# 人工オパール中の珪酸球の形状 中田吉保、徳留辰彦、中田博保

大阪教育大学教養 自然研究専攻

## Shape of silica spheres in synehesized opals

Y.Nakata, T.Tokutome and H.Nakata Department of Art and Sciences, Osaka Kyoiku University

Opal is an assembly of the silica spheres  $(SiO_2)$  with the diameter of submicron size which line up periodically with the period around the wavelength of visible light. This causes play of color. We analyzed reflection measurement in visible region and structure of the synthesized opals by SEM. When we took the reflected spectra by changing angles, we found two features of Bragg reflection and Mie scattering. When we speculate shape of silica sphere from angle dependence of Mie scattering, we found it is not a true globe but an oblate spheroid.

### 1. はじめに

宝石などでよく知られるオパールは、 二酸化ケイ素 SiO2の球(珪酸球)が面心 立方格子の形に集合し、その隙間に水分 子が配置したものである。オパールには 見る角度によって色が変わって見える遊 色効果があり、Bragg 反射によって説明 できる。それによって強調された反射光 を私たちは見ている。

可視光域での反射スペクトルの角度変 化を測定すると二種類のピークが現れた。 一つは大きく角度依存するピーク、もう 一つはほとんど角度依存しないピークが 見られた。大きく角度依存するピークは Bragg 反射によって説明がつく。角度依 存しないピークは Mie 散乱によって説明 できると思われる。例えば珪酸球が一つ あり、電磁波が誘電体に入り定常波がた ち、共鳴散乱を起こしている場合に相当 する。この角度依存しないピークは 珪 酸球が完全な球体ならば全くピーク位 置がずれないはずであるが、実際はわず かにズレが見られた。この原因は珪酸球 の構造にあると思い SEM による構造解 析を行った。本研究ではオパールを人工 的に作製し、SEM よる構造観察と反射ス

## ペクトル測定などを行いその光学的性質 を調べた[1]。



図1天然オパールの宝石

#### 2 試料と.実験方法

オパールは材料さえあれば、特殊な装置など必要なく作製できる[2]。試料である人工オパールはオルトケイ酸エチル、 エチルアルコール、水、アンモニアを混合し攪拌して乳濁色のコロイド溶液を作る。その後乾燥させたものである。厚さ 2mm 程度で白色をしているが、角度によって緑色や水色に見える。この試料についてまず可視光域での反射測定を行った。ファイバー付きのハロゲンランプからの白色光を試料に照射し反射光を分光器(f=25cm)に入れて光電子増倍管で検出した。試料と分光器の間にチョッパーを置き200Hzで変調して、信号はロックイン 増幅器で処理した。

次に SEM によってオパールの構造を 観察した。測定には試料に金を蒸着して 帯電を防いで行った。

#### 3 実験結果と考察



図 2 可視光域でのオパールの角度変化反射 ピーク。視射角を 25~70°まで 5°ずつ変え ていった。

図2は試料オパールの反射ピーク点を 測り、視射角を変えていった。それぞれ の角度で4つのピークがあることがわか る。そしてそのピークから、大きく角度 変化するピークとほとんど角度変化しな いピークの2種類あることがわかる。

大きく角度依存するピークは Bragg 反 射によって説明がつく。ちょうど X 線の Bragg 反射と同じ原理である[3]。角度依 存しないピークは Mie 散乱によって説明 できると思われる。電磁波が珪酸球に入 ってその中で定常波が形成される時に共





図 3 珪酸球内部での Mie 散乱による定 常波。

しかし実際はほんの僅かの角度依存性 があり、実験結果を説明できない(図4)。 そこでこの原因は真球ではないかもしれ ないと思い構造を調べ縦・横・高さの長 さを測った。



図4 Mie 散乱の角度依存性



図5 オパールの劈開面

オパールを作る過程の成長方向に劈開 しSEMで観察した。劈開面は(110) (111)面が見られたが、そのうち(110) 面に注目して測定を行った。図5、6に 示すように、fcc構造をとっているとすれ ばb=d/2 になるはずであるが、実際は一 致せず約6%のずれがあるとわかった。 図4

の Mie 散乱の角度依存性から解析したズレは約3%であったため一致しなかった。

珪酸球の一つ当たりの大きさは 300~ 460 (nm)だとわかった。これは試料の作 り方によって変わることがあげられる。

試料を作る工程で珪酸球が攪拌される ことにより楕円体になった、もしくは珪 酸球が積み重なっていく工程で楕円体に なったと思われる。楕円体の形は試料作 成時の成長方向(積み重なっていく方向) に扁平していた。



SEMよりとった映像からfee構造を設定した上閣の関係から a と b の長さを測り、h と d を計算した。

図6 fcc モデルと面 [3] 表面からの長さと断面からの長さを測定した。

## 4 **まとめ**

本研究では人工オパールを対象とした 可視光域における反射スペクトルの角度 依存性測定を行った。その結果、2種類 の特徴があることがわかり、一つは Bragg 反射の影響が、もう一つは Mie 散乱の影 響がでていると思われる。

結果からの Mie 散乱の角度依存性を考 え構造を観察したとき、珪酸球の形状が 真球体ではなく、試料の成長方向に扁平 な回転楕円体であることがわかった。

## 参考文献

- [1]オパールの色を探る 野口久美子 中田
  博保 日本物理教育学会 近畿支部年報
  14(2008.3)
- [2]虹の結晶 秋月端彦 ポピュラーサイエ ンス 裳華房 p64~67
- [3] キッテル 固体 物理 学入門 第8版
  (2008) p28 丸 善株 式会社 Charles
  Kittel 著 宇野良清 津屋昇 新関駒次郎
  森田章 山下次郎 訳