

真珠鑑別における X 線蛍光イメージングの定量化

中央宝石研究所 江森健太郎・北脇裕士
真珠科学研究所 佐藤昌弘・矢崎純子
東京宝石科学アカデミー 渥美郁男

真珠の母貝鑑別、特に淡水産と海水産の鑑別には、蛍光 X 線元素分析によるマンガン(Mn)、ストロンチウム(Sr)の分析が広く用いられている。しかし、蛍光 X 線分析は真珠の個体 1 点ずつの分析であり、連など複数の真珠が用いられた製品の検査には向かないという問題がある。一方 X 線蛍光イメージング法もまた淡水産と海水産を分別するのに有効であることが知られている。X 線蛍光イメージングは一度に複数の真珠を同時に検査することができる。この検査方法の有効性については筆者らとの共同研究として矢崎(2025)、矢崎他(2025)に詳しくまとめられている。しかし、この手法は官能検査であり、巻き厚の薄い真珠への応用が非常に難しいことが問題となっている。そこで、本研究では X 線蛍光イメージングと、そのイメージを定量化することによる真珠の鑑別方法について調査を行った。その結果、X 線蛍光イメージングによる定量化は真珠のグループから淡水養殖真珠の可能性があるものを粗選別するには有効な手法であることを確認した。

はじめに

近年、中国における淡水真珠の養殖現場において、養殖技術の改善により、生産量が増加し品質も向上している。また、ベビーパールと呼ばれる小粒のアコヤ真珠の人気の高まるにつれ、直径 6 mm 以下の淡水有核真珠が大量に養殖されている。それらは中国市場において、淡水真珠であるにもかかわらず、しばしば「チャイニーズアコヤ」「ベビーアコヤ」「フレッシュウォーターアコヤ」などと称して販売されている。また、昨今では真珠も二次流通が多くなり、おそらく海水産であるアコヤ真珠の連の長さ調節の際に意図的あるいは偶発的に淡水有核養殖真珠が混入した事例が見られるようになった(図 1)。これらのことから、必然的にアコヤ養殖真珠と淡水養殖真珠の母貝鑑別の重要性が高まっている。



図 1 淡水養殖真珠 (14 個) が混入したのアコヤ養殖真珠連 (直径 3.5~4mm : 見た目には区別がつかない)

写真: 矢崎純子

アコヤ養殖真珠と淡水養殖真珠の母貝鑑別には、通常、目視検査(顕微鏡による表面観察を含む)、長波紫外線下での蛍光観察、蛍光 X 線元素分析が用いられている。特に蛍光 X 線元素分析は有効な手法であり、真珠層に含まれるマンガン (Mn) やストロンチウム (Sr) の濃度を測定することで両者の分別が可能である。淡水養殖真珠は Mn を多く含み、海水産真珠であるアコヤ養殖真珠は Mn を殆ど含まず、Sr を多く含む。しかしながら蛍光 X 線元素分析は真珠の個体 1 点ずつの分析となるため、連などの製品で全数検査を行うには時間がかかりすぎるという問題がある。

特定の物質は X 線を照射することで可視光の蛍光を呈することが知られており(これを X 線蛍光という)、特に Mn を含む物質は X 線を照射することで緑色に蛍光することが知られている。つまり、Mn を有する淡水養殖真珠の真珠層は X 線照射により緑色に蛍光するが、Mn を殆ど有さない海水産のアコヤ養殖真珠の真珠層は緑色の蛍光を呈さないという性質がある(Hänni et al., 2005、Singbamroong et al., 2013)。しかし、多くの海水産であるアコヤ養殖真珠では淡水産貝の貝殻を成型した核を利用している。淡水産貝の貝殻核は、Mn を含むため、X 線照射により緑色に蛍光する(図 2)。この蛍光は、真珠層がある程度厚い場合は外部から観察することは殆どできない。しかし、真珠層が薄い場合、つまりサイズの小さなアコヤ養殖真珠の場合は、外部からの観察に影響を与え、その真珠が淡水養殖真珠かアコヤ養殖真珠かの判断を難しくする(矢崎他、2025)。本研究では、そういった事情を踏まえ、X 線蛍光画像をデジタル解析することで淡水養殖真珠かアコヤ養殖真珠か判断することが可能か調査を行った。

