

ブラジルの地質とカーボナタイト鉱床 (1)

神谷 雅晴 (海外地質調査協力室)
Masaharu KAMITANI

はじめに

カーボナタイト (Carbonatite) は 比較的新らしく定義された岩石名で 方解石 ドロマイト アンケライトを主成分鉱物とするマグマ源 (火成源) の炭酸塩岩である。

カーボナタイトの命名は ノルウェー・フェン地域を研究したBRÖGGER (1921) による。その後 1960年頃までの間 成因についての多くの議論が行われた (例えば BOWEN 1924)。すなわち 石灰岩の交代説 同化説 再生説などが その主なものである。しかし 1960年代に入ってから CaO-CO_2 を含む系に関する実験研究が盛んとなり (例えば WYLLIE and TUTTLE 1960) カーボナタイトマグマの存在の可能性が認識されるようになって来た。ちょうど同じ頃 有名な東アフリカ地溝帯 (リフト・バレー) 中の Oldoinyo-Lengai 火山 (タンザニア) から多量の炭酸塩マグマが噴出したことにより カーボナタイト・マグマの存在が広く認められるに至った (諏訪 1981)。

カーボナタイトの岩体は 世界で500箇所以上知られている。同時に 鉱物資源を伴うものが多いことから 鉱床としての価値も急速に高まって来た。カーボナタイトはアルカリ岩と密接に伴い かつ 多種多様な

鉱物資源を含んでいる。これまでにニオブ レア・アース チタン 燐 ウラン トリウム 銅 ジルコンなどが開発されているほか セメント原料として方解石及び軽量骨材用としてパーミキュライト (軽石) が採掘されている (第1図及び第1表)。それらのうちで ニオブとレア・アースは非常に重要なレア・メタル資源として 近代産業とくに電子 機械 製鋼産業にとって欠くことのできない素材になっている。

第1図にはカーボナタイトが世界のどのような地域に



写真1 DNPM (ブラジル鉱山動力省鉱産局) リオデジャネイロ支所



第1図 世界のカーボナタイト分布図

第1表 カーボナタイト鉱山及び生産量

鉱 山	州(地方)・国	鉱 物・鉱 石	生 産 量(t)
パ ラ ボ ラ	トランスパール・南ア	燐 灰 石	1,327,000
		磁 鉄 鉱	587,922
		バデレアイト(ジルコン)	10,067
		ウ ラ ン 鉱	125
		銅 鉱	97,480
		金・銀・白金族	12
		ひ る 石	207,386
グ レ ノ ー バ ー ド ロ ワ	トランスパール・南ア	燐 灰 石	70,000
		燐 灰 石	150,000
ス ク ル	ウガンダ	燐 灰 石	} 燐灰石 15,000 石灰石 195,000
		石 灰 石	
ト ロ ロ	ウガンダ	燐 灰 石	}
		石 灰 石	
オ セ ン ト オ ノ ー レ	ケベック・カナダ	パイロクロア(ニオブ)	操業中止(1976)
	ケベック・カナダ	パイロクロア(ニオブ)	2,300 ^{a)}
マ ウ ン テ ン パ ス	カリフォルニア・米国	バストネサイト(レア・アース)	14,152 ^{b)}
ウ ィ ル ソ ン ス プ リ ン グ ス	アーカンサス・米国	バ ナ ジ ウ ム	900
ジャ ク ピ ラ ン ガ	サンパウロ・ブラジル	燐 灰 石	400,000 ^{c)}
		石 灰 石	?
ジ ャ キ ア	サンパウロ・ブラジル	燐 灰 石	25,000 ^{c)}
ア ラ シ ャ	ミナスジェライス・ブラジル	パイロクロア(ニオブ)	17,000 ^{c)}
タ ピ ラ	ミナスジェライス・ブラジル	ア ナ タ ー ゼ(チタン)	1984から操業予定
カ タ ロ ン(Ⅱ)	ミナスジェライス・ブラジル	パイロクロア(ニオブ)	3,000 ^{c)}
カ タ ロ ン(Ⅰ)	ミナスジェライス・ブラジル	燐 灰 石	?
ア ン バ ド ン ガ ー	グジャラット・インド	蛍 石	900
コ フ ド ー ル	コラ半島・ソ連	磁 鉄 鉱	2,500,000
		燐 灰 石	800,000
		バデレアイト(ジルコン)	?
		ひ る 石	50,000

