アフリカの火山岩

—特にカーボナタイトの岩石学—

諏 訪 兼 位*

Volcanic Rocks of the African Continent, with special reference to the Petrology of Carbonatite

Kanenori SUWA

I. はじめに

東京大学理学部の人類学教室には坪井正五郎教授の坪井文庫があり、LIVINGSTONE や STANLEY などの探検記が保存されている。坪井誠太郎先生はこのような御父君の影響もあってか、アフリカの風物には深い関心をもっておられた。「ナイルの日没は素晴らしいと昔読んだことがあります、どんなに見事なものですか？」とたずねられたことがあった。本日は、ありし日の先生の御写真の前で、アフリカの火山岩について述べることにしたい。

II. 大陸分裂と台地玄武岩の活動

アフリカ大陸の火山岩をみると、大陸分裂の直前に、大規模な台地玄武岩の活動があることがわかる。2つの例を述べたい。

第1は Karroo 玄武岩の活動である。カルー系はアフリカ南部の大カルー盆地 (1,500 km×1,000 km) を中心として、北方のアフリカ中部にかけてひろく分布する、古生代後期から中生代初期の陸成堆積層である。カルー系は下位から順に、Dwyka 統, Ecca 統, Beaufort 統, Stormberg 統に区分される。Stormberg 統上部に、1.8億年～2億年前の Karroo 台地玄武岩が広々と分布する。現在の分布域は 140,000 km² であるが、2,000,000 km² の範囲はおおわれていたと考えられ、厚さかなり厚い (Cox 1970)。ゴ

ンドワナ大陸の分裂は Karroo 玄武岩の噴出の直後からはじまっている。したがって、Karoo 玄武岩と同時期に活動した玄武岩が、ゴンドワナ大陸の各地で見出される。すなわち、アフリカ南東部、アフリカ中央部のほか、タスマニア島、南極 (例: Dufek 岩体)、南西アフリカ、ブラジルなどに分布する。

Karoo 玄武岩の露頭のひとつは、Victoria Falls である。南緯18度、東経26度のこのあたりでは、ザンベジ川が1 km ないし2 km のひろい川幅で、ほとんど水平に近い傾斜で悠然と南下する。だがこのザンベジの豊かな流れは、忽然として玄武岩の絶壁を、物すごい轟音と水煙をあげて落下する。これが Victoria Falls である。滝の上流では広がったザンベジの川幅は、滝の下流では途端に80 m～100 m にせばまってしまう。ザンベジ川を踏査していた LIVINGSTONE は、1855年11月16日、ヨーロッパ人として初めてこの滝を見、滝の前に立ちつくし、女王の名にちなんで、Victoria Falls と名付けた。ここでは、せまい空間に莫大な水が落下するため、水煙がはげしく立ち昇り、美しい虹に彩られる。近くの Livingstone 博物館に保存・展示されている Livingstone のフィールドノートには、Victoria Falls の全景が色付きで克明に描かれていた。

第2はエチオピアの Abyssinia 台地玄武岩の活動である。アフリカ大地溝帯形成直前の、始新世～漸新世には、エチオピア地方では広域にわた

* 名古屋大学理学部地球科学教室 Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Nagoya University

る上昇運動がおこり、それに伴って台地玄武岩の活動がおこった。アビシニア高原の青ナイルでは比高差 1,400 m の断崖がつづく。ここでは 海拔 2,110 m までジュラ紀・三畳紀の堆積岩が露出し、海拔 2,110 m から 2,500 m (アビシニア高原最上部) までは、Abyssinia 台地玄武岩が露出する。この第三紀初期の台地玄武岩はエチオピアおよび南西アラビアの高原の大部分をおおいつくし、その総量は 280,000 km³ に達する (BAKER *et al.* 1972)。アフリカ大地溝帯の活動は、Abyssinia 台地玄武岩の噴出直後から始まっている。

