

# 磁鉄鉍系チャーノッカイトの謎：南インドを訪ねて

石原舜三<sup>1)</sup>

## 1. まえがき

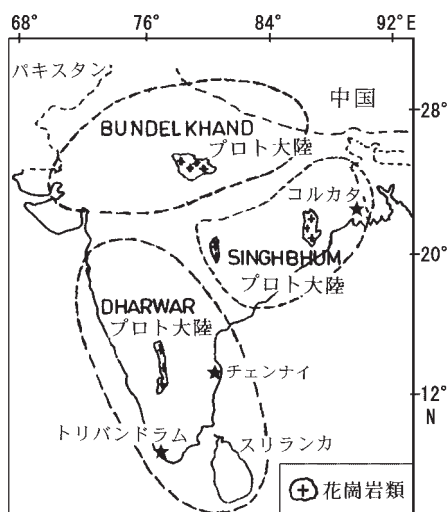
チャーノッカイト(Charnockite)はグラニュライト相地塊に出現する角閃石・黒雲母などの含水珪酸塩鉍物を含まない、しそ輝石(ハイパーシ)花崗岩質岩である。マグマ起源あるいは変成岩起源と言われるが、深所で生成したことには異論が無く、そのような深所には遊離酸素も水もなく、したがって筆者はチタン鉄鉍系に属するのであろうと長年想像していた。

チャーノッカイトはインドのコルカタ市の建設者であったJob Charnockの墓石がこの石で作られており、それに因んで1900年に命名された。この話は有名で国際会議でしばしば聞いていたので、私も一度は見学したいものだと思っていた。昨年インド中央部のマランジカンド鉍床(石原, 2003b)を見学する機会があり、帰路墓石を見学する目的でコル

カタ(第1図)に一泊し、墓石を求めてタクシーを走らせた。そこで経験したことは、予想と異なるものであった。それについて記してみたい。

## 2. ジョブ・チャーノックの墓石

インド工科大学があるカラグプール駅からコルカタのハウラー駅に着いたのは昨年2月9日の正午前であった。ホテルに入り、早速タクシーを走らせて墓石を探した。事前に得ていた情報はタクシーの運転手が言う場所とは異なっていたが、まず聞いていた通りにCouncil House通りのセントジョーンズ教会の奥にあるCharnock's Mausoleumを訪れた。モダンな廟(写真1)はあったが、彼の墓石は見当たらなかった。しかし近くにはやや褐色を帯びた暗色の縞状構造が発達する深成岩の石碑があり、その原材は間違いなくチャーノッカイトであった(写真2)。



第1図 訪問地域の位置とインドの先カンブリア地塊。

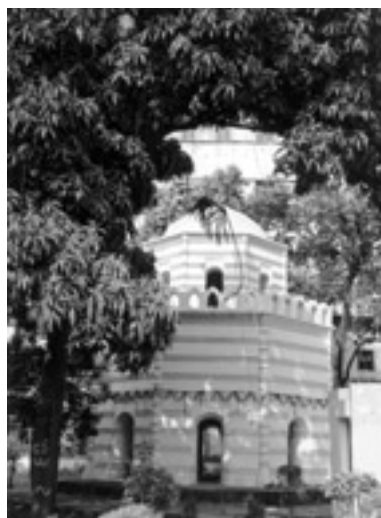


写真1 コルカタ市のCharnock's Mausoleum.

1) 産総研 特別顧問

キーワード: チャーノッカイト, ケララ州, 磁鉄鉍系, 帯磁率

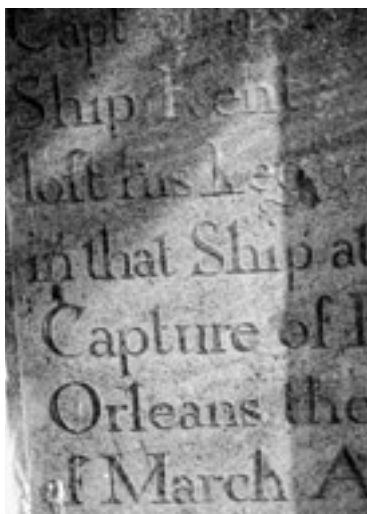


写真2 隣接するチャーノッカイトを研磨して作成した石碑。



写真3 椰子の実の採集作業。



写真4 暑さを凌ぐ南インド式シャワー。



写真5 ケララ州：椰子の木が茂り、象でものを運ぶ。



写真6 ケララ州：ゴム園も健在。

早速、帯磁率計を取出し30cm間隔で当てると、1カ所で $15.7 \times 10^{-3} \text{SI}$ 、一般には $26 \sim 29 \times 10^{-3} \text{SI}$ の非常に高い値が得られた。すなわちこのチャーノッカイトは大量の磁鉄鉱を含んでおり、チタン鉄鉱系であろうとする予想に反するものであった。

