

東日本大震災により生じた荒廃地の有効利用に関する研究

—宮城県亶理町砂質土壌における早生ヤナギの成長と水分挙動の解明—

石川祐一¹, 佐藤萌¹, 早川敦¹, 栗本康司², 杉本英夫³, 青木雄二³, 日高伸¹

¹ 秋田県立大学生物資源科学部生物環境科学科

² 秋田県立大学木材高度加工研究所

³ 株式会社大林組技術研究所

東北地方太平洋沖地震により発生した荒廃地を農業生産以外の方法で有効利用する方法として、成長の速い早生ヤナギを用いたバイオマス資源生産に着目し、バイオマス原料としての生産が可能かどうか栽培試験を行った。宮城県亶理町の津波被害地である砂質圃場において、早生ヤナギ4系統(以下、KKD, FXM, SEN, HB471)を用いて試験を行った。処理区としてマルチ施用区・無施用区を設定し、栽培期間中にテンシオメーターによる土壌水分の連続測定を行うと共に、土壌硬度分布の測定および採取した土壌の理化学性を分析した。その結果は以下の通りである。1) 系統別ではFXM系統の樹高が高い傾向となりこれまでの知見とは異なる傾向であった。FXM系統は砂質土壌の栽培にはより適していることが示唆された。2) マルチの施用で成長が顕著に異なったことからマルチ施用は必要である。その効果として、雑草の抑制、土壌水分の保持、溶脱の防止が考えられた。3) 砂質土壌においては、耕盤層に匹敵する土壌硬度や少ない有効水分量のために成長量は既存の圃場の47.0%(SEN)~65.6%(FXM)であった。バイオマス生産性の向上には土壌物理性の改善が必要である。

キーワード: 東日本大震災対応, 早生ヤナギ, バイオマス生産, エゾノキヌヤナギ, ホソバコウリュウ, オノエヤナギ

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震は、青森県から千葉県までの沿岸6県において生活空間、公共交通機関、産業基盤に甚大な被害を与えた。中でも宮城県の被害面積は約15,000haと、最も被害が大きかった東北地方には被災農地の97%(水田1万9521ha, 畑地332ha)が集中し、そのうちの66%が宮城県に分布した(菅野, 2012)。被害の甚大であった一部の地域ではいまだ復旧のめどはたっていない。宮城県亶理町は水はけのよい砂質土壌が広がり、イチゴ栽培に適した地域である。隣町の山本町とともに「東北一のイチゴの生産地」と呼ばれ、年間5450tの生産量を誇っていた(東北農政局統計部, 2012)。震災の津波被害により、いちご農地の多くは土耕栽培から施設栽培へと移行した。そのことで、重油などの資材や設備等にコストがかかるなどの問題が生

じている。

こうした、農地として利用することができなくなった土地の荒廃化を防ぐためにも、農業生産以外の方法で有効利用することが肝要である。その方法の一つとして、バイオマス資源作物を用いた土地利用に着目し、バイオマス資源作物としてこれまで筆者らが用いてきた早生ヤナギを対象とした(Ishikawa et al., 2014)。また、現地在砂質土壌であることから、水分保持のためにはマルチ等の土壌水分保持技術が必要と予想される。

このような背景から、本研究では、宮城県亶理圃場でヤナギ栽培試験を行い、生育調査と土壌水分変動調査から、東日本大震災による津波の影響で生じた荒廃地へのヤナギの有用性を評価することを目的とした。

材料および方法

圃場概要

試験地は宮城県南東部の太平洋沿岸に位置する宮城県亶理町のキノコ工場跡地である（図 1）。北緯 38°02′, 東経 140°54′に位置し, 圃場面積は 612m²で, 土質は表層・下層ともに砂質土である(砂 94.8±3.7%, シルト 3.9±2.7%, 粘土 1.3±1.0%)。試験地は津波浸水範囲に含まれている。