註；a)1980年精鉱生産量

b)1978年精鉱生産量

c)1983年推定精鉱生産量

無印1975年精鉱生産量

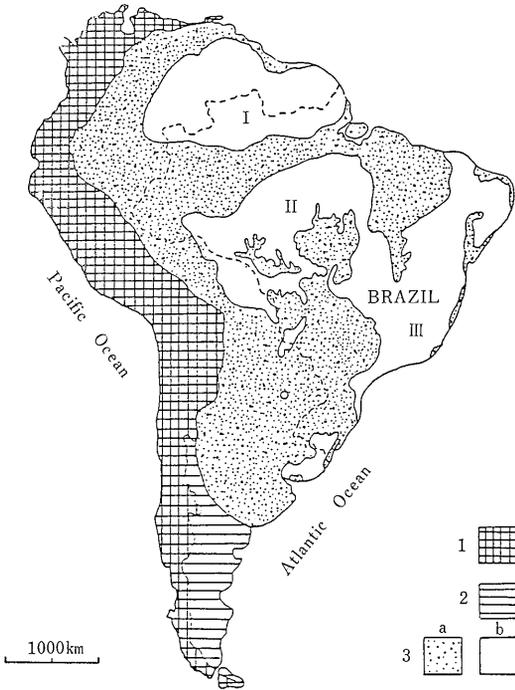
分布しているかを示したものである。この図からわかるように、カーボナタイトはアルプス造山帯や環太平洋造山帯地域などの新しい地質時代の褶曲帯中には分布せず、むしろ古い地質時代(例えばプレカンブリア時代)の厚い大陸地殻をもつクラトン中、あるいはその縁辺部に主として産出している。最も多くのカーボナタイトが分布する地域として、アフリカ東部から南部にかけて発達する東アフリカ地溝帯をあげることができる(立見1975、武内1981)。次いでカナダ北東部及びブラジル南部においても集中的に分布する。これらの地域から世界のニオブ生産量の95%が産出されている。またチタン、燐なども開発されている。

このほか、レア・アースを豊富に含む大規模鉱床としてマウンテン・パス鉱床(米国カリフォルニア州)及び最近とみに注目されてきた白雲割博(Pai Yun Opo又はBai Yun Obo、中国内蒙古)があり、これら2鉱床から世界のレア・アースの65-70%が生産されている。

1984年10月号



写真2 サンパウロの西モホドセローテ、カーボナタイト鉱床調査打合せ(鉱山動力省サンパウロ支所のスタッフ)



第2図 南米大陸の構造概要図 (ALMEIDA et al., 1981)
 1 : アンデス造山帯 2 : パタゴニア卓状地 3 : 南アメリカ卓状地; a : 顕生界, b : プレカンブリア界, I : ガイアナ楕状地, II : 中央ブラジル楕状地, III : アトランティック楕状地

1. 地質概要

ブラジルは南米大陸の東部に位置し 大陸面積の約40%を占めており 日本の約20倍もの広大さをもっている。この南米大陸は 大太平洋側のアンデス造山帯と大西洋側のプラットフォーム(卓状地)とによって特徴づけられる(第2図)。

アンデス造山帯は中生代以降の構造運動によって隆起し その中軸部は著しい変形と火成作用を伴っている。これに対し 南米プラットフォームは主としてプレカンブリア時代の基盤岩類と古生代以降の大陸内及び大陸縁ベースンの堆積物から構成されている。

南米プラットフォームは北西から南東に向って配列するガイアナ楕状地 中央ブラジル楕状地及びアトランティック楕状地から成っている。これらの楕状地はもともとアフリカ大陸の西側とつながっていたもので 両大陸間には多くの地質学上の共通点が認められている。

このプラットフォームにおける主要な変動は始生代から原生代にかけての数回の構造輪廻である。すなわち始生代中期のグリエンセ輪廻 (30~34億年) 始生代後期のジャキエ輪廻 (27±1億年) 原生代前期のトランスア

