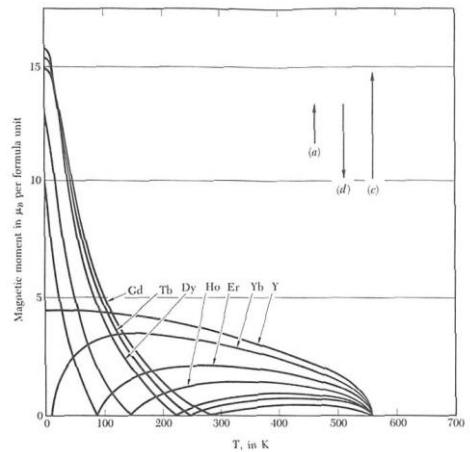


私の研究テーマとも関係して、特に興味があったパワーストーンはガーネット (Garnet) です。ガーネットの和名は柘榴石 (ザクロ石) で、柘榴の実のような赤い宝石が有名です。ガーネットは珪酸塩鉱物で一般式  $A_3B_2(SiO_4)_3$  で表され、化学成分 A と B の種類によって赤、褐色、緑、黒など多様な色を示します。パリの鉱物博物館には、多種多様なガーネットの標本が展示されています (写真-1)。この写真は 2005 年に訪問した時に撮ったもので、展示室に無造作に置かれている印象でしたが、その種類の多さと標本の大きさに圧倒されました。標本を見ながら、アルマンディンやパイロプなどガーネットの個別の名称を確認したことを覚えています。但し、その多さに食傷気味にはなりました。



(写真-1 : 鉱物博物館のガーネットの標本)

以前にも本欄に書きましたが、希土類鉄ガーネット ( $R_3Fe_5O_{12}$  : 略称 RIG) の研究は、1950 年代にフランスとアメリカで精力的に行われ、基礎研究は遣り尽くされました。磁性の研究ではフランス・グルノーブル大学が中心的な役割を担っていましたが、その代表の Louis Néel 教授が 1970 年の Nobel 物理学賞を受賞しました。Néel 教授の下に輩出された優れた研究者の一人である René Pauthenet 先生が私の留学時の指導教授でした。Pauthenet 先生が 31 歳の時、希土類 R を Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu と系統的に替えた RIG を作製して、その磁化の温度変化を低温から高温まで丹念に測定しました (図-1)。その結果、磁化が途中のある温度で消える磁気補償現象を見出しました。その実験結果は RIG の磁性を解明する決定的なデータであり、フェリ磁性と名付けられた新規の磁気構造の発見だけでなく、磁性物理学の基本的な理解に繋がる画期的な成果でした。



(図-1 : RIG の磁化の温度変化、  
縦軸が磁化で横軸が温度。

Pauthenet 等による 1956 年の論文より)

物性研究の方法論として、試料の構成元素を系統的に替えて実験する手法は一般的です。RIG の研究でも希土類 R を系統的に替えた実験結果 (図-1) にその有効性が顕著に現れており、私は今でも教科書に転載された図-1 を見る度に感銘を受けます。

ところで、RIG の結晶構造を珪酸塩鉱物のガーネット型と同定したのは、Pauthenet 先生と同僚で X 線構造解析が専門の Félix Bertaut 教授でした。RIG が自然界に存在するガーネットと同型だと分かったのです。実は、ガーネット型の珪酸塩鉱物はスピネル型と共に、地球の内部構造で深さ 410~660 km の領域にある遷移層を構成していると考えられています。ガーネットを通

して地球惑星科学と磁性物理学の研究が深く関連することが分かり、物性物理の面白さを感じます。

**(写真-2：私が持っているガーネットの標本)**

更に、RIGの基礎研究が完了した後の1970年代に、Biを添加したRIGが光学素子として開発され、現在では、波長多重光通信に不可欠の磁性材料となっています。恐らく、PauthenetとBertautの両先生とも、RIGが情報通信技術の基幹材料になるとは想像だにされていなかったと思います。基礎研究と応用研究の相異とは言え、学術と材料に対する取組みの相異と共に、両者の相補的な意義についても考えさせられます。



光学素子Bi-RIGの薄板状単結晶の作製では、液相エピタキシャル法(LPE法)で用いられる基板としてGGG(ガドリニウム・ガリウム・ガーネット)と呼ばれる良質の単結晶が不可欠です。LPE法によってBi-RIGがGGG基板上に成長するので、Bi-RIGも良質の単結晶になる訳です。私はX線回折実験にGGG単結晶を用いたことがありますが、回折点が極めて小さく検出するのが至難でした。そこで、単結晶の表面を故意にサンドペーパーで荒らしてから実験した結果、回折点が広がって検出し易くなりました。この経験から、GGGが極めて優れた結晶性を有していることを実感しました。

また、YIG(イットリウム鉄ガーネット)やYAG(イットリウム・アルミニウム・ガーネット)などの酸化物でも良質の単結晶が作製されて、光学素子や固体レーザーの発振器として活用されています。希土類元素Nd(ネオジム)を添加したNd:YAGは、高強度のレーザー光を発振するので、科学研究用や機械工作用などに多用されています。また、医療用では希土類元素Er(エルビウム)を添加したEr:YAGが手術用レーザーとして用いられています。これは良質の人工ガーネット単結晶の作製が実現した事に由来しています。私達は自然界にある鉱物から様々に学んで作製した人工鉱物を利用している訳です。



**(写真-3：Nd:YAG 単結晶、<https://twoleads.co.jp/>)**

一方、宝石のガーネットは希少ですが、下水処理の工程に設置されている浄化槽で天然のガーネット(砂粒)が大量に利用されていることをご存じでしょうか。天然のガーネットは汚水を浄化する際の有機物を除去するフィルターの役目を担っています。比重が大きいガーネットは浄化槽の中で早く沈降して、目の細かいフィルターの役割を果たしているのだそうです。天然のガーネットは主にアメリカからの輸入だそうで、写真-4は、輸入業者から頂いた浄化槽用ガーネットの砂粒です。



**(写真-4：浄化槽用の天然のガーネット粒)**

以上の様に、人工および天然のガーネットは現代社会において不可欠の物質材料だと言えます。ガーネットは私の研究対象として今も魅力的なパワーストーンです。