

カヤツリグサ科マツバイによる重金属汚染水のファイトレメディエーション におけるクリンカアッシュの有効性

藏本 翔¹、榊原正幸¹、佐野 栄²、世良耕一郎³

¹愛媛大学院理工学研究科
〒790-8577 愛媛県松山市文京町2番5号

²愛媛大学教育学部
〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

³岩手医科大学サイクロトロンセンター
〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢留が森 348-58

1 はじめに

カヤツリグサ科ハリイ属マツバイ (*Eleocharis acicularis*) は As、Cu、Zn、Pb および Cd の超集積植物であり、ファイトレメディエーションに活用されることが期待されている^{1,4)}。本研究では、クリンカアッシュの Si 肥料としての有効性を検討するために、温室栽培実験およびフィールド栽培実験を行った。

2 研究試料および研究方法

2.1 研究試料

本研究で使用したクリンカアッシュは国内火力発電所で生成されたものを、そしてマツバイは松山市内で採集したものを使用した。

2.2 研究方法

(1) 温室栽培実験

温室栽培実験は7月8日から約4か月間実施した。この実験では、A-1~3の水槽にマツバイのみを入れ、一方水槽B-1~3の底にクリンカアッシュを敷き詰め、マツバイを入れた。実験では、各水槽にマツバイを300g、クリンカアッシュをB-1~3の水槽に600gずつ使用した。約1週間ごとにマツバイのバイオマス量を測定し、実験終了時にマツバイの各元素の濃度分析を行った。

(2) 西南日本での重金属汚染された河川でのフィールド栽培実験

フィールド実験は5月15日から約4か月間実施した。フィールド実験を行った河川のAs濃度は20.1 µg/Lである。この実験では、プラスチックコンテナC-1~3にマツバイのみを入れ、一方プラスチックコンテナD-1~3の底にクリンカアッシュを敷き詰め、マツバイを入れた。実験では、各コンテナにマツバイを600g、クリンカアッシュを1000g使用した。約1か月ごとにマツバイのバイオマス量を測定し、実験終了時にマツバイの各元素の濃度分析を行った。

2.3 分析方法

採取したマツバイは超純水で十分に洗浄した後、恒温器（80℃）で約2日間乾燥させ、微粉末にした。マツバイの重金属濃度分析およびSi濃度分析は愛媛大学総合科学研究支援センターに設置している高周波誘導結合質量分析装置（ICP-MS）および岩手医科大学サイクロロンセンターで設置している粒子線励起X線分析（PIXE）を用いた。PIXE測定の際、マツバイ試料は硝酸灰化法⁵⁾で分解した後、内部標準法で定量分析を行った⁶⁻⁸⁾。分析確度・精度に関する検定はNational Research Council Canada（NRCC）の環境試料 NIES CRM No.1（リョウブ）を用いて行った。

3 結果

(1) 温室栽培実験

①マツバイのバイオマス量：21日目には水槽Bの平均値が、水槽Aの平均値を有意に上回った。35日目まで、水槽AおよびBのバイオマスは増加した。133日目には、水槽Bの平均値が、水槽Aの平均値の約1.6倍となった。

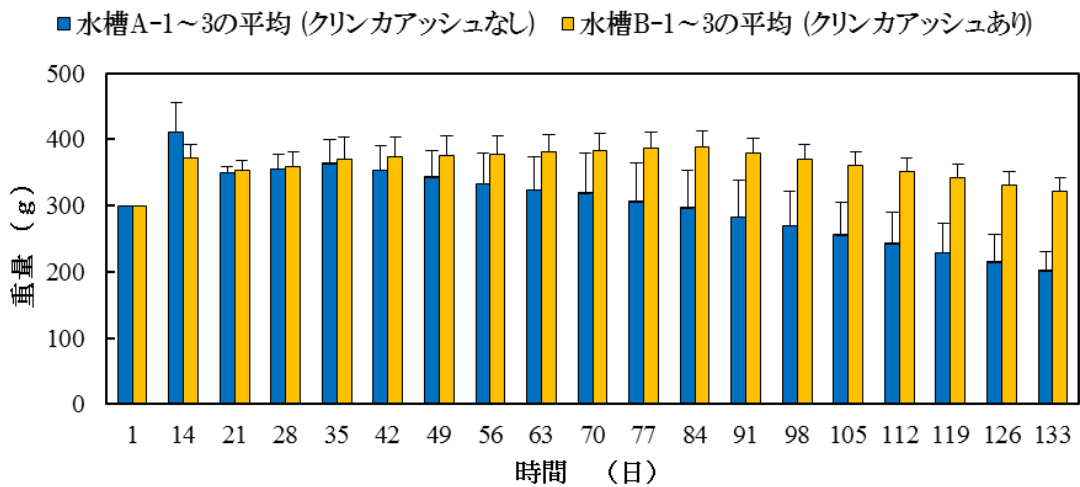


図1. 温室栽培実験における水槽AおよびBのマツバイのバイオマス変化（33日間）.