第2表 ブラジルにおける主要構造輪廻

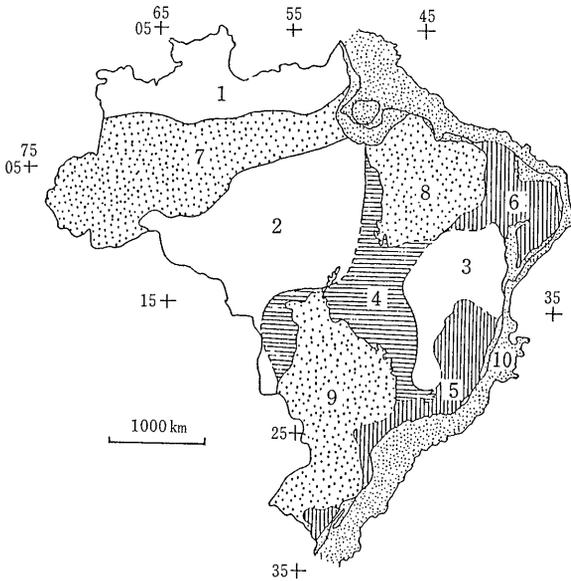
Late Proterozoic	Brasiliano Cycle (1100—570 m. y.) Uruaçuano (Espinhaço) Cycle (>1500—1100 m. y.)
Early Proterozoic	Transamazonian Cycle (2000±200 m. y.)
Late Archaean	Jequié Cycle (2700±100 m. y.)
Early Archaean	Guriense (pre-Jequié) Cycle (3000 m. y.)

マゾニアン輪廻 (20±2億年) 同中期のウルアスアン輪廻 (11~15億年) 及び原生代後期から古生代カンブリア紀にかけて起ったブラジリアン輪廻 (5.7~11億年) である(第2表)。

古生代以後ではジュラ紀後期から始まったゴンドワナ大陸分裂による大陸移動以外 変動らしい変動のない極めて安定した地域であると言える。

本稿で主として述べるブラジル南部地域には 超塩基性岩を伴う古い変成岩類から成る基盤岩が広く分布しているが それらから得られている放射年代は その後の構造輪廻による地殻の若返りで 上部原生代から下部カンブリア紀の範囲を示すものが非常に多い。

ブラジルにおける基盤岩類に関する年代測定の研究は1960年代の後半より行われるようになったもので 測定数が充分でないため 始生代層序が確立しているとは言えない。これまでに確認された始生代マシフは主としてアマゾン トカンティンス及びサンフランシスコ構造区内に存在する。それらは主に苦鉄質~超苦鉄質岩 グラニュライト 緑色岩 片麻岩~花崗岩から成っている地質单元である。その中で ゴイアス州に分布する苦鉄質~超苦鉄質岩体のあるものは40億年という非常に古い地質年代を示す (WERNICK 1981)。また サンフランシスコ構造区にも緑色岩帯があり 始生代後期と考えられている。この緑色岩帯はブラジルで最も重要な金鉱床を胚胎している。さらに この地域にはイタビライトと称される著名な鉄鉱層を賦存する地質单元があるが 本層は緑色岩帯の上位に発達する下部原生代の雲母片岩 千枚岩 珪岩 ドロマイト 変礫岩から成るゴイアス累層群中に胚胎している。マンティケイラ構造区を中心部を構成する変成岩類も始生代と思われるが 年代測定結果は原生代後期~古生代前期 (10~5億年) を示すものがほとんどである。



第3図 ブラジルの地質構造区分 (ALMEIDA et al., 1981).
 1: リオブランコ 2: タバジョス 3: サンフランシスコ
 4: トカンティンス 5: マンティケイラ 6: ボルボレマ
 7: アマゾニア 8: パラナイバ 9: パライバ
 10: 沿岸区および大陸縁

2. 地質構造区

ブラジルの地質構造区はクラトンを構成するもの及び古生代以後の内陸堆積ベースンならびに中生代以降の沿海堆積ベースンに大別される。ALMEIDA et al (1981) は以下の10構造区に分けている (第3図)。

- (1) リオブランコ構造区。 ブラジル北部に位置しガイアナ楕状地の南半部を占め 主としてトランスアマゾニアン輪廻の変成岩類から成る。
- (2) タバジョス構造区。 ブラジル中央部に位置し 主として中央ブラジル楕状地を構成する変成岩から成り 顕生代までには完全にクラトン化した。
- (3) サンフランシスコ構造区。 ブラジル東部にあって アトランティック楕状地の主要部をなし ブラジリアン輪廻において著しい影響を受けた。
- (4) トカンティンス構造区。 ブラジル中部から南部にわたる地域を占める 構造区中央部は始生代の基盤岩類が その東西両側には原生代の褶曲帯がそれぞれ発達する (第3表)。
- (5) マンティケイラ構造区。 ブラジル南部大西洋岸に沿う構造区で 始生代と原生代の岩石から成るが ブラジリアン輪廻の影響を強く受け 地殻の若返りの著しい地域である (第3表)。

