

# ファイトレメディエーションの現地実証試験

佐藤 健<sup>1</sup>・松古浩樹<sup>1</sup>・酒井 崇<sup>1</sup>・木下智晴<sup>1</sup>・本田宗央<sup>2</sup>・日比野陽子<sup>3</sup>・田村英生<sup>4</sup>・小島淳一<sup>5</sup>

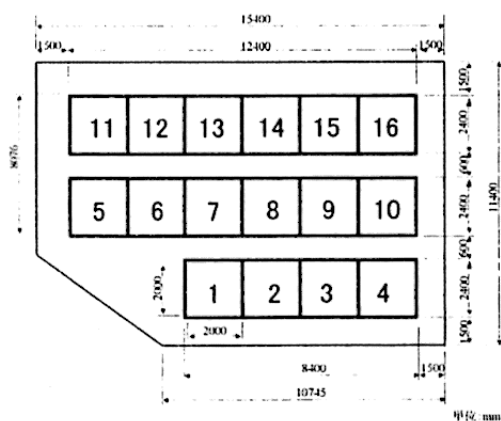
## 1. はじめに

本報告は、地下水技術 第45巻 第8号掲載の報文<sup>1)</sup>において記述できなかった秋播き植物の効果も含めた通年の現地実証試験結果(平成15年5月～平成16年4月)とその考察である。資産価値の高い駅前一等地ではない山間部射撃場の汚染リスクを、植物のもつ多様な機能を活用しながら、時間はかかるが、低コスト・低環境負荷の修復法として期待出来る植物浄化のケース・スタディーを報告する。

## 2. ファイトレメディエーションの実証試験

## 2.1 現地実証試験概要

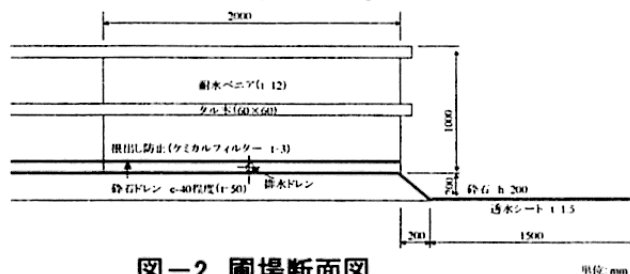
前報と重複するが、現地圃場の平面図・立面図を図-1、図-2に示した。



图—1 圃場平面图

合計 16 区画の圃場を建設し、各区画に現地  
鉛汚染土壌（1 規定塩酸抽出法で 6643mg/kg の  
含有量）を詰め、植物を栽培し、ファイトレメ

ディエーション<sup>1)</sup>の現地実証試験(岐阜県多治見市総合射撃場跡地)を行った。圃場は、耐水ベニアで16区画に分割した試験区(200cm×200cm×100cm)で構成される。



图一2 圃場断面図

各試験区の底に排水ドレーンを設け、降雨による浸出液を 10L ポリタンクにより採取した。各試験区に投入する土壌は、下層に碎石 5cm、上層に汚染土 95cm とした。試験区周辺をネットで覆い、鳥や虫の摂食や種子の飛散による汚染の拡散を防いだ。

試験中、データ採取以外の栽培管理（雑草抜き、害虫駆除、灌水など）は、行っていない。試験で、使用する鉛汚染土壌は、表-1 の物性値である。

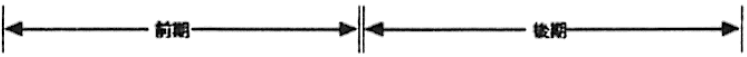
分類名	礫混じり砂質シルト
分類記号	MHS-G
土粒子の密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.615
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.132
乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.915
透水係数(cm/s)	$1.0 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}$
鉛含有量(mg/kg)	10500±1685
鉛溶出量(mg/l)	0.27±0.11
自然含水比(%)	23.9
間隙比	0.651

表—1 物性值

1: さとうたけし・まつふるひろき・さかいたかし・きのしたともはる・岐阜大学、2: ほんだむねちか・岐阜県、  
3: ひびのようこ・多治見市、4: たむらひでお・中部電力（株）、5: こじまじゅんいち・（財）TTC

