

## 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

博士研究員 黄 毅  
研究支援者 趙 成珍  
技術補佐員 山本 麻理  
事務補佐員 工藤 悦子



Group photo of Inoue lab members at hanami party 2017

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増大並びに地下資源への需要に対する供給不足が懸念されてきているが、これらの問題を解決する有効な手法やその適用にはまた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。2017年の主な研究活動は以下である：(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) 有害化合物の放出を低減する技術および有用化合物の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 compounds such as chlorinated organic compounds and petroleum hydrocarbons is a serious environmental issue of concern. In addition, there is growing demand for underground resources. However, no effective methods of removing pollutants and recovering resources with low environmental burden have been developed, and thus this remains a challenge. Our aim is to develop remediation technologies and resource recovery technologies with lower cost, less energy demand, and reduced environmental load. Our major scientific activities in 2017 were as follows: (a) phyto- and bio-remediation of heavy metals from polluted soil/water, (b) microbial degradation of chlorinated organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons, and (c) development of technologies to prevent elution of hazardous compounds and/or to recover valuable compounds.

#### 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

カドミウムやヒ素による土壌・水環境汚染の修復について、高蓄積植物を用いた宮城県内圃場においての実証試験を継続して行い、モエジマシダと機能性微生物の共同栽培 (Fig. 1) によるヒ素蓄積量の向上の再現性を確認した。基礎研究として (a) ヒ素の高蓄積植物の吸収特徴および植物のヒ素吸収・蓄積の部位・時期に関する解析を引き続き行い、イノモトソウは多金属に対して吸収能を示したことを確認した。(b) 短寿命放射性同位体を用いたカドミウム高蓄積植物体内の金属輸送機序の解明について、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、PETIS を用いてハクサンハタザオのカドミウムと亜鉛の吸収輸送経路が異なることを示唆するデータを取得した (Fig. 2)。(c) ヒ素吸収後のモエジマシダバイオマスをセルロース分解能を付与した酵母を用いてエタノールの生産に成功した。

#### 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) の生物分解について、植物と PAH 分

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

Regarding applicable phytoremediation of cadmium- or arsenic-contaminated soil or water, we continuously conducted field trials in Miyagi prefecture for the sixth year by soil planting or hydroponically cultivating cadmium or arsenic hyperaccumulators in the fields. For the third year in a row, we observed increases in arsenic accumulation by *Pteris vittata*, an arsenic hyperaccumulator, when it is co-cultured with a functional bacterium (Fig.1). We kept investigating the behavior(s) and mechanism(s) of arsenic/cadmium absorption and accumulation by hyperaccumulators. As a result of this research, (a) we confirmed the ability of *Pteris multifida* to absorb lead and cadmium in addition to arsenic, (b) our results from PETIS suggested that *Arabidopsis halleri* ssp. *gemmifera* absorbs and transports cadmium and zinc in different pathways (Fig.2), and (c) we successfully converted the biomass of *P. vittata* after arsenic accumulation into ethanol by using transgenic yeast that can decompose cellulose.

#### Microbial degradation of chlorinated organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons

Regarding polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), the results of

解能の持つ微生物の共同栽培により、植物根圏微生物の活性化および PAH の分解能の向上を確認した。また、1,2-ジクロロベンゼンないし 1,4-ジオキサンを含む地下水を用いて、これら難分解性物質の分解能を示す集積培養系の構築に成功するとともに、これらを構成する微生物の単離と対象物質分解に果たす役割の解明を行っている。また、四塩化炭素に分解能を示す集積培養系の構築とその特徴解析も進んでいる。

#### 有害化合物の放出を低減する技術および有用化合物の回収技術の開発に関する研究

石炭灰中の微量有害元素の溶出とその抑制メカニズムの解明を検討し、SEM/EDX/MLA を用いた石炭灰粒子の元素マッピングおよび化合物の同定を行ってきた (Fig. 3)。資源の回収技術の開発について、希少金属 (レアメタル) の持続可能な利用を目指した生物学的回収・濃縮システムの開発を目指し、レアメタルのモリブデンの吸着・脱着が可能な酵母の作製に成功し、吸着・脱着および条件の検討を深めている。そのほか、廃水中の窒素除去やセレン除去を目的とした微生物燃料電池の作製を検討している。