### 3. ケララ州への旅

約1年後の今年1月、筆者は集中講義のために南インドを訪問する機会を持った。場所はインド南西端、アラビア海に面した細長いケララ州の州都トリバンドラム(Trivandrum)であり、鉱山局の要請であった。南インドはチャーノッカイトの本場であるので、事前に希望事項としてチャーノッカイトの採石場見学を条件として付けた。

ケララ州はインド半島の西側を占め、スリランカ

と対称的な位置にある。この州は北北西-南南東に長さ550km、幅最大120kmと大変小さい。その理由は州境がマラヤラン語を話す所で設定されたためだそうである。赤道に対する位置は、北緯 $10^\circ$ 前後、熱帯であるが(写真3-6)、内陸に向かって山地となり、州境の最高峰は2,695mに達する。州名の「ケラ」は「ココナツ」を、「ラ」は「州」を現地語で意味し、海岸や平野部には椰子の木が茂っており、正にココナツ州であった。しかし山岳地域では気温も低下し、茶畑が見事である(写真7)。

日本からトリバンドラムに至るには、シンガポール経由、またはコロombo経由の2ルートが便利である。時差は+3時間30分である。州都、トリバンドラム市は人口約80万人、18世紀以降はトリヴァンコール藩王国の都として栄え、ケララ州に引き継がれた。言語は独自のマラヤラン語を持っており、他に英語、



写真7 山岳地帯の茶畑.



写真8 パドマナーバスワミ寺院：堀と門前町の家屋.

ヒンズー語が使われている。大学やカレッジが多く、  
学術都市の性格が強く、パドマナーバスワミ寺院  
(写真8, 9)、ネイピア博物館などの観光資源もある。

#### 4. チャーノッカイトの概要

チャーノッカイトは新版地学事典によれば、「広義にはハイパーシンを含む珪長質～中性の岩石で、主構成鉱物のマイクロパーサイト・石英・オリゴクレーヌが青緑色を示すため、特徴的に暗青緑色を示す岩石。狭義にはこのうち花崗岩質岩に対してのみ使用。グラニュライト相地域のみ特徴的に産出」とある。

チャーノッカイトは1893年にチェンナイ(第1図)南



写真9  
参拝にはヒンズー教の  
正装が必要(寺院で  
借用できる)。偶然に  
出会った北部からの  
新婚旅行のカップル。

西方のセント・トーマス山でトーマス・ホランド卿が  
脂ぎった見かけを持つ石英-長石-ハイパーシン岩  
を記載したことに始まる。その後、同様な岩石は世界  
各地で認められて、チャーノッカイトと呼ばれてきた。  
南インドの先カンブリア界は北部のダールワール地塊  
と南部のグラニュライト地塊に大別され、チャーノ  
ッカイトは南部に産出する(第2図)。最も大量には北  
部のダールワール地塊に接してトナル岩-



第2図  
インド半島南部のチャーノックイトの分布と先カンブリア界の諸構造 (Piper et al., 2003).

トロニウム岩-花崗閃緑岩質片麻岩類と密接に出現する。チャーノックイトを含む変成岩類の構造方向は西縁部のNW-SEから中央部のENE-WSW, また北部ではNNE-SSW方向に変化し、非常に複雑である。

チャーノックイトに隣接して現れる岩石も多様である。グラニュライト地塊の北部ではチャーノックイトは輝石グラニュライト、縞状鉄鉱-珪岩層に少量の泥質岩(堇青石-ざくろ石-珪線石片麻岩)を伴う。チェンナイ近くの標識地のチャーノックイトは少量の珪線石土ざくろ石, ざくろ石-黒雲母-珪線石土堇青石片麻岩, また別に苦鉄質グラニュライトを伴う。北西部ではチャーノックイトが多数の堆積

岩源包有物を含んでいる。

以上のようにチャーノックイトは多種類の変成岩類と共存して現れる。その変成時期は最初、始生代末期の26億年頃とされていたが、最近の年代測定によって29-30億年, 25-26億年, 5.5億年の3時期が大別されている。第1期はグラニュライト地塊北部のダールワール地塊付近で、第3期のパンアフリカ期のもは地塊南部で特徴的に産出する。

チャーノックイトは最初、超苦鉄質から珪長質に及ぶ火成岩源の変成岩に用いられた。しかし現在では苦鉄質グラニュライトは成因的に狭義のチャーノックイトと無関係であり、中間組成のチャーノックイトは輝石グラニュライト基盤と珪長質貫入岩との

第1表 始生代後期チャーノッカイトの代表的化学分析値 (Geol. Surv. India, 2004).