植物選定は、乾燥に強く、温室試験により鉛吸収量が高いことを基準にした。別途実施した室内選抜試験の結果<sup>1,2)</sup>も利用し、表-2 のような

植物を栽培した。

○播種、△キレート散布、●収穫、・・・生育期															
試験区/月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	備考	
1	○・・・クローバー・・・△●					○・・・・・・クローバー・・・・・・△●								キレート剤添加	
2	○・・・・ソバ・・・・△●○・ソバ・△●○・・・・・・ライムギ・・・・・・△●													キレート剤添加	
3	○・・・・・・ケナフ・・・・・・△●○・・・・・・ファセリア・・・・・・△●													キレート剤添加	
4	○・・・トウモロコシ・・・△●○・ソバ・△●○・・・・・・ナタネ・・・・・・△●													キレート剤添加	
5														植生なし	
6	○・・・クロラタリヤ・・・●○					○・・・・・・カラシナ・・・・・・●									
7	○・・・クローバー・・・●					○・・・・・・クローバー・・・・・・●								1区の対照区	
8	○・・・・ソバ・・・・●・ソバ・・・●・・・・・・ライムギ・・・・・・●													2区の対照区	
9	○・・・・・・ケナフ・・・・・・●・・・・・・ファセリア・・・・・・●													3区の対照区	
10	○・・・トウモロコシ・・・●○・ソバ・・・●○・・・・・・ナタネ・・・・・・●													4区の対照区	
11	○・センチピードグラス・・・●・・・再生・・・●・・・・・・再生・・・・・・●														
12	○・・・・ヒマワリ・・・●					○・・・・・・オーチャードグラス・・・・・・●									
13	○・・・スーダングラス・・・●・・・再生・・・●○・・・オーチャードグラス+クローバー・・・●													再生植物	
14	○・・・・・・イネ・・・・・・●○・・・・・・ヘアリーベッチ・・・・・・●														
15	○・・・・・・タチアオイ・・・・・・●○・・・・・・ライムギ+イタリアングラス・・・・・・●														
16	○・・・ギニアグラス・・・●・・・再生・・・●○・・・・・・イタリアングラス・・・・・・●													再生植物	

※ 2区と8区は、普通ソバ、4区と10区は、ダットンソバ

表-2 現地圃場試験供試植物と栽培スケジュール

## 2.2 圃場における年間栽培計画と計測

平成 15 年 5 月～平成 16 年 4 月の現地圃場試験における供試植物と栽培スケジュールを表-2 に示した。1～4 区画にはキレート資材(EDDS 35% 水溶液)を収穫 1 週間前に投入し、7～10 区画と比較した。11、13、16 区画は再生植物で、地上部だけ刈取り、期間中に 2 回収穫した。2、4、8、10 区画には鉛高蓄積植物<sup>2,3)</sup>として期待されるソバを栽培した。

## 2.3 実証試験結果(ファイトエクストラクションに関する成果)

### (1) 鉛高集積植物の探索

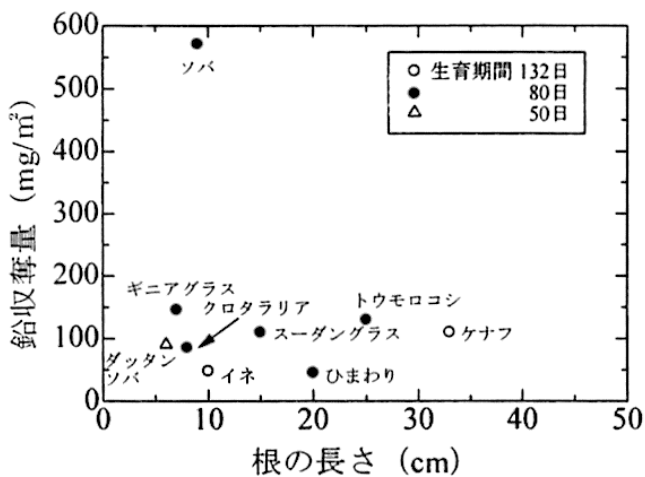
各植物を一定期間生育、収穫後、原子吸光により植物体内への鉛蓄積量を測定した。ファイトレメディエーションの供試植物を評価する際には、次式(1)で定義される鉛収奪量を用いた。

$$\text{鉛収奪量 (mg/m}^2\text{)} = \text{鉛蓄積量 (mg/kgDW 植物)} \times \text{バイオマス (乾燥質量) (kgDW 植物/m}^2\text{)} \quad (1)$$