#### 国際交流、学会発表、その他活動

台湾中央研究院生物多様性研究センターに交流・研修を行った (簡助教・M2 若狭)。台湾中国医薬大学の張瑞仁博士 (Fig. 4) とフランス Pau 大学の Robert Duran 教授が来訪し、それぞれ研究討議とコロキウム環境での講演を行った。中国太原理工大学の馬小麗講師を受け入れた (2017 年 12 月から半年間)。井上教授がパキスタンの Lahore College for Women University (LCWU) にて招待講演を行った (Fig. 5)。その他国際・国内学会における招待講演・研究発表を計 22 件行った (Fig. 6)。

hydroponic culture experiments of two plants suggested that inoculation of PAH-degrading bacteria enhanced the dissipation of PAHs. In addition, the presence of PAHs or the inoculation of PAH-degrading bacteria independently induced a shift in the indigenous microbial community in the plant roots. We successfully constructed consortia from underground water samples which showed the ability to degrade 1,2-dichlorobenzene or 1,4-dioxane, and the isolation and characterization of the microbes that compose these consortia is currently in progress. The construction and characterization of the consortium that shows the ability to degrade carbon tetrachloride is also in progress.

#### Development of technologies to prevent elution of hazardous compounds and/or to recover valuable compounds

SEM, EDX, and MLA were used to map the elements and to identify the compounds in fly ash in order to determine the mechanisms of hazardous compound elution (Fig.3). A molybdenum adsorbing yeast was successfully constructed by engineering a molybdate binding domain to the cell surface of yeast in order to develop an efficient biological molybdenum recovery system. Studies on creating microbial fuel cells with the aim of removing nitrogen or selenic acid from wastewater are in progress.

#### International exchange and other activities

Assistant prof. Chien and Mr. Wakasa (M2) visited and had a short-term training in the biodiversity research center at Academia Sinica, Taiwan. Dr. Chang from China Medical University Hospital, Taiwan (Fig.4), and Prof. Duran from the University of Pau, France, visited our lab and gave us lectures. We received Ms. Ma from Taiyuan University of Technology, China, as a visiting scholar. Prof. Inoue gave an invited lecture in LCWU, Pakistan (Fig.5). We also gave a total of 22 invited speeches or oral/poster presentations at international and domestic conferences (Fig.6).



Fig.1 Photo of a plant-bacterium co-culture experiment in a field trial

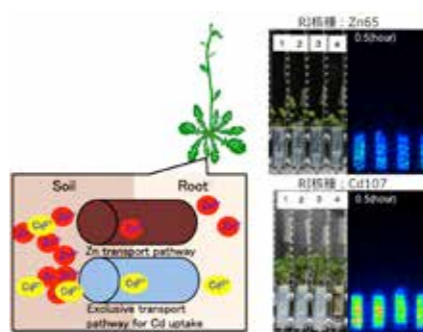


Fig.2 Image of PETIS for investigating Cd/Zn adsorption in *Arabidopsis halleri* ssp. *gemmifera*.

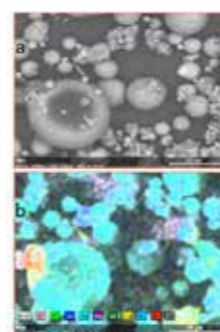


Fig.3 Photos of (a) SEM and (b) element mapping of fly ash particles

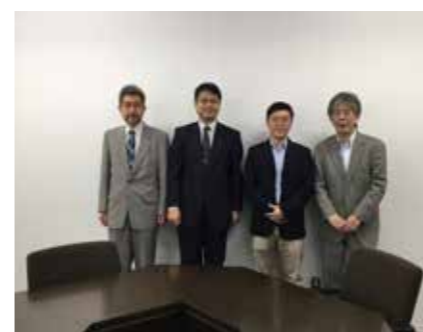


Fig.4 Group photo of receiving Dr. Chang from China Medical University Hospital, Taiwan



Fig.5 Prof. Inoue during an invited lecture in LCWU



Fig.6 Group photo in front of the Montreal Botanical Garden (during the 14th IPC)