

## 東京大学レアアース泥開発推進コンソーシアム【第5年度活動報告会】

コストベネフィットの徹底分析で、全体最適なシステム構築を目指す  
「東京大学レアアース泥開発推進コンソーシアム」第5年度活動報告会

2019年10月29日、「東京大学レアアース泥開発推進コンソーシアム」の第5年度活動報告会が同大浅野キャンパス・武田ホールで開催された。5年間活動を行ってきた「探査・モニタリング・環境」、「採泥・揚泥」、「選鉱・製錬」、「残泥処理」、「新素材」の四つの部会から、基礎的な研究から確実に実証段階へと活動が進んでいることが報告された。また、第3年度に新設された「新素材」部会では、様々な領域における新材料開発の可能性を探っており、産業利用に加速させるための調査研究を行っている。

各部会からの研究活動の進捗報告を受け、座長を務める東京大学大学院工学系研究科の加藤泰浩教授は、昨年度の報告会でもテーマに挙げた経済性評価について、「この課題に対しては絶対に逃げない。そのためには、部会横断的なタスクフォースを立ち上げて、全体システムの最適化を追求する」と、次年度以降、経済性評価に対してサイエンスと同等以上の情熱で取り組む決意を示した。



東京大学 大学院工学系研究科 加藤泰浩 教授

## サブボトムプロファイラ (SBP) 調査で新たな可能性、レアアース品位の推定も (探査・モニタリング・環境部会)

部会 1 の「探査・モニタリング・環境部会」からは、東京大学大学院工学系研究科の中村謙太郎准教授が研究報告を行った。本部会には、深田サルベージ建設、商船三井、日本郵船、日本エヌ・ユー・エス、マリン・ワーク・ジャパン、東京パワーテクノロジー、川崎汽船が参画している。

この部会では、主に南鳥島 EEZ 海域でのレアアース泥の埋設状況の探査・モニタリングのほか、環境影響評価などの検討を進めている。中でも中村准教授らが研究を進めているのが超高濃度レアアース泥層の検出についてである。

すでに本部会では船上からの SBP 調査によって、南鳥島 EEZ 全域の海底探査を行っており、ピストンコアで採取したサンプル分析とあわせてレアアース泥の分布を解明。EEZ 南部から南東部にレアアース泥が多く堆積する“開発有望地域”を特定している。

SBP 調査は低周波数の音波を海底に向けて発信し、反射音から海底下の情報を得るもの。中村准教授らはこれまでの調査データを再検討し、音響的に透明となる層の中に少数の反射面がある場所（透明層内反射面）があることに着目。これを化学層序によって解析した南鳥島沖海底下の地層データと比較したところ「レアアース高濃度層と透明層内反射面との間に相関があることが分かった」（中村准教授）。



東京大学 大学院工学系研究科  
中村謙太郎 准教授

また、このデータ再検討で、レアアース品位に大きく関係する BCP（生物源リン酸カルシウム）濃集と反射強度に相関があることも発見した。これによって「SBP 調査によって高濃度堆積層の場所だけでなく、その品位推定もできる可能性が見えてきた」と中村准教授は自信をのぞかせる。

ただし、深度 6,000m クラスの海域の場合、海上船からの調査では精度に一定の制約がある。そのため、最有望海域として絞り込めるのは 100 km<sup>2</sup>程度が限度。

中村准教授は「戦略的イノベーション創造プログラム」(SIP) 第2期では国内初となる 6,000m 級自立型無人潜水機 (AUV) が導入されることから、「深海 AUV 調査の実施によって、100 km<sup>2</sup>オーダーから 1 km<sup>2</sup>の最有望開発エリアを絞り込みたい」とその運用に大きな期待を寄せた。

## エアリフト方式で深度 200m 級の揚泥実験に成功 (採泥・揚泥部会)

部会2の「採泥・揚泥部会」からは、東京大学大学院工学系研究科の高木周教授が研究報告を行った。本部会には、三井海洋開発、日本海洋掘削、東亜建設工業、深田サルベージ建設、商船三井、スターライト工業、日鉄総研、古河機械金属、日本郵船、日揮、三井 E&S 造船、三井住友建設、川崎汽船、鹿島建設、小松製作所、日本ユピカといった企業のほか、海洋研究開発機構、海洋・港湾・航空技術研究所が参画している。採泥・揚泥技術の開発を進めており、エアリフト方式による技術開発の進捗状況について報告を行った。