供試植物

本研究では, 早生ヤナギであるエゾノキヌヤナギ (*Salix pet-susu*) (系統名 KKD, HB471), オノエヤナギ (*S. sachalinensis*) (系統名 SEN), ホソバコウリュウ (*S. pseudolinearis*) (系統名 FXM) の 3 品種 4 系統のヤナギを供試した。これらのヤナギは, 本学フィールド教育センターおよび大仙市内圃場にて栽培されていた個体から 2015 年 2 月 26 日に採取した。採取後, 30cm 程度に切断し, 定植するまで 4℃にて保存した。

栽培条件

2015 年 4 月に高度化成肥料 N-P₂O₅-K₂O 各 10-10-10 g/m² を全面に施用し, 30 cm まで全層混和した。4 月 28 日に挿し木 (個体長 30cm, 地上部 10cm) により 4 系統各 144 本ずつ, 計 720 本を植栽した。畝幅 140cm, 株間 50cm とし, 植栽密度 1,100 本/10a とした。処理区として, 除草用黒マルチ (0.02cm) 施用区, 無施用区, 非植栽地である裸地を設けた (以下, マルチ有区, マルチ無区, 裸地)。マルチ有区, マルチ無区で各系統 8~10 本を 2 列ずつ, 乱塊法にて植栽した (計 4 連)。また 2015 年 5 月 28 日に補植を行った。

生育調査

2015 年 5 月 28 日, 8 月 7 日, 9 月 18 日, 11 月 17 日に生育調査および生存調査を行った。生育調査では樹高の測定を行い, 生存調査では系統ごとに, 枯死した個体と生存している個体を調べ, 調査個体のうちの生存個体数の割合から生存率を求めた。また



図 1 圃場の位置図 (北緯 38° 02′, 東経 140° 54′)。図中, 三角で示した場所に圃場が位置する。国土地理院の電子地形図(タイル)から筆者改

根の分布について、既往の県内圃場も含め 2015 年 11 月～2016 年 1 月に根圏調査を行った。

土壌水分の測定

土壌水分の測定にはテンシオメーター（大起理化製 DIK-3023）を用いた。各処理区の畝間にプローブを深度 10-50 cm（10cm 間隔）にて埋設した。2015 年 8 月 7 日から太陽電池パネルによる給電を行い、1 時間ごとに自動測定した。水分張力（kPa）の変換にはデータコンバータソフト（大起理化製 DIK-9411）を用いた。結線やプローブの不具合がなく、安定してデータが得られた 2015 年 9 月 16 日～2015 年 11 月 17 日のデータを解析に供した。

土壌化学性の測定

2015 年 9 月 18 日および 12 月 14 日にマルチ有区、マルチ無区、裸地の各畝間において深度 5~30 cm（それぞれ、深度 5cm, 10cm, 20cm, 30cm）から土壌を採取した。採取した土壌は風乾後、2mm のふるいで篩別し、分析に供した。

分析は pH をガラス電極法で、電気伝導度（EC）を pH 計（LAQUA F-74BW HORIBA）に附属の電気伝導度計で、交換性カリウムを酢酸アンモニウム抽出後炎光光度法で、可給態リン酸をトルオーグ法で、全窒素を炭素・窒素自動分析計（住化製 NC-22F）で測定した。

土壌硬度分布

土壌硬度は 2015 年 11 月 17 日に、各処理区の畝間地点で土壌硬度計（大起理化製 DIK-5521）を用いて地下約 50cm までの貫入抵抗を測定した。

結果

ヤナギの生育

4 月の定植時には 10cm であった樹高は両処理区、全系統において 8 月までは急激に、その後緩慢な増加傾向を示した（図 2）。2015 年 11 月時点のヤナギの樹高は、マルチ有区で 86~131 cm、マルチ無区で 33~40 cm と、マルチの有無で成長に有意な差がみられた。