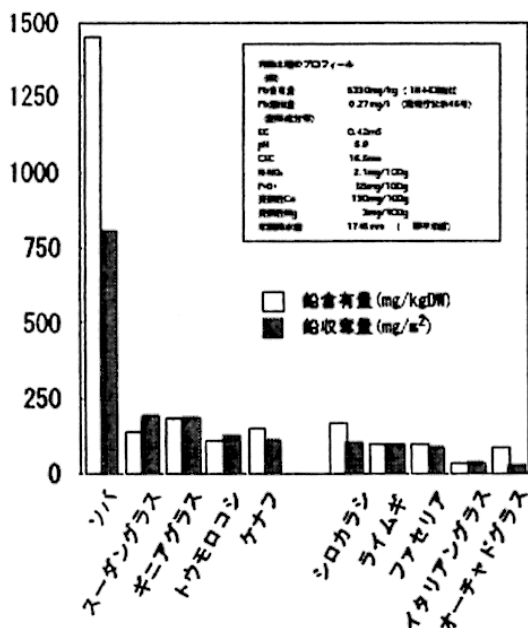
植物毎に鉛収奪量を算出し、その結果を図-3、4 に示した。ただし、クリムゾンクローバー、センチピードグラス、タチアオイは、初期生育が遅く、雑草に生育を阻害されたために枯死した。

実証試験で分かったことを以下にまとめる。

- ①鉛汚染が10cm未満は、ソバが効果的であり、鉛汚染が30cm程度ならケナフ、トウモロコシが効果的である。しかし、鉛汚染が10cm以上の場合の鉛高集積植物は、さらなる探索が必要である。
- ②初期生育が早く、バイオマスが大きい植物が現地生育に適している。現地適用には、初期生育が早い植物を選定する。
- ③ソバは、生育期間が短いため、栽培期間中(132日間)に2回播種し、鉛収奪量が、798mg/m<sup>2</sup>と大変多くの鉛を収奪できた。



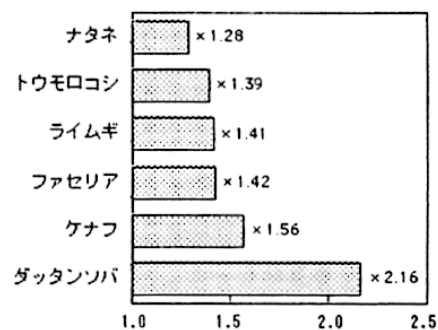
図—3 植物の鉛蓄積量と鉛収奪量



図—4 Phytoextraction 能力

## (2) 鉛吸収加速化

ナタネ、トウモロコシ、ライムギ、ファセリア、ケナフ、ダッタソバの収穫1週間前にキレート剤(EDDS: 0.085%)を散布し、鉛蓄積量の効果を検証した。キレート剤とは、土粒子に吸着する鉛を間隙水に可溶化させる薬剤で、植物体への鉛蓄積量を増加させる機能を持っている。ダッタソバは、キレート剤散布後枯れた。各植物の鉛蓄積量を図-5に示す。キレート剤(EDDS)による鉛吸収加速化の効果(1.28~2.16倍)は、植物種で異なることが分かった。



図—5 キレート剤添加による鉛吸収促進効果

(EDDS・3Na : 0.16%、キレート剤なし : 1.0)

## 2.4 実証試験結果(ファイトスタビリゼーションに関する成果)

### (1) 根圏による土壌水分量の変化

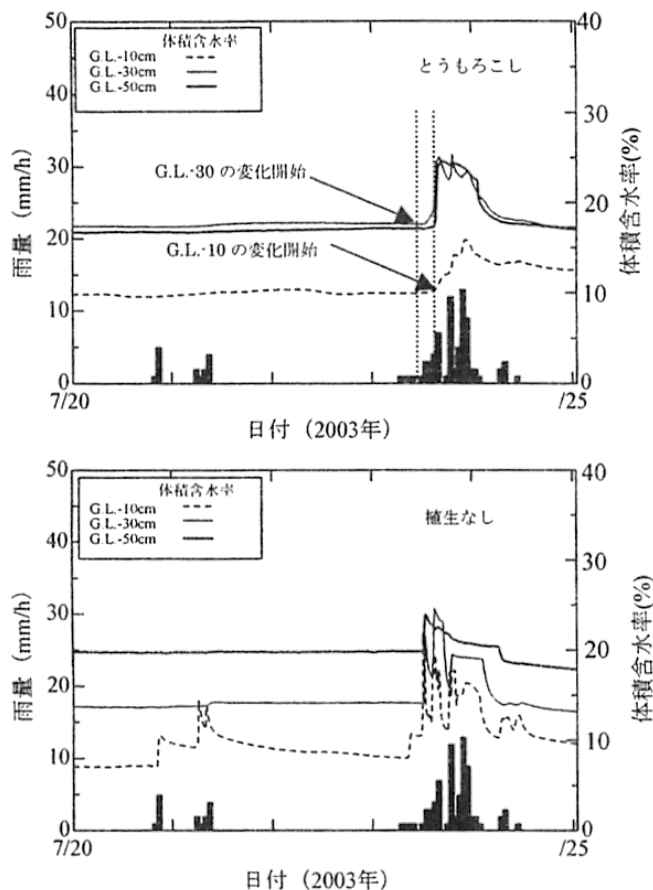
根圏による土中の水分変化を考察するため、圃場の2区画(とうもろこし、植生なし)の表層から10cm、30cm、50cmにTDRを設置し、体積含水率を測定した。7月20~25日の測定値を図-6に示した。図中の圃場含水量は、多量の降雨や十分な灌水の後、重力によって過剰な水が除去されたときの水分量とし、無降雨時の体積含水率を図中に示した。