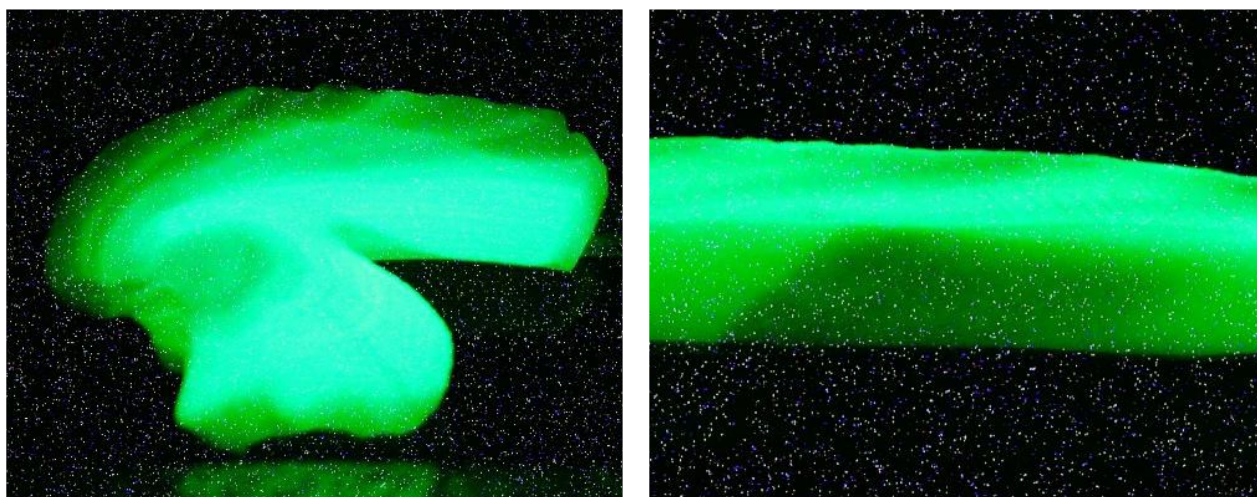


図 2. 核に使用される淡水産貝の X 線蛍光イメージ画像 (左: ドブガイ、右: ヒレイケチョウガイ) 写真: 矢崎純子

サンプルと手法

本研究ではアコヤ養殖真珠 97 点と淡水養殖真珠 14 点が混在した連(図 1) (標準的な鑑別検査と個別の蛍光 X 線分析において確定済) をサンプルとして用い、軟 X 線透過装置として Softex M-100 とカメラ撮影には Canon EOS Kiss X7 を用いた。X 線は 90 kV、3 mA の条件で照射を行い、カメラ撮影は ISO6400、f4.0、シャッタースピード 30 秒で行った。画像の切り出しには GIMP 2.10.30 を用い、得られた画像の解析には独自に開発したソフトウェアを用いた。ソフトウェアによる計算アルゴリズムについてはカコミ「蛍光強度の数値化について」に記載してある。

結果と考察

サンプルの X 線蛍光イメージング画像を図 3 に示す。赤矢印で示したものが淡水養殖真珠である。淡水養殖真珠は強い緑色蛍光を示すが、その他のアコヤ養殖真珠も緑色の蛍光を発するものが多い。これはその真珠が直径 3.5~4.0 mm と非常に小さく、巻きがおおよそ 0.3 mm と薄いため核に使用された貝殻(淡水産)の緑色蛍光が真珠層から透けて見えているものと考えられる。この画像から真珠 1 粒ずつを 100 ピクセル四方の画像として切り出しを行ったものを図 4 に示す。

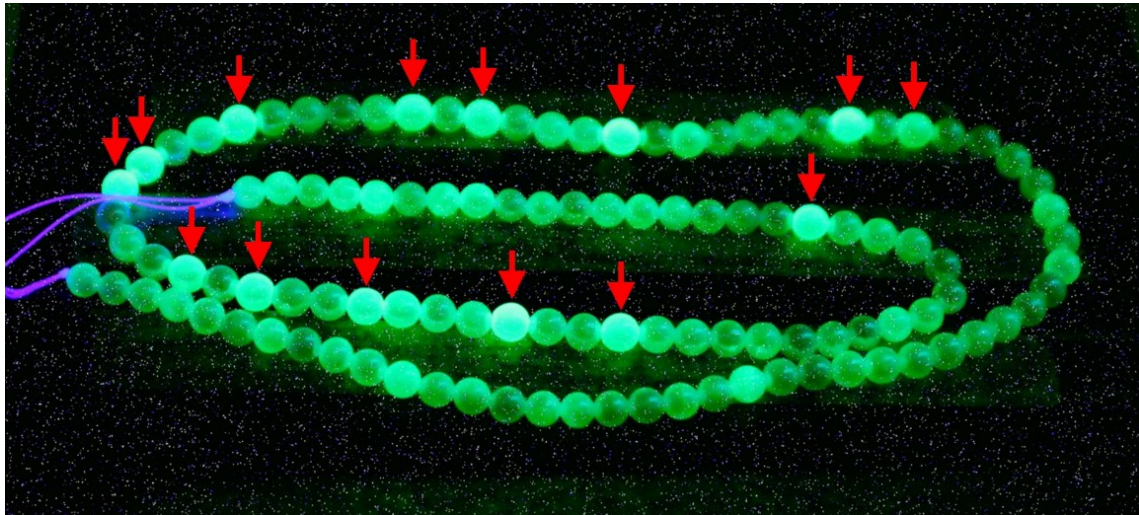


図 3. 真珠の X 線蛍光像

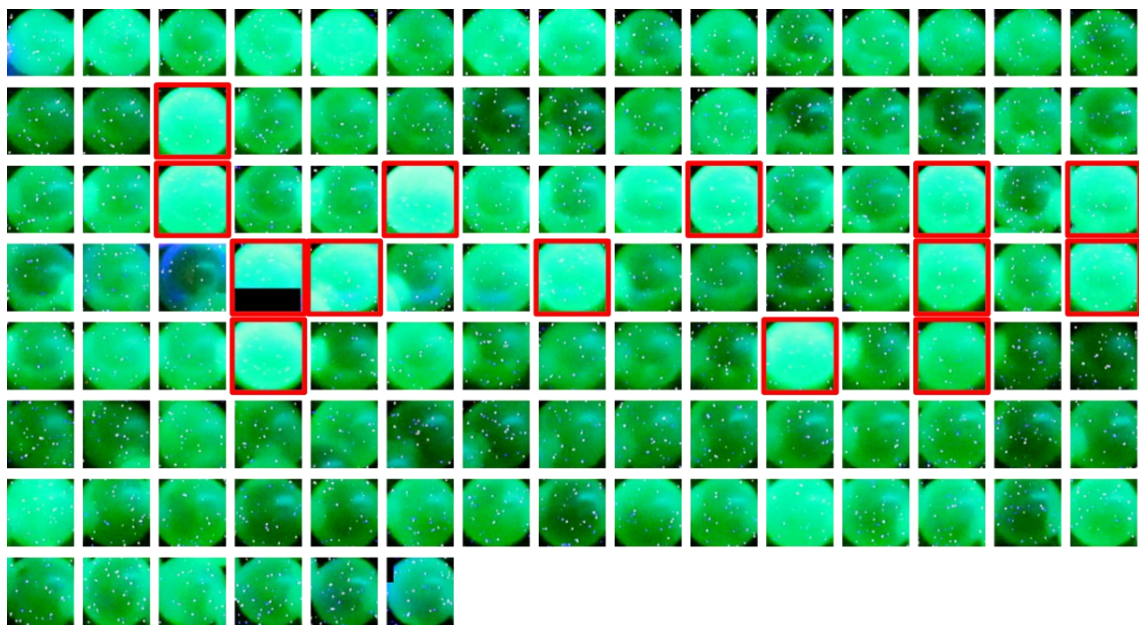


図 4. サンプルの X 線蛍光画像より真珠 1 粒ずつ 100 ピクセル四方の画像として切り出したもの。
赤枠で示したものは淡水養殖真珠である。

これらの画像 1 つずつについて囲み「蛍光強度の数値化」に記した手法を用いて蛍光強度(輝度平均)を計算した。計算した結果を連の端から端まで順番にグラフ化したものを図 5 に示す。

