

# インド東部の始生代マンガン鉱床

守山 武<sup>1)</sup>・石原 舜三<sup>2)</sup>

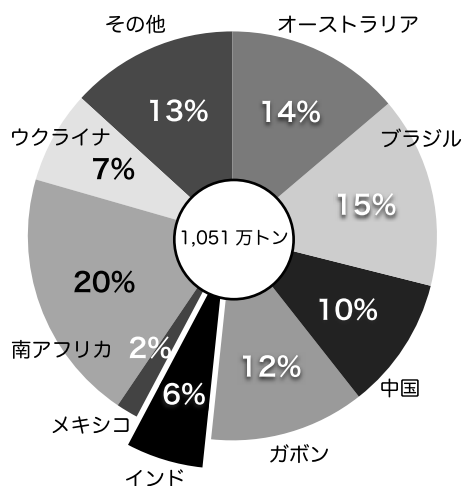
## 1. はじめに

マンガンは鉄鋼製品の添加剤やアルミ合金への添加剤、乾電池などに利用されている重要な資源であるが、その供給のほとんどを海外に依存する供給リスクの高い資源である。そのため日本ではマンガンを国家備蓄鉱種の1つとして年間基準消費量の60日分(内18日分は民間備蓄)が常時備蓄されている。近年、鉄や銅などのベースメタルやモリブデン、ニッケル等のレアメタルなどあらゆる資源の価格が高騰している。マンガンも例に漏れず価格が上昇しており、2002年800ドル/トンだった金属マンガン価格は2007年6月には一時的に6,000ドル/トンまで上昇し、7月は3,000ドル後半で推移している(レアメタルニュース, no.2143, 2312, 2315)。近年の資源価格の高騰はBRICs諸国の急激な経済発展に伴う消費量増加が要因の1つとな

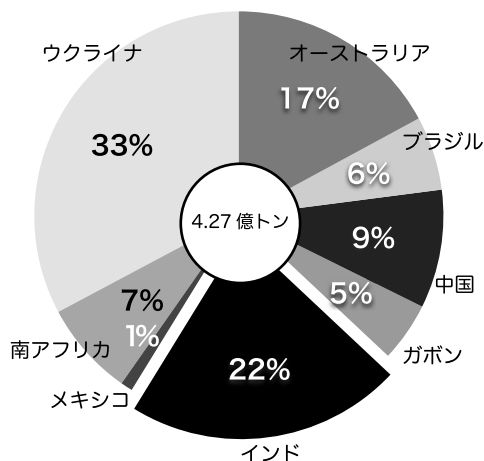
っている。BRICsとはブラジル(Brazil)、ロシア(Russia)、インド(India)、中国(China)の頭文字を並べたもので、近年経済成長の著しい国々を示す経済用語である。なかでも中国とインドの経済成長はすさまじく、最近の両国の実質GDP成長率が10%前後に達している(外務省, 2007)。日本やアメリカなどの先進諸国の実質GDP成長率が数パーセントであるのに比べるとその成長率の高さがうかがえる。

マンガンは主として始生代から原生代の堆積性マンガン鉱床から生産されている。USGS(2007)によると、2005年における世界のマンガン生産量1,051万トンのうちインドは約6%の64万トンを生産している(第1図a)。インドは世界のマンガン資源埋蔵量の22%を占めており、この埋蔵量はウクライナに次ぐ世界第2位である(第1図b)。以上のようにインドはマンガン資源に関して重要な国の1つである。

a: マンガン生産量 (2005年)



