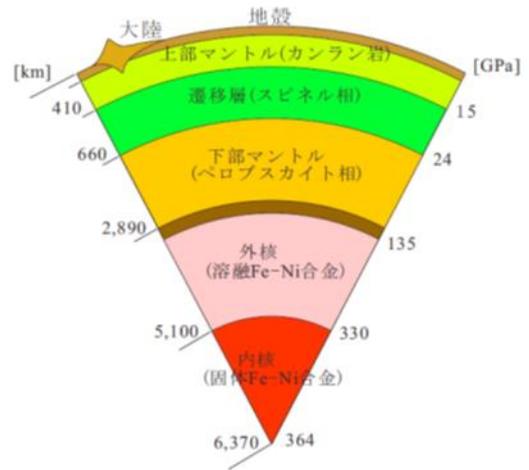


私の大学院以来の研究テーマは、Fe-Ni 合金の磁気特性に関する研究でした。研究を進める中で、テーマに関連する様々の Fe 合金や Fe 化合物について学びましたが、いつも疑問に思っていたのは、「いったい鉄はどこから来たのか」という事でした。地球には元々存在したという答えも有ると思いますが、ではそれ以前はどうかという疑問も起こります。

前回、オリビンに関する話題で、地球を構成する鉱物は太陽系 46 億年の過程で原始地球に降り注いだ惑星の破片や隕石などと考えられると記しました。改めて地球の内部構造(図-1)をみてみます。地球の核は外核と内核から成っており、外核は溶融した Fe-Ni 合金で内核は固体の Fe-Ni 合金とされています。比重の大きい金属が地球の内部に深く沈み込んで、核を形成したと考えるのは自然です。しかし、内核が固体というのは少々不思議ですが、高温高压下でも固体の状態である事は地震波の研究で確かめられています。



(図-1 : 地球の内部構造、

参照 <https://staff.aist.go.jp/>)

その様な長年の疑問を解く試みとして、私は宇宙由来の Fe-Ni 合金である隕鉄の試料の購入(私費でコレクションとして)を考えました。特に興味があったのがギベオン (Gibeon) 隕鉄だったので、ネット上に見付けたアメリカの業者 (<http://www.meteoritemarket.com/>) から切片を購入しました(価格は希少性と重さに依りますが大体\$6/g)。Gibeon 隕鉄は南アフリカ・ナミビア共和国の砂漠地帯で発見された有名な隕鉄で、総重量 26,000kg の破片が回収されて世界的に広く売買されています。特に、Gibeon 隕鉄はウィドマンシュテッテン (Widmanstätten) 構造と呼ばれる笹くれだった帯状組織(写真-1)が顕著です。その金属組織を物理・化学の視点から調べたいと考えました。

(写真-1 : Gibeon 隕鉄の切片、

ウィドマンシュテッテン構造)



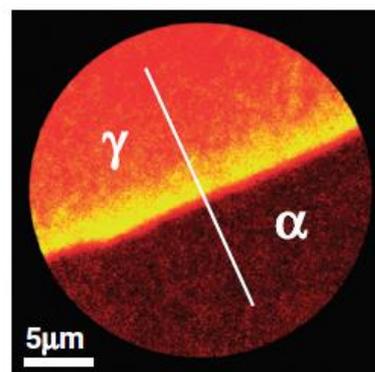
インターネット上でも、古代エジプトのツタンカーメン王の副葬品の短剣が、隕鉄から作製されていたとの分析結果が話題になっていました(2020年2月29日、<https://www.chibanippo.co.jp/>)。TVの科学番組で、その短剣の表面にウィドマンシュテッテン構造が表われている映像を見た記憶もあります。

2006年に Gibeon 隕鉄を購入して分析を始めようとしていた頃、小嗣真人氏(現在、東京理科

大学教授)が広島大学放射光科学研究センターに研究員として着任され、ドイツ留学中に習得された PEEM (光電子顕微鏡) という新しい分析法を適用するテーマを検討されていました。そこで、私は Gibeon 隕鉄のウィドマンシュテッテン構造に関する PEEM による分析を提案し、共同研究を行うことになりました。PEEM は、放射光 X 線を試料に照射し、試料から放出される光電子 (光電効果に因る) を電子顕微鏡の原理に従って、画像化したりエネルギー分析したりできる新しい技術です。元素を区別したイメージングは特に注目されます。

