

# 討 論 会 講 演 論 文\*

## I. 鉄鉱石の熱割れに関する問題

### (討-1) 鉄鉱石の熱割れ現象に関する成因 よりの考察

八幡製鉄, 技術研究所 工博○石 光 章 利  
Considerations on the Decrepitation Relating  
to the Origin of Iron Ore Formation

Dr. Akitoshi ISHIMITSU

#### 序

鉄鉱石の“熱割れ”という現象に目が向けられるようになったのは比較的近年のことである。この現象を特に顕著に現わす何種かの鉱石から問題を生じ、諸方面で原因、高炉操業におよぼす影響などについて研究が進められている。

この性質は、これまで気付かれないうままに、特に問題として取り上げられることもなく見過されてきたというのが実状で、新しいものではないようである。

これまでにすでに高炉に大量に使用されていたという実績があり、操業上の支障も報告されていなかった鉱石に対し、改めて熱割れ試験を行なつて見ると中にはかなりの程度にこの性質を示すものが見出される。

現在のところでは、筆者などは、現象観察の段階を出ていないので、原因の解釈の仕方に対して見解といつたものを持ちあはせていない。また原因解明のためどのような実験手法をとるべきかについて低迷している状態であるので率直にいつて手がかりらしいものさえ得ていない。

“熱割れ”という事象に対して、今のところでは明確な定義が与えられていないように思われるので、ここでは仮に“熱衝撃により塊状鉄鉱石が急激に、爆発的に崩壊して小片化する現象”と解しておく。

この熱割れは、ある種の鉱石自体にそなわつた、いわば先天的な性質で、塊成鉱の物理的性状のように人為的に与えられた後天的なものとは異質のものである。

したがつて、このような性質の追究に当たつては、研究室での諸作業が重要であり有効であることはいうまでもないが、生成過程にさかのぼつて、地質学、岩石学、鉱物学の見地から考察を加えることも一つのいき方ではないかと考える。

#### 1. 現在までの諸研究の集約

熱割れを示す鉱石を、崩壊の挙動から大きく2つの型式にわけることができる。その1つの型は鉱床形成後のある地質年代に高度の動力変成作用を受けた片岩質の赤鉄鉱鉱床であつて南米大陸に見られるある鉱床は典型的なものである。かなり明瞭な片理が認められ、加熱により片理面に平行な雲母状小片に崩壊するが、爆発的なものではない。この種の鉱石の小片化機構についてはすでに過去の本講演会で1つの見解を報告している。また最近話題にのぼつている鉱石はこの型とは別の挙動を示す

ものであるから本報告ではそれを主題とする。

その1つの型式は、縞状構造、緻密質、赤鉄鉱質を共通の特徴とするもので、加熱により崩壊することは同じであるが、崩壊はかなり急激に行なわれて撓音を発し、時には爆発的といつてもよいほどである。これが熱割れ現象、熱割れ鉱石と呼ばれるものである。

これまでに各方面から発表された報告を簡略にまとめると、次のような点で一致しているように思われる。

1) 同一鉱床から産出した鉱石でも、緻密質なものは軟質のものより熱割れ現象は顕著である。

2) 還元および酸化の両雰囲気それぞれ実験した場合を比較すると、結果に大きな差は認められない。したがつて熱割れ性の発現には単純な熱的な条件が強い影響をもつているようである。

3) 加熱温度および加熱速度が共に関連する。熱割れを起こさせるためには、ある程度の高温と加熱速度とを必要とする。

東京大学の今井、他<sup>1)</sup>により、縞状組織中に水酸化鉄の薄い層が挟在していることが顕微鏡観察の結果確かめられている。急激な加熱により水酸化鉄が分解し、発生した水蒸気が破壊に必要な力として作用すると解釈されている。この見方を肯定する向きも少なくないようである。

#### 2. 鉱物の熱間現象

鉱物の加熱された場合、その物理的および化学的性状により、種々の挙動を示すことはよく知られている。吉木: 鉱物工学<sup>2)</sup>に熱現象とその分類表の記載がある。熱割れ現象の考察に便宜なようにわずかな書き直しを加えたのが Table 1 である。

この表の中で熱割現象と関連がありそうに思われるのは A-a, B-a, b, c の各項である。

“縞状組織に挟在する水酸化鉄の薄層”に熱割れの原

Table 1. Thermal behaviours of minerals.

