

鐵

と

砂

鐵
第八年第四號

大正十一年四月二十五日發行

砂鐵鑛の顯微鏡試驗

東京帝國大學工學部鐵冶金實驗室報告第十六號

井上克巳
梅津七藏

砂鐵鑛は花崗岩、粉岩、閃綠岩、安山岩等中に在る磁鐵鑛粒が其母岩の風化作用に依り變質崩解に伴ひ生じたるものと見做さるべきものにして其磁鐵鑛たるや、（一）母岩が鹽基性岩石たる場合に於ては酸化チタニウム或は酸化クローム等を共存するものなる事は已に鑛物學者の發見する所なりとす、然るに、（二）酸性岩石を母岩に有する場合に於ては如上の酸化物を共存せずとなすもの或は鹽基性岩石を母岩とする場合と同様酸化チタニウムは共存する場合多々ありとなすものありて第二の場合に於ては其意見一致を見ず、本邦に於ては砂鐵鑛は到る處に發見せられ其最も有名なる產地としては北海道噴火灣海岸、青森縣東海岸、岩手縣海岸、茨城縣、千葉縣海岸、新潟、土佐、豐後、日向、大隅、薩摩、石見、出雲、伯耆等は世人の普く知らるゝ所なり、從つて其鑛量に於ても莫大なる噸數を示し本邦製鐵原料として最も有望なるものと見做さるべきに係らず從來我國は素より諸外國に於ても砂鐵鑛

が歐米式の高爐製煉法に適せざるが故に今日に至るまで之が利用盛んならずして徒に埋沒せらるゝ状態にあり、斯の如く砂鐵鑛が何故に現今の歐米式高爐に依る製鐵操業法に對し不適當なりやとの原因に關しては已に俵博士（鐵冶金實驗室報告第十四號）長谷川工學士（鐵と鋼第七年第三號）に依り詳述せられたる所なるが其主要なる點を述ぶれば即ち次の二點に歸着す。

（一）砂鐵鑛の如き粉末鑛石は之を直ちに製鐵高爐に裝入する時は製煉作業をして著しく困難ならしむる事

（二）前述の如く砂鐵鑛中には必ずチタニウムを含有し之が製煉作業を妨げ操業不可能に陥らしむる事

右の中（一）の缺陷を補ふため之を塊狀に加工するの必要あり此目的に對しては已に歐米諸國に於ても諸種の團鑛法あり、東大理學部山口理學士も亦砂鐵團鑛に關する科學的研究を行はれ自働的に機械的性質善良なる團鑛を作成せらる

(化學會誌大正十年五月號)

要するに現在に於ては經濟上有利に砂鐵鑄を處理し得べきや否やは別問題とする處なれども其の熔鑄爐裝入に差支なき性質乃至形狀を與へ得べき事は明らかなり、然れども如何に完全なる團鑄法に依り如何に善良なる團鑄を製造し得べしとなすも今若し其化學的性質特に第二の問題たるチタニウム含有量に於て顧慮せざらんか、之れ現今の製鐵技術に於て最も憂慮すべき問題にして高爐製煉に於て從來砂鐵鑄を使用せる場合時々失敗を重ねつゝある所以は殆ど此點に歸因せるものとす、即ち裝入されたるチタニウムは銑鐵中に還元せらるゝもの極めて微量にして窒化物、青化物(?)或はチタン鐵合金となりてチタン含有多き鑄滓と混合し爐底固形物を形成する等の(詳細は前掲俵博士及長谷川工學士報告)缺點を伴ふを以てチタニウムを含む砂鐵鑄の如きは近世式高爐に殆ど使用し能はざるものとせらる即ち鐵鑄石として重要な價値を占むる事能はざる状態にあり、ヘスケット氏はニュージーランド產砂鐵(同地方砂鐵は同氏の報文に依れば磁鐵鑄とイルメナイト鑄の複酸化物($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{TiO}_2$)となり顯微鏡に依るも其狀態不明にして猶磁力選鑄法に依りチタニウムを分離し得ざるものなりと)を利用し試験せられしが其説に依れば適當の熔劑を使用して團鑄を作りて操業する時は裝入中のチタニウムは殆ど全部鑄滓中に除去し得べしとなし從來考へられしが如くチタニウムは甚だ困難なる惡影響を與ふるもの