ウィドマンシュテッテン構造は、ニッケル(Ni)濃度に富む結晶が広範囲 (数 mm~数 cm) に亘って成長することによって、鉄(Fe)濃度に富む結晶との光沢の違いから (写真-1) の様な带状組織が観察されます。広範囲に亘って Ni 原子が移動するためには、真空の宇宙空間において 100 万年で 1-deg (度) の割合で極めてゆっくりと冷却する条件が必要とされています。従って、地球上で人工的にウィドマンシュテッテン構造を形成することは不可能です。

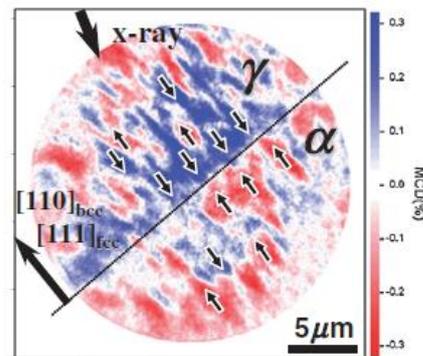
PEEM を用いると元素を選択的に (例えば、Ni と Fe を区別して) 分析できるので、私の研究目的に適した方法だと考えました。PEEM に依る分析結果[1]の一例が (図-2) です。带状組織の境界近傍を拡大して、Ni の濃度を Ni 固有の光電子の強度 (明るさ) で表しています。図中で γ と記された上半分には Ni が濃く分布しており、 α と記された下半分では Ni は希薄です。また、 γ と α の境界付近の明るさが際立っており、Ni が集中していることが分かります。 γ -相は Ni 濃度が濃い面心立方構造の Fe-Ni 隕鉄 (テーナイト相) で、 α -相は Ni 濃度が薄い体心立方構造の Fe-Ni 隕鉄 (カマサイト相) と特定されました。つまりウィドマンシュテッテン構造は、Ni 濃度の濃淡に因るテーナイトとカマサイトが層状に重なったラメラ構造だと言えます。



(図-2 : PEEM に依る分析、Gibeon 隕鉄の Ni 濃度分布)

[1] M. Kotsugi *et al.*, Appl.Phys.Express 3 (2010) 013001.

Fe-Ni 合金は、Ni 濃度がどの様な割合でも Fe と混ざり合う全率固溶体で、その磁性は磁石に付く強磁性です。この性質は隕鉄でも同様ですが、磁氣的構造はウィドマンシュテッテン構造に特有のものでした[1]。実は、PEEM に円偏光した放射光 X 線を利用すると磁気に関する情報が得られます (円偏光 X 線については別の機会に説明したいと思います)。試料に磁場を印加して、磁場の方向と平行に X 線を照射します。試料の磁化が X 線の入射方向と平行か反平行かによって光電子の強度が僅かに異なります。この現象は磁気円二色性 (Magnetic Circular Dichroism: MCD) と呼ばれており、PEEM と組み合わせた結果が (図-3) です。(図-3) は (図-2) と同じ個所を分析したもので、 γ -相内の青色と α -相内の赤色が境界を挟んで正対しています。青色の箇所は磁化の方向が磁場と平行で、赤色の箇所は磁場と反平行の磁化が分布していることを表しています。



(図-3 : ウィドマンシュテッテン構造の MCD 画像[2])

この様に磁化が「角突き合った」構造を **Head-On** 磁気構造と呼びますが、人工の磁性体では実現できない構造です。従って、これは隕鉄のウィドマンシュテッテン構造に特有の磁気構造だと考えられます。小嗣氏との共同研究で初めて明らかとなった成果です。その小嗣氏は、隕鉄特有の **Head-On** 磁気構造をヒントにして、**Extraterrestrial Materials**（地球外材料）と銘打った磁性体（磁気記録媒体）の作製を考想しています[2]。隕鉄に秘められたパワーと共に宇宙から飛来した物質にロマンを感じるのは、私だけではない様です。

[2] M. Kotsugi *et al.*, *Surface Science* **601** (2007) 4764–4767.

(2021年10月27日)