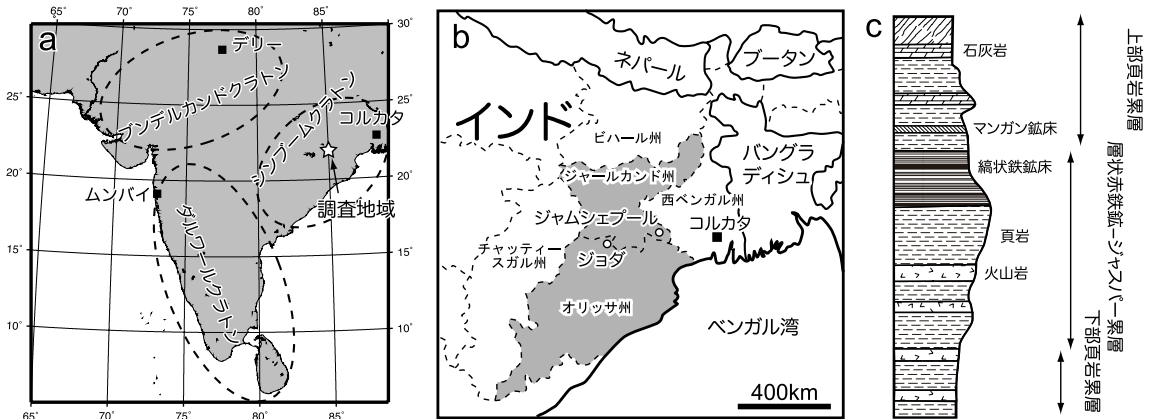
b: マンガン埋蔵量



第1図 (a) 世界のマンガン資源生産量 (USGS, 2007). (b) マンガン資源の埋蔵量 (USGS, 2007).

1) 産総研 地圏資源環境研究部門  
2) 産総研 特別顧問

キーワード: インド, Iron Ore Group, マンガン鉱床



第2図 (a) インド亜大陸の始生代大陸地殻区分, (b) インド東部の行政区分, (c) 鉄鉱統 (Iron Ore Group) の模式柱状図 (Schissel and Aro, 1992).

今回我々は経済成長著しいインドの東部に分布する後期始生代のマンガン鉱床を訪れる機会を得たので、本稿ではインド東部のマンガン鉱床を中心としてインドについて紹介する。

## 2. インド東部シンブーム地域の地質

インドは始生代の古い大陸地殻からなり、シンブームクラトン、ブンドルカンドクラトン、ダルワールクラトンの大きく3つの地塊に区分される(第2図a)。今回紹介するマンガン鉱床はインド東部のシンブームクラトンに属し、ジャールカンド州からオリッサ州にかけて分布する(第2図b)。

シンブームクラトンの基盤岩は始生代の緑色岩-花崗岩帯からなり、最も古い年代として古期変成トナール岩片麻岩 (OMTG: Old Metamorphic Tonalite Gneiss) から約34億年という年代が得られている (Mishra et al., 1999)。OMTGは縞状鉄鉱床を胚胎する鉄鉱統 (IOG: Iron Ore Group) によって不整合に覆われる。約30億年前のシンブーム花崗岩類との貫入関係から、IOGの形成年代は33億~31億年前と考えられている (Sarkar, 2000)。IOGおよびシンブーム花崗岩類は原生代の変成岩類によって不整合に覆われる。

本稿で取り扱うマンガン鉱床はIOGに胚胎する(第2図c)。IOGは火山岩、凝灰岩、頁岩、ドロマイトなどから構成され、岩相に基づいて下部から下部頁岩累層 (Lower Shale Formation)、層状赤鉄鉱-ジャスパー

累層 (Banded Hematite-Jasper Formation)、上部頁岩累層 (Upper Shale Formation) の3つの層準に区分される (Banerji, 1977)。下部頁岩累層は火山岩や凝灰岩を挟在する頁岩からなる。層状赤鉄鉱-ジャスパー累層は主として頁岩から構成され、スペリオール湖型縞状鉄鉱床を胚胎する。スペリオール湖型縞状鉄鉱床は始生代から原生代に海洋底で堆積したとされる鉄鉱床で、チャートと鉄鉱床が交互に繰り返す縞状を呈する。世界に分布するスペリオール湖型縞状鉄鉱床は鉄資源を供給する重要な鉱床タイプである。上部頁岩累層は赤色頁岩を主体とし、層準の下位にマンガン鉱床を胚胎する。上位の地層にはドロマイトを含み、ストロマトライト化石の報告もある (例えばRoy, 2000)。

