

(様式3)

「秋田大学研究者海外派遣支援事業」帰国報告書

平成23年9月2日

所属・職名：秋田大学工学資源学研究科環境応用化学科・助教
氏名：和嶋 隆昌

派遣期間：平成23年3月24日～平成23年8月23日

派遣研究機関名：英文 Department of Geology and Environmental Earth Science
：和文 マイアミ大学地質学部

研究課題：製紙スラッジ焼却灰のリン除去機構の解明

○研究概要（2000字程度）

21世紀に入り、大量廃棄社会から環境への負荷が低減される循環型社会への転換が求められている。

現在、世界各地の湖沼や港湾などの閉鎖性水域ではリンによる富栄養化が進み、植物プランクトンが増殖するなど汚濁/悪臭/生態系崩壊といった水環境悪化が進行している。こうしたことから、リンは生活排水や産業排水の重要な規制項目となる一方で、肥料などの原料であるリン鉱石（リン資源）は数10年以内に枯渇すると予測されている。リンを100%海外依存する我が国では、リンを除去するだけでなく、回収・資源化する技術が急務となっている。

排水等に含まれるリンを除去する方法には、生物学的脱リン法、凝集沈殿法、吸着法などがある。しかし、生物学的脱リン法や凝集沈殿法は、0.01 mg/L オーダーの低濃度まで安定して除去することが難しい、汚泥が大量に発生し処分費用が増加するなどの問題があり、さらに、これらの方法では排水等から回収されたリンには不純物が含まれる場合が多く、資源として再利用することが困難で、ほとんどが産業廃棄物として処分されている。吸着法は、低濃度までリンを除去可能であるが、吸着材が高価である、吸着速度が遅いなどの問題がある。このような中で、リン吸着後に化学肥料の成分規格に合致するように合成された層状複水酸化物を吸着材として利用することで、リンを吸着しそのまま肥料として利用する研究が行われている。処理後の吸着剤は肥料として直接使用できるため、造粒や成分調整など再資源化に係るコストを省くことができ、比較的シンプルな施設となるため、小規模下水処理場への適用も可能であり、地産地消型のリン資源の循環も実現できる。しかしながら合成する層状複水酸化物のコストが問題となっている。

申請者は、資源の有効利用という観点から、産業廃棄物である製紙スラッジ焼却灰の活用に注目している。再生紙工場では、精製段階において古紙原料の約30%が製紙スラッジとして排出される。製紙スラッジは、セルロースなどの有機物質である紙の繊維とインクのにじみ止めなどを目的として添加される無機物質である粘土類を主成分とするものである。古紙のリサイクルが積極的に推進される中で、製紙スラッジの排出量は年々増加しており、日本の紙パルプ

(様式3)

業界では、産業廃棄物として製紙スラッジが全国で年間470万トン排出され、その多くを1トン当たり6000-7000円かけて焼却・埋立処分している。製紙スラッジの焼却残渣である製紙スラッジ焼却灰は、石炭灰などと同様に産業廃棄物の“ばいじん”に該当する。これらの排出量は膨大で、年々増大しているため、埋め立て処分場の確保が困難となりつつあり、さらに、パルプ製造業及び紙製造業は、資源有効利用促進法により特定省資源業種に指定されており、再利用の強化が求められている。そのため、このような焼却灰をリサイクル資材として活用するための研究開発が行われている。製紙スラッジ焼却灰は主に珪素・アルミニウム・カルシウムからなり、他の焼却灰と比べてカルシウム分が多く、また、有害微量元素が少ないことが特徴である。これらのことより、環境材料への利用も研究されており、申請者は焼却灰がリンや重金属の除去能を持つことを明らかにしてきた。製紙スラッジ焼却灰をリンの除去に用いれば、産業廃棄物の有効利用、環境保全、回収したリンの有効利用など波及効果が高いシステムが可能となる。しかしながら、焼却灰におけるリンの除去機構に関しては不明な点が多く今後実用化を目指すにあたり明確にしていく必要がある。

そこで、製紙スラッジからリンの除去可能な焼却灰（吸着材）を作成し、リンの除去挙動を検討した。

製紙スラッジ中には、セルロースなどの有機物と紙の充填剤として用いられているカオリナイト、カルサイト、タルクなどの無機物が含まれており、400°C付近で有機物が燃焼し、600°Cでカオリナイトが消失し、800°Cで無機相がアモルファスになることがわかった。さらに燃焼温度が上がると900-1000°Cでは、ゲーレンナイトが現れることからアモルファス相は、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ からなりゲーレンナイトの前駆体であると考えられる。この前駆体はCa, Si, Alを放出しやすい性質をもち、前駆体が得られる800-850°Cでの燃焼が最もリン除去能の高い焼却灰が得られる条件であることがわかった。この前駆体でのリン除去は、pHが中性～アルカリ性で起こり、他の共存陰イオン（塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオン）の影響を受けず選択的に起こることが明らかになった。また、リン除去反応は迅速に起こることがわかった。

今後、これらのデータを用いて効率的なリン回収プロセスの構築やリンを回収した焼却灰の化学肥料としての利用可能性について検討していく予定である。

○研究期間全般にわたる感想

(写真等があれば添付願います)

滞在先のマイアミ大学は、1809年創立の州立大学であり、オハイオ州の南西部のインディアナ州やケンタッキー州との州境に近いオックスフォード市に位置する。学生数は23000人であり、オックスフォード市に実際に居住する市民は6000人であることから大学の街であることがわかる。実際に滞在した3月下旬-5月上旬は街中に人が多く車も多く走っているが、夏休み



に入った5月中旬以降は静かな街になった。夏になると夜の10時頃まで明るいため、日本と比べて一日を長く感じる生活であり、8時頃から公園で毎週コンサートが開かれていた。

(様式3)

オックスフォード市には学生や
20-30人ほど住まれており、いろ



教員などで日本人の方が
いろいろとお世話いただいた。

オックスフォード市は近郊の都
市(Cincinnati: 30min, Dayton: 1 h,

Indianapolis, Columbus, Lexington: 2 h, Chicago, Detroit: 5 h)まで車で行ける位置であり、週末は家族でいろいろな都市に出かけることができた。大きな都市には必ず科学博物館や歴史博物館があり、特に科学博物館では体験型の展示が多くたくさんの子供が興味深く遊んでいる姿が目をつけた。



今回の派遣で
of Geology and

は、Department
Environmental

Earth Science J.F. Rakovan 教授のお世話になった。Rakovan 教授は鉱物学の専門家であり、今回は様々な分析手法や考察方法についてご教授いただいた。また、修士論文の公聴会などにも出



席させていただき、学生の活発な質疑応答を見ることができた。時間があるときは様々な料理を食べに連れて行ってもらった。

5ヶ月間は当初の研究予定を終えるには短かったが、期間中は非常に充実した時間を過ごすことができた。また、研究だけではなくアメリカの文化や歴史にふれ貴重な経験を得ることができた5ヶ月間であった。

最後に、このたびの海外派遣では、国際交流センター、学部、学科をはじめ関係各所の方々に多くのご支援いただいたことを、ここに御礼を申し上げ、報告とさせていただきます。

※報告書は、国際交流センター刊行物（Webサイト含む）に公開を予定しております。