- (6) ボルボレマ構造区。 ブラジル東部に位置し ブラジリアン輪廻の褶曲を最も強烈に受け また多くの大規模断層によるモザイク化が著しく Syntectonic 花崗岩類が卓越する。
- (7) アマゾナス構造区。 前期シルル紀に始まった海進によって生じたアマゾナス・ベースンに相当する。
- (8) パラナイバ構造区。 東部に位置し 前期シルル紀の海成層にはじまり 陸成層をしばしば伴うピアウィーバラノン・ベースンにほぼ相当する。
- (9) パラナ構造区。 ブラジル南部に位置する堆積ベースンであり 後期ジュラ紀～前期白亜紀の膨大なソレイアイト質玄武岩の噴出で特徴づけられる (第3表)。
- (10) 沿岸構造区。 ブラジルの大西洋岸に沿って発達する中生代以降の堆積ベースンである。

3. ブラジル南部の地質

ブラジル南部は南緯 16° 付近から南の地域を指し バイア州南部 ゴイアス州南部 ミナスジェライス マトグrosso エスピリトサント リオデジャネイロ サンパウロ パラナ サンタカタリナ リオグランデドスルの各州から成る。地質構造区上ではサンフランシスコ トカンティンス マンティケイラ パラナ及び沿岸の各区に相当する地域である (第4図)。

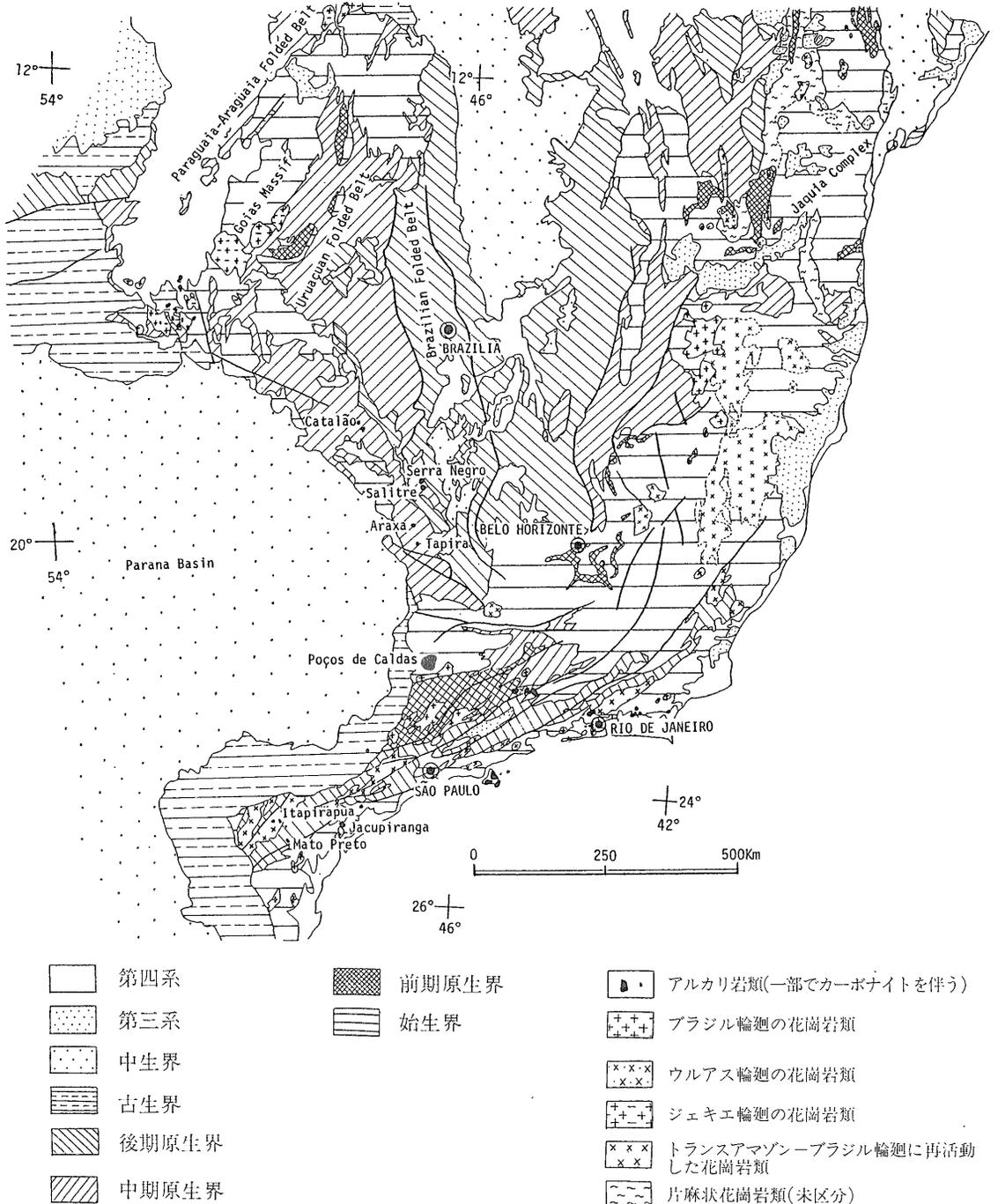
これらの地質構造区のうち 始生代と考えられる古い地質単元は サンフランシスコ及びトカンティンス構造区で確認されている。 トカンティンス区の中央部を構成するゴイアスマシフには26億年以前の片麻岩 グラニュライト 苦鉄質～超苦鉄質岩 緑色岩などが発達しその中の苦鉄質～超苦鉄質複合岩体から30億年以上を示すブラジル最古の岩石が見出されている。この複合岩体の生成に関しては FLESHER and ROUTHIER (1970) のスティルウォーター類似の層状分化説あるいはGIRARDI (1974) の造山期と同時のアルパインタイプ説などが提出されている。また CORDANI and HASUI (1975) はこの複合岩体が地球創生時の原始地殻で 40億年前におけるマンツルの分化物であろうと述べている。