地域	サレムーヤコウド 苦鉄質	珪長質	ヴェロア	日本の花崗岩 類の平均値 (石原未公表)
分析数	11	10	16	672
SiO <sub>2</sub>	56.45	63.53	64.74	65.00
TiO <sub>2</sub>	0.84	0.39	0.58	0.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.22	15.48	15.23	16.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.93	0.69	1.60	1.54
FeO	6.38	4.94	3.17	3.35
MnO	1.08	0.15	0.19	0.10
MgO	5.66	4.47	3.50	2.31
CaO	6.09	4.31	4.89	4.67
Na <sub>2</sub> O	2.98	3.55	4.13	3.41
K <sub>2</sub> O	1.51	1.66	1.47	2.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.37	0.27	0.04	0.16
合計	100.51	99.44	99.54	100.01



写真10 エンチャパラの地域住民のための雑採石場。珪長質部と苦鉄質部が互層するチャーノッカイトから採石している。

反応で生じたことがわかっており、従ってチャーノッカイトは珪長質岩に限ることが提案されている (Geol. Surv. India, 2004).

チャーノッカイトは灰色-緑色を呈する中-粗粒岩であり(口絵参照), 長石類と苦鉄鉱物の比率の違いによる縞状構造が見られ, それは風化表面で特に顕著である。青色は石英, 緑色は長石に起因し, その色はペグマタイト質部分で顕著に認められる。長石の緑色は微細割目を満たす炭酸塩鉱物と緑泥石によるものである。私が見学した州都トリバンドラム東南東方のトロピカル花崗岩石材 (Tropical Granites Quarry) では, 青緑白色の粒状岩にざくろ石の濃集相がみられた(口絵2, 3)。帯磁率は  $0.07 \sim 0.23 \times 10^{-3} \text{SI}$  と低く, 磁鉄鉱を含まない値を示した。良質の建築素材としてダイヤモンドワイ

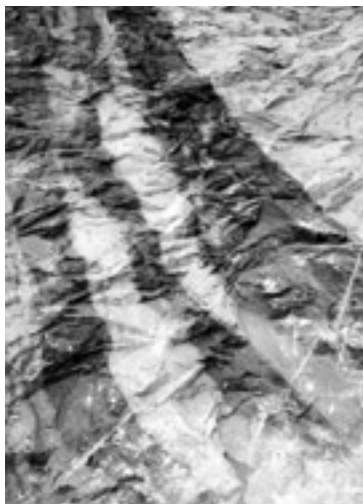


写真11 エンチャパラ採石場。互層部のクローズアップ。

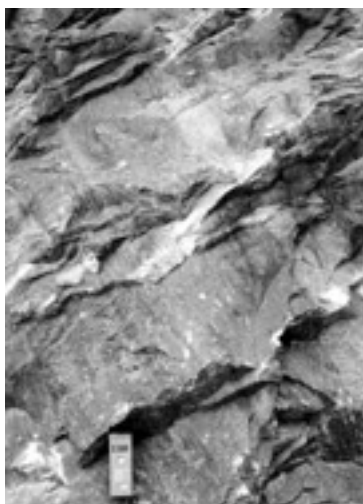


写真12 エンチャパラ採石場。暗色部のクローズアップ。帯磁率計は  $46.8 \times 10^{-3} \text{SI}$  を示している。

ア工法で  $4,000 \text{m}^3/\text{年}$  採掘し, その80%は輸出しているとのことであった。

一方, トリバンドラム北方には, ローカルな使用目的のために多くの採石場があり, ここでは様々なグラニュライト相の岩石が掘られている。これらは一般に磁鉄鉱を含み, 苦鉄質岩相でその含有量は高く一部では  $100 \times 10^{-3} \text{SI}$  に達する。これは我が国の山陰地方の山砂鉄“赤目”の原岩である角閃石斑れい岩の磁鉄鉱含有量 (4-5容量%) に匹敵するほど磁鉄鉱に富んでいる。

チャーノッカイトは化学的には珪長質岩がカルクアルカリ岩系列, 苦鉄質岩はソレアイト系列のトレンドを示す。SiO<sub>2</sub> 64%前後の珪長質岩を日本の花崗岩類の平均値と比較すると(第1表), チャーノッカイトはMnOとMgOに富み, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>にやや乏しくK<sub>2</sub>O

が少ない。日本の花崗岩は大陸地域と比べてカリウムに乏しいから、 $K_2O$ の少なさは際立っており、斜長花崗岩 (plagiogranite) 的な性格が窺える。チャーノッカイトの変成条件は一般には温度720–840°C、圧力9–10kbが与えられているが、堇青石が産出する所では8kb以下と推定されている。