②マツバイの軽元素濃度：Si濃度は、水槽Aの平均が3.33 μg/g、クリンカアッシュを含む水槽Bの平均が6.14 μg/gで、水槽Bの平均値が水槽Aの平均値の約1.8倍となった。Mg、Ca、Fe、Cu、P、S、MnおよびCl濃度も水槽Bの平均値が水槽Aの平均値を上回った。

(2) 西南日本での重金属汚染された河川でのフィールド栽培実験

①マツバイのバイオマス量：コンテナCの平均値およびクリンカアッシュを含むコンテナDの平均値は36日目に約2倍、68日目には約5倍に増加した。137日目にはコンテナCの平均値は3.20 kg、コンテナDの平均値は3.95 kgとなり、コンテナDの平均値がコンテナCの平均値の約1.2倍となった

②マツバイの平均重金属濃度：コンテナCの平均値は、乾燥重量でCrが376、Mnが150、Cuが2984、Znが855、Asが39.4、Cdが54.4およびPbが8.22 mg/kgである。コンテナDの平均値はCrが542、Mnが144、Cuが1244、Znが1679、Asが43.2、Cdが58.9およびPbが7.72 mg/kgである。

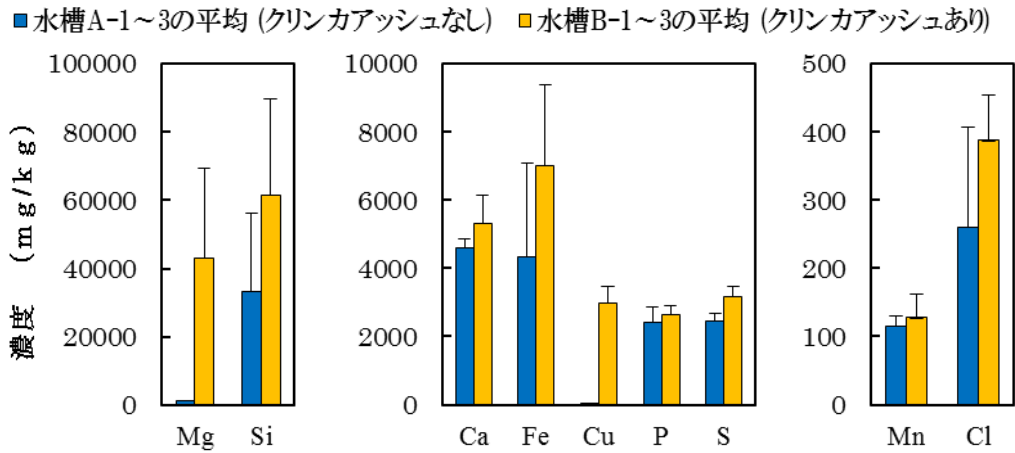


図2. 温室栽培実験における水槽 A および B のマツパイ中における植物の必須元素濃度 (63 日目).

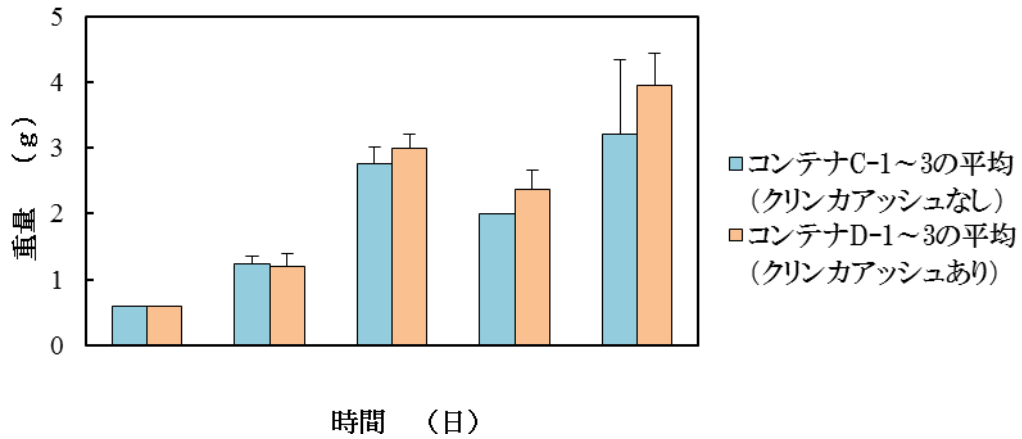


図3. フィールド栽培実験におけるコンテナ C および D のマツパイのバイオマス変化 (137 日間).

