

環境思いの修復技術と資源回収技術の開発

Development of Environmental Friendly Remediation Technologies and Resource Recovery Technologies



教授 井上 千弘
Professor
Chihiro Inoue



准教授 グラウゼ ギド
Associate Professor
Guido Grause



助教 簡 梅芳
Assistant Professor
Mei-Fang Chien



Group photo of Inoue lab 2019



Group photo of Inoue lab year end party 2019

重金属や難分解性有機化合物による土壌・地下水の環境汚染の深刻化や、地下資源への需要増加に対する供給不足が関心を集めてきているが、これらの問題を解決する有効な手法やその適用にはまだ多くの課題が残されている。我々の研究室は上記の問題を低コスト・低環境負荷の環境修復技術や資源回収技術により解決することを目指し、これらの技術開発に関する研究を行っている。以下 2019 年の主な研究活動を紹介する：

- (1) 植物・微生物を用いた有害重金属化合物による土壌・水環境汚染の修復に関する研究、
- (2) 難分解性有機化合物の生物分解に関する研究、
- (3) 有害化合物の環境負荷低減技術および有用化合物回収技術の開発に関する研究。

The contamination of soil and groundwater by heavy metals and persistent organic pollutants (POPs) such as chlorinated organic compounds and petroleum hydrocarbons has been a serious environmental issue of global concern. Moreover, demand for underground mineral resources is growing. However, effective methods for pollution removal and resource recovery with low environmental burden have not been successfully developed and thus remain as a challenge. Our target is to develop remediation and resource recovery technologies that reduce costs, energy demand, and environmental load. Here we introduce our major scientific activities in 2019 as follows: (1) phyto- and bio-remediation of heavy metals from polluted soil and water, (2) biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and other POPs, and (3) development of technologies to prevent elution of hazardous compounds and/or to recover valuable materials.

植物・微生物を用いた有害重金属化合物による土壌・水環境汚染の修復に関する研究

ヒ素やカドミウムによる土壌・水環境汚染の修復について、それぞれの高蓄積植物（ヒ素：モエジマシダ、カドミウム & 亜鉛：ハクサンハタザオ）を用いた機序解明の基礎研究及び圃場や現場における実証試験を継続し、今年は（1）シダのヒ素蓄積を強化する微生物の添加が根圏中亜硫酸化酵素遺伝子の増加に繋がり、シダによるヒ素除去の効果を高まったことを確認した（Fig.1）。（2）ヒ素・カドミウムの吸収・輸送過程において、関与する機能遺伝子の発現を定量 PCR 及びトランスクリプトム解析を進めた。（3）本学サイクロトロラジオアイソトープセンター、量子科学技術研究開発機構、高崎量子応用研究所と共同研究を行い、短寿命放射性同位体を用いた PETIS 測定によりヒ素高蓄積植物であるモエジマシダ体内におけるヒ素輸送過程を初めて可視化することができた。

難分解性有機化合物の生物分解に関する研究

多環芳香族炭化水素 (PAHs) の生物分解につて、スーダングラスを用いた水耕栽培実験系を確立し、植物は年齢により根分泌物が異なり、

Phyto- and bio-remediation of heavy metals from polluted soil and water

Regarding the phytoremediation of arsenic and cadmium/zinc from contaminated soil or water, we continued to apply the hyperaccumulators *Pteris vittata* (arsenic) and *Arabidopsis halleri* ssp. *gemmifera* (cadmium/zinc) to demonstrate their hyperaccumulation mechanisms as basic research and to apply them in field trials in Japan and Vietnam using both soil planting and hydroponic cultures. In 2019, first we confirmed that inoculation of arsenic-uptake-promoting bacterium m318 strain increased the ratio of arsenic oxidase genes in the rhizosphere, which facilitated arsenic removal by *P. vittata* (Fig.1). Second, we focused on candidate genes that contribute to arsenic/cadmium uptake and characterized their expression by quantitative RT-PCR and transcriptome analysis. Third, we applied the PETIS method using short-living radioisotopes to investigate and visualize the transportation of arsenic in *P. vittata*.

Microbial degradation of persistent organic pollutants

To investigate plant-bacteria-mediated biodegradation of PAHs, a hydroponic system utilizing sudangrass was established. Results showed that the root exudate composition along with its rhizosphere bacteria varies with plant

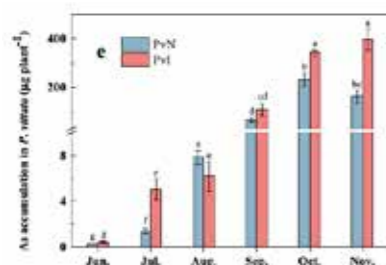


Fig.1 As accumulation of *Pteris vittata* with (PvI) and without (PvN) m318 strain inoculation.

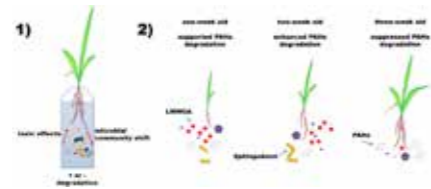


Fig.2 Image of (1) interaction between plant and microbes in PAH degradation (2) plant-age driven PAH biodegradation.