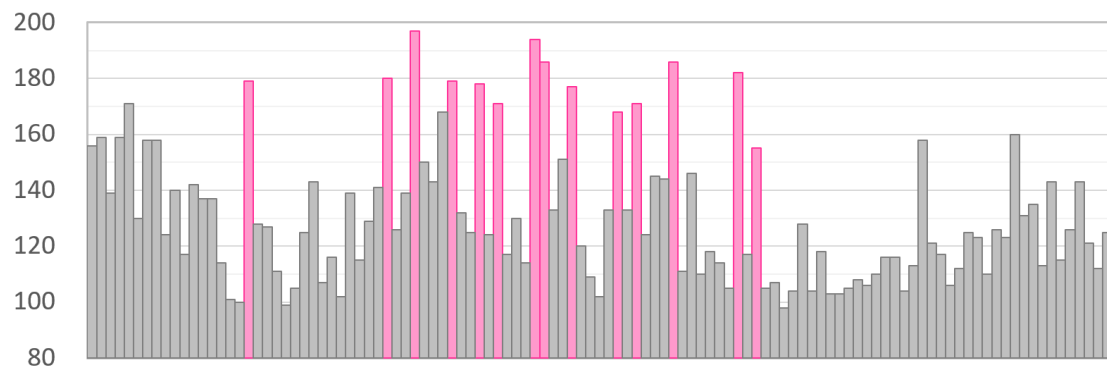


図 5. サンプル全てについて計算した蛍光強度(平均輝度)を横並びの棒グラフにしたもの。
ピンク色が淡水養殖真珠、グレーがアコヤ養殖真珠。

アコヤ養殖真珠の蛍光強度(平均輝度)は 98 から 160 であったのに対し、淡水養殖真珠は 155 から 197 と高い蛍光強度(平均輝度)と高い数値を示した。アコヤ養殖真珠で高い蛍光強度を示すのは、核からの強い蛍光が反映されていると推測される。オーバーラップする蛍光強度(平均輝度)の範囲である 155~160 の範囲に相当するアコヤ養殖真珠は 9 点であり、これはアコヤ養殖真珠 97 個中の 9.3%程度である。この数値は、この蛍光強度(平均輝度)を用いる手法は、アコヤ養殖真珠と淡水養殖真珠を分別するための粗選別として有効に使えることを示す。

次に淡水養殖真珠 14 点について、真珠層に含まれる Mn 濃度(予備的に蛍光 X 線元素分析装置 JSX1000S にて測定)と、得られた画像の平均輝度の関係を調査した。Mn 濃度と平均輝度にはある程度の相関関係が見いだされた(図 6)。淡水養殖真珠にも淡水核が用いられており、核の蛍光も反映されているためだと考えられる。

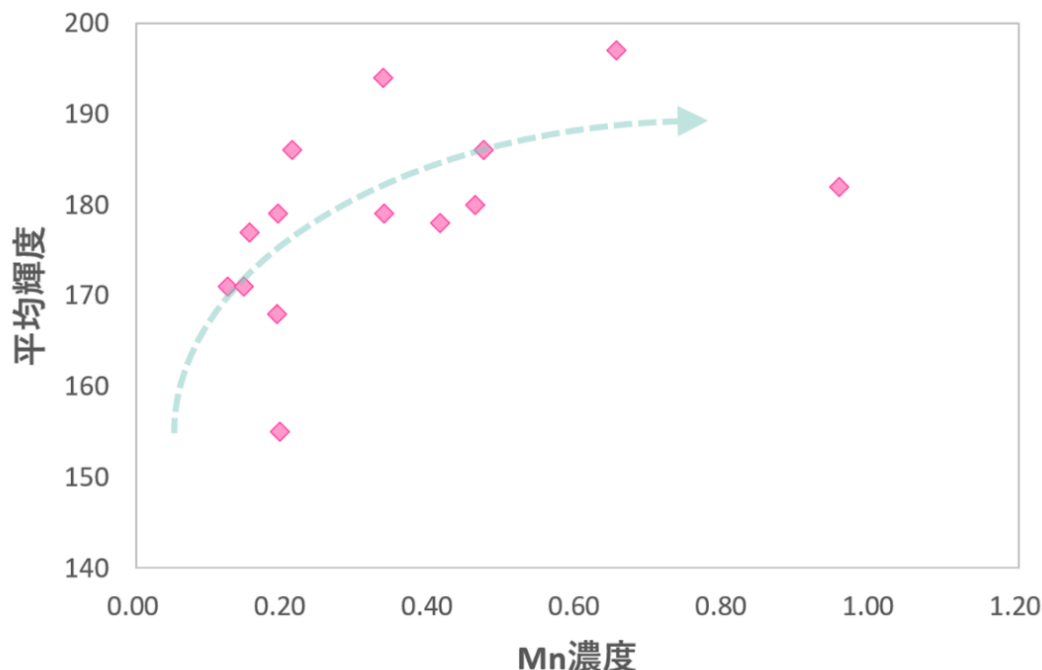


図 6. 混入した淡水養殖真珠の Mn 濃度と平均輝度の関係

まとめ

海水産真珠(アコヤ養殖真珠)の連に淡水養殖真珠が混入する事例が報告されており、その簡易的な鑑別方法が求められている。X 線蛍光イメージング法は、母貝鑑別(海水 vs. 淡水)に有力な方法と知られている。本研究では、その X 線蛍光イメージング画像による蛍光強度を数値化し、判定を用意にする方法を試み、この手法は両者の分別に有効であることを示した。しかし、巻き厚が 0.3mm 以下の薄い真珠は、淡水産核の蛍光を受けるため、海水産養殖真珠と淡水養殖真珠の間で蛍光強度がオーバーラップする部分もあるので注意が必要である(矢崎、2025)。今後は測定方法や解析手法をブラッシュアップし、より精度の高い判別法を目指していく予定である。