に非ずと(Iron and Steel Inst. 1920 Vol. I)又最近米國の某氏も太平洋沿岸產の砂鐵に對する高爐製煉を行ひたる結果適當の粘結劑を以て砂鑄團鑄を處理するときは同様に左迄の困難を伴ふ事なく製銑操業を遂行し得べし。

右の如くチタニウムを含有する砂鐵製煉に關しては二三の報告はあれども今猶各國技術家の研究中に屬し其救濟方法たる今猶解決せられざる状態にあり、従つてチタニウム含有砂鐵鑄に對する製煉法の完全なる發達を遂ぐるか或は如上の砂鐵鑄よりチタニウムを何等かの方法を以て分離除去し現今に於ける製銑作業に困難を伴はざる程度にチタニウム含有量を減少せしむる方法の發見せらるゝに非ざれば團鑄法如何に精巧なりと雖も有終の美を擧ぐる事能はざるべきなり。

吾人は先きに砂鐵鑄中チタニウムの形態に關し、(一)單にイルメナイト鑄として磁鐵鑄粒とは獨立混合して存在するものと、(二)一方磁鐵鑄とイルメナイト鑄とは兩者の中何れか一方が他方に固溶體の如き状態となりて存在する者と二様の状態を假定し引續き各地方產の砂鐵鑄に對し磁力分離實驗を重ねたるに久慈二番抗砂鐵、青森縣海岸砂鐵、千葉縣佐貫海岸砂鐵、秋田縣八郎瀉砂鐵等何れも皆前報告に示せる久慈五番坑砂鐵と同様の結果を示し如何に弱磁場を用ふるとも磁鐵鑄以外にチタニウム含有物の吸引附着する事實を認めたり猶チタニウムは殆ど全部鑄滓中に除去し得べしとなし從來考へ量は極めて微量にして漸次強磁場に至るに従ひ其量を増し兩

極間の距離五〇粂内外に於て最大に達し以後漸次減少し距離二〇粂に附着するもの或は附着せざるものは又其數量僅少となる事實あり。

前報告の如くイルメナイト礦粒は常磁性體なるを以て容易に磁鐵礦粒とは磁力選礦法に依り兩者を分離し得るは明白なる事實にして又礦物用顯微鏡に依り兩者を薄片となし之を檢鏡する時は磁鐵礦粒は全然光線を通過せしめざるを以て全く暗黒色を呈するもイルメナイト礦に於ては稍々少許の光線を通過し半透明體を呈する等の(精確とは斷定し難かも)相違ある、アヂロンダック砂鐵礦は其好例なら(Iron Age. 1914, p. 930)

然るにチタニウムを含有する第一の形態をなすものと想像せらるゝ種類のものは磁鐵礦粒の如く強磁性體なるを以て磁

力に依る分離法に依りては其選別不完全にして又薄片となし鑛物用顯微鏡に依り檢鏡するも殆ど全く兩者を識別する事不可能なりヘスケット氏のニュージーランド産の砂鐵礦に於てはチタニウム含有礦粒と磁鐵礦とはアヂロンダック砂鐵礦に於ける如く透射光線に依り全く兩者を識別する事を得ずとなせり。

本實驗室に於ては弱磁場に於ても磁鐵礦粒と同様に吸引附着せらるゝチタニウム含有強磁性體が如何なる組織を有するやを試験し從つて磁鐵礦の有する組織と其相違を指摘し以て顯微鏡的に弱磁場の場合に吸引せられたる砂鐵礦粒の中兩者の分量を比較せんと試みたる結果遂に左の方法に依りチタニ