## 3. シンブームの鉄・マンガン資源

シンブーム地域は鉄やマンガンをはじめとして、銅やウランなど様々な金属資源に恵まれている (石原・守山, 2008)。IOGにおける鉄資源はジャールカンド州とオリッサ州で約67億トンの賦存量が見積もられており (Indian Bureau of Mines, 2006)、インド国内でも鉄の生産量が多い。両州の鉄鉱石生産量の合計は約5,600万トン (2004-2005) で、これはインド国内の鉄鉱石年間生産量の約40%を占める (Indian Bureau of Mines, 2006)。

当地域はインド最大の財閥であるタタ・グループのグループ会社、タタ・スチールの発祥地である。タタ・



写真1 駅は大量の荷物を持つ乗客などで混雑する。インドでは荷物を頭に載せて運ぶ姿がよく見られる。

スチールは1907年、ジャールカンド州ジャムシェプールに製鉄工場を設立した。現在本社はインド西部のムンバイに置くが、今でもジャムシェプールが主要工場となっている。タタ・スチールは2007年4月英鉄鋼会社コーラスグループを12億USドルで買収し、世界第5位の鉄鋼会社となった(タタ・スチール・プレス発表, 2007)。

タタ・グループは設立当初から教育や医療に力を入れており、インド国民に親しみを持って受け入れられている。タタ・スチールの地質分野経営責任者アソカン博士との雑談で「一日でTATA製品を見ない日はない」とあったが、事実モーニングティのティーバッグ(TATA tea)にはじまり、町中を走る自動車(TATA motors)、腕時計(Titan)など生活の中でTATAの文字は常に目にする。タタ・モーターズは2008年1月に10万ルピー(約28万円)という超低価格自動車「NANO」を発表し、また2008年3月には米国自動車会社フォードの傘下である高級自動車メーカー「ジャガー」と「ランド・ローバー」を約23億USドルで買収するなど積極的な事業展開を行なっている。

オリッサ地域のマンガン鉱床は主にオリッサ鉱山会社(Orissa Mining Corp. Ltd.)およびタタ・スチールによって稼行されており、ほかにも規模の小さな鉱山会社が存在している。今回の調査ではオリッサ州ジョダ周辺のタタ・スチールが所有するマンガン鉱山を見学することができた。オリッサ州およびジャールカンド州からは年間約87万トン(2004-2005年)のマンガン鉱石が採掘されており、これはインド全体のマンガン



写真2 層状マンガン鉱床。赤色頁岩の層構造と調和的にマンガン鉱体が胚胎する。ハンマーの長さは約40cm。

鉱石生産量の約37%(国内生産量第1位)を占める(Indian Bureau of Mines, 2006)。

#### 4. マンガン鉱床

調査地域はコルカタの西方約400kmに位置し、コルカタのハウラー駅から列車で約8時間、ジョダに近いバラビル駅に到着する。インドでは駅のプラットフォームに自由に出入りできるため、どこの駅でも大量の荷物を持つ乗客(写真1)や荷物持ちを生業とする人、チャイ(インド式ミルクティ)を売り歩く人、タクシーの客引きなど多くの人でごった返している。

マンガン鉱床は赤色頁岩中に胚胎しており、その形態から次の3つのタイプに分けられる。1つは赤色頁岩層に調和的に胚胎する層状型、2つ目は剪断帯や層構造にマンガンが二次的に再濃集した構造規制型、そして3つ目は風化変質作用によって形成されたラテライト型である(Mishra *et al.*, 2006)。タタ・スチールでは主に構造規制型マンガン鉱床を採掘対象としており、オリッサ州ジョダ周辺に12の鉱区をもつ。各鉱区にはそれぞれ数個のオープンピットを有する。ラテライト型マンガン鉱床は採掘対象としていない。タタ・スチールではMn含有量が46%を超えるものを高品位鉱、35-46%のものを中品位鉱、28-35%のものを低品位鉱として扱っている。

今回は層状型と構造規制型のマンガン鉱床を観察することが出来た。層状マンガン鉱床は数メートルの層厚を持ち母岩の赤色頁岩と調和的に胚胎する(写



写真3 構造規制型マンガン鉱床.