A. Decomposition	a. Dehydration	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	b. Dissociation	$\text{CaCO}_3$ , $\text{MgCO}_3$
B. Transformation	a. Recrystallization	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
	b. Transition (→stable state)	Quartz $\begin{cases} \swarrow \text{Cristobalite} \\ \searrow \text{Tridymite} \end{cases}$
	c. Change in density	Jadeite, Kyanite

\* 討論会講演論文原稿受付日: 昭和41年11月15日

因を帰する考え方は A-a に該当する。

ある種の鉱石では Goethite および lepidocrocite が縞状組織にそつて細脈状に、あるいは斑状集合体の形で存在し、時には縞状組織を切つている場合もあり、また  $\gamma$ -hematite の在存も見られると報告されている。

このような事実と加熱実験の結果から破壊エネルギーの供給体として水酸化鉄の薄層が目されるに到つているようである。一応領ける見方であるが、 $\gamma$ -hematite が認められていることおよび、表から考えて dehydration 以外にも原因があるのではないかという疑問が残されていることも留意しておく必要がある。

### 3. “熱割れ” に似た現象

加熱により崩壊、時には爆発的に破壊されるという現象は縞状鉄鉱石に限ったことではなく、他にも往々みられる。

現象的にみて鉄鉱石の熱割れによく似ていると思われるのは、燧石 (natural coke) の爆発で、燧飛と呼ばれているものである。燧石は熱変成岩の一種で、石炭が天然に乾溜されて生じたものである。

燧飛現象に関して“燧石の燧飛温度”と題する浅野の論文<sup>3)</sup>中に次のように要約されている。

1) 燧石構成コークスは瀝青炭よりはるかに水分が多く、気泡内に水の形で存在する。

2) 加熱されるとこの水分が気化して水蒸気となる。

3) 気泡の多くは“密閉気孔”であり、水蒸気放出の通路とはならないので圧力が高まる。

4) 気泡は大体一定方向に扁平である。したがつて気泡内の圧力が高まると周囲のコークス質に対し楔のような作用をおよぼす。

5) 変成温度が高いほど縮合度と密度が高くなり、堅くしまつたものとなつて水蒸気圧力に対する抵抗が大きくなる。爆発音は必然的に大きくなる傾向がある。

6) 気泡は爆発力の発生源であり、弱点である。水蒸気圧力が燧石の機械強度をこえた時々爆発となる。徐熱すると燧飛を示さない場合があり、また粉碎することにより燧飛性は失なわれる。

Table 2 は鉄鉱石の熱割れ現象と燧石の燧飛現象との対比をして見たものである。

この表で見ると破壊機構は非常に類似するところが多いことがわかり、燧石の燧飛機構を縞状鉄鉱石にそつくりあてはめれば問題は解決したようにさえ思われる。

しかし燧石と鉄鉱石、気泡と薄層など本質的な相異があり、生成条件の上にも大きな相異があることを無視することはできない。

### 4. 縞状鉄鉱石の生成と性質

縞状鉄鉱石は成因上から 1 つのグループに分類されるべきもので、鉱床は各大陸にわたつてひろい分布をもつもののようである。

“縞状鉄鉱石の成因”<sup>4)</sup>と題して鉱山地質誌に浅野が寄せられた論文中に成因に関して詳細な考察が行なわれている。

生成条件の面から、熱割れ現象の研究に手がかりを呈示していると思われるところが少なくないので、そのような部分を抜萃する。

1) この種の鉱床は Pre Cambria に属する層状鉄鉱

Table 2. Comparisons between banded ore and natural coke.