大西洋岸に沿うマンティケイラ構造区の中核をなすグラニュライトベルトは ジャキエ複合岩体から南～南西方に延びるが 南西側はパラナ堆積ベースンを構成する上部古生代以降の堆積物によって覆われる。グラニュライト中ではごく稀に31億年を示す岩石があるものの大半は5～10億年を示している。これはブラジリアン輪廻における地殻の若返り (rejuvenation) が進行したものと考えられる (例えば WERNIK 1981)。

第3表 ブラジル南部の層序

				パラナ区	トカンティンス区	マンティケイラ区	
累代	代紀		年代 (10 ⁶ 年)				
頭	新	第四紀	完世新	0.01	河床、湖成、海成堆積物; 砂、泥、シルト	河床堆積物	河床、海成、風成堆積物
			更世新	1.8		砂・粘土堆積物	砂岩、シルト岩、粘土岩
		第三紀	新第三紀	22.5	砂岩、粘土、砕屑岩、ラテライト	砕屑性堆積物、ラテライト	頁岩、粘土岩、砂岩 礫岩、粘土岩
			古第三紀	65	砂岩、礫岩 アルカリ岩、カーボナタイト、 キンバーライト		石灰岩
				141	砂岩、粘土、シルト岩、礫岩 アルカリ岩、カーボナタイト、 ソレイアイト玄武岩、 砂岩、酸性火山岩、輝緑岩 シル・岩脈	アルカリ岩類、カーボナタイト、 キンバーライト	アルカリ岩 アルカリ岩、カーボナタイト アルカリ岩、カーボナタイト
	生	白紀中	195	砂岩、シルト岩、頁岩、泥頁、礫岩	アルカリ岩類		
			235	砂岩、シルト岩、泥岩、瀝青質頁岩、石灰岩、チャート			
		古	280	シルト岩、頁岩、砂岩、石炭層			
			345	砂岩、シルト岩、アルコース、礫岩、ダイアミクタイト、 頁岩、水縞粘土岩、漂礫岩			
			395	シルト岩、頁岩、砂岩 砂岩、礫岩、シルト岩			
代	シル紀	435	礫岩、砂岩、シルト岩、安山岩	花崗岩類			
	オルブスド紀	500	礫岩、砂岩、シルト岩互層	粘板岩、変シルト岩、砂岩	礫岩、アルコース、シルト岩、 粘土岩、酸性～中性火山岩		
	カーンブ紀	570	中性～塩基性火山岩	花崗岩類	花崗岩類		
原	後	期	片麻岩質閃長岩	礫岩、イグニブレイト、安山岩	斑斨岩 花崗岩類		
			千枚岩、珪岩、石灰岩、ドロマイト、雲母片岩、変アル コース、変グレイワッケ、酸性～中性変火山岩類、変 苦鉄質～超苦鉄質岩	アルコース、シルト岩、砂岩、粘土岩、 頁岩、礫岩 石灰岩、マール、ドロマイト、頁岩、粘土岩、シルト岩、 千枚岩、粘板岩、変シルト岩、ドロマイト 礫岩、アルコース、砂岩、シルト岩、頁岩 千枚岩、珪岩、漂礫岩、水縞岩 アルコース、礫岩、ジャスピライト、縞状赤鉄鉱、酸化 マンガン層	千枚岩、片岩、石灰岩、ドロマイト、カルクーシリケ イト岩、珪岩、変礫岩、変アルコース、変火山岩、メタ ペーサイト、鉄鉱層 片麻岩、ミグマタイト、片岩、角閃岩、珪岩、ドロマイ ト、カルクーシリケイト岩		
			1100				