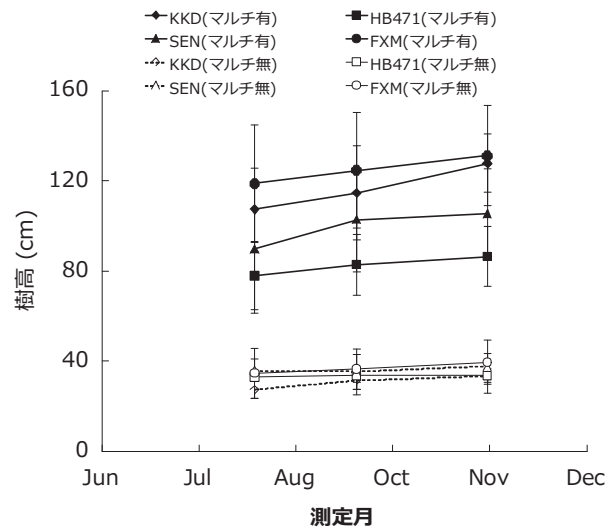


図 2 ヤナギ 4 系統の樹高の変化 (n=4)

平均値±標準偏差。◆◇は KKD 系統，■□は HB471 系統，▲△は SEN 系統，●○は FXM 系統を示し，黒塗りはマルチ有区を白塗りはマルチ無区を示す。

系統別では FXM の樹高が高い傾向を示した（表 1）。これまでの県内圃場での生育試験では、KKD の生育が最大という傾向がみられたが、それとは異なる結果となった（佐藤, 2013, 中川, 2014）。また、大仙市圃場定植後 1 年目の樹高（中川, 2014）と比較すると、本結果の樹高はそれぞれ 58.1%（KKD）、48.0%（HB471）、47.0%（SEN）、65.6%（FXM）となった。

表 1. ヤナギ 1 年目の樹高 (m)

系統	測定日時 圃場 土壌	2015/11/17	2011/11/23 *	2013/12/12**
		宮城県亶理町 砂質土	秋田県大湯村 灰色低地土	秋田県大仙市 灰色低地土
KKD		1.3±0.1	2.7±0.5	2.2±0.1
HB471		0.9±0.1	1.8±0.5	1.8±0.1
SEN		1.1±0.2	2.2±0.5	2.2±0.2
FXM		1.3±0.2	2.1±0.4	2.0±0.2

平均値±標準偏差。*佐藤(2013), **中川(2014)より改変。

土壌水分の変化

土壌水分の変動を図 3 に示した。土壌水分張力は負の値で示され、値が小さいほど乾燥傾向を示す（松中, 2003）。2015/9/16~10/4 におけるマルチ有区の水分張力は、深度 20cm において最大で -38.4 kPa と、

マルチ無区と比較して乾燥が進む傾向にあった反面、降雨後に急激に上昇する傾向も見られた。一方でマルチ無区では深度 10、20cm とともに 0~-5kPa の値で安定していた。また、筆者らが 2014 年に予備的に大仙市で行った同様の土壤水分測定結果を図 4 に示す。図 3、4 とともに乾燥時の水分張力は、約-40kPa と同程度であった。

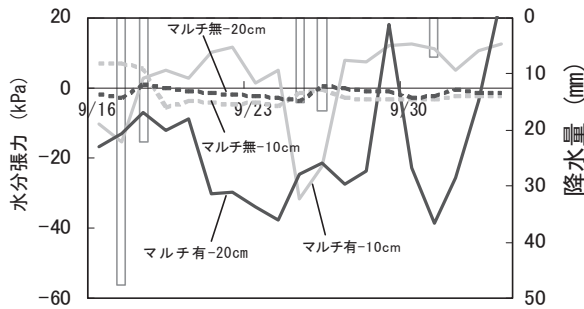


図3 2015年9月16日～10月6日における土壤水分の変化

折れ線で示した水分張力(kPa)は左軸、棒で示した降水量(mm)は右軸。水分張力はマルチ有区が実線でマルチ無区が破線で、深度10cmを淡色で深度20cmを濃色で示した。