参考文献

- Hänni, H.A., Kiefert, L. and Giese, P., 2005. X-ray luminescence, a valuable test in pearl identification. *Journal of Gemmology*, 29(5/6), 325-329.
- Sutas S. and Nazar A., 2013. Digital SLR camera applied to investigation of X-ray luminescence of pearls. *IGC2013 Proceedings*, 73-74
- 矢崎純子, 佐藤昌弘, 渥美郁男, 江森健太郎, 北脇裕士, 2025. X 線照射により発する蛍光を用いた淡水産真珠の判別法について. 2025 年度宝石学会(日本)講演会・総会プログラム, 20
- 矢崎純子, 2025, X 線照射により発する蛍光を用いた淡水産真珠の判別法について(2025 年宝石学会発表). *Margarite*, <https://margarite-web.com/report/post-3934/>

蛍光強度の数値化について

本研究において、次に述べる方法を用いて X 線蛍光画像でえられた画像の蛍光強度を数値化した。

まず、真珠 1 粒ずつ、画像から切り出しを行い、100 ピクセル四方の画像データを得た。ここでは本研究で用いたサンプルの中から淡水養殖真珠、アコヤ養殖真珠の 1 点ずつを例にとって説明を行う(図 A)。

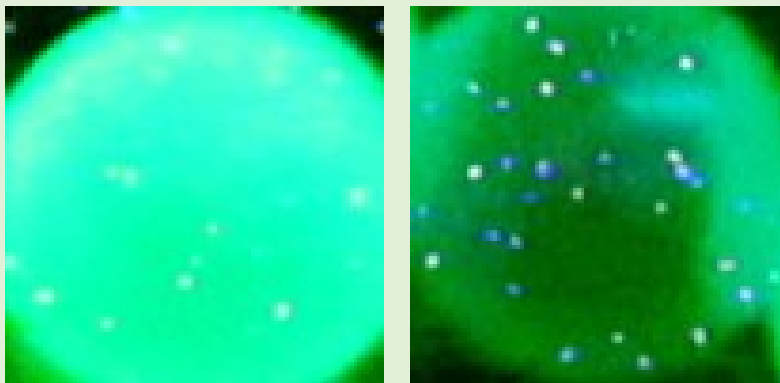


図 A: 本研究で用いたサンプルより切り出した(左)淡水養殖真珠と(右)アコヤ養殖真珠の X 線蛍光画像の例
白い粒々(白飛び)は、カメラ撮影の際に生じたノイズ

蛍光強度は、その真珠画像の輝度平均として定義した。輝度は画像の 1 ピクセルあたりにつき得られる値であり、そのピクセルの RGB 要素(R: 赤、G: 緑、B: ブルー)から計算して得られる。RGB の値[R][G][B]はそれぞれ 0 から 255 の値で表され、輝度 Y は $0.229 \times [R] + 0.587 \times [G] + 0.114 \times [B]$ で定義され、輝度の理論最高値は 255、最低値は 0 となる。

この輝度の計算を用いて、画像ごとの輝度マッピングを生成することができる(図 B)

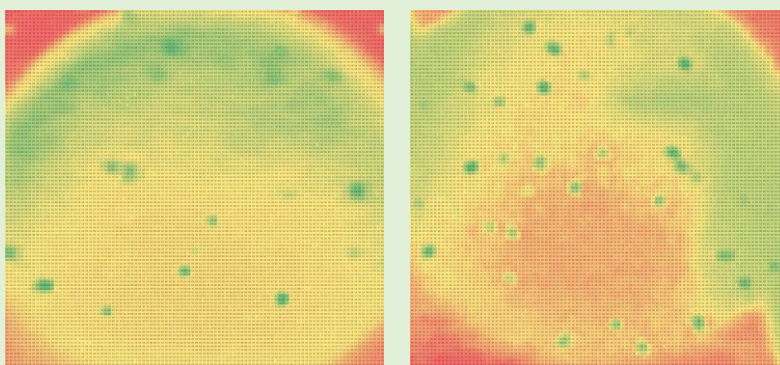


図 B. 図 A で示した画像の輝度マッピング。(左)淡水養殖真珠、(右)アコヤ養殖真珠。
赤が輝度 0、緑が輝度 255 のグラデーションで輝度の強弱を表現した。

この画像で得た輝度マッピングから、バックグラウンド(背景)と図 A で見られる白飛び(X 線蛍光画像撮影の際得られる白い粒々)を削除して輝度の平均を計算する。なお、図 A または B で用いた画像の蛍光強度(輝度平均)は、淡水養殖真珠は 179、アコヤ養殖真珠は 113 であった。

GIT2025 参加報告

リサーチ室 江森健太郎

2025 年 9 月 8 日(月)、9 日(火)に The 8th International Gem and Jewelry Conference(第 8 回国際宝石・宝飾品学会、通称 GIT2025)がタイのバンコクで開催されました。CGL から筆者が参加し、発表を 1 件行いました。また、9 月 5 日(金)～7 日(日)に先立って開催された Pre Conference Excursion(会議前の巡検)にも参加しましたので、あわせて以下に概要を報告します。