	Banded ore	Natural coke
Density	High & compact	High
Structure	Banded Laminated	
Metamorphism	Thermal Dynamic	Thermal
Inclusions	Thin layers of iron hydroxides schistosity	Water in closed pores flat & orientated
Thermal behaviours	Decrepitation	Decrepitation

床であつて Iron-Formation と呼ばれることもある。

生成は  $1.3 \times 10^9$  年前の前後数億年と推定される。

2) 鉱床は各大陸の Pre Cambria の楯状地に分布し各地でそれぞれの名で呼ばれている。

Itabirite	南米
Quartz Banded Ore	スエーデン
Banded Hematite	印度
Banded Iron Stone	アフリカ
Banded Iron Ore	極東

Taconite もその 1 つと見られるようである。

3) ある種の鉱床は生成以後に熱変質、あるいは動力質などの変成作用を受けている。(先に熱割れの型式により 2 つに分類したが、これを地質学的には変成程度の高低によつて表現することもできる)。

4) 縞状鉄鉱床は、ある限られた地質時代に形成を終つた鉱床群であると同時に、石炭や石油と同様に汎世界的な鉱床である。

5) 成分鉱物は赤鉄鉱を主体とする鉄酸化物、石英および珪酸塩鉱物で、磁鉄鉱を伴う。当初は膠状沈澱物であつたという証跡を見出すことができる。

6) 縞状構造、ラミナ構造を有する。

7) 水の停滞した堆積盆地に形成されたもので、大陸周縁部の地域と思われる。

8) この種の鉱床と、性質や規模において完全に一致した鉱床は Pre Cambria 期以後に形成されていない。

(生成当時の気圏および水圏は現在のそれとは同じではない。たとえば気圏中の酸素は現在より少なかつたと推測されるべき根拠がある)。

鉱床の形成は太古に完了しているもので、現在に到るまでの長い時代に変成作用を受け、堆積当時とは異なつた形となつたものもあることは容易に想像される。

仮に、大きな動力変質または熱変質をまったく受けることなく静穏な状態に保たれてきたものでも、必ずしも形成当時の性状を今日まで保存しているとは限らない。

巨大な規模を有する鉱体であるから、鉱層自体の重さが鉱層に対する加圧となり、緩徐ではあるが密度を高める方向に向つていることが推測される。これは動力変質に類した影響を鉱層に与え、構成鉱物の高密度化、歪みを生じていることも推測可能である。

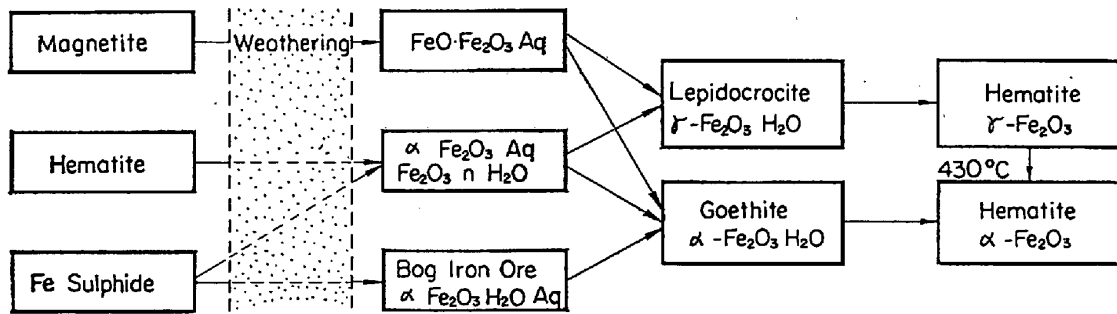


Fig. 1. Hydration and dehydration of iron minerals. (B. YOSHIKI: Kōbutsu Kogaku)

動力変成岩の代表的な花崗片麻岩の構成鉱物の状態を例にとれば、次のような特徴が認められる。花崗片麻岩の薄片を直交ニコルにした顕微鏡で観察する際、ステージを回転させると石英粒は波動消光を示す。これは石英結晶が歪みの状態にあることを示すもので HARKER<sup>5)</sup>はこれを“Strain Phenomena”と名付けている。

龐大な鉱層の自重が強大な加圧力を自体におよぼしているならば、構成鉱物は当然“歪みの状態”を与えられているはずであり、それを示す何物かが残されているはずであるが、石英の“歪みの状態”を検出したような光学的手法を、不透明鉱物である鉄酸化物に適用することはできない。