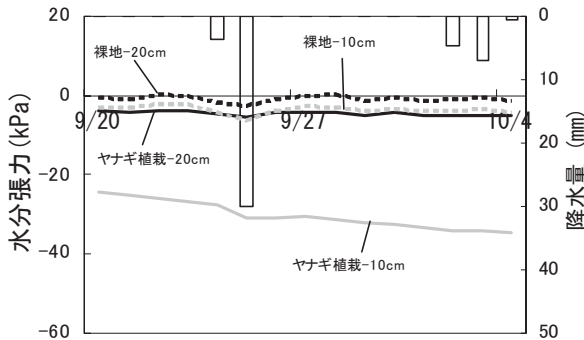


図4 2014年9月20日～10月4日における秋田県大仙市圃場での土壤水分の変化(石川, 未発表)

折れ線で示した水分張力(kPa)は左軸、棒で示した降水量(mm)は右軸。水分張力はマルチ有区が実線でマルチ無区が破線で、深度10cmを淡色で深度20cmを濃色で示した。

土壌硬度分布

深度 30cm までの土壌硬度分布を図 5 に示した。いずれの区においても土壌深度が深くなるにつれて貫入抵抗は大きくなる傾向が見られた。マルチ有区

で土壌硬度はもっとも高く推移し、深度 20cm で 4.9MPa と最大の硬度を示した。

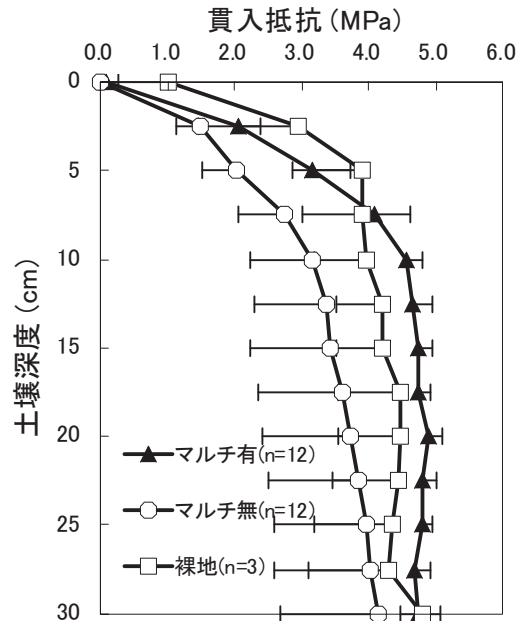


図5 処理区間の土壌硬度分布の比較
マルチ有区 (n=12), マルチ無区 (n=12), 裸地 (n=3) の平均値。エラーバーは標準偏差を示す。

土壌養分

土壌養分の深度別分布を図 6 に示した。EC は深度で比較すると、マルチ有区の深度 5cm で最大の 18.6mS/m を示し、深度 30cm では 5.3mS/m であった。他の処理区においても同様に、EC と全窒素に関しては深くなるにつれて小さくなる傾向がみられた。処理区別で比較すると、EC はマルチ無区で 14.5mS/m と、やや低くなる傾向がみられた。

全窒素も EC と同様に、深度 5cm で最大の 46.3mg/100g を示したのに対し、深度 30cm では 27.0mg/100g と深くなるにつれて小さくなる傾向がみられた。また処理区間で比較すると、マルチ無区で 39.7mg/100g と低くなった。

カリウムについては、マルチ有区の深度 5cm で 6.9mg/100g、深度 30cm で 2.8mg/100g と、深度方向にやや減少する傾向がみられ、処理区間の比較ではマルチ無区で最も低くなった。

可給態リンについてもカリウムと同様にマルチ有区の深度 5cm で 12.3mg/100g、深度 30cm で 8.0mg/100g と、深度方向にやや減少する傾向がみ