写真4 構造規制型マンガン鉱床の晶洞にはしばしば自形の軟マンガン鉱やぶどう状のクリプトメレンが晶出する.

真2). マンガン層と頁岩層の境界部は一般に明瞭である。鉱石は軟マンガン鉱 (pyrolusite) やクリプトメレン (cryptomelane) を主体として一般に塊状で、金属光沢を持つ。IOG マンガン鉱床は初生的には大陸棚のような比較的浅い環境において、海水中の酸素濃度が上昇することによって海水中に溶脱していたマンガンが沈殿して形成されたと考えられている (Roy, 2000)。Roy (2000) は31億年前の海水中の酸素濃度の上昇は局所的なものであり、ストロマトライトのような生物活動が関連した可能性を指摘している。

構造規制型マンガン鉱床はポケット状の形状を呈し、層厚10～数10メートル程度、数10～100メートル程度連続する(写真3)。しばしば剪断を受け、赤色頁岩が粘土化している場合もある。軟マンガン鉱やクリプトメレン、ホランド鉱 (hollandite) を主体とする。形状は塊状や層構造を呈するものなど様々で、晶洞にはぶどう状のクリプトメレンや柱状・針状の軟マンガン鉱が晶出している(写真4、口絵1)。熱水の循環によって初生的なマンガン鉱床から溶脱したマンガンが割れ目や層構造、剪断帯等の流体経路で再沈殿・再濃集したものと解釈されているが (Mishra *et al.*, 2006)、その再濃集の生じた時期は不明である。

採掘は重機が用いられているようであったが、人の手による部分も多いようであった。一部ではハンマーでこぶし程度の大きさに粉碎したものを人々がトラックへ積んでいた(口絵1)。各鉱区の近くには数10～100人規模の集落があり、そこから通っているようである。

幹線道路の多くや各鉱区を結ぶ道路は未舗装で、



写真5 鉱区を結ぶ道路。道路は未舗装で草木には厚い砂塵が堆積していた。

凹凸の激しい道をトラックが往来する。訪問時期が12月の乾期であったため砂ほこりが酷く、道路脇の草木の葉には赤茶けた砂塵が厚く堆積していた(写真5)。トラックの巻き上げる激しい砂埃を防ぐために、バイクや自転車に乗る人々は頭や口を布で巻いて乗っていた。道路幅は決して広くないにも関わらず所々で大型トラックがパンクや故障で立ち往生するため渋滞も多い。未舗装であるためにトラックへ搭載する鉱石量も控えめで、鉱石や製品の輸送が順調に行っているのか心配してしまう。

## 5. マンガン合金の製錬

ジョダにはタタ・スチールの所有する合金製錬工場があり、見学する機会を得た(口絵2)。採掘されたマ



写真6 高炉(奥)と受け皿(手前).



写真7 ジャールカンド州の田舎道。小さなトラックに満載の荷物と人。

ンガン鉱石の一部はジョダにあるフェロマンガ合金 (ferro-manganese alloy) の製錬に用いられる。製錬工場ではマンガン鉱石、ドロマイト、コークスを高炉に投入し約1,400度で熔融する。熔融したマンガンメルトは樋を通して砂を固めて作った鑄型に流し込まれる(写真6)。このときマンガン成分の多いフェロマンガ合金は比重が重いためにより高炉に近い鑄型に溜まり、不純物を多く含む比重の軽いスラグはフェロマンガ合金の上を流れてより遠くの鑄型に溜まる。鑄型はある程度冷え固まったものを野外で自然冷却し、冷却後人の手によってハンマーで粉碎していた。粉碎された合金はスラグ等を選別し、人の手で合金をトラックへ積み込み、また袋詰めをする。

この工場では年間約30万トンのフェロマンガ合金を生産している。フェロマンガ合金の組成は80% Mn, 7% C(炭素)で数%の鉄を含有する。スラグはマンガンを40数パーセント含有しており、シリコマンガ合金の原材料の1つとして製錬工程で使用される。