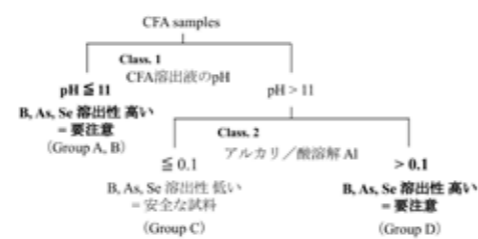


Fig.3 Image of proposed coal fly ash grouping method.

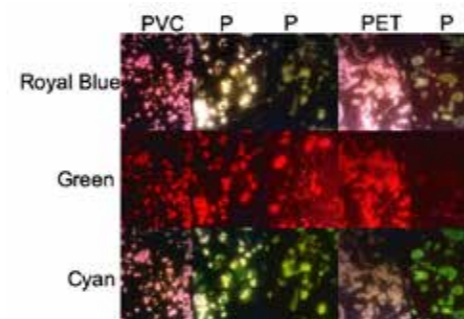


Fig.4 Fluorescence microscope images of various types of microplastic.



Fig.5 Prof. Inoue and Assist. Prof. Chien in Academia Sinica, Taiwan.



Fig.6 Photo of Mr. Qian (D2) receiving the award of the Best Oral Presentation in the 56th Radioisotope Conference, Tokyo.

その成分により根圏菌叢が変化して、PAH の分解に影響を及ぼしていることを証明した (Fig.2)。また、1,4-ジオキサンに分解能を示す集積培養系の構築に成功し、集積培養系から新規分解菌の *Variovorax* sp. TS13 を単離した。その他、四塩化炭素、重油を対象物質として分解する集積培養系の構築と解析も進めている。

有害化合物の環境負荷低減技術および有用化合物回収技術の開発に関する研究

SEM/EDX/MLA などを用いた元素マッピング等により石灰石に含まれる微量有害元素と構成鉱物の特徴付けを行い、有効利用に向けた石灰石のグルーピング手法を開発した (Fig.3)。また、土壌からのマイクロプラスチックの分離について、フェントン反応により生体物質を除去し、エルトリエーションと遠心機を用いた分離、さらに蛍光染色によりプラスチックの分離を確認した (Fig.4)。レアメタル回収技術の開発を目指し、モリブデン吸着酵母の固定化による回収システムの検討を行っている。

国際交流、学会発表、その他活動

井上教授、簡助教が中国上海大学及び科学院南京土壤研究所に招聘されレクチャーを行った。簡助教が台湾中央研究院及び中興大学と共同研究を開始し、9月に打ち合わせを行ってきた (Fig.5)。ギド准教授はドイツ Free 大学の Rillig 教授を招聘し、講演を行なった。簡助教が台湾国立中興大学農業生物技術工学センターに招待講演を行なった。タイのカセサート大学 4 年生の Thiti Jittayasotorn と Tidita Jongchuywong を半年間研修生として受け入れた。D2 銭が第 56 回アイソトープ・放射線研究発表会にて若手優秀講演賞を受賞した (Fig.6)。D2 銭と D1 Christine が第 16 回国際植物技術会議に学生賞に選出された。その他国際・国内学会における研究発表を計 16 件行った。

age, which resulted in a change in the PAHs degradation potential of the system (Fig.2). Microbial consortia for the degradation of 1,4-dioxane, tetrachloride, and heavy oil were successfully constructed, and a novel bacterium, *Variovorax* sp. TS13, for the degradation of 1,4-dioxane was found.

Development of technologies preventing the elution of hazardous compounds and/or the recovery of valuable compounds

SEM/EDX/MLA was applied for elemental mapping and the identification of compounds in coal fly ash, and a grouping method towards an effective use was proposed (Fig.3). For the assessment of microplastics in soil, plastic was separated by elutriation and centrifugation, including the removal of biological material by Fenton reaction, and plastic particles were identified by staining and visualizing by fluorescence microscopy at several wavelengths (Fig.4). Molybdenum-adsorbing yeast was constructed as a resource recovery technology, and in a further step, we are trying to improve the adsorption ratio by constructing a biological recovery system through immobilization of yeast.

International exchange and other activities

Prof. Inoue and Assist. Prof. Chien were invited to deliver lectures at Shanghai University and the Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, China. They also visited Academia Sinica, Taiwan (Fig.5). Assoc. Prof. Grause invited Prof. Matthias Rillig from the Free University of Berlin, Germany for a lecture. Assist. Prof. Chien gave an invited speech at the annual meeting of the ENABLE Center, National Chung-Hsing University, Taiwan. We welcomed Ms. Thiti Jittayasotorn and Mr. Tidita Jongchuywong as visiting students from Kasetsart University, Thailand. Mr. Qian (D2) received the best oral presentation award at the 56th Radioisotope Conference (Fig.6), and Mr. Qian (D2) and Ms. Wiyano (D1) received phytoscholar awards at the 16th International Phytotechnology Conference. In addition, we presented 16 oral/poster presentations at various international or domestic conferences.