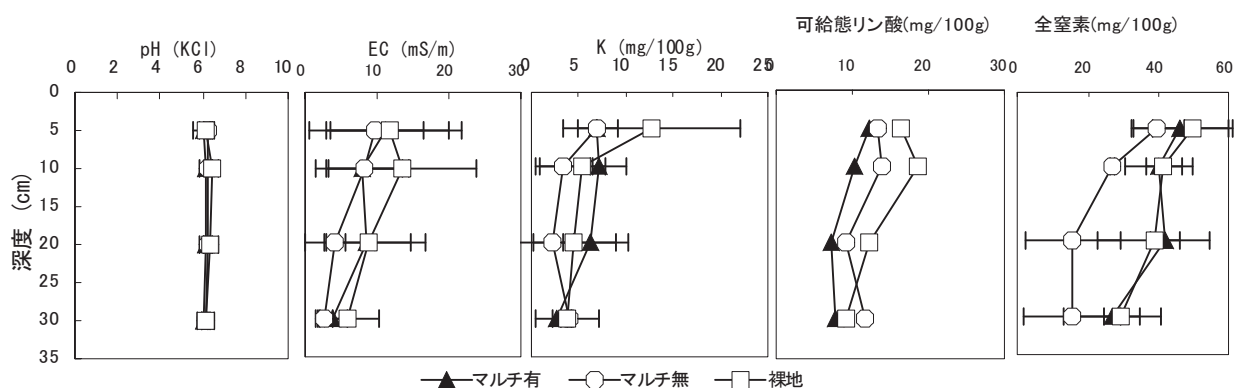


図6 主な土壌理化学性の深度分布

られた。処理区間の比較ではマルチ有区で最も低くなった。

考察

ヤナギの生育差

系統別では FXM の樹高が最も高い傾向となりこれまでの知見とは異なる傾向であった(表 1)。Mitsui et al. (2010) は、黒ボク土の荒廃農地での試験で KKD の生育が最大で FXM がそれに続いたことを報告している。大潟村圃場(佐藤, 2013)や大仙市圃場(中川, 2014)は灰色低地土であったことから水分保持力の高い土壌では KKD が卓越するが、本試験のような砂質土での栽培は FXM がより適している可能性が考えられた。

ヤナギの生育に及ぼすマルチの効果

土壌水分を保持する簡便な方法の一つとして考えられるのが、マルチ施用である。マルチは土の表面を有機物やポリエチレンフィルムなどで覆う技術の総称であり、マルチの一般的な効果としては、地温の上昇、土壌水分の保持、雑草の防除、肥料養分溶脱防止、土壌浸食防止などが挙げられる(デュアンパン, 2002)。本研究では土壌水分の保持、雑草の防除、肥料養分の溶脱防止の効果に着目し、マルチ施用により砂質土においてもヤナギの十分な生育が可能か検討するため実験を行った。

マルチ有区と比較して、マルチ無区では雑草の繁茂が多かった。挿し木時の樹高(約 10cm)と比較し

てわずか 23~30cm 程度の成長しかなかった(図 2)。現地圃場で定期的に除草を行ったが、夏季には除草が間に合わず、雑草の繁茂による影響が示唆された。これらのことからマルチ施用は雑草の防除には顕著な効果があったと推測される。

土壌水分の変化に及ぼすマルチの影響

マルチ有区深度 10cm では降雨後に 0kPa を越えることから飽和容水量に近い状態で推移していることが推測される(図 3)。このことからマルチ施用が土壌水分の確保に効果があったと考えられる。深度別でみると、マルチ有区では深度 20 cm での水分変動が大きく乾燥が進む傾向が見られたことから、マルチ有区では、ヤナギ根の侵入している深度 20 cm でヤナギによる吸水がより活発に行われていることが示唆された。

図 3(本試験圃場, 砂質土壌)と図 4(大仙市圃場, 灰色低地土)を比較すると図 3 の方が土壌水分張力の変動が急激である。砂土と埴土では同一の土壌水分張力(マトリックポテンシャル)でも体積水分率に大きく差があることが知られている(松中, 2003)。よって、おおよそ 0~-40kPa で 2 圃場とも推移したものの同一水分張力でも植物の利用できる有効水分量が異なっていたことが示唆され、そのために両圃場で生育に違いがみられたと推測された。