## 6. インド事情

今回我々は成田からタイ・バンコクを経由してコルカタ空港へ入国したため、インド東部の状況を主観的に述べる。インドについては経済の急成長やIT産業の拡大等のニュースをよく目にするが、コルカタは多くのオート三輪タクシーが走り、渋滞が多くクラクションが至る所で鳴り響く喧騒の町の風情が残っている。一方で有料駐車場などには新しいモデルの車ばかり駐車されており、一部では経済的な豊かさを見て取

れる。

空港からのタクシーはプリペイド・タクシーのチケットを買うと市場価格で安心に乗れるらしいが、我々は深夜2時頃着いたにも関わらず、プリペイドカード売り場が大混雑していたため購入できず、割高料金タクシーでの移動となった。道には露店が建ち並び自転車やバイクも多いため、車とバイク、歩行者は常にストレスでお互い絶妙の間合いで行き交う。日本と同じ左車線通行である。コルカタの交差点はロータリーになっている場合が多く信号もないため、車やトラックがいろいろな方向を向いて入り乱れていた。

道路はほとんど車線に区切られておらず、また区切られた車線を守るという認識も薄いようで、少しでも渋滞すると反対車線へ飛び出して追い越しをかけることも多い。これはコルカタ市街地でもオリッサ州などの地方道路でも同じで、スペースが少しでもあれば車をねじ込むため、正面衝突寸前で回避という状況が日常茶飯事であった。またスペースがあれば乗れるだけ人が乗るし、積めるだけ荷物を積む(写真7)。傾きながら走るトラックやバスも少なくなく、我々の目の前を走るバスも破裂音とともに後輪をバーストさせていた。

現在コルカタを中心として高速道路の整備が進みつつある。帰路ではインド工科大学のあるカラグプールからコルカタ空港までの区間をタクシーで移動し、建設中の高速道路(通行料無料)と有料高速道路を合計約150km利用した。高速道路は一般人も入ることは容易であるため生活道路として利用されており、路肩には十数匹の牛を連れた牛飼いや徒歩や自転



写真8 普通客車。座れず通路や連結部に人があふれている。



写真9 人を威嚇する牛。追いかけると角を向け、前脚を踏みならしながら、激しい鼻息を吐いていた。

車の人々が行き交い、横断する場面も多く見られた。日本では考えられないが、高速道路と一般道路が交差しておりその交差点には店が立ち並び人々が集まるために渋滞の要因となっていた。コルカタ周辺の街灯の整備された高速道路の路肩では夜遅くまで街灯のあかりを利用して人々が話に花を咲かせていた。高速道路は日本の高速道路と同様に幅数メートルの中央分離帯によって上下線が分けられているが、約150kmの移動の間に約10台の逆走車を目撃した。たとえ中央分離帯のしっかりした高速道路であっても、渋滞したら反対車線を利用して追い越しをするのは一般道と同様らしい。一週間を超えるインド滞在で荒い追い越しにも慣れてはいたが、高速道路で目の前に迫る逆走車には恐怖を抱いた。次の中央分離帯の切れ目までは距離もかなりあるのでしばらく逆走するのだろう。インドでは運転手付きのレンタカーが一般的であるが、たとえ車のみのレンタカーがあっても運転できる自信が私にはない。

列車の線路幅は日本の新幹線よりも広く、日本に比べてカーブが極めて緩くトンネルがほとんどなかった。今回ジャムシェプール-カラグプール区間で普通客車に乗る機会があったが、列車の到着は3時間遅れ、さらに地元の人々にとっては最終鈍行列車であったようで、たくさんの荷物を持った乗客がどんどん乗り込み、我々は連結部付近で身動きが取れなかった。そのような状態を食べ物や飲み物の売り子が器用に通り抜けていく姿は印象的だった(写真8)。なお、普通客車のドアは閉まらず、走行中も常に開いている状態だった。

インドではどこでも道端で牛や犬、軍鶏、ヤギを頻繁に目にする。インドで空港からコルカタ市街にでた時に野犬の多さにびっくりした。インドの狂犬病による死者は年間約3万人で世界の80%を占めるとされるので、不用意に触らない方がよいだろう(外務省ホームページ)。牛はヒンドゥ教で神聖な動物とされているために、無殺生が決められている。信仰の対象として人々に崇められているのかと想像していたが、実際は痩せていて道端のゴミを食べている場面を目にした。信仰対象であっても熱心に世話をするわけではないらしく、人にもなついていない。ゆっくり追いかけていくと最初逃げていた牛がこちらを振り返り、前脚を掻きながら鼻息荒く威嚇するので注意を払う必要がある(写真9)。