ウムを含有する強磁性體の組織を鮮明にする事を得たり。

試料の準備 本實驗室に於ては反射光線に依る顯微鏡を使用せるがため砂鐵礦を研磨せざるべからず、之に對し最初はラック中に試料を埋めたる後研磨檢鏡したれども研磨の際或は鹽酸を以て之を腐蝕するに當り研磨面のラックに依り汚損せらるゝがため檢鏡不可能に陥りたるを以て結局最も可溶性なる硝子を熔融せしめ此の中に試料を散布せしめ以て硝子の冷却凝固に伴ひ試料の硝子體内に埋藏せらるゝ方法を採用したるものにして實驗上多大の效果を致せり、硝子の冷却するを待ち直ちにグラインディング及ボリッシング等通常金屬に於ける如く進行し然る後比重一、一九の鹽酸に研磨面を腐蝕せしめて檢鏡するものとす。

寫真(一)は純磁鐵礦八面體の結晶を其面に平行に研磨し檢鏡せるものを示す(倍數二五〇、以下之に準ず)。

寫真(一)は美濃國苗木地方に產する砂鐵礦の磁力選礦法に依りて得たる礦尾にして冶金學教室宮崎教授より提供せられたるもの、其成分チタニウム三一、一一%、鐵三二、一%即ち FeTiO_3 なる純イルメナイト礦と推定し得らるゝ者の檢鏡寫眞にして上の者の組織と比較するに單に僅かに色相を異にするのみにして磁鐵礦粒と區別し難き種類のもの乃至其表面上に數多の相平行せる條線存在する種類のものを認むべし、ローベンブッシュ氏に依れば (Micro-scoical Physiography of

鏡するに當り $R\pi(1011)$ 面に於て平行なる條線組成を表はすものありと。

寫眞(三)は諾威產イルメナイトの檢鏡組織を示す。

寫眞(四)は朝鮮產の磁鐵鑛八面體結晶(最初純磁鐵鑛と考へ居たりしも分析の結果其中にチタニウム七、八%を含める事を知れり、以外の不純物は微量にして從つて殘部は盡く鐵分より成る)を其オクタヘドロンの面に平行に研磨し檢鏡したるものにして寫眞(一)及(二)とは全然異なる狀態を示す、即ち一定の幾何學的三角形に相交叉して成長せる板狀組織(其交角度約六〇度なり)を認むべく本鑛物は其強磁性體たる事よりして磁鐵鑛を一成分として含む事明白にして然も磁鐵鑛本來の檢鏡組織を示さず一方イルメナイトを($mFeTiO_3 + nFeO_3$)と假定しチタニウム含有量僅少なる種類のものと見るも其強磁性體なる點に於て全然如上の假定と相反するを以て前述の組織は全くチタニウム即ちイルメナイトが磁鐵鑛と同時に複酸化物を作り成長せるものと見做し得べし、寫眞上に現はれたる白色狀物質に就ては目下判然たる解決を與ふるに至らざるも、恐らくはイルメナイトの分解成生物たる Gümbel 氏に依るロイコクセン(Leucoxen)に非ずやと思惟せらる。

寫眞(五)は北海道噴火灣海岸產の砂鐵にしてチタニウム五、八%を含有す(豫め水中に於て磁力選鑛に依り硅砂より完全に分離せるもの)本砂鐵は各粒盡く強磁性にして弱磁性た

るイルメナイトを含有せず磁極間に全部吸引せらる、其檢鏡組織は圖に示せるが如く第三圖と同様なる三角形に錯雜して成長せる板狀組織にして磁鐵鑛粒は殆ど存在せざるを認めたるの故を以てチタニフェラウス、マグネタイト(Titaniferous magnetite(鑛物學上にも其名あり))なる名稱を以て此組織に命名せんとす本實驗室に提供せられたる室蘭砂鐵は實にチタニフェラウス、マグネタイトのみより成るものと斷定するも大なる誤なからん(本砂鐵は日本製鋼所林工學士寄贈)。

寫眞(六)は青森縣海岸產の砂鐵を水中に於て磁力選鑛し(吸引せらるゝものと吸引せられざるものとの割合約九〇：一〇)其磁極に附着したるもの(チタニウム六、七二%)檢鏡寫眞にしてチタニフェラウス、マグネタイト大部分を示し單に白色狀を示せる鑛粒は磁鐵鑛粒なりとす。