東京大学 大学院工学系研究科 高木周 教授

本技術開発は経済産業省から委託を受けた独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構の委託事業として 2017 年度から本学の高木研究室が受託し実施している。エアリフト方式は、泥水に気泡を含ませることで船上に引き揚げる仕組み。産業技術総合研究所・つくば西事業所にある立型水槽を用いて 2017 年度同委託事業による深度

50m 級の揚水実験に続き、2018 年度同委託事業により 2018 年 12 月に深度 200m 級での実証実験を行った。水での作動確認の後に模擬泥水を投入。12~25N m<sup>3</sup>/分の広範囲の空気注入量に対し、2 m<sup>3</sup>/分程度の最大揚泥量を達成している。同時に空気注入量をあえて 7N m<sup>3</sup>/分、3N m<sup>3</sup>/分と落とした条件下での実験も行った結果、最大揚泥量はそれぞれ 90%、75%となった。この結果を受けて高木教授は「空気量の減少は装置全体の振動抑制にもなることから、実験結果を詳細に分析して実用段階での最適解を導き出したい」とコメントした。

一方、エアリフト方式の課題として、引き揚げ過程で気泡が膨らみ環状流状態になってしまう点が挙げられている。しかし、この実証実験ではシミュレーションデータ上で環状流となる状況でもエアリフト効果が落ちていないことが確認された。高木教授はこの点について、「レアアース泥は粘性が高く上昇速度が遅くなることから、気泡同士の合体が起こりにくくなっているのではないかと推測。全体の加圧が本当に必要なのか、実用に向けた改良点を探っていくとしている。

現在、本部会では実験結果を受けてシミュレーションモデルの検討と並行して、新たな実証実験も視野に入れている。「次の実験では、装置内に超音波計測系などのセンサー類を複数配置し、空気によって上昇する際の気泡の状態変化を詳細に解明したい」と期待を込めた（高木教授）。

## 国産レアアース製 LED を東京オリンピック会場周辺に (選鉱・製錬部会)



東京大学 大学院工学系研究科  
ドドビバ・ジョルジ 准教授

部会3の「選鉱・製錬部会」では、採掘した泥からレアアースを効率的に回収するための研究開発を進めており、三徳、三井金属鉱業、日揮、信越化学工業、鹿島建設、日本ユピカ、グローバルマテリアルズエンジニアリングが参画している。冒頭、東京大学大学院工学系研究科のドドビバ・ジョルジ准教授からの挨拶の後、早稲田大学理工学術院・講師の高谷雄太郎氏が「南鳥島の光プロジェクト」について

報告を行った。

「南鳥島の光プロジェクト」とは、南鳥島海域から引き上げられたレアアース泥から白色 LED を作成し、2020年の東京五輪開催に合わせて、会場及び周辺地域への設置、利用を目指すもの。

レアアース泥から LED 作成までには、大きく①レアアース抽出、混合希土酸化物の回収、②レアアースの分離、イットリウム、セリウムの精製、③蛍光体と白色 LED の作成——の三つのプロセスがある。本部会が研究を担当するのは①抽出・回収と②分離・精製の部分にあたる。今回のプロジェクトでは、塩酸を用いた吸着剤によってレアアースを抽出し、混合希土酸化物（含イットリウム）、カラム濾過液酸化物（含セリウム）を回収する手法を採用。「用いられた吸着剤はレアアースイオンへの高い選択性があり、分利過程で邪魔になる鉄などがほとんど吸着されない点が大きな特長」（高谷氏）だという。



早稲田大学理工学術院 高谷雄太郎 講師

工程は第一段階のカラムで吸着剤によって回収。残った通過液を再び別のカラムを通し同じく吸着・回収させる 2 段階のプロセスとなっている。「レアアース酸化物の回収率は第一段階 99.6%、第二段階 99.7%。分離を邪魔する鉄、カルシウムの濃度は回収液の 0.1%程度に抑えられた」（高谷氏）。プロジェクトではすでに酸化イットリウム (30.4g)、酸化セリウム (1.4g) の分離精製を完了し、白色 LED の試作段階に入っている。