不透明鉱物について、歪みの有無、歪の大きさ、あるいは歪が去除される過程を検知する手段があれば、熱割れ現象の解明にまた別の手懸りを提供する可能性を期待できそうである。

次に縞状鉄鉱床の形成は膠状沈澱物の堆積に始まったという推定に出発点をおき、含鉄水溶液から鉄酸化物に到るまでの過程と鉄酸化物の性質を考えてみる。

水溶液から酸化鉄への過程を簡潔に概念的に示したのが Fig. 1 である。lepidocrocite あるいは goethite が形成されて堆積盆に集積するのが膠状沈澱物に相当する時期であろう。

長い年代にわたる圧密があり、脱水が行なわれて今日目にする鉱石になったのであろうが、局部的な条件により水酸化鉄の一部には水酸化鉄の状態を今日まで保存してきたものがあつても奇とするには当たらない。これが顕微鏡下で認められる水酸化鉄の薄層と想像する。

この薄層が、燻石中の扁平気泡と同じように、密閉、あるいは密閉に近い状態にあり、爆発的崩壊のエネルギー発生源となり得るかどうかに疑問は残されるが、強く圧縮された状態であろうということは想像される。

### 5. 熱割れの原因について

鉱床生成過程に関する考察と、鉱物の熱現象とをあわせて考えて見ると、水酸化鉄からの水蒸気の発生 (dehydration) 以外にも熱割れの原因に対する説明となり得るものがありそうである。

層理に沿った薄層の形で鉄の水酸化物が存在することが確認されているので、“爆発的な崩壊”を起こすにたる力をもっているかどうか疑問があるにしても、熱崩壊の原因の1つにあげることが、特に異論のないところであろう。

しかし recrystallization, transition, change in density も関係がないとはいえないようである。

γ-hematite の存在は顕微鏡観察によつて確められている。加熱により γ-hematite → α-hematite の変換は当然起こるはずであるが、これは低温域における現象である。熱割れはかなり高温で現われる現象であること、γ-hematite の量が大きくないこと、などを考えあわせると、変態の際に体積変化があるとしても比較的穏かな崩壊に止るのではないかと思われる。

transition と change in density を“安定相への転移”ということにまとめて、成因と関連させて見ると、次のようなことがいえそうである。

鉱床生成当時に安定であつた鉱物相、あるいは変成作用を受けて変成岩質となつた状態で安定であつた鉱物相が環境の変化から絶縁されて今日まで保存された場合を考えて見ると、それらの相が現在の環境下に置かれれば準安定相、または不安定相と見ることができよう。そのような状態にあるものであれば、なにか刺戟を与えられることにより、安定相へ移行しようとするはずである。

どのような刺戟を必要とするかは不明であるが、採掘から整粒に到るまでの過程に考えられる圧力の除去、機械的衝撃、およびその後の熱的衝撃などはある程度引金の役を受け持っているのではないかと想像する。

一方このような過程が熱割れの原因を消し去る働きをすることも考えられる。水酸化鉄の薄層が密閉状態で存在すると仮定した場合、採掘→整粒の工程で生じた破面が薄層を切れば、破面は加熱により発生すべき水蒸気の放散通路を提供したことになる。その結果、熱割れ性を持ちながら試験に対して熱割れ鉱石の特質を示すことなく終るであろう。燻石の燻飛性が微粉砕によつて失われるのはこのような理由によるものと説明されている。

過去の加圧作用によつて与えられた歪みが、破壊を起こすに足るだけの力を今日まで保存しているかどうか、保存されているとすれば、どの程度のものか、刺戟に対してどのように反応するものかと云うことは興味はあるが解決がきわめて困難な問題として残されるであろう。

### 文 献

- 1) 今井: 加熱顕微鏡による加熱実験 (海外製鉄原料委員会資料)
- 2) 吉木: 鉱物工学
- 3) 浅野, 他: 九州鉱山学会誌, 33, No. 2, 昭40-2-20
- 4) 浅野: 鉱山地質, 9, No. 38, 10, No. 39, 40
- 5) HARKER: Petrology for Students