International Gem and Jewelry Conference とは

International Gem and Jewelry Conference(国際宝石・宝飾品学会)は GIT (The Gem and Jewelry Institute of Thailand)が主催する国際的に有数の宝飾関連学会の 1 つです。2006 年に第 1 回が開催され、第 2 回 2009 年、第 3 回 2012 年、第 4 回 2014 年、第 5 回 2016 年、第 6 回 2018 年、第 7 回 2022 年と開催され、今年 2025 年は第 8 回目として GIT2025 がバンコクで開催されました。GIT は LMHC(Laboratory Manual Harmonization Committee、ラボマニュアル調整委員会)に属する国際的にも著名な宝石検査機関で、CGL とは科学技術に関する基本合意を締結し、密接な技術交流を語っています。本学会は GIT が主催していますが、TGJTA (タイ宝石・宝飾品協会)、CGA (チャントブリ宝石・宝飾品協会)、チュラロンコン大学、国家商工省、鉱物資源局などが後援しており、まさに国を挙げての国際会議といえます。また、カンファレンス運営のため、組織委員会として 18 名、諮問委員会として 14 名、技術委員会として 33 名が結成されており、当研究所の堀川も諮問委員としてその一役を担いました。

Pre Conference Excursion

Pre Conference Excursion(会議前の巡検)は、本会議に先立って行われる巡検プログラムで、宝石・宝飾品に因んだ場所を訪れます。GIT2025 の Pre Conference Excursion の参加者は GIT スタッフを含め 40 名程で、タイ最大の金鉱山である Akara Gold Mine(アカラ金鉱山)と Baan Thong Somsamai (バーン・トーン・ソムサマイ、タイのスコートイ県における有名な金工芸工房)、Si Satchanalai Silver Jewelry (シーサッチャナーライ・シルバー・ジュエリー、同じくスコートイ県で有名な銀工芸工房)等を訪問しました。

Akara Gold Mine (アカラ金鉱山)

9 月 5 日(金)朝 7 時バンコク市内集合、昼過ぎまで車で移動、バンコクから約 280 km 北に位置するオーストラリアの資源会社 Kingsgate Consolidated Limited の子会社である Akara Resources Public Company Limited(以下 Akara 社)が運営する Chatree Gold Mine(チャトリー金鉱山)へ視察に向かいました。

Chatree Gold Mine はピット県、ペチャブン件、ピッサヌローク県にまたがる地域にあり、埋蔵量は金 35,000 kg、銀 280,000kg と推定されています。2016 年末、地元住民や NGO が「鉱山周辺で健康被害や環境汚染が起きている」と訴え、2017 年に当時の首相プラユット氏が憲法 44 条*を行使し、環境汚染の懸念から鉱山の



Akara Gold Mine の位置 (google map より)

操業を停止しました。しかし、科学的根拠の不十分さや透明性の欠如が国際的に問題視され、親会社 Kingsgate 社がタイ政府を相手に国際仲裁を申し立て、最大 1200 億円の損害賠償を請求しています。

2023 年、政府から 10 年間の操業許可があり、操業再開、2024 年 5 月までに約 77 億円を投じ、機械と製錬施設をアップグレード、現在はフル稼働状態に復帰しています。仲裁問題に関しては 2025 年 9 月を目途に解決を目指していましたが、現時点では解決の報告はなされていません。

また、Akara 社は持続可能性と地域社会への責任を掲げ、鉱山廃棄物の再資源化等にも取り組んでいます。金の精製には水銀アマルガム法と呼ばれる水銀を使用する方法がかつて用いられていましたが、Akara 社では金の精製には電気分解を用いており、水銀は使用していないとのこと。

*タイの憲法 44 条は国家平和秩序維持評議会（NCPO）の議長（＝首相）に、国家安全・秩序・経済・公共利益のために立法・行政・司法を超える権限を与える条項であり、いわゆる「超法規的措置」が可能。



セミナー室での Akara Resources の会社説明



鉱山を視察する参加者達



金鉱山全景



廃液を廃棄するための池



化学プラント(岩石を粉碎し金を生成する)



電気分解前の鋼材(金 1 ; 銀 9)、10 kg

Phra Buddha Chinnarat(プラ・ブッダ・チンナーラート)

金鉱山の視察後は、Phra Buddha chinnarat(プラ・ブッダ・チンナーラート)にお参りにいきました。これはタイ北部ピッサヌローク県、ナーン川沿いの「ワット・プラ・シー・ラッタナー・マハータート」寺院内にある高さ約3.5m、幅約2.9mの青銅製仏像で、スコタイ様式、色に輝く荘厳な姿が特徴です。Chinnarat(チンナーラート)はタイ語で勝利の王を意味し、タイ国内で最も美しい仏像ともいわれています。



最も美しい仏像と言われる Chinnarat



プラ・ブッダ・チンナーラートの入口



金の仏陀像が並ぶ

Baan Thong Somsamai (バーン・トーン・ソムサマイ) 訪問

タイにおいて、ゴールドジュエリーの生産は、スコタイ王朝(1238-1448)からアユタヤ王朝時代(1351-1767)まで続いた伝統的な生産物です。当時は厳格な規制がしかれていたため、ゴールドジュエリーは王族や貴族しか身に着けることができませんでした。ラタナコーシン朝(1782年~現代)の中期より、ヨーロッパや中国から商人が来て、タイで商売を始めると同時に、外国の金細工商人もタイにワークショップを設立し、定住を始めました。その結果、より自由にゴールドジュエリーが広まり、身に付けられるようになりました。スコタイに現在もゴールドジュエリーを加工、生産、販売するショップが数多くあります。9月6日(土)、その最大大手であるスコタイ県シー・サッチャナーライ地区にある Baan Thong Somsamai(バーン・トーン・ソムサマイ)を訪問しました。こちらはゴールドジュエリーの工房兼ショールームとなっており、シンプルな道具を用い、職人が一つ一つ伝統的な技法を用いて手作業で仕上げているところに特徴があります。