続いて、日揮グローバルの山田祥徳氏が登壇し、レアアース泥の海底粗選鉱の手法について紹介した。

レアアース泥の引き揚げに際しては、海底での選鉱・分離を行うことで効率性・経済性を高めることが検討されている。山田氏が紹介したのは最も上流に位置する粗選鉱の部分。「あらか



日揮グローバル 山田祥徳 氏

じめ砂礫を除去しておくことで、後工程における摩擦や閉塞といった機械的なトラブルを防ぐ」というものだ。

ジグ選鉱は採掘した泥などに一定の振動を加え比重差によって不要物を分離させる手法。陸上鉱物において多くの実績を持ち、仕組みが簡便なため経済的にも優位だとされている。しかし、山田氏によれば「水深 6,000m の深海底での実施には、前処理や駆動力などいくつかの制約課題がある」という。

研究では、まずシミュレーションによる解析を実施。流速最大 0.2m/秒、同 0.3m/秒、同 0.4m/秒という 3 条件で解析を行ったところ、「流速が高いほど粒子が高く持ち上げられ沈降距離が長くなり、沈降速度の差ができたことで効率的に泥と砂礫が分離できることが分かった」（山田氏）という。

今後の課題としては、レアアース泥の詳細な性状の把握ほか、シミュレーションと実機・実験の比較検討などがある。「課題をクリアしながらジグ装置形状や運転条件の最適化を図り、経済性のある仕組みを構築したい」（山田氏）。

## フィルター材への再利用も検討、土木・建設以外でも研究開発中 (残泥処理部会)

部会 4 の「残泥処理部会」からは、東京工業大学大学院理工学研究科の北誥昌樹教授が研究報告を行った。本部会には、東京工業大学、千葉工業大学、太平洋セメント、日本ユピカ、グローバルマテリアルズエンジニアリング、東亜建設工業が参画し、レアアース抽出後の残泥処理方法を検討している。

残泥処理には「Reduce」、「Reuse」、「Recycle」の 3 R の視点があるが、今回、北誥教授からは主にリユース、リサイクルについての研究報告を行った。

まず、北誥教授が示したのは、専門領域である土木・建設業界の対応力の高さだ。「建設残土、コンクリートがら、焼却灰など、土木・建設業界はすでに豊富なリユース、リサイクル処理の実績がある。レアアース泥処理についても殆どは既存技術の範囲で対応できる」と処理への自信を見せる。

レアアース泥の物性を評価した北誥教授は「レアアース泥は粘性が高い細粒土だが、これまでの港湾土木で扱ってきた範疇に収まるもの」と言い、中部国際空港や羽田空港 D 滑走路などの工事实例を紹介した。「管中混合固化処理工法といった軟弱な浚渫土砂を大規模かつ素早く改良する方法があり、レアアース残泥も同様に地盤材料として利用することは十分可能だ」（北誥教授）。



東京工業大学大学院 環境・社会理工学院  
北誥昌樹 教授

本部会では環境資材への再利用として、残泥を中和後、高温焼成させて魚場整備、藻場造成の基盤材とすることにも成功している。この基盤材は、2018年1月から南鳥島海域に投入され曝露実験が実施されているが、「海底に固定することで様々な生物が着生することが確認されている。

レアアース残泥にはセメント主要成分となる成分が多く有さ

れていることから、レアアース残泥のセメント原料化の検討も開始されている。わずかにセメント忌避成分である塩素を含有していることが課題となるが、北誥教授によると「塩素対策を講じればセメント原料への利用は問題ない。レアアース残泥の一定量を受け入れることが可能だ」という。また、本部会では新たに樹脂メーカーが加わったことから、フィラー材（樹脂に混ぜ込む充填剤）への再利用が検討されるなど、土木・建設以外の研究開発も進んでいる。

### 超分野レアアース素材開発に高まる期待 (新素材部会)

部会5の「新素材部会」からは、青山学院大学工学部化学・生命学科の長谷川美貴教授が研究報告を行った。本部会は2017度に新設され、青山学院大学、三徳、東京電力ホールディングス、トヨタ自動車、日亜化学工業、YAMAGIWA、日鉄総研、根本特殊化学、三井金属鉱業、積水化学工業、千葉工業大学が参画している。アドバイザーには大阪大学の足立吟也名誉教授が参加し、レアアースによる新材料開発の可能性を探っている。

