹⁹⁾などによって、*A. ordosica* の生育は妨げられない可能性が考えられる。

今回の解析結果は固定砂丘上の比較的小さなスケールでの解析結果であることから、今後、これらの影響の可能性を考慮した上で、固定砂丘・半固定砂丘上のより広域的スケールで

の調査、解析を行うことにより、両種の関係をより明確に評価する必要があるだろう。緑化植物として重要な両種の関係を明らかにすることは、環境収容力を考慮した在来植物によるより持続的な乾燥地緑化の実現に繋がるものと考えられる。

謝辞：本研究では現地調査において、毛烏素沙地開発整治研究センターの皆様、岡山大学、和歌山大学の学生の皆様に多大なるご協力を頂いた。この場を借りて本研究に関わられた皆様に対して厚くお礼申し上げる。また本研究は、JSPS 科研費若手研究 (B) (25850107) の助成を受けた。なお、分析に供した土壌は農林水産省指令 26 神植第 473 号により輸入許可を受けた。

引用文献

- 1) 中国国家林业局. (更新: 2011年7月18日) “2011中国林业基本状况”. 中国 国家 林 业 局 ホ ム ペ ー ジ . <http://www.forestry.gov.cn/main/3308/content-499030.html> (参照: 2015年3月4日).
- 2) Hirobe, M., Ohte, N., Karasawa, N., Zhang, G. S., Wang, L. H. and Yoshikawa, K. (2001) Plant species effect on the spatial patterns of soil properties in the Mu-us desert ecosystem, Inner Mongolia, China. *Plant and Soil*, 234: 195-205.
- 3) Horman, C. S. and Anderson, V. J. (2003) Understory species response to Utah juniper litter. *Journal of Range Management*, 56: 68-71.
- 4) 石井 義朗・李 王霊・斯 慶図・坂本 圭児・王 林和・吉川 賢 (2003) 毛烏素沙地に生育する5種類の植物のフェノロジーについて. *日本緑化工学会誌*, 29 (1): 85-90.
- 5) Itô, H. and Hino, T. (2008) Effects of deer and mice on seedling survival in a temperate mixed forest of Japan. *Forest Ecology and Management*, 256: 129-135.
- 6) Jameson, D. A. (1966) Pinyon-juniper litter reduces growth of blue grama. *Journal of Range Management*, 9: 214-217.
- 7) 神近牧男・山本太平 (1986) 中国毛烏素沙漠における自然環境について—二、三の気象・土壌特性—. 鳥取大学砂丘研究所報告, 25: 27-35.
- 8) 小林達明 (1994) 中国ムウス砂地の緑化植物の生態と水分生理に関する研究. 千葉大学園芸学部学術報告, 48: 329-381.
- 9) Li, C. P. and Xiao, C. W. (2007) Above- and belowground biomass of *Artemisia ordosica* communities in three contrasting habitats of the Mu Us desert, northern China. *Journal of Arid Environments*, 70: 195-207.
- 10) Li, S. L., Zuidema, A. P., Yu, F. H., Werger, J. A. M. and Dong, M. (2010) Effects of denudation and burial on growth and reproduction of *Artemisia ordosica* in Mu Us sandland. *Ecological Research*, 25: 655-661.
- 11) Ning, L., Liu, C. X., He, W. M. and Yu, F. H. (2013) Interaction of the indigenous evergreen shrub *Sabina vulgaris* with coexisting species in the Mu Us sandland. *Journal of Plant Ecology*, 6 (1): 48-56.
- 12) Ohte, N., Koba, K., Yoshikawa, K., Sugimoto, A., Matsuo, N., Kabeya, N. and Wang L. (2003) Water utilization of natural and planted trees in the semiarid desert of inner Mongolia, China. *Ecological Applications*, 13 (2): 337-351.
- 13) 徳岡正三・金 常元 (1989) 中国内蒙古の毛烏素沙地開発整治研究センター東試験地における植物目録. 京都府立大学農学部演習林報告, 33: 31-43.
- 14) 徳岡正三 (2001) 中国の半乾燥地の緑化に用いられるアブラヨモギ (*Artemisia ordosica*) について (I) 枝上にみられる突起とさし木の発根. 高知大学農学部演習林報告, 28: 17-22.
- 15) United Nations Environment Programme (1997) World atlas of desertification (2nd). Arnold, 182pp.
- 16) 温 国勝・王 林和・吉川 賢 (2002) 中国半乾燥地に生育する臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) の生理的特性と生態的特性. *日本緑化工学会誌*, 27 (3): 526-532.
- 17) Yamakura, T., Kanzaki, M., Itoh, A., Ohkubo, T., Ogino, K., Chai, O. K. E., Lee, H. S. and Ashton P. S. (1995) Topography of a large-scale research plot established within a tropical rain forest at Lambir, Sarawak. *TROPICS*, 5 (1/2): 41-56.
- 18) 山中典和・王 林和・吉川 賢 (2000) 中国内蒙古毛烏素沙地における臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) 更新場所の微環境. *日本緑化工学会誌*, 25 (4): 437-442.
- 19) Yang, L., Miki, N. H., Matsuo, N., Zhang, G., Wang, L. and Yoshikawa, K. (2014) Contribution of adventitious roots to water use strategy of *Juniperus sabina* in a semiarid area of China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, A 4: 251-259.
- 20) 姚 洪林 (1986) 「治砂造林学」と中国砂漠の緑化. *緑化工技術*, 11 (3): 26-29.
- 21) 吉川 賢 (2009) 乾燥地の土地利用と砂漠化. 黄砂対策植生回復技術マニュアル(砂漠化対策と乾燥地の緑化技術), 47-71. 財団法人 国際緑化推進センター, 65pp.
- 22) Young, G. P. and Bush, J. K. (2009) Assessment of the allelopathic potential of *Juniperus ashei* on germination and growth of *Bouteloua curtipendula*. *Journal of Chemical Ecology*, 35: 74-80.
- 23) Zha, Y. and Gao, J. (1997) Characteristics of desertification and its rehabilitation in China. *Journal of Arid Environments*, 37: 419-432.

(2015.6.26 受理)