工房で制作された様々な金の装飾品が販売されている



工房で制作された大きな彫刻品



工房の様子



手作業で金のチェーンを編み上げている様子



工房入口で撮影した集合写真

Si Satchanalai Silver Jewelry (シーサッチャナーライ・シルバー・ジュエリー)訪問

スコタイ県シー・サッチャナーライ地区では、銀細工も伝統的な手工業として根付いており、その工房を1つ訪問しました。この工房は上述の金工房と比較すると小規模なものでしたが、地元産の高純度の銀を用いた手工業による彫金が行われています。模様は仏教的モチーフや自然の文様が多く、スコタイ様式の美意識が反映されています。



工房で作られたものが販売されている様子



工房と見学者たち

Si Satchanalai Historical Park (シー・サッチャナーライ歴史公園)

Sukhothai Historical Park (スコタイ歴史公園)

スコタイ県のシー・サッチャナーライ地区にあるシー・サッチャナーライ歴史公園、スコタイ歴史公園を訪問しました。この公園は 1991 年に「スコタイと関連する歴史都市群」の一部としてユネスコ世界遺産に登録されています。城壁内外に 200 以上の遺跡が点在しており、タイのスコタイ王朝(13 世紀～14 世紀)の歴史を感じることができます。タイのスコタイ王朝は、タイ族による初の統一国家であり、タイ文字や仏教文化の発展の中心地でした。また、シー・サッチャナーライとは「City of good people(善良な民の街)」という意味で、1250 年代にスコタイ王朝第 2 の都市として建造され、13 世紀と 14 世紀には皇太子の住居があったそうです。



Si Satchanalai Historical Park の様子



Si Satchanalai Historical Park の壁画群



Sukhothai Historical Park にて



Sukhothai Historical Park の巨大な仏像と筆者

GIT2025 Conference

本会議はバンコク市内のグランド・ハイアット・エラワンが会場となり 9 月 8 日(月)、9 日(火)に行われ、世界中から 300 名を超える参加者が集いました。本会議は 5 つのセッション、

- Responsible Sourcing Jewelry, ethical, policy and good governance issue(倫理、ポリシー、ガバナンスを考慮した責任あるジュエリー製造)
- Gem and precious metal deposits, exploration, mining and trading(宝石と貴金属の産地、鉱山、貿易)
- Innovative Identification and Characterization(革新的な鑑別方法と特性評価)
- Innovative Identification, characterization and treatment(革新的な鑑別方法、特性評価、そして処理)
- Innovative identification, characterization and gem quality standards(革新的な鑑別方法、特性評価、宝石の評価基準)

で構成されており、2 つの会場に分かれ同時進行しました。基調講演 7 件、招待講演 15 件、一般講演 23 件

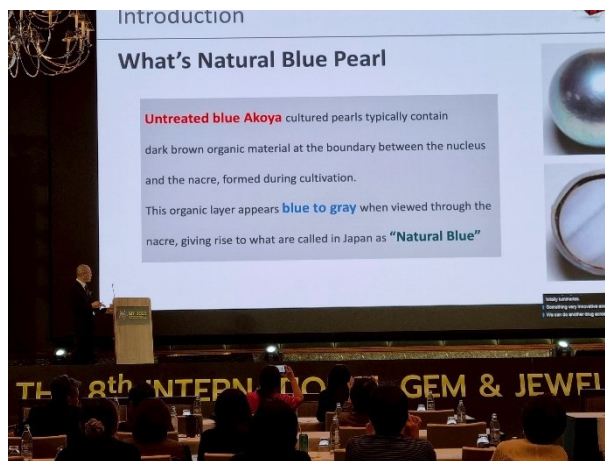
のエントリーがありました。今回は「Responsible Gem & Jewelry supply chain (責任ある宝石とジュエリーのサプライチェーン)」がテーマであり、宝石、ジュエリー産業の倫理問題やサステナビリティに関する発表が多く、基調講演はすべてこのテーマに沿ったものでした。

CGL からは筆者が「Innovative identification, characterization and treatment」のセッションで「Color origin determination of blue Akoya cultured pearl using photoluminescence(フォトルミネッセンス分析を用いたブルー系アコヤ養殖真珠の色起源の決定)」の発表を行いました。

GIT(The Gem and Jewelry Institute of Thailand)は2~3年に1度国際宝石・宝飾品学会を開催しており、次回(第9回)は2027年に開催するというアナウンスがありました。CGLとして、次回も参加し、各国の研究者たちと交流、発表を行う予定です。

以下に今回行われた発表の中から興味深かったものを一部紹介します。

(カンファレンスの要旨集は <https://gitconference.git.or.th/en/home> からダウンロード可能です)



ステージで発表を行う筆者



開会式



メイン会場(ボールルームの様子)



第2会場の様子



9月8日夜に行われたディナーパーティーの様子

Gemological Characteristics of Jade Deposits in Nabire, Central Papua, Indonesia(インドネシア、中部パプア州ナビレ産ひすいの宝石学的特徴)

GIT の研究者 Montira Seneewong-Na-Ayutthaya 氏がインドネシア中部パプア州ナビレ産ひすいの宝石学的特徴について発表を行いました。インドネシアのパプア州に位置するナビレは、豊富な鉱物資源、特に砂金採掘で知られていますが、最近、ナビレの河川流域にある伝統的な金採掘跡の廃石の中から、ひすいが発見されました。それらはブンチャック・ジャヤ近郊のウェイランド山脈周辺で発見され、約 6600 万年前（白亜紀）の超塩基性岩石に由来する可能性が高いと考えられています。ナビレのヒスイは、一般的に緑色が最も多く、しばしば緑がかった色調に白と濃い緑の斑点が見られます。その材質は半透明から不透明までで、粒状と繊維状の絡み合った組織を呈し、品質は中程度から低いものまで様々です。インドネシアエネルギー・鉱物資源省（ESDM）による真剣な検討次第では、ナビレ産ひすいの世界の宝石市場で認知度が高くなり、地域社会に大きな経済的利益をもたらす可能性があります。本研究では、ナビレ産ひすいの宝石学的特性と化学組成について詳細な分析を行いジェイダイト、ジェイダイト-パンペリー石、オンファス輝石など、多様な鉱物組成を特定しました。