計測結果より以下のことが分かった。

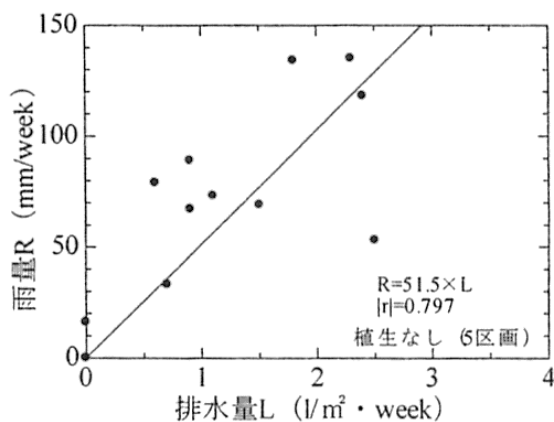
- ①植物栽培により土壌根圏の保水量が増加する。これは、根でのサクション効果によって根圏土壌のサクションが植生なし区画に較べ高くなったためだと考えられる。
- ②降雨時は、植生あり区画のG.L.-30cm、のTDR変化量がG.L.-10cmより先行し、根圏における水分移動のバイパス効果が見られる。

## (2) 排水抑制効果、拡散抑制効果

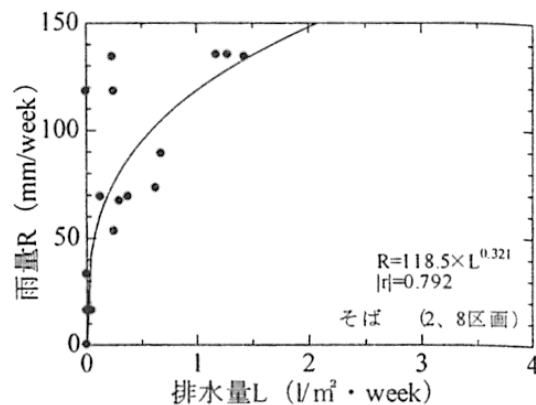
植物による排水抑制効果と排水濾過効果（鉛溶出量の低減）を検証するために、植物が収穫できた8つの区画と植生なし区画の排水量を比較した。



図—6 降雨による体積含水率の変化



図—7 圃場容水量と雨量の関係(植生なし)



図—8 圃場容水量と雨量の関係(ソバ)

ファイトスタビリゼーション (図-7, 8) による排水抑制効果は、どの植生区画でも認められ、降水量  $R$  と圃場排水量  $L$  の関係は式 (2) で表すことができた。

$$R = sL^r \quad (2)$$

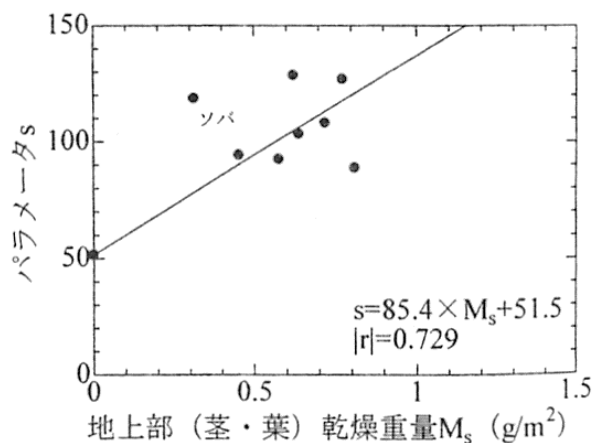
$L$  : 圃場からの地下排水量 ( $L/(\text{m}^2 \cdot \text{week})$ )

$R$  : 雨量 ( $\text{mm/week}$ )