土壌硬度の影響

貫入抵抗はいずれの区においても深度 10cm 以深で顕著に大きくなった(図 5)。中津ら(2004)は

貫入抵抗が 1.5MPa で耕盤層と判断できると報告していることから、本圃場の根圏域は耕盤層に匹敵する土壌硬度分布になっていたと推測できる。根系発達の良否は地上部の成長に強く影響することから（伊藤ら, 2015）、根の伸長阻害が生育に負の要因になったことが示唆された。

土壌養分

土壌 EC は、9.8mS/m（マルチ無区）～11.7mS/m（裸地）と、日本における水稻の除塩目標値約 76mS/m（農村振興局, 2011）を下回っていた（図 6）。

カリウムや全窒素はマルチ無区で減少が著しく、反対にリンはマルチ有区で最も少なくなった。定植初年目は地下部の成長のために窒素肥料よりもむしろリン・カリが重要である（北海道開発局, 2010）ことから、リンが積極的に吸収されたと推測される。一方で、マルチ無区でカリウムの減少が著しかったのは溶脱が卓越したものと考えられた。

現地での観測で、秋季の葉の黄変が早かったことから、土壌中の養分欠乏が生じていることが危惧された。しかしながら、2年目にあたる 2016 年 4 月には順調に当年枝の成長が観察されたことから土壌養分の不足よりも土壌水分不足が早期の黄変の原因と推察している。

津波被害地でのヤナギの生育の評価

既往の圃場との比較で、本試験での生育結果は大仙市圃場定植後 1 年目樹高の 47.0%（SEN）～65.6%（FXM）となった（表 1）。大仙市圃場の収量は約 7.28（FXM）～12.16（KKD） Mg D.W./ha/2 年であった（石川ら, 投稿中）。このまま同様の成長曲線に沿って成長すると仮定すると、2 年栽培後の収量は 3.43～7.06Mg D.W./ha/2 年と予測される。バイオマス生産の目標は 10Mg D.W./ha/年とされており（北海道開発局, 2010）、さらなる生産性の向上が必要である。岩田ら（2014）は、砂質土壌にバイオ炭を 1～5%（重量比）混入することで有効水分が有意に増加することを示している。このような資材の混合を今後検討する必要があるだろう。

結論

宮城県亘理町の津波被害地において、バイオマス原料としての利用を目的に早生ヤナギ 4 系統の栽培試験を行った。その結果は以下の通りである。

1) 系統別では FXM 系統の樹高が高い傾向となりこれまでの知見とは異なる傾向であった。FXM 系統は砂質土壌の栽培にはより適していることが示唆された。

2) マルチの施用で成長が顕著に異なったことからマルチ施用は必要である。その効果として、雑草の抑制、土壌水分の保持、溶脱の防止が考えられた。

3) 砂質土壌においては、耕盤層に匹敵する土壌硬度や少ない有効水分量のために成長量は既存の圃場の 47.0%（SEN）～65.6%（FXM）であった。土壌物理性の改善が必要である。

文献

- アチャナ デュアンパン, 鈴木晴雄, 中西景子, 奥田延幸, 松井年行, 藤田幸廣 (2002). 「作物の植被型がフィルムマルチ下地温に及ぼす影響」『農業気象』58 (1), 23-32.
- 北海道開発局 (2010). 「北海道におけるヤナギ栽培マニュアル」.
- Ishikawa, Y., Sato, S., Kurimoto, Y., Yamada, H., Hayakawa, A., & Hidaka, S. (2014). Preliminary Study of Phyto-remediation by Salix Species on Heavy Metal Polluted Abandoned Farm Land Accompanied with Biomass Production. *Journal of Arid Land Studies*, 23, 167-172.
- 石川祐一, 佐藤萌, 早川敦, 栗本康司, 日高伸 (投稿中). 「早生ヤナギを用いた多面的環境修復技術の開発に関する研究」『秋田県立大学 Web ジャーナル B』, 投稿中
- 伊藤江利子, 上村章, 原山尚徳, 韓慶民, 宇都木玄 (2015) 「短伐期栽培におけるエゾノキヌヤナギの根系発達と窒素分配について」『北方森林研究』63, 47-50.
- 岩田幸良, 宮本輝仁, 亀山幸司 (2014). 「バイオ炭混入による砂質土壌の物理性の変化—保水