From Trace Elements to Transparent AI: Explainable Machine-Learning for Magmatic Sapphire Origin

Classification Tasnara Sripoonjan(微量元素分析から透明性の高い AI へ：マグマ関連サファイアの産地鑑別における説明可能な機械学習)

バンコクの G-ID Laboratories の研究者 Tasnara Sripoonjan 氏が AI を用いた原産地鑑別についての発表を行いました。この研究は GIT との共同研究です。サファイアの正確な原産地鑑別は、責任ある宝石の調達そして消費者の信頼において非常に重要です。LA-ICP-MS 分析はケミカルフィンガープリントとして機能する正確な微量元素プロファイルを提供します。そして機械学習(Machine Learning, ML)はこれらの複雑な元素分析結果を分類するのに効果的ですが、「ブラックボックス」な性質のため、透明性が制限され、宝石学者の間での受け入れが制限され、より広範な科学的検証が妨げられています。Explainable AI(説明可能な AI, XAI)は機械学習による予測をより分かりやすくする手法です。本研究では、オーストラリア(クイーンズランド)、ナイジェリア(マンビラ)、タイ(カンチャナブリ)の 3 つの原産地のマグマ関連のブルーサファイアについて LA-ICP-MS を用いた元素分析と、その結果について XAI を用いた原産地鑑別の可能性を調査しました。その結果、機械学習モデルとして堅牢性が高い(既知サンプル/テストサンプルの精度が 0.93)を得ることができました。

Comparative Corundum Color Grading under Different Lighting Sources(異なる照明源を用いたコランダムカラーグレーディングの比較)

GIT の研究者である Thanapong Lhuaamporn 氏が、異なる照明下でコランダムのカラーグレーディングについて比較を行いました。GIT 研究プロジェクトでは自然光を忠実に再現するように設計された LED 光源を用いた宝石カラーグレーディングキャビネットの研究開発を開始しました。本研究では、ルビー、ブルーサファイア、パパラチャサファイアの 3 種類のコランダムをこの新たに設計された LED 光源と色温度 5000~5500K の蛍光灯、自然光(午前 10 時~午後 12 時)の 3 種の光源下で比較、評価を行いました。本研究では 15 個のサンプルを用いましたが、マンセルカラーフレームワークによる視覚的なグレーディング、定量的な RGB 分析を行った結果、LED 照明はほとんどの場合、太陽光に近い色を得ることができましたが、ブルーサファイア 2 点については、蛍光灯下のほうが自然光に近い色値を得ました。LED 照明は自然光を近似する上で信頼性の高い人工照明ですが、サンプル固有の偏差が依然として存在することを認識する必要があります。

Uncovering Microscopic Clues in Low-Temperature Treated Magmatic-Related Blue Sapphires(低温加熱処理されたマグマ関連ブルーサファイアの微視的特徴)

タイ、チェンマイ大学の Ratthaphon Amphon 氏が、低温加熱処理されたマグマ関連ブルーサファイアの微視的特徴についての発表を行いました。本研究では、5 つの信頼できる原産地から採取されたマグマ関連のブルーサファイアについて、1000°Cでの低温熱処理前後の詳細な微視的变化を調査しました。観察された変化には、癒合した亀裂の変化、樹枝状パターンの減少、シート状包有物の変形、流体包有物内の新たな結晶化などがあります。これらの微妙な特徴は、マグマ起源のサファイアにおける低温熱処理を特定するための有望な手がかりとなり、加熱処理を判断する際に役立つ貴重なデータを提供します。しかしながら、石が熱

処理を受けたかどうかを判断することは依然として困難です。特にインクルージョンが処理後にのみ記録され、比較のための処理前の基準が存在しない場合はなおさらです。したがって、インクルージョンの変化の解釈は、熱処理識別の信頼性と精度を高めるために、他の分析技術と慎重に検証する必要があります。

Luminescence as an Indicator of Heat Treatment in Geuda Sapphire(ギウダサファイアの加熱の根拠となるルミネッセンス)

タイのチュラロンコン大学の Teerarat Pluthametwisute 氏がギウダサファイアの加熱の根拠となるルミネッセンスについての発表を行いました。ギウダサファイアは乳白色または絹のような外観のコランダム的一种で、一般的に加熱処理によって色と透明度が向上します。本研究では、ギウダサファイアの加熱前後で EPMA(電子プローブマイクロアナリシス)と 325 nm レーザー励起によるフォトルミネッセンス分析、長波紫外線(LWUV、365 nm)と短波紫外線(SWUV、225 nm)によるルミネッセンスイメージを用い、その違いを追っています。長波紫外線(LWUV)下でのオレンジから赤色のルミネッセンスは欠陥関連の F 中心に関連している可能性が高いのに対し、短波紫外線(SWUV)下で観察される青色のルミネッセンスは Ti 関連の不純物に起因します。長波紫外線下のオレンジ色のルミネッセンスの存在は、加熱処理されていないギウダサファイアの有用な指標となる一方、これらのサンプルに短波紫外線下で青色のルミネッセンスが見られないことは、加熱処理されていないギウダサファイアの識別においても信頼性があることを裏付けています。さらに、加熱処理後の短波紫外線下での青色ルミネッセンスの出現は、加熱処理されたサファイアを検出するための有用な指標となることを示唆しています。

Characteristics of Sapphires from Ethiopia(エチオピア産サファイアの特徴)