III. アフリカ大地溝帯

アフリカ大地溝帯は、東部アフリカを幅 35~60 km, 延長 7,000 km 以上にわたって南北に縦貫する巨大な断層陥没帯である。東西ふたつの地溝帯からできている。東部地溝帯はヨルダンの死海の湖底から始まり、アカバ湾、紅海、アデン湾の底をえぐり、エチオピアを北東から南西に横切って、トゥルカナ湖を経て、ケニアを縦に貫き、タンザニアに達する。一方、西部地溝帯はウガンダのアルパート湖の湖底に始まり、タンガニーカ湖とマラウィ湖を深く刻み、モザンビークを経てインド洋に達する。大地溝帯の形成時期は主として中新世 (2,600 万~1,200 万年前) から鮮新世 (1,200 万~200 万年前) であるが、現在でもその活動は続いている。火山活動が盛んで、塩基性火山岩、アルカリ火山岩、カーボナタイトなど特徴的な岩石が多産し、地熱流量が高く、重力異常や地磁気異常が顕著で、浅発地震が多い。アフリカ大地溝帯は広域的な東西方向の引張りによって大地が裂けて形成されたのである。その構造方向は基盤のモザンビーク帯 (先カンブリア時代末期) の構造方向とほぼ平行である。

中新世の玄武岩の活動は、エチオピアから北西ケニアのトゥルカナ凹地にひろがり、同じ時期に霞岩の中心噴火が、ケニア・ウガンダ国境地帯でおこった。中新世後期には、大量の台地響岩溶岩が中央ケニアで噴出している。これらの火山活動の直後に大地溝帯の断層運動が起っている。断層運動は北方 (エチオピアなど) では中新世中期に始まったが、南方にいくにしたがって開始がおそ

くなり、南方 (タンザニアなど) では鮮新世前期にはじまっている。断層運動の進行とともに、火山岩の組成は次第に変わってゆく。エチオピアでは玄武岩溶岩と粗面岩・流紋岩溶岩との割合が逆転して後者が多くなり (約 50,000 km³)、ケニアでは響岩溶岩は次第に少なくなり、粗面岩溶岩が次第に多くなる。鮮新世後期や第四紀には、莫大な粗面岩質・パンテレアイト質の大規模な火砕流活動がおこり、それに伴ってドーム状の隆起がおこり、深い地溝が形成された。地溝の沈下は、この大量の酸性マグマが地表に急激に噴出することによって生じたのであろう (BAKER *et al.* 1972)。

アフリカ大地溝帯の火山活動をまとめると、アルカリかんらん石玄武岩組成の本源マグマは中新世以降いつでも活動したことがわかる。中新世から第四紀に移るにつれて、東アフリカでは火山活動の中心地は次第に西方から東方へと移動した。上に述べたように、霞岩のような特にアルカリに富んだ火山活動は中新世にはウガンダ東部に集中しておこったが、しだいにケニア南部やタンザニア北部にその活動の中心を移していった。中心噴火の火山では玄武岩マグマの分別晶出作用によって多種の岩型を生じたが、割れ目噴火ではほとんど分化作用は行われていない。上に述べたように、中新世後期になって突然、莫大な量の台地響岩が噴出したが、玄武岩と響岩との中間組成の火山岩は出現していない。このことは台地響岩が玄武岩マグマの分化作用の産物ではないことを示している。上に述べたように、中新世には玄武岩や響岩が主役であったのに、鮮新世になると、粗面岩・流紋岩・パンテレアイトなどが主役となり、溶岩の性質が急激に変化した。これも玄武岩質または響岩質マグマの分化作用によってできたとは思われない (WILLIAMS 1970; 諏訪 1972)。

ここで、中新世後期に中央ケニアで大量に噴出した台地響岩について付言しよう。台地響岩の総量は研究者によって推定値が若干異なるが、少ない見積りで 25,000 km³, 多い見積りで 40,000 km³~50,000 km³ である。この量は世界の他地域に比べてけた違いに大きいものである。1 回の噴出量も大きい。例えば Uasin Gishu 台地では、少なくとも 7 回溶岩流が溢出したが、そのうち最

大のものは1回で $300 \pm 50 \text{ km}^3$ という大量のものであった。また、この響岩の溶岩はