

[環境科学研究科ニュースレター]

# News Letter

20  
号  
記念

2019.03

東北大学大学院環境科学研究科  
Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University



環境科学研究科本館を飾る  
「いろいろ」



リサーチ・レポート  
**Research Report**

- 1 自発的に欠陥を修復するインテリジェントマテリアル  
先端環境創成学専攻 太陽地球システム・エネルギー学講座 資源利用プロセス学分野 助教 丸岡大佑
- 2 分子中に異なるランタニドを持つ錯体の機能創発  
先端環境創成学専攻 自然共生システム学講座 環境分析化学分野 助教 唐島田龍之介

トピックス

**Topics**

土屋研究科長  
環境大臣を表敬訪問  
(2018年11月14日)

青葉山新キャンパスの環境科学研究科本館に入って左手にすぐ目に入る、大きな壁面オブジェと岩石。これらは2018年の秋から冬にかけて、本館に「環境科学」としての色合いを添え、研究と教育上のモットーを現すものとして整備されました。今号のニュースレターでは、本館ホールを彩る木と石の「いろいろ」について特集でご紹介します。



## 木々が表現する多様性

「杜の都」と呼ばれる仙台にあり、また、天然記念物青葉山を擁するキャンパスに過ごす私たちにとって木は身近な存在です。しかし、里山の木を私たちはどのくらい知っているでしょうか。2018年9月、環境科学研究科本館1Fホールに、木のオブジェが設置されました。「いろいろな樹」と名付けられたこのオブジェには、仙台の街で、またキャンパスで日々目にするケヤキやイチヨウから、初めて聞くような名前までの木まで、主に東北・北海道から産出される国産材54種類が使われています。一口に「木」といっても、その木目や色合いは実に様々です。ウルシの黄色、チャンチン(香椿)の赤、埋れ木の黒、

これらは着色したものではなく、すべてが天然そのままの無垢の色です。色として感じることのできる、森の多様性といえるでしょう。森の中では、多様な樹種が共存しています。

これまで自然や生物種は、保護や保全の対象として語られてきました。なぜ、そうした保護や保全は必要なのでしょう。全世界の既知の総種数は約175万種といわれています。こうした生物の多様性は地球上の生物社会の進化の帰結であり、そうした多様性があるからこそ、全体としての系の安定性が保たれています。保護や保全から一歩進んで見えてくる、そうした差異に基づく調和と持続性を、環境科学の目指すものとして「いろいろな樹」が示しています。

## いろいろな樹

環境科学研究科長 土屋範芳

「ヤブ漕ぎ」という山登りのやり方があります。文字どおり、ヤブの中、道なき道を、本当に漕ぐように進む登り方で、「沢登り」とともに、日本の山地の特性に対応する登行方法です。「ヤブ漕ぎ」も「沢登り」も、山、森、ヤブ、沢と一体化します。ヨーロッパで始まった、近代アルピニズムとは、方法論も精神的にも異なる山登りになります。近代アルピニズムが、自然に挑む、未知なる領域の征服といった挑戦的行動であるとしたら、「ヤブ漕ぎ」は、自然との相対化、山との融合といった協調的行動であるかもしれません。

環境科学研究科に新しい顔を作ってみました。

54種類の樹を使ったこの飾り樹の製作は、長野県の建具職人有賀恵一さんにお願いました。有賀さんは、多種多様な樹の特性を活かして、家具から建具、さまざまなものを

製作しています。この飾り樹には、樹を見る力、それぞれの樹の特性を踏まえた乾燥、製材技術など、豊かな経験に裏打ちされた確かな技術が詰まっています。

有賀さんの製作信条は、「いいかげん」だといいます。異なる個性の木を組み合わせピッチリ作ると狂ったり反ったり割れたりするので、ある程度いい加減に作ることが大切とのこと。有賀さんはいいです。「どんな木にも欠点がありますが、いいところもあります。いいところを引き出すように挽けばいいのです。」※1

この飾り樹は、同窓会「紫水会」の援助により作製されています。同窓生ならびに関係各位に感謝申し上げます。



※1 清和研二、有賀恵一『樹と暮らす 家具と森林生態』築地書館、2017年、182頁

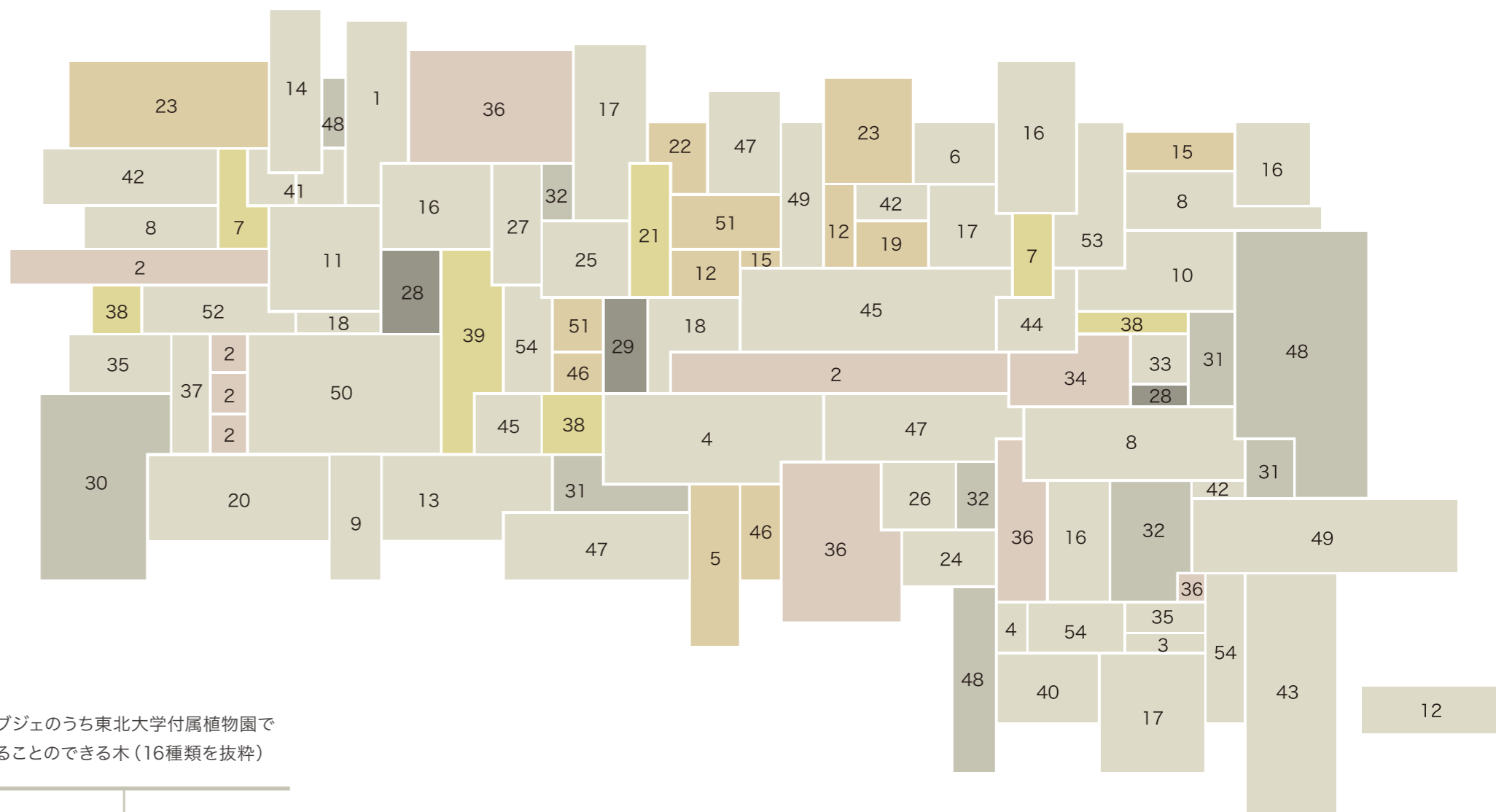


## この木なんの木？

オブジェを構成する木のいろいろ、それぞれの名前を一覧にしました。オブジェ「いろいろな樹」に使われている木の一部は、東北大学附属植物園でも見ることができます。写真はすべて、11月の附属植物園とその周辺で撮影したものです。どんな木として山に根付いているかも併せてご覧下さい。

### 国産木材54種類

- |           |           |            |
|-----------|-----------|------------|
| 1. アカマツ   | 19. クヌギ   | 37. トチ     |
| 2. アキタスギ  | 20. クリ    | 38. ニガキ    |
| 3. アサダ    | 21. クワ    | 39. ニセアカシア |
| 4. アズキナシ  | 22. ケヤキ   | 40. ニレ     |
| 5. イチイ    | 23. ケンボナシ | 41. ネズコ    |
| 6. イチョウ   | 24. コシアブラ | 42. ハクジ    |
| 7. ウルシ    | 25. サワラ   | 43. ハンノキ   |
| 8. エノキ    | 26. シナ    | 44. ヒノキ    |
| 9. エンジュ   | 27. シラビソ  | 45. ヒバ     |
| 10. オニグルミ | 28. 神代クリ  | 46. ビャクシン  |
| 11. カエデ   | 29. 神代ケヤキ | 47. ブナ     |
| 12. カツラ   | 30. 神代スギ  | 48. ホオノキ   |
| 13. カバ    | 31. 神代タモ  | 49. ミズキ    |
| 14. カヤ    | 32. 神代ニレ  | 50. ミズナラ   |
| 15. カラマツ  | 33. セン    | 51. ミズメザクラ |
| 16. キハダ   | 34. センダン  | 52. モミ     |
| 17. キリ    | 35. タモ    | 53. ヤマザクラ  |
| 18. クスノキ  | 36. チャンチン | 54. リンゴ    |



オブジェのうち東北大学附属植物園で見ることのできる木(16種類を抜粋)





## 「いろいろな樹」の設置過程



設置は9月3日に行われました。オブジェを制作された長野県伊那市の建具職人、有賀恵一さんをはじめとする有賀建具店の職人のみなさん。当日は早朝から、伊那から仙台までの道のりを、オブジェと共に車でお越し下さいました。



縦約2.4m×横約3.6mのオブジェは2つのパーツに分かれています。



設置の様子。手際よく、白一面だった壁面に取り付けられていきます。



設置完了しました。土屋研究科長をまじえて記念撮影。





## 多様な岩石が語る地球の力

岩石は地球の成り立ちを語る記録物です。その一方で、古来岩石は鉱物資源として人間の生活を様々な形で支えてきました。環境科学研究科では、記録物としての岩石、資源としての岩石の双方についての知見を基盤として、ダイナミックな地殻変動や地球内部の熱や水の移動を探り、地熱や地中熱、温泉水といった再生可能資源の開発に繋げています。研究科本館ホールに置かれている7種類の石は、そうした研究の過程

でサンプルとして、遠くは南極、近くは秋田県から採集してきたものです。長い時間をかけて地中で形作られた鉱物の多様な形が、地球の不思議な力と地中の豊かさを物語っています。岩石は自分から話すことはできません。実験や分析を通じて、こちらから語りかけたとき、岩石は自らの生い立ちを雄弁に語ってくれます。「いろいろ」があることで、いろいろな生い立ちや生き様が見えてきます。なんと楽しいことでしょう。



### コマチアイト

Komatiite  
南アフリカ バーバートン産

超苦鉄質岩。地球上で最も高温(約1600℃)まで耐えられる岩石。本試料は、コマチアイトの模式地(コマチ川)から採取。表面の針状組織は、スピニフィックス組織とよばれ、カンラン石が急冷成長して細長くのびたもの。コマチアイトは始生代(この試料は35億年前)のマントルの特徴を推定する貴重な岩石。



### 重晶石

BaSO<sub>4</sub> Barite  
産地不詳

バリウムの原料となる。熱水鉱床や黒鉱鉱床に産出。Pbを相当量(Ba:Pb=4:1)含む重晶石は北投石とよばれ、秋田県玉川温泉で産出する。ここは日本有数の強酸性放射能泉となっている。

← 展示台として使用している木の根はケヤキ(黒鉱のみ梅)

### 方解石(犬牙状方解石)

CaCO<sub>3</sub> Calcite  
秋田県鹿角郡 不老倉鉱山産

方解石は、ごくありふれた鉱物だが、結晶形態は多岐にわたる。このサンプルは、結晶面の発達に違い(晶相)から犬の牙のような形態をしている。このような試料は熱水鉱床で産出する例が多い。



### 石英-長石質砂質片麻岩

Quartzo-Feldspathic Psammitic Gneiss  
南極 アムンゼン湾 トナー島産

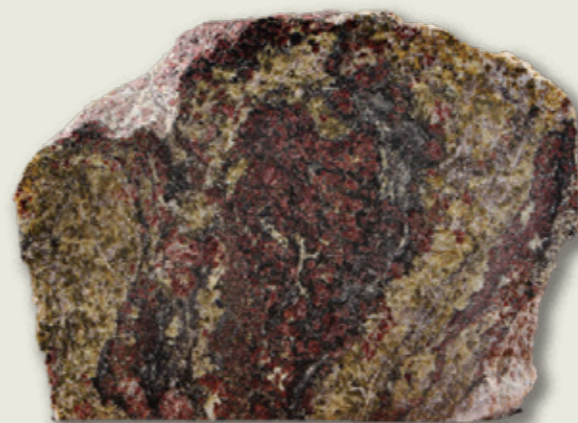
この岩石を含むナピア岩体は、地球上で最も古い岩石のひとつとされている。風の強い南極では、細かな砂礫が長い期間あたることにより、蜂の巣状に風化されることがある。



### ザクロ石-黒雲母泥質片麻岩

Garnet-Biotite Pelitic Gneiss  
南極 リッツォ・ホルム湾 スカルプスネス産

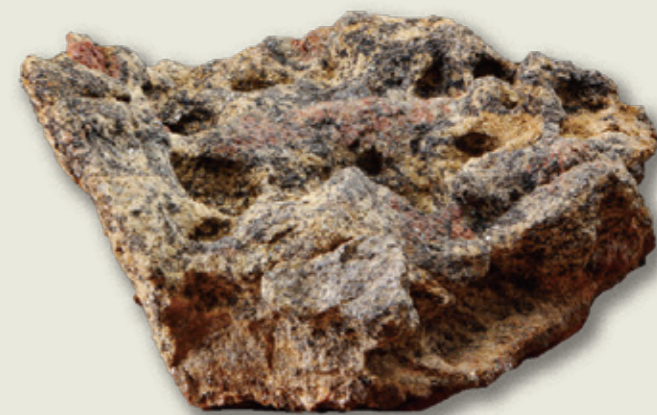
赤い円形の結晶がザクロ石。ザクロ石を取り囲む黒い結晶が黒雲母。この岩石はもとは泥が固まった堆積岩で、約5億年前にグラニュライト相とよばれる高温の変成作用を被っている。よく観察すると複雑な褶曲構造が見える。



### ザクロ石-黒雲母泥質片麻岩

Garnet-Biotite Pelitic Gneiss  
南極 東オングル島 昭和基地産

昭和基地のある東オングル島の主要な岩石。赤い結晶がザクロ石、黒い結晶は黒雲母。



### 黒鉱

Black Ore  
秋田県 花岡鉱山産

海底噴気堆積鉱床の代表例として広く世界に知られている。黒鉱は銅、鉛、亜鉛の複雑硫化鉱からなり、この鉱石の選鉱・製錬技術は、現在の金属リサイクル技術の基礎となっている。昭和の終わり頃まで、秋田県を中心とする東北地方で盛んに採掘されていた。現在でも類似の鉱石が沖縄や小笠原諸島の近海で見つっている。







# 自発的に欠陥を修復する インテリジェントマテリアル

東北大学 大学院 環境科学研究科 助教 丸岡大佑

丸岡 大佑 (まるおか・だいすけ)

徳島県出身。長岡技術科学大学大学院修士課程・機械創造工学専攻、同博士課程材料工学専攻修了、2013年3月博士(工学)取得。横浜国立大学・産学連携研究員を経て、2015年1月より現職。専門は、高温酸化・高温腐食、無機材料工学、高温物理化学。



## 研究の背景と経緯

構造用セラミックスは高い高温強度や耐摩耗性に優れ、一般的に金属よりも軽量な材料ですが、わずかな欠陥によって機械強度が著しく低下してしまう課題があります。

私が研究している自己治癒材料は、さながら人間がケガをしたときにかさぶたができて傷が治るように、材料中の非酸化物分散材の高温酸化によって、材料表面の欠陥を自発的に修復する特性を有しています(図1)。このかさぶたに相当する酸化層を自己治癒層と呼んでいます。自己治癒材料は高温酸化雰囲気中で使用することで、使用中にき裂などが発生しても自己治癒層が自発的に生成するため、高い信頼性を実現

しています。

私はこれまでに博士課程において、金属材料であるNiやCo等を分散材として用いた複合材料が自己治癒効果を示すことを明らかにしました。さらに自己治癒層の成長挙動や強度回復挙動について基礎的な調査を進め、自己治癒モデルを提案しました。また産学連携研究員時代には、繊維強化機構と組み合わせた繊維強化自己治癒材料の開発に携わり、開発した材料の高温耐久性に関する研究を行いました。本材料は、軽量なジェットエンジンタービン静動翼部材として開発が進められており、現行の金属材料と代替することでCO<sub>2</sub>排出量の削減を目指しています。

## 研究内容と進捗

最近、自己治癒層の高温腐食挙動について研究しています。強度回復には自己治癒層が安定的に存在する必要がありますが、使用環境によっては自己治癒層が腐食され、強度回復した状態を維持できなくなります。例えば、ジェットエンジン運転中に発生する不純物の1つである硫酸ナトリウム(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)は、一部の自己治癒層と反応して低融点化合物を生成します。現在検討している材料(アルミナ母材とニッケル分散材との複合材料)では、硫酸ナトリウムの高温腐食環境においても、大気中の熱処理条件と同様の自己治癒層が生成してき裂が消滅しています。

(図2)。き裂消滅後の試料を用いて強度試験を実施した結果が図3です。通常、材料は最も低強度な箇所から破断するため、き裂を導入しただけの材料(き裂導入材)ではき裂に沿って材料が破断しています。一方、き裂消滅後の材料では、高温腐食の影響を受けずに強度が回復した結果、き裂部以外で破断していることが分かります。実際の曲げ強度も元の材料と同等以上の値を示していました。このように、自己治癒材料の使用環境を想定した高温腐食挙動の調査と、その解決策を提案しています。

## 今後の展開

自己治癒材料はその特性により、宇宙往還機や焼却設備など整備が困難であり、厳しい高温環境に曝される場面で使用が想定されています。使用環境によって自己治癒層の腐食挙動も異なりますので、条件に応じた基材と分散材の材料開発および自己治癒層の評価を進めていく予定です。

また現在の自己治癒材料は機械的強度の回復に主眼を置いています。機能的な性能回復や不安定化したプロセスの復旧など、設計から逸脱した状況を安定した状態に復帰させる技術は、成熟社会である日本において重要です。そのため、今後は自己治癒材料の研究を内包した『設計要求の性能を、設計寿命まで安定的に提供できる』技術提案を進めていきたいと思っています。

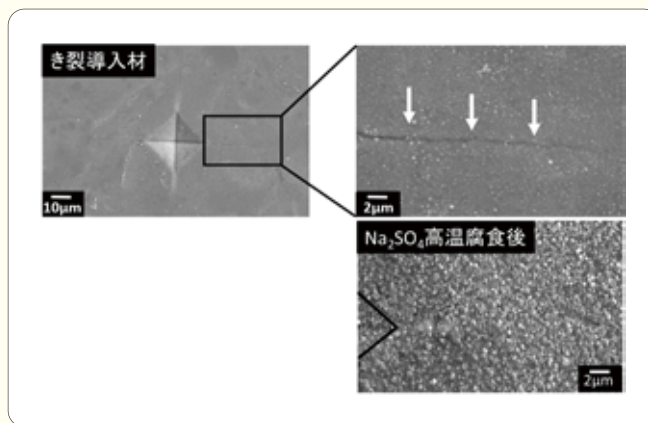


図2 硫酸ナトリウムによる高温腐食前後のき裂部写真

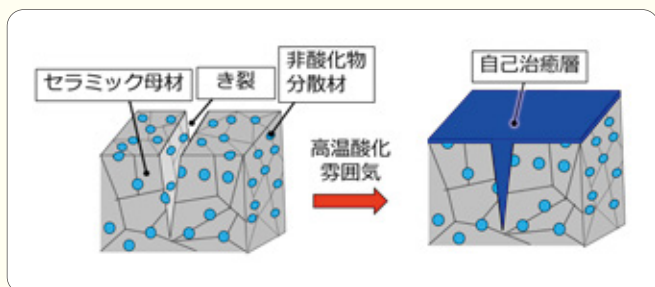


図1 自己治癒材料の模式図

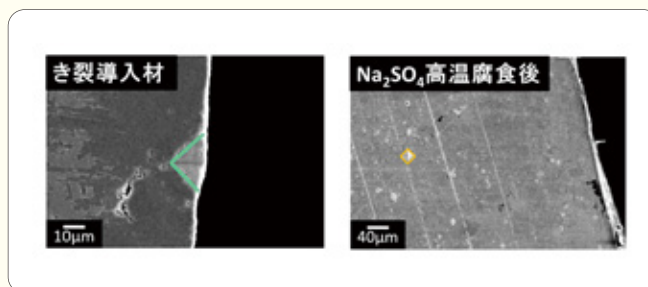


図3 硫酸ナトリウムにより高温腐食させた材料の曲げ試験後写真



# 分子中に異なるランタニドを持つ錯体の機能創発

東北大学 大学院 環境科学研究科 助教 唐島田龍之介

唐島田 龍之介 (からしまだ・りゅうのすけ)

富山県滑川市出身。2011年に富山高等専門学校専攻科を修了後、東北大学大学院環境科学研究科博士課程前期2年の課程および後期3年の課程を修了して2016年に博士(学術)を取得。同年より現職。



## 研究の背景と経緯

ランタニド(Ln)とは原子番号57~71のLa~Luのグループの総称として呼ばれます。Lnは4f軌道の電子に由来したユニークな機能を示すため、発光材料や磁気材料など様々な分野へ応用されています。近年、無機材料において複数の異種ランタニド(Ln, Ln')を添加し、ランタニド同士の相互作用(f-f communication)を利用したLn間のエネルギー移動によって、アップコンバージョン(UC)やダウンコンバージョン(DC)、ダウンシフティング(DS)といった機能が発現し、材料の発光機能を向上させることに注目が集まっています。Ln間のエネルギー移動は

Ln間の距離に依存しますが、無機材料中の異種ランタニド(Ln, Ln')は統計的に分布するためその距離や配置を制御することはできません。

一方、Lnと有機配位子からなるLn錯体においては分子内でLn間の距離を制御することができ、Ln間距離が近接した錯体を用いれば効率的なf-f communicationが期待できます。私の研究では以上のことを踏まえて、異種ランタニドを含む錯体分子(異核錯体)においてf-f communicationを実現することを期待してその機能創発に取り組んでいます。

## 研究内容と進捗

私たちの研究室では、チアカリックスアレーン(TCA)という分子がLnと錯体を形成することを見出し、その分子の構造や発光機能を明らかにしてきました。私は、TCAとLnからなる錯体が多核錯体(Ln<sub>3</sub>TCA<sub>2</sub>)を形成することに着目し、分子中に2種類のLnを持つ異核錯体(Ln<sub>3-x</sub>Ln'<sub>x</sub>TCA<sub>2</sub>, x = 1, 2)が形成し、この錯体がf-f communicationを示すと考えて研究に取り組みました。

2種類のLnとしてTbとYbを選択し、水溶液中でTCAと混合することで、これまでの研究で知られていた同核錯体(Tb<sub>3</sub>TCA<sub>2</sub>, Yb<sub>3</sub>TCA<sub>2</sub>)に

加えて新たに異核錯体(Tb<sub>3-x</sub>Yb<sub>x</sub>TCA<sub>2</sub>, x = 1, 2)が形成していることを見出しました。Lnは化学的性質が似ているため、混合物となりましたが目的の異核錯体を得ることができました。さらに、得られた混合物を用いて異核錯体(Tb<sub>3-x</sub>Yb<sub>x</sub>TCA<sub>2</sub>, x = 1, 2)の発光特性を調査したところ、Tb<sub>3</sub>TCA<sub>2</sub>と比較するとTb発光が減少しており、Yb<sub>3</sub>TCA<sub>2</sub>と比較するとYb発光が増加していました。つまり、異核錯体中でTb→Ybエネルギー移動、すなわちDSが生じることでYb発光が増強できることを見出しました(図1)。

## 今後の展開

異種ランタニドとしてTbとYb、配位子としてTCAを用いることでf-f communicationを示す異核錯体(Tb<sub>3-x</sub>Yb<sub>x</sub>TCA<sub>2</sub>, x = 1, 2)を見出しましたが、混合物としてしか得られていないため、今後は目的の異核錯体を選択的に合成する手法の確立を目指します。さらに、その他のLnの組み

合わせに拡張し、Ln-TCA系でのUC、DC、DSの実現に取り組んでいく予定です。また、TCA以外の配位子にも着手し、様々な異核錯体系でf-f communicationの実現に挑戦していきます。

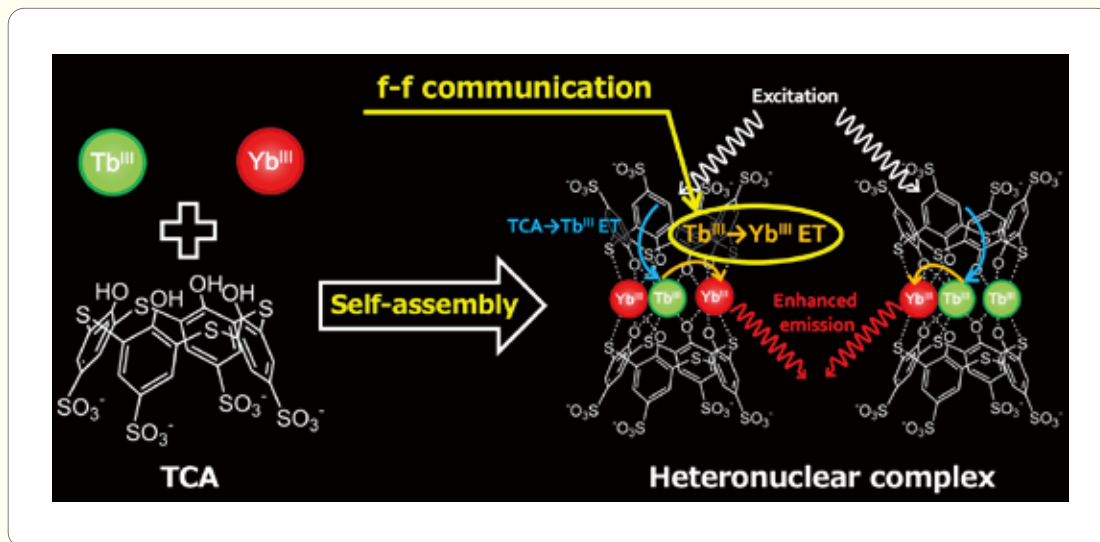


図1 異核錯体(Tb<sub>3-x</sub>Yb<sub>x</sub>TCA<sub>2</sub>, x = 1, 2)の形成とf-f communication

## 土屋研究科長、環境大臣を表敬訪問

11月14日に土屋範芳環境科学研究科長が、原田義昭環境大臣を表敬訪問しました。

現在土屋研究科長は、SATREPS「熱発光地熱探査法による地熱探査と地熱貯留層の統合評価システム」の研究代表者であり、このプロジェクトは、地熱資源の探査を支援する総合システムを提供することで、地熱エネルギーの開発を促進することを目的としています。熱発光地熱探査法とは、広範囲にわたって微弱な地熱微候を捉えることが可能な新しい地熱探査法であり、これにより、安価かつ短期間で地熱有望地域の絞り込みが可能になると期待されています。今回エルサルバドルでこの新探査法を実施するとともに、既存探査データをGIS(地理情報システム)上に集積し、ビッグデータ解析技術を用いて、地熱貯留層の熱水流動評価シミュレーション技術との統合化を進める予定です。また、新探査法を活用できる人材養成も重要であり、本年の10月より2か月に亘り、エルサルバドル大学やLaGeo(国営地熱公社)から5名の研究者が来日し、技術の習得に励みました。

一方、原田環境大臣は長年に亘り、日本エルサルバドル友好議員連盟の会長をされるなど、エルサルバドルとの関わりが大変深いことから表敬訪問が可能となりました。

当日土屋研究科長からは、プロジェクトの概要説明とともに、研究科の概要説明も行い、研究科の特色や今後の研究・教育活動について、原田環境大臣のご理解を得ることができました。

原田環境大臣からは流暢な英語で、ご自身のこれまでのエルサルバドルとの交流に関するお話とともに、現在のわが国を取り巻く環境問題、エネルギー問題についてもお話があるなど、予定していた時間をかなり超過する活況ぶりでした。



原田環境大臣との集合写真



原田環境大臣にプロジェクトの概要説明を行う土屋研究科長

### アクセス

## Access

#### 青葉山新キャンパス

**【JR 仙台駅からのアクセス】**  
 仙台市営地下鉄 東西線「八木山動物公園行」にて9分  
 「青葉山」で下車(250円)南1出口 徒歩5分

#### 青葉山東キャンパス

**【JR 仙台駅からのアクセス】**  
 仙台市営地下鉄 東西線「八木山動物公園行」にて9分  
 「青葉山」で下車(250円)北1出口 徒歩10分

## News Letter

環境科学研究科ニュースレター NO.20 / 2019年3月発行  
 表紙: オブジェ「いろいろな樹」(2018年12月撮影)

東北大学大学院環境科学研究科  
 Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

【環境科学研究科本館】〒980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1  
 TEL 022-752-2233(総務係) FAX 022-752-2236  
<http://www.kankyo.tohoku.ac.jp/>