生 期	1100	珪岩、ドロマイト、粘板岩、礫岩 ベグマタイト質花崗岩 アルカリ岩 ↑ 珪岩、千枚岩、片岩、緑泥石片岩、変アルコース、 変グレイワック、変礫岩、石灰質片岩、大理石、 石墨-赤鉄鉱千枚岩、酸性、中性、塩基性変火山 岩、変苦鉄質-超苦鉄質岩 珪岩、白雲母・黒雲母片岩、ザクロ石-十字石- 藍晶石片岩、大理石、石灰質片岩、石墨片岩、角 閃岩、片麻岩、変超苦鉄質岩 ↓ 花崗岩 火山性堆積岩系；変玄武岩、変安山岩、酸性凝灰岩 変礫岩、変シルト岩、千枚岩、アルコース、オソコー ツァイト	珪岩、変グレイワック、変アルコース、石灰岩、変礫岩、 石墨質変シルト岩、千枚岩、片岩 珪岩、ザクロ石片岩、片麻岩、レプティナイト、角閃岩、 超塩基性岩、ミグマタイト
	1900	片麻岩、雲母片岩、石墨質片岩 変玄武岩、変安山岩、酸性変火山岩、珪岩、 変チャート 斑斨岩-斜長石コンプレックス 白雲母-石英片岩、千枚岩、珪岩、ドロマイト、 イタピライト、含黄鉄鉱変礫岩 苦鉄質-超苦鉄質岩 コンプレックス	片麻岩、珪岩、大理石、カルク-シリケイト岩、ゴンダ イト、片岩、角閃岩、超塩基性岩類、グラニューライト 片麻岩、ミグマタイト、花崗岩類、片岩、珪岩、大理石、 メタペーサイト、カルク-シリケイト岩、石灰質片岩、 角閃岩、レプタイト、タルク片岩、チャルノーカイト
代 期	2600	片麻岩、ミグマタイト、グラニューライト、角閃岩、花崗 岩類、シリマナイト片麻岩、メタペーサイト、超苦鉄 質岩、カルク-シリケイト岩、大理石、鉄鉱層、珪岩、 斜長石 火山性堆積岩系；酸性-中性-基性、超苦鉄質岩 変火山岩類、千枚岩、石墨片岩、鉄鉱層、変チャート、 珪岩、大理石、コマチアイト (Greenstone belt) 花崗岩-片麻岩-ミグマタイトコンプレックス、斜長石	片麻岩、ミグマタイト、花崗岩類、片岩、珪岩、大理石、 エンデルバ イト、レプタイト、花崗岩類、メタペーサイト、超塩 基性岩、斑斨岩、ノーライト、片岩、珪岩、カルク-シ リケイト岩、チャルノーカイト
始 生 代		グラニューライト、グラニューライト質 苦鉄質-超苦鉄質岩 花崗岩類、ミグマ タイト	