## 5. チャーノッカイトの鉄酸化鉱物の起源

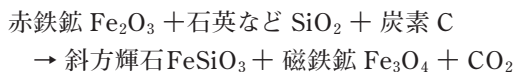
チャーノッカイトを狭義に理解すれば、その原岩はいわゆる花崗岩質であり、それらが受ける変成作用は高温の還元環境で生じたであろうから、磁鉄鉱・赤鉄鉱などの鉄酸化物は生成しなかった。事実、代表的な化学分析値は $Fe_2O_3/FeO$ 比が0.5より低いチタン鉄鉱系の値を示している(第1表)。他方、チャーノッカイトは周辺の堆積岩類と変形作用により混在し、変成作用によってその岩質の影響を受けている。グラファイト片麻岩からは還元剤であるCの供給を受けたであろう。

始生代には西オーストラリアのピルバラ地塊で見られるように32億年前頃から大規模な縞状鉄鉱層が知られており、地殻表層部に赤鉄鉱や鉄炭酸塩鉱物が生成したことが明らかである(石原, 2003a)。グリーンランドでは更に古く38億年前の初期海洋に酸化鉄鉱物の濃集がみられる(掛川, 2004)。これが埋没し還元環境下で変成作用を受けると赤鉄鉱が磁鉄鉱に還元されて磁性岩体に変化するであろう。南インドにおいても堆積性の酸化鉄鉱物は広く分布しており、ケララ州でも鉄鉱床として探鉱された程である(Soman, 2002)。鉱床には至らない規模の酸化鉄の濃集は広く存在する。

ケララ州のKozhikote地方には縞状鉄鉱床が2種類の片麻岩類と密接に産出する。一つはチャーノッカイトが後退変成作用を受けて、角閃石–しそ輝石–透輝石、角閃石–しそ輝石、または黒雲母–角閃石–しそ輝石の組み合わせを持つ片麻岩類となったもので、少量のFe–Ti酸化物を伴う。他の一つはより優白色な黒雲母、黒雲母–角閃石の組み合わせを持つ石英–長石片麻岩類である。

縞状鉄鉱層は一般に磁鉄鉱–石英–鉄閃石–透輝石片麻岩に変成している。磁鉄鉱含有量は30–50%に達し主成分であるが、近くの輝石グラニュライトでは急減または漸減する。始生代の縞状鉄

鉱層の主要鉄鉱物は初生的には赤鉄鉱(および菱鉄鉱)と考えられている。それがグラニュライト相の変成作用で石英などと還元反応して、次のように斜方輝石や磁鉄鉱を生じたものと思われる。



還元剤の炭素は、有機起源炭素がない先カンブリア時代でも、菱鉄鉱の分解などによって容易に得られたであろう。

## 6. まとめ

狭義のチャーノッカイトは磁鉄鉱を含まないチタン鉄鉱系に属するが、広義のチャーノッカイトは相当量の磁鉄鉱を含む。コルカタで筆者が見たものは後者であった。磁鉄鉱系チャーノッカイトの磁鉄鉱は本来堆積性の赤鉄鉱層であった可能性が高く、したがって磁性を持つチャーノッカイトは堆積岩起源と考えられ、花崗岩起源のチャーノッカイトとは異なる成因を持つ。帯磁率の測定によってチャーノッカイトの起源岩の推定が可能である。

謝辞：現地でお世話戴いた州鉱山局のR. N. R. Nair, ケララ大学のS. N. Kumar両氏に感謝する。

## 文 献

- Geol. Surv. India (2004) : Manual of Geology of India. II Southern granulite terrain. 277p. (in press).
- 石原舜三 (2003a) : 西オーストラリアの始生代地塊に見る花崗岩類と金属鉱床：特に酸化・還元状態の評価。地質ニュース, no. 588, 4–22.
- 石原舜三 (2003b) : インドのマランジカンド：世界最古のポーフィリー型銅鉱床？。地質ニュース, no. 592, 10–24.
- 掛川 武 (2004) : グリーンランド・イスア地域の岩石に刻まれた地球初期の姿。地質ニュース, no. 596, 60–65.
- Piper, J. D. A., Basu Mallik, S., Bandyopadhyay, G., Mondal, S. and Das. A. K. (2003) : Palaeomagnetic and rock magnetic study of a deeply exposed continental section in the Charnockite Belt of southern India: implications to crustal magnetisation and palaeoproterozoic continental nuclei. Precambrian Res. v. 121, 85–219.
- Soman, K. (2002) : Geology of Kerala. Geol. Soc. India, Bangalore, 334p.

ISHIHARA Shunso (2004) : Magnetite: An enigma on magnetite-series charnockite - A trip to South India.

< 受付：2004年4月21日 >