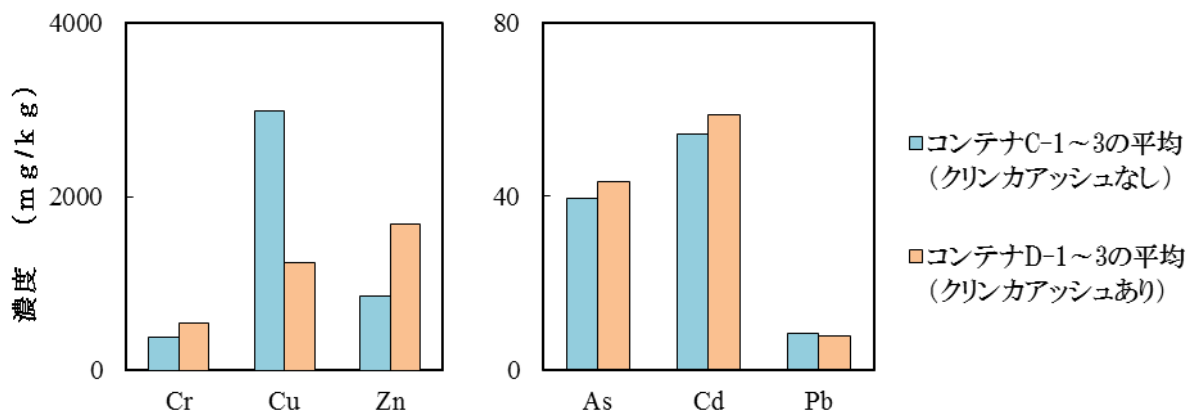


図4. フィールド栽培実験におけるコンテナ C および D のマツパイ中の平均重金属蓄積濃度 (137 日間).

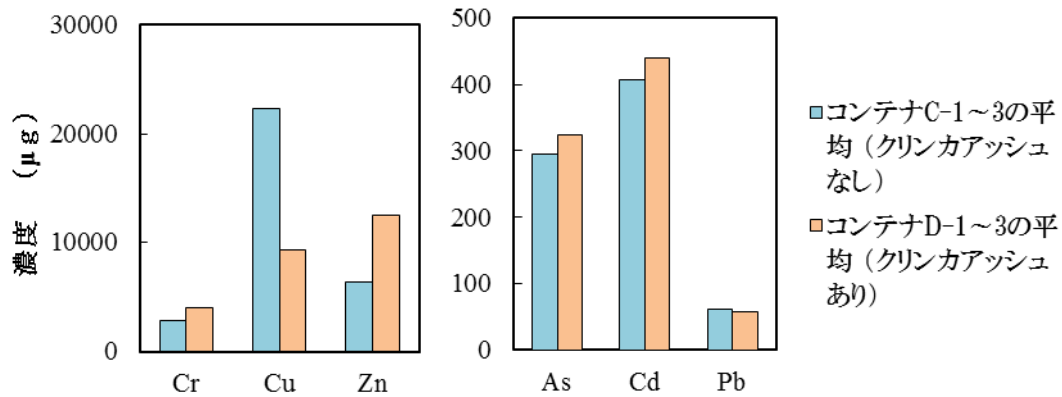


図 5. フィールド栽培実験におけるコンテナ C および D のマツバイ中の総重金属蓄積量 (115 日目)。

4 考察

(1) クリンカアッシュの Si 肥料としての効果

本実験結果から、クリンカアッシュはマツバイのバイオマス増加に効果があると考えられる。すなわち、温室栽培実験においてマツバイ中の必須元素濃度がクリンカアッシュを含む水槽により高濃度に含まれていたことから、クリンカアッシュがマツバイに Si を含む必須元素を供給したためであると考えられる。

(2) 重金属蓄積量に関するクリンカアッシュの効果

フィールド栽培実験の結果から、クリンカアッシュはマツバイの Cr、Zn、As および Cd の蓄積に有効であると考えられる。これは、クリンカアッシュの使用によって、クリンカアッシュに含まれる必須元素がマツバイの代謝活動を活性化したためであると考えられる。

(3) クリンカアッシュを用いたファイトレメディエーションの効率性および経済性

クリンカアッシュは産業廃棄物であり、その費用は運搬費のみである。したがって、マツバイのファイトレメディエーションでは、クリンカアッシュの使用がマツバイの浄化機能を高め、経済性も極めて良いと判断される。

謝辞

本研究を行うにあたり、科学研究費補助金（基盤研究 B、研究課題番号：19340153、研究代表者：榊原正幸）、科学技術振興機構、研究成果最適展開支援事業（A-STEP）フイージビリティスタディステージ探索タイプ（課題番号：19340153、研究代表者：榊原正幸）および愛媛大学産学連携促進事業経費（研究種目：産業シーズ育成、研究代表者：榊原正幸）の事業費を使用した。

本研究を実施するにあたって、愛媛大学総合研究支援センターの教職員の方々には、様々なご協力をいただいた。また、日本アイソトープ協会 NMCC のスタッフの方々および岩手医科大サイクロトロンセンターのスタッフの方々には、共同利用の際にお世話になった。以上の方々に記して謝意を表する。

参考文献

1. N.T.H. Ha, M. Sakakibara, S. Sano, R.S. Hori, and K. Sera, "The Potential of Eleocharis acicularis for Phytoremediation: Case Study at an Abandoned Mine Site", *CLEAN-Soil, Air, Water*, Vol. 37, 203-208 (2009)

2. N.T.H. Ha, M. Sakakibara and S. Sano, "Accumulation of Indium and other heavy metals by *Eleocharis acicularis*: An option for phytoremediation and phytomining", *Bioresour. Technol.*, Vol. **102**, 2228–2234 (2011)
3. M. Sakakibara, A. Harada, S. Sano and R.S. Hori, "Heavy Metal Tolerance and Accumulation in *Eleocharis acicularis*, a Heavy Metal Hyperaccumulating Aquatic Plant Species", *Geo-pollut. Sci. Med. Geol. Urban Geol.*, Vol. **5**, 1-8 (2009)
4. Sakakibara, M., Ohmori, Y., Ha, N.T.H., Sano, S. and Sera, K., "Phytoremediation of heavy metal-contaminated water and sediment by *Eleocharis acicularis*", *CLEAN – Soil, Air, Water*, Vol. **39**, 735-741 (2011)
5. S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitou and K. Sera, "Present Status of NMCC and Sample Preparation Method of Bio-Samples.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 3- 4, 319-328 (1993)
6. K. Sera, S. Futatsugawa, K. Matsuda and Y. Miura, "Standard-free method of quantitative analysis for bio-samples", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.6, No.3, 4, 467-481 (1996)
7. K. Sera, S. Futatsugawa and K. Matsuda, "Quantitative analysis of untreated bio-samples", *Nucl. Instr. and Meth. B* 150, 226-233 (1999)
8. J. Itoh, S. Futatsugawa, Y. Saitoh, F. Ojima and K. Sera, "Application of a Powdered-internal-standard Method to Plant and Seaweed Samples.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.15-1,2, 27-39 (2005)

Effect of clinker ash as Si fertilizer on phytoremediation for heavy metal contaminated water using *Eleocharis acicularis*

S. Kuramoto¹, M. Sakakibara¹, S.Sano² and K. Sera³

¹Graduate School of Science and Engineering, Ehime University
2-5 Bunkyocho, Matsuyama 790-8577, Japan

²Faculty of Education, Ehime University
3 Bunkyocho, Matsuyama 790-8577, Japan

³Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
Tomegamori, Takizawa 020-0173, Japan

Abstract

Potentiality of clinker ash as a source of Si and other essential elements on phytoremediation has been investigated by greenhouse and field experiments. Biomass of *Eleocharis acicularis* in tanks with clinker ash was, on average, 1.6 times greater than accumulation in tanks without clinker ash, in the greenhouse experiment lasting 133 days and that in containers with clinker ash was, on average, 1.2 times greater than accumulation in containers without clinker ash, in the field experiment lasting 137 days. Silicon concentrations in *E. acicularis* in tanks with clinker ash were, on average, 1.8 times greater than concentrations in tanks without clinker ash, based on greenhouse experiment data. In the field experiment, concentrations of Cr, Mn, Cu, Zn, As, Cd, and Pb in *E. acicularis* in containers with clinker ash were 542, 144, 1244, 1679, 43.2, 58.9, and 7.72 mg/kg-dry weight (DW), respectively. Concentrations of Cr, Mn, Cu, Zn, As, Cd, and Pb in *E. acicularis* in containers without clinker ash were 376, 150, 2984, 855, 39.4, 54.4, and 8.22 mg/kg-DW, respectively. These result showed that clinker ash is effectively increase the biomass of *E. acicularis* and the accumulations of Cr, Zn, As, and Cd in *E. acicularis*.

Keywords : PIXE, Heavy metals, Phytoremediation, Clinker ash, *Eleocharis acicularis*