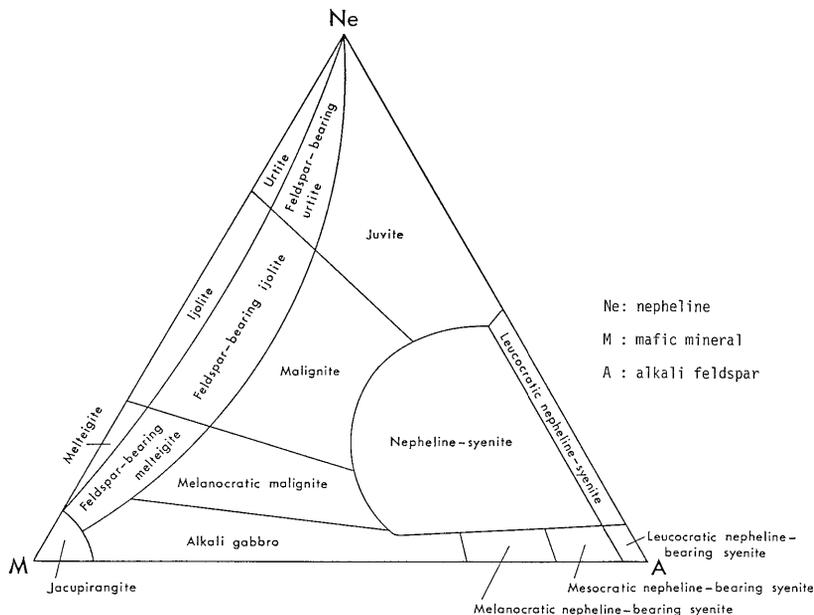


第4図 ブラジル南部の地質図 (DNPM, 1981を簡略化)。

サンフランシスコ構造区の最南端地域にも上部始生代の火山岩一堆积岩複合体と塩基性~超塩基性岩(コマチアイトを伴う)から成る緑色岩ベルトが発達している。

原生代には 始生代の基盤岩マシフの周辺に多くの地

向斜が生じた。すなわち パラグアイ-アラガイア帯ウルアスアン帯 ブラジリアン帯などで それらは 厚い堆積物と火山岩類および苦鉄質~超苦鉄質岩とそれらに貫入する花崗岩類から成る。そのうち ミナス累層



第5図
アルカリ岩分類図 (SARNTSINA G. M. and SHINKAREF N. F., 1967 A. STRECKEISEN により一部修正).

群は下部原生代(19-16億年前)の地質単元であってペロホリゾンテ市の南から東にかけて断続的に分布する変成岩で主として泥質岩 砂質岩 珪質岩 石灰質岩及び鉄鉱層(イタピライト)から成っている。この鉄鉱層は赤鉄鉱と磁鉄鉱を主としており埋蔵量は高品位鉄(品位60% Fe以上)だけでも100億トン以上にも達し(BEURLIN and CASSEDDANNE, 1981)世界有数の鉄鉱石及び金の産地として著名であって鉄鉱石は日本へも年間2千万トン以上を輸出している。

原生代の地層は堆積後のウルアスアン変動及びブラジリアン変動により一般に角閃岩相~緑色岩相の変成作用を受けている。

始生代マシフを中心として発達する原生代の地層の好例としてゴイアス地域がある。すなわちゴイアスマシフは始生代の花崗岩 片麻岩 ミグマタイト 酸性~塩基性~超塩基性火山岩類 千枚岩 石墨片岩 珪岩 コマチャイトから成る緑色岩ベルトとグラニュライト及び塩基性~超塩基性複合岩から構成されNNE-SSW方向に約650kmの延びを示す。その東側は中部原生代のアラシャ層群 トカンティンス層群などのウルアスアン帯に西側はパラグアイ-アラガイア帯(エストロンド層群ほか)によってそれぞれ覆われている。これらはいずれもウルアスアン変動による変成作用を受けている。さらに中部~上部原生代カナストア層群 バンブイ層群などが

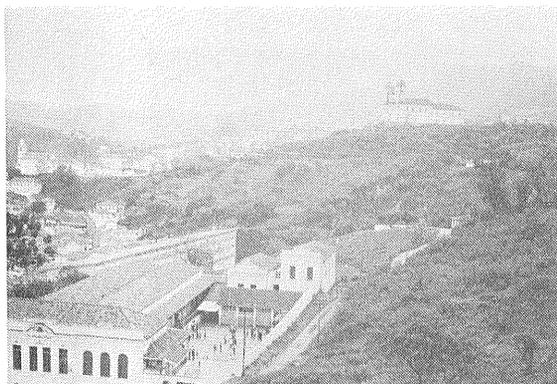


写真3 ミナスジェライス州 ペロホリゾンテ(州都)南東のオーロプレト(Ouro Preto)の町並。かつて金山の町として大いに栄えた。



写真4 リオデジャネイロ南海岸の片麻岩類

達し かつ その分類も明確でないため理解し難い。

ここに参考として SARANTSIN and SHINAREV (1967) によるものを示すことにする (第5図)。

アルカリ岩類のうち ブラジルに多産するものは閃長岩 霞石閃長岩 アイヨライト ションキナイト プラスカイト メルティジャイト 輝岩 ジャクピランジャイトなどであり それらと密接に伴って ダナイト ウェーライト ハルツバージャイト などの超塩基性岩類が認められる。カーボナタイトは アルカリ岩複合体を貫いて 円柱状 岩脈状などの貫入岩体として産出する。主要なカーボナタイトの産状については次の稿で詳述する。

第6図に K-Ar 法による固結年代を示した。岩体の大半はブラジル南部大西洋岸に沿った NE-SW 方向 (サンパウロ-リオデジャネイロベルト) と NW-SE 方向 (ゴイアス-西ミナスジェライスベルト) とに集中する。このほか パラグアイとブラジルの国境付近 すなわち パラナ ベースンの北側とブラジル北部のアマゾナス ベースンの周辺地域にも散在する。

これら複合岩体の貫入時期は 原生代後期 古生代後期及び中生代ジュラ紀末から新生代漸新世にかけての3グループに分けられる。しかし 大半は120~140M A と40~90M A に集中する (第6図)。そのうちでカーボナタイトを伴う複合岩体は10数箇所に知られており 主としてパラナ ベースンの周辺に限って産出する。これらの複合岩体の貫入時期は主として K-Ar 年代測定によって明らかにされたものである。120~140M A の時期はちょうど Gondwana 大陸の分裂時に相当する。大陸分裂に関してはすでに多くの著書があるので ここでは省略する。一般に地殻の分裂が始まる際には 広範囲に亘るドレーミングに続いて主要な3方向の深部断裂の発達によってリフト帯が生じる (HERZ, 1975)。そこでは多数の大規模正断層を伴ったグラベン構造によるリフト バレーが形成されるようになる。すなわち 3方向の断裂帯のうちの一つの方向は 大西洋岸に沿うサンパウロ-リオデジャネイロ ベルト 他の一つはジャクピランガ付近からほぼ南へ伸びるベルトであり 3番目は NW-SE 方向を示す。しかし NW 方向はパラナ玄武岩の最も厚い (多分噴出中心) 方向に一致し アルカリ岩は見られない。その代り アルカリ岩貫入の時期と同時期の極めて多数で しかも連続性のよい輝緑岩岩脈が生じており NW方向の断裂帯の発達を示唆している。

ブラジルで最も多くのカーボナタイトを伴い かつ 資源としても重要な鉱床帯を形成するゴイアス-西ミナスジェライス ベルトはサンフランシスコ クラトンの西縁に沿って発達し パラナ ベースンの玄武岩に覆わ

れるプレカンブリア後期のブラジリアン褶曲帯中に位置し いずれも古期深部断裂群に支配される (HASUI et al., 1975)。このベルトは 広域的な重力異常とも一致し さらに この地域のダイヤモンド砂鉱床の根源と考えられるいくつかのキンバーライト貫入岩体を伴っている。

引用文献

- ALMEIDA F. F. M. et al., 1981, Brazilian structural provinces : An Introduction, *Earth-Science Reviews*, 17, 1-29.
- BEURLEN H. and CASSEDDANNE J. P., 1981, Brazilian mineral resources, *Earth-Science Reviews*, 17, 177-206.
- BOWEN N. L., 1924, The Fen area in Telemark, Norway. *Am. J. Sci.*, 8, 1-11.
- BROGGER W. C., 1921, Die Eruptivegesteine des Kristianagebiets. IV. Das Fengebiet in Telemarken, Norwegen. —Norsk. Vidensk. Selsk. Skr. I, Mat. Naturv. Kl. No. 9, Oslo.
- CORDANI U. G. and HASUI Y., 1975, Comentários sobre os dados geocronológicos disponíveis para a folha Goiás, Dep. Nac. Prod. Mineral, Carta Geol. Brazil ao milionésimo, Folha Goiás, 80-22 : 85-94. Departamento Nacional Da Produção Mineral, 1981, Geological map of Brazil and adjoining ocean floor including mineral deposits, 1 : 2,500,000 scale, 4 sheets.
- FLESHER R. and ROUTHIER P., 1970, Quelques grands thèmes de la géologie de Brésil-miscellanés géologiques et métallogéniques sur le Planalto. *Science Terre*, 5, 45-102.
- GIRARDI V. A. V., 1974, Petrologia do complexo básico-ultrabásico de Pien, PR, Inst. Geosíenc., Univ. São paulo, unpublished.
- HERZ M., 1977, Timing of spreading in the South Atlantic : information from Brazilian alkalic rocks, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 101-112.
- 神谷雅晴, 1982, レアメタル, その I, ぼなんざ, —, —, レアメタル, その, ぼなんざ,
- 諏訪兼位, 1981, カーボナタイトの岩石学, 鉱山地質, 31, 457-465.
- 武内寿久爾, 1981, カーボナタイト鉱床について, 鉱山地質, 31, 415-420.
- 立見辰雄, 1965, カーボナタイトおよびアルカリ岩複合岩体に伴う鉱床, 地学雑誌, 74, 13-33.
- UIBRICH, H. H. G. J. and GOMES C. B., 1981, Alkaline rocks from continental Brazil, *Earth-Science Reviews*, 17, 135-154.
- WERNICK, B., 1981, The Archean of Brazil, *Earth-Science Reviews*, 17, 31-48.
- WYLLIE, P. J. and TUTTLE O. F., 1960, The system CaO-CO₂-H₂O and the origin of Carbonatites, *J. Petrol.*, 1, 1-46.