本部会は、「レアアース素材の現状調査と意見交換」、「未踏材料開拓に向けた産学連携」をコンセプトに、これまでに5回の研究会を開催。メンバーそれぞれがテーマを持ち寄り「学界（学術）と産業の隙間調査」、「資源リスクと基盤材料開拓」、「超残光発光体の現状と課題」、「セリウム系素材の現状と展望」、「蓄電池開発の現状と展望」と幅広い領域で議論や意見交換を行ってきた。長谷川教授は

「レアアース素材の開発には学術研究を産業利用に加速させるための調査が必須。その意味で本部会は従来にない産学連携の共同研究体制が形成できている」と自信を示す。

素材としてのレアアースの強みは、原子レベルでマルチファンクションであること。多くが磁性、電導性、光学特性といった複数の機能を有しており、サマリウム、ジスプロシウムのように3つの機能を持つものも少なくない。これらの特長から次世代エネルギー分野のほか、医療、環境など幅広い応用が期待されている。レアアースはその性質を司る殻が内側、結合に使われる殻が球体状



青山学院大学 理工学部 化学・生命学科

長谷川美貴 教授

の外側に位置する構造上の特性から、その結合が予測できず分子設計が難しいとされてきた。これに対して、長谷川教授は錯体化学の手法でアプローチ。例えば、有機分子が螺旋状に巻きつくようにレアアースに配することで、レアアースの種類が異なる錯体を繋ぎ、分子合成の割合を変えることで発光色を制御することなどに成功している。

また、長谷川教授らのグループは、ユウロピウムのはたらきは拡散せずに真っ直ぐ進む性質があることを発見した。偏光の特性を活かすことで、スマホ画面の覗き見防止フィルター、特殊インクといったセキュリティ分野、次世代ディスプレイへの応用が期待されているほか、レアアース酸化物粒子の界面錯形成によって光電子増倍管と同じ性質を持つ電極（外部変換効率 167000%）の作成にも成功しており、超分野レアアース素材の開発に大きな期待が高まっている。

長谷川教授は「これらの成果は全てレアアースだからこそできること。部会5は全く違った視点から議論を重ね、日本の海からレアアース新材料を生み出すためにチャレンジしていきたい」と決意を示す。

**システム全体を俯瞰、部会横断で、経済性を徹底追求**



各部会からの報告の最後に、再び座長を務める加藤泰浩教授が登壇し、次年度以降の進め方を示した。

現在、本コンソーシアムには 39 の企業、団体が参加しているが、6 年目となる次年度から新たに IHI、UACJ、昭和電工、TDK の 4 社が加わる。参加メンバーの顔ぶれも海洋関係から土木・建設、材料開発と多岐にわたり、「採掘からものづくりまで、一連のサプライチェーンを構築できる顔ぶれが揃っている」（加藤教授）と活動への自信を覗かせる。

システム開発の実現が急がれる中、加藤教授が次年度以降の大きなテーマと掲げるのが「経済性評価」だ。

近年レアアース価格が下がってきていることから大規模開発への懸念を示す向きもある。しかし一方で、経済性には価格だけでなく品位が大きく関係する。加藤教授は南鳥島海域に堆積するレアアース超高濃度層が 5,000ppm と高品位であることから、「仮に陸上レアアースの倍の品位を実現できれば NPV（正味現在価値）は一桁変わってくる」と南鳥島海域開発の経済優位性について説明した。

さらに、加藤教授は「経済性を考える上で重要なのは全体最適」だと指摘する。例えば、採泥では海中に機器を投入する「目的層採泥」の方が「連続採泥」に比べ初期コストが増える。しかし、超高度層を効率的に採泥できれば、後工程を含めて目的層採泥の方が経済性は向上することや、システム全体を俯瞰してみると、意外にも製錬抽出時の抽出液費用のコストがして大きいことなどが見えてくるからだ。そのため、全体最適の視点から、経済性評価に関しては各部会に閉じることはせず、部会横断的なタスクフォースを立ち上げて検討を進める考えだ。加藤教授は「経済性という課題から逃げることなく、徹底的にコストベネフィットを分析し全体最適なシステムを構築していきたい」と、来年度以降の活動に強い決意を示した。