寫眞(七)は秋田縣八郎潟產の砂鐵を前同様に水中に於て磁力選鑛し(吸引せらるゝものと吸引せられざるものとの割合五六：四四)其磁極に附着せざりしものの組織にして研磨面上に條線組織を示せる二個の粒はイルメナイト鑛を示し三角形板狀組織を示せるは偶々磁極に吸引せらるゝ事を免れたるチタニフェラウス、マグネタイト鑛粒なりとす。

寫眞(八)は千葉縣佐貫海岸產の砂鐵を同様水中にて選別し(吸引せらるゝものと吸引せられざるものとの比九一：九)其磁極間に附着せしものチタニウム含有量六、六八%を示すも

のの検鏡寫眞にして單に白色結晶なるは磁鐵鑛、他の二粒はチタニフエラウス、マグネタイトを示す。

寫眞(九)は岩手縣久慈二番坑砂鐵を水中にて磁力選別し（吸引せらるゝものと吸引せられざるものとの比七五：二五）其磁極間に吸着せしものの検鏡組織にして本砂鑛は殆ど圖の如きチタニフエラウス、マグネタイトのみよりなるを認む。

寫眞(十)は山陰道に產する眞砂にして水中に於ける磁力選鑛に依るに其の磁極間も吸引附着せらるゝものの量と附着せざるものとの割合九八：二即ち盡く強磁性體よりなる、該強

磁性體はチタニウム含有量〇、七六%にして前同様検鏡する

時は磁鐵鑛粒の外チタニフエラウス、マグネタイト粒(チタニウム含有量は他種の砂鐵と比較して少量なり、之がためなるか他種の砂鐵に表はるゝが如きチタニフエラウス、マグネタイトの完全なる三角形板狀組織を示さずして稍々不完全なる狀態を示す)の存在せるを認む。

寫眞(十一)は岩手縣久慈五番坑砂鐵を磁極間二〇粍即ち強法に依り磁極間の距離を八〇粍に保ちたる場合吸着せるもの検鏡寫眞にして検鏡上磁鐵鑛粒は極めて少量にして殆ど大部分はチタニフエラウス、マグネタイト組織のみより成るを認む。

寫眞(十二)は同上砂鐵が磁極間の距離五〇粍に保ちたる場合に附着せしものの状態にして盡くチタニフエラウス、マグネタイトより成る、此場合チタニウム含有量六、七三%にし

て磁極間八〇粍に於て吸引せられたるもの、チタニウム三、七七%に比して多大なるは此兩者の検鏡組織を精細に觀察する時は後者の場合(距離八〇粍)に於ては單に純粹なる三角形板狀組織を呈し猶磁鐵鑛の存在を伴ひ其間寫眞第三に示せるが如きロイコクセン状物質を認めず然るに前者即ち磁極間五〇粍に於けるものは三角形板組織以外に相平行せるロイコクセン状物質の點々として存在するを認むるが故現今に於てはチタニウム含有量の磁極間の距離減少するに従ひ増加する理由をロイコクセン状物質の存在に原因するものと假定し置かん。

寫眞(十三)は前同様久慈五番坑砂鐵を磁極間二〇粍即ち強磁物に於て吸着せしものゝ状態にして此場合に於ては鑛粒中チタニフエラウス、マグネタイトの組織を認めずして何れもチタニフエラウス、マグネタイト鑛に表はるゝ條線組織よりなるもの多きを見る
以上は現今迄處理せる砂鐵に就て研磨検鏡したる際表はれたるチタニフエラウス、マグネタイトの顯微鏡組織を示せるに過ぎず、各粒に就きて更に詳細に觀察する時は(其チタニウム含有量に應じて)其の組織に種々の變化あるが如し、吾人は目下之等の點に關し化學的物理的方面より研究を重ねつゝあるを以て其結果に就ては後日に譲らんと欲す、只今日に於ては左の諸點を擧げて結論に換へんとす。