カセサート大学の Chawanluck Phimpisan 氏がエチオピア産サファイアの特徴について発表を行いました。エチオピア、特にティグライ地方の鉱床から 2016 年後半よりサファイアが発見され、宝石学業界で大きな注目を集めています。これらのサファイアは、沖積鉱床や原地砂礫鉱床で発見されることが多く、玄武岩質の母岩と共存して形成されたことを示します。しかし、エチオピア産サファイアの特徴に関する包括的な研究や詳細な調査は、オーストラリアやタイなどのより確立された玄武岩関連起源の産地と比較して、比較的限られています。本研究では宝石市場から購入したエチオピア産サファイアについてインクルージョン、化学濃度、吸収スペクトルを調べました。特に、Fe、Ti、Ga の量に特徴があり、エチオピア産サファイアをタイのバンカジャやオーストラリアのインベレルといった他の原産地のサファイアと区別することが可能です。

High Temperature Silver Diffusion of Labradorites(ラブラドーライトへの高温での銀拡散)

中国滇西応用科学大学ジュエリー学部の Qingchao Zhou 氏がラブラドーライトへの高温での銀拡散についての発表を行いました。銅の拡散はラブラドーライトの色を変えるのに効果的であることが証明されていますが、他の貴金属を用いた代替アプローチはほとんど未開拓のままです。そこで本研究では、高温拡散プロセスを用い、ラブラドーライトに銀(Ag)を拡散させ、鉱物中に Ag のナノパーティクルが形成されることを実証しました。ラブラドーライト結晶への Ag のナノパーティクルの組み込みは、1200°Cで $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ イオン交換チャネルを確立することで達成され、 Ag^+ イオンの大きなイオン半径と銀化合物の光安定性および熱安定性の低さに関連する課題を克服しました。得られた銀拡散ラブラドーライトは、高い透明性と 414~495 nm の範囲で強い吸収を示しました。TEM による特性評価により、平均粒径 8.40 ± 4.32 nm の Ag ナノパーティクルの形成に成功したことが確認されました。本研究の知見は、鉱物結晶内のナノスケール現象の理解に貢献するものです。

Viitaniemiite: A Rare Gem-quality Phosphate Mineral(ヴィータニエミ石：希少な宝石質のリン酸塩鉱物)

GIT の研究者 Cheewaporn Suphan 氏が希少な宝石質のリン酸塩鉱物、ヴィータニエミ石についての発表を行いました。ヴィータニエミ石 ($\text{Na}(\text{Ca}, \text{Mn})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F}, \text{OH})_3$) は、フィンランドのリン酸塩に富むヴィータニエミ・ペグマタイト産のモンテブラサイト試料中の鉱物同定中に初めて発見された希少なリン酸塩鉱物です。この鉱物は、フィンランド、オリヴェシ、エラヤルヴィ、ヴィータニエミの産地にちなんで命名され、1977 年に国際鉱物連合 (IMA) によって新鉱物種として承認されました。ヴィータニエミ石は単斜晶系で、灰色から白色または無色、透明から半透明で、モース硬度は 5、比重 (SG) は 3.245、屈折率 (RI) は 1.532~1.571 です。宝石品質で無色のヴィータニエミ石は極めて希少です。本研究で用いたサンプル 2 石ともに屈折率は登録されたヴィータニエミ石と一致していますが、比重がわずかに低い(双方とも 3.07)という特徴

を有していました。ラマン分光法では、991、584、483、472、460、245 cm^{-1} にピークが見られ、その石がヴィータニエミ石であることを確認しました。

Study on the Composition and Structural Characteristics of Zachery-Treated Turquoise(ザカリー処理トルコ石の組成と構造特性に関する研究)

韓国の漢陽大学の HyoJin Kim 氏がザカリー処理ターコイズの組成と構造特性に関する研究について発表を行いました。本研究では、天然、ポリマー含浸、およびザカリー処理されたトルコ石サンプルの化学組成と分光学的特性を調査しました。ポリマー含浸トルコ石は、1700 cm^{-1} の赤外領域と 600/800 cm^{-1} のラマンスペクトルにポリマーの特徴的なピークが存在することで容易に検出できます。また、ザカリー処理トルコ石はカリウム含有量が高いことが知られており、それは本研究においても確認されました。さらに、充填部においてケイ素とナトリウムの含有量が著しく高いことが明らかになり、ザカリー処理されたトルコ石の充填部の FE-SEM/EDS マッピングでは、カリウムとシリコンの化合物が亀裂や空洞を充填していることが示されました。これはザカリー処理が単にカリウムに関連した単純な安定化ではなく、充填部内で K-Si-Na 化合物が形成される可能性のあるより複雑なプロセスを伴う可能性があることを示唆しており、これはガラス状相の関与を示唆しています。本研究では、ザカリー処理されたトルコ石の充填部において板状結晶も特定され、これはカリウムに関連することが判明しました。

Kunzite Color Enhancement by Neutron Irradiation and Heat Treatment(クンツァイトの中性子線照射と加熱によるカラーエンハンスメント)

タイ原子力技術研究所照射センターの研究者 K. Pangza 氏がクンツァイトの中性子線照射と加熱によるカラー処理について発表を行いました。本研究では、中性子照射と制御された熱処理を組み合わせることで、クンツァイト宝石の色の質を高め、より鮮やかなピンク色と透明性を向上させる効果的な方法であることを実証しました。また、マンガンが色の形成において重要な役割を果たしていること、そして照射後および熱処理後のクンツァイトの化学的変化と構造変化の両方が色の発現に大きく寄与していることを確認しました。具体的には、中性子照射はクンツァイトの結晶格子の構造変化を誘発し、マンガンの酸化状態を変化させ、ピンク色の発現につながります。さらに、照射後の還元雰囲気での熱処理は、誘発された色の強度と安定性を高めるために不可欠です。



GIT2025 参加者の皆様