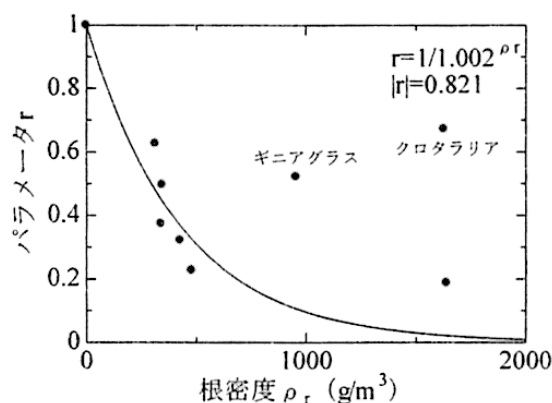
$s$  : スケーリング係数

$r$  : 形状係数

パラメータ ( $s, r$ ) は、図-9、図-10 より圃場植生の収穫量 (葉と茎) と根密度によって概ね決まることがわかった。



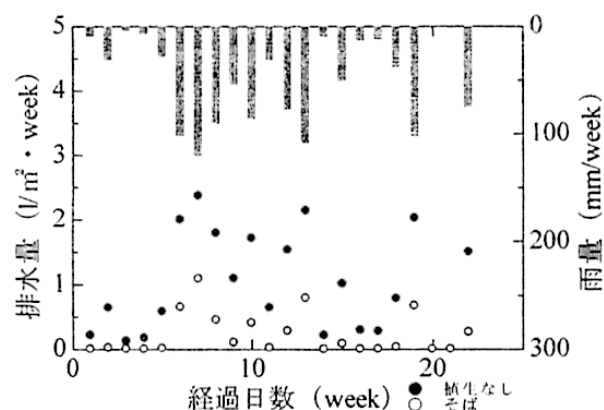
図—9 パラメータsと乾燥重量の関係

図—10 パラメータ $r$ と根密度の関係

排水中の鉛濃度と排水量を乗じた鉛負荷量 ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) が、生育期間 130 日で植生なし  $0.3\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot 130\text{day})$ 、そば  $0.025\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot 130\text{day})$  となり、鉛負荷量が 12 分の 1 に低減されることも確認でき、そばによるファイトスタビライゼーション効果は、かなり高く、汚染拡散防止効果があると考えられた。

### (3) 排水抑制効果のシナリオ計算

植物浄化（原位置そば栽培）を行う場合、浄化期間中の鉛溶出量と排水量の低減が重要である。排水量 ( $L$ ) と雨量 ( $R$ ) の関係式 ( $R=sL^r$ ) を用いて、平成 15 年 5 月 28 日～10 月 14 日そば栽培時の排水効果を計算し図-11 に示した。



図—11 ソバの排水抑制効果

雨量が期間中最大の  $122\text{mm}/\text{week}$  であっても、そばを栽培すると排水量は、約 50% 低減でき、総排水量は、植生なし  $21.07\text{L}/\text{m}^2$ 、そば  $4.86\text{L}/\text{m}^2$  で、総排水量からみても約 76% の排水抑制効

果が確認できた。

### 3. おわりに

射撃場の高濃度鉛汚染土に対するファイトレメディエーションの現地圃場実験（平成 15 年 5 月～平成 16 年 4 月）を通じて得られた知見をまとめると、以下ようになる。

- 1) ファイトエクストラクションによる射撃場の鉛汚染土壌浄化には、汚染深度が 10cm 未満に対してはそば、10～30cm 未満に対しては、ケナフ、トウモロコシが効果的である。
- 2) ファイトスタビライゼーションによる排水抑制効果は効果的で、排水量 ( $L$ ) と降雨 ( $R$ ) の関係を  $R=sL^r$  として、根圏の排水抑制を定量的に評価できることが分かった。しかし、植物栽培による鉛溶出量には区画毎で変動があり、原位置封じ込めの効果を検証するには、更なる計測データの蓄積が必要である。

**謝辞：** 研究を遂行する上で貴重なご意見をいただいている多治見市総合射撃場環境対策検討委員会と同ワーキンググループのメンバー各位に感謝申し上げる次第です。

### 参考文献

- 1) 佐藤・木村・酒井・本田・高見澤・加藤・田村・日比野・小島：植物機能を活用した射撃場汚染の原位置浄化と拡散防止，地下水技術，第45巻，第8号， pp. 33-43, 2003.
- 2) 田村・梅田・佐藤・木村・長谷川：ソバを用いた鉛汚染土壌に関する研究 - 鉛を高濃度に蓄積する植物の探索 -，日本土壤肥料学会中部支部講演会，2003.
- 3) 田村・梅田・本田・日比野・佐藤：植物による鉛汚染土壌の浄化 (1) - ソバの鉛蓄積能力 -，日本土壤肥料学会，2004.