詰 論

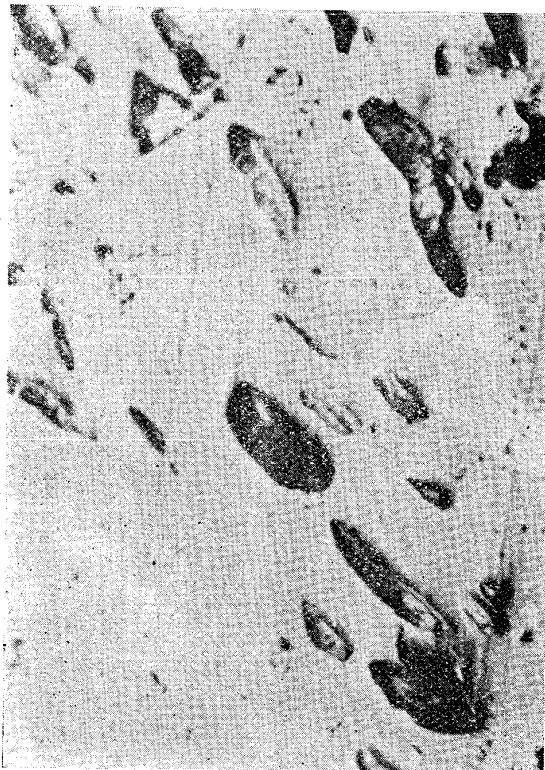
含有する強磁性體の組織を曝露し以て砂鐵鑛には磁鐵鑛イルメナイト鑛以外に先きに假定せし兩鑛物の固溶體の如き状態を保ちたる種類の砂鑛存在する事を明白に證明する事を得たり、ヘスケット氏のニュージーランドに於ける砂鐵鑛とチタニウムの複酸化物を形造れるもの即ち ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{TiO}_2$) として示されたるものは恐らく、上述の檢鏡方法に依りチタニフェラウス、マグネタイトとしての状態を現はすものならんと推定せらる。

二、從來砂鐵鑛と稱せらるゝものは磁鐵鑛の數量多大にしてイルメナイト鑛及固溶體狀の種類のものは極めて僅少なるべしと想像せられたるが吾人の試験に呈供せられたる砂鐵鑛の中大部分は之等の想像とは全然相反し砂鐵鑛なるものは其九〇%或は夫以上は皆チタニフェラウス、マグネタイトにして磁鐵鑛粒イルメナイト鑛粒は極めて微々たる數量なる事を證明し得たり。

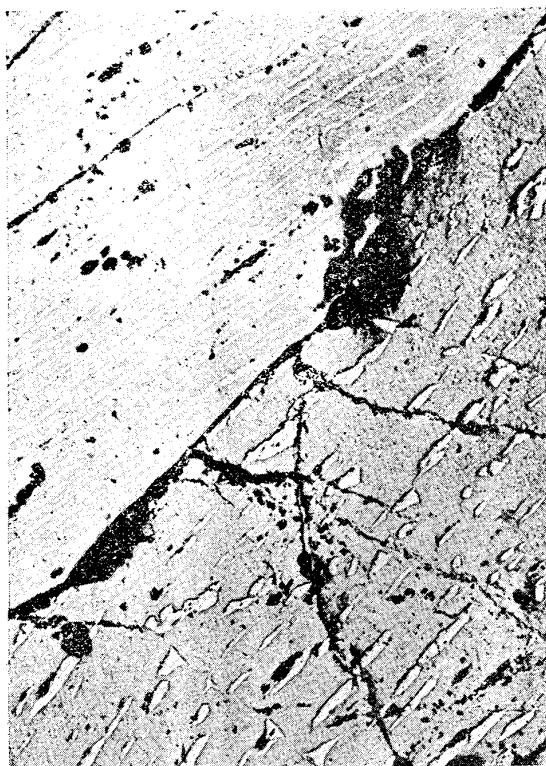
三、本邦產の砂鐵は其母岩酸性質なると鹽基性質なるとを問はず其中にチタニフェラウス、マグネタイトを存在す。

四、チタニフェラウス、マグネタイトは磁鐵鑛の如く強磁性體なるを以て如何に磁力選鑛法に依り弱磁力を以て處理せらるるも兩者共吸引せらるゝが故に如何に之を粉碎すと雖も工業的大規模に磁力選鑛法を採用する場合に於て到底砂鐵中よりチタニウムを除去する事は不可能なりと考へらる。

(完)



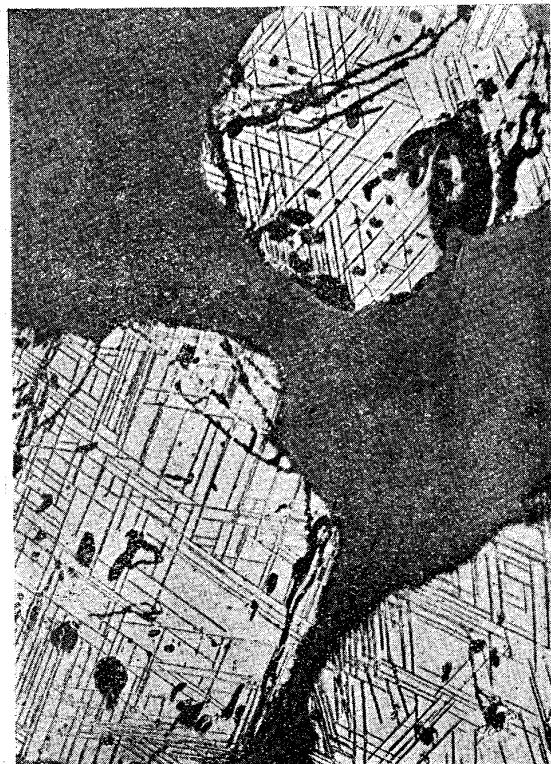
寫真(1) 磁鐵鐵八面體結晶を面に平行に
研磨せるもの



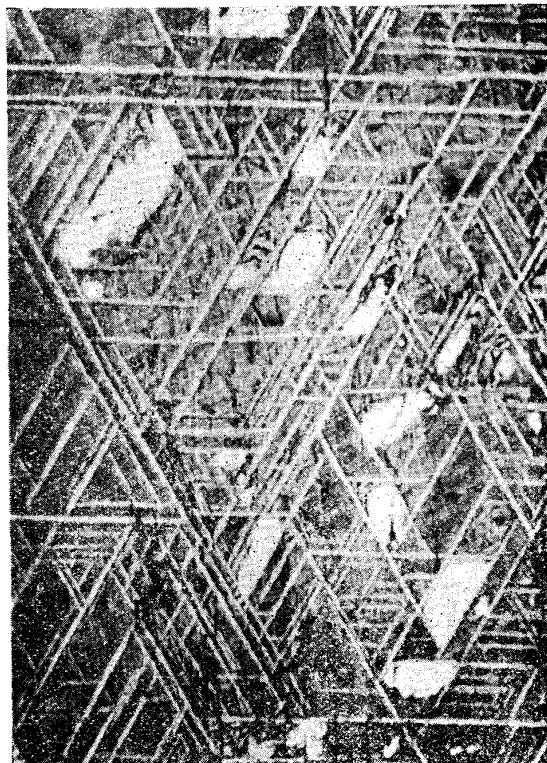
寫真(3) 諾威產イルメナイト
(鑛山學科標本室より)



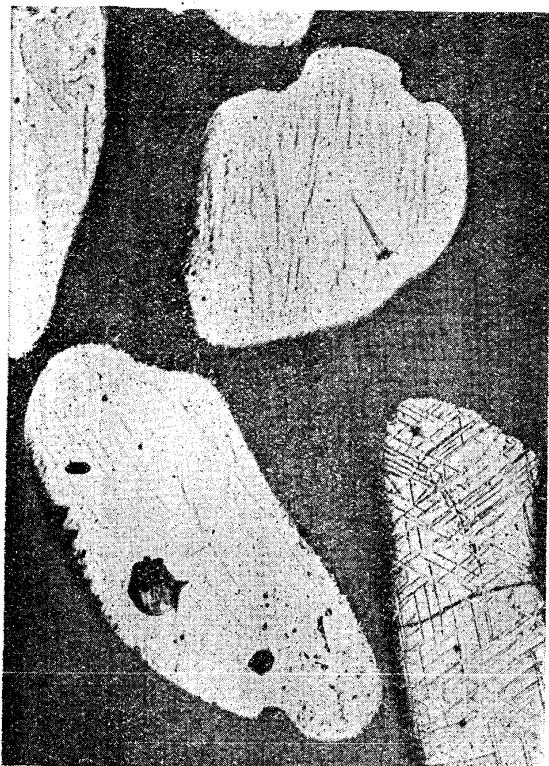
寫真(2) 美濃イルメナイト ×400



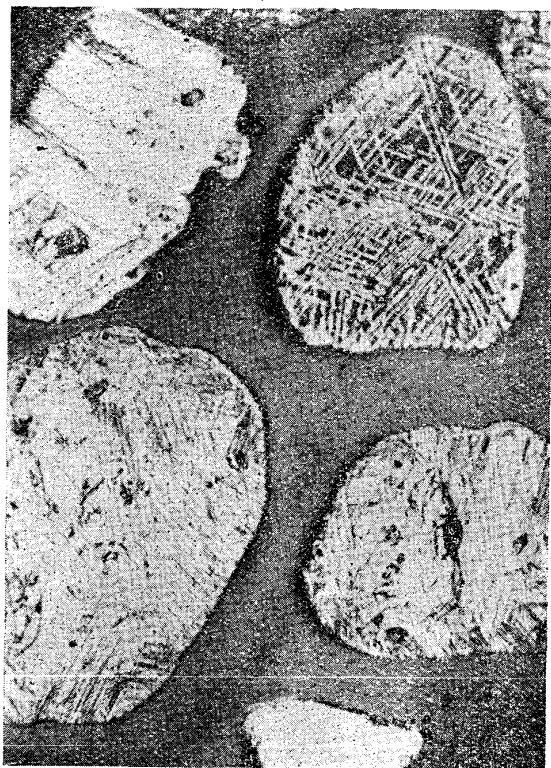
寫真(5) 室蘭產砂鐵



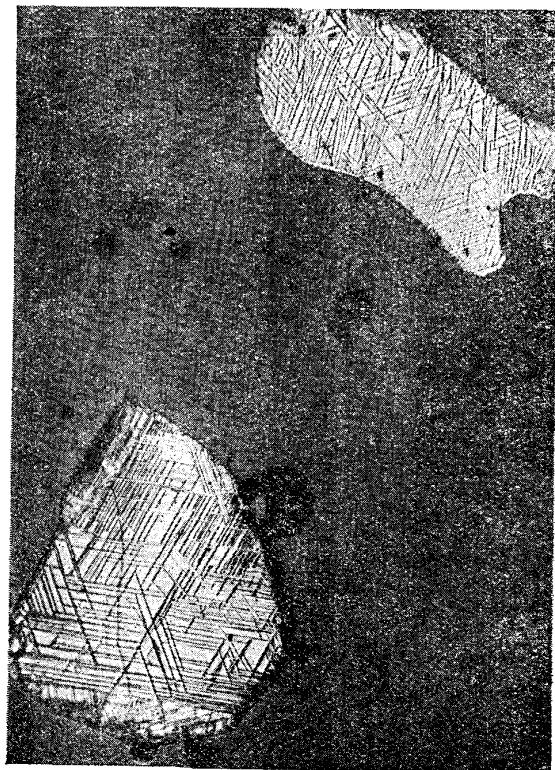
寫真(4) 朝鮮產チタニウム含有
磁鐵鑛(野村堅氏寄贈) ×400



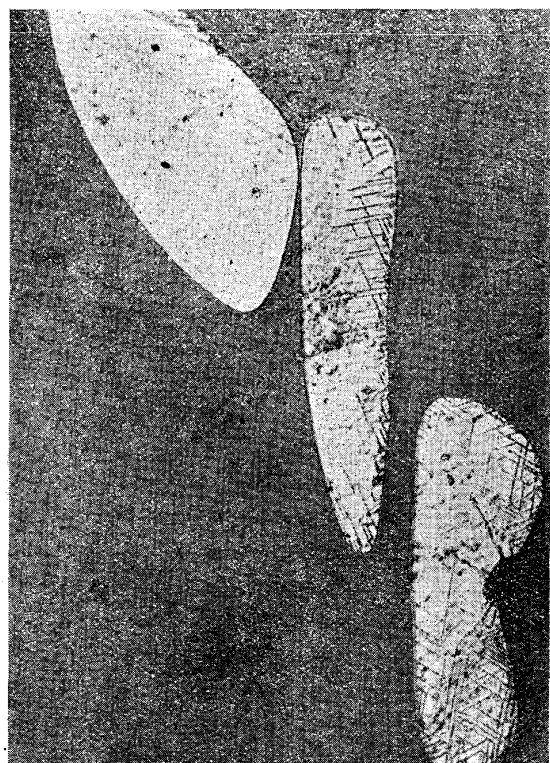
寫真(7) 秋田縣八郎潟



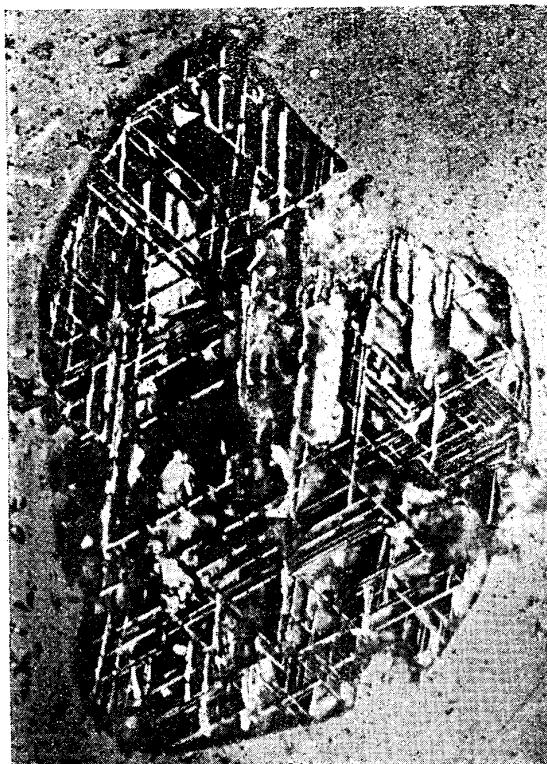
寫真(6) 青森縣海岸砂鐵



寫真(9) 久慈二番坑砂鐵



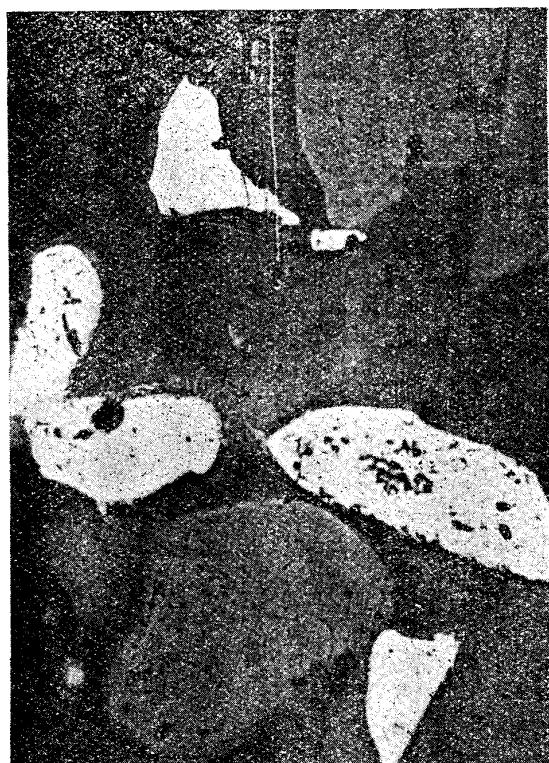
寫真(8) 千葉縣佐貫海岸



寫真(11) 久慈五番坑 $\times 400$
(磁極間 80粂)



寫真(10) 真砂



寫真(13) 同上 (磁極間距離 20粂)



寫真(12) 久慈五番坑砂鐵
(磁極間 50粂)