インドの人々は大変親切で、言葉がわからない状態でも「教えてあげよう」という姿勢でしゃべりかけてくる。道に迷った時もすぐ近くの人に聞くと親切にどちらの方向か示唆してくれる。ただしその方向が間違っていることも少なくないが、アバタイト鉱床(口絵3)では労働者が目の前の石を指さしながら笑顔で語りかけてくれた。ヒンドゥ語なので残念ながら意味はわからなかったが、石の名前などを教えてくれようとしたのだろう。今回のインド調査では多くの魅力的な笑顔に出会うことが出来た。

## 7. おわりに

昭和50年代生まれの筆頭著者にとってインドでの経験は全てが新鮮なものであった。未舗装で大きく

穴の開いた主要道路，一見無秩序に見える交通ルール，掴まりながら乗り込むバスや列車等，現在の日本では見られない光景を多く目にした。そのなかで戦中戦後の日本を見てきた共著者である石原と同行し，当時の日本の状況を聞きながらインドを見ることが出来たのは大変貴重な経験で様々な視点からインドを見つめることが出来た。かつての日本の一場面が今のインドに垣間見られた。年間10%に迫る経済成長率を続けるインドにおいて，このような光景も近いうちに見られなくなるかもしれない。

本調査ではインド工科大学 (Indian Institute of Technology) のM.K. Panigrahi博士とD. Pandit氏には大変お世話になった。タタ・スチール・マンガン鉱山会社のA. Ghosh氏にはマンガン鉱床の案内をしていただいた。深く感謝申し上げる。

#### 参 考 文 献

- Banerji, A.K. (1977) : On the Precambrian Banded Iron-Formations and the manganese ores or the Singhbhum Region, Eastern India. *Economic Geology*, 72, 90-98.
- 外務省 (2007) : 2007年12月外務省主要経済指針.  
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/ecodata/index.html>  
 外務省ホームページ，渡航関連情報，在外公館医務官情報 (インド).  
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/toko/medi/asia/india.html>
- Indian Bureau of Mines (2006) : *Indian Minerals Yearbook 2005*.
- 石原舜三・守山 武 (2008) : 東インドクラトン，シンブーム地域の鉱化特性. *資源地質*, 58, 19-26.
- Mishra, S., Deomurari, M.P., Wiedenbeck, M., Goswami, J.N., Ray, S. and Saha, A.K. (1999) :  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  zircon ages and the evolution of the Singhbhum Craton, eastern India: an ion microprobe study. *Precambrian Research*, 93, 139-151.
- Mishra, P., Mohapatra, B.K. and Singh, P.P. (2006) : Mode of occurrence and characteristics of Mn-ore bodies in Iron Ore Group of rocks, North Orissa, India and its significance in resource evaluation. *Resource Geology*, 56, 55-64.
- レアメタルニュース, no.2143, 2312, 2315, アルム出版.
- Roy, S. (2000) : Late Archean initiation of manganese metallogenesis: its significance and environmental controls. *Ore Geology Review*, 17, 179-198.
- Sarkar, S.C. (2000) : Crustal evolution and metallogeny in the Eastern Indian craton. *Geological Survey of India Special Publication no. 55*, 169-194.
- Schissel, D. and Aro, P. (1992) : The major Early Proterozoic sedimentary iron and manganese deposits and their tectonic setting. *Economic Geology*, 87, 1367-1374.
- タタ・スチール・プレス発表 (2007) :  
<http://www.tatasteel.com/newsroom/press348.asp>
- USGS (2007) : Mineral Commodity Summaries 2007: manganese, 102-103.

---

MORIYAMA Takeru and ISHIHARA Shunso (2008) : Late Archean manganese deposit in east India.

---

< 受付：2008年1月21日 >