- 性・透水性・肥料成分の移動への影響について
一」『農村工学研究所技報』215, 113～121.
- 菅野均志 (2012) . 「大津波の農耕地土壌への影響
と塩害対策」『環境情報科学』41 (2) , 5-9.
- 松中照夫 (2003) . 『土壌学の基礎』, 農文協
- Mitsui, Y., Seto, S., Nishio, M., Minato, K., Ishizawa, K.,
Satoh, S.(2010). Willow clones with high biomass
yield in short rotation coppice in the southern region
of Tohoku district (Japan), *Biomass and Bioenergy*
34(4), 467-473.
- 中川大地 (2014) . 「早生ヤナギの環境浄化能とバ
イオマス生産性に関する研究-Cd 含有圃場にお
ける早生ヤナギの重金属吸収能とバイオマス量
の評価-」『2013 年度生物環境科学科卒業論文
概要』, 23-24.
- 中津智史, 東田修司, 沢崎明弘 (2004) . 「耕盤層
の簡易判定法と広幅型心土破碎による対策」『土
壌肥料学雑誌』75 (2) , 265-268.
- 農村振興局 (2011) . 「農地の除塩マニュアル」.
農林水産省. p. 6-7.
- 佐藤里美 (2013) . 「早生ヤナギの環境保全効果及
び多面的利用に関する研究-大潟村圃場におけ
る早生ヤナギのバイオマス量とパーティクルボ
ードの評価-」『2012 年度生物環境科学科卒業
論文概要』, 41-42.
- 東北農政局統計部 (2012) . 「平成 22～23 年第 58
次宮城農林水産統計年報」. 農林水産省. p. 92.

〔平成 28 年 7 月 20 日受付〕
〔平成 28 年 7 月 31 日受理〕

Effective Usage of Abandoned Land after the Great East Japan Earthquake Growth of fast-growing Salix and investigation of water movement in sandy soil at Watari-cho in Miyagi Prefecture, Japan

Yuichi Ishikawa¹, Moe Sato¹, Atushi Hayakawa¹, Yasuji Kurimoto², Hideo Sugimoto³,
Yuji Aoki³, and Shin Hidaka¹

¹ Department of Biological Environment, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

² Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University

³ Technical Research Institute, Obayashi Corporation

To effectively use the abandoned lands after the Great East Japan Earthquake, we focused on the biomass production of fast-growing Salix instead of agricultural production and conducted a cultivation trial. Four clones of fast-growing Salix (i.e., KKD, FXM, SEN, and HB471) were tested in the sandy soil of a Tsunami disaster area at Watari-cho in Miyagi Prefecture, Japan. Mulching was applied as a treatment. The soil water matric potential was recorded throughout the growing season, and soil hardness profiles and soil properties were determined. The FXM clone showed the best growth out of the four clones; this was not consistent with the previous results. Thus, this clone appeared to grow better in sandy soil. Mulch application was vital because the growth of Salix with and without mulch was significantly different. Mulch contributed to weed protection, soil water holding, and prevention of nutrient leaching. The growth of the Salix reached only 47.0% (SEN) to 65.6% (FXM) because the soil underneath was hard and the effective water level was relatively small. Amelioration of physical properties of soil is indispensable for the increase of biomass production.

Keywords: The Great East Japan Earthquake, fast-growing Salix, biomass production, *Salix pseudolinearis*, *Salix pet-susu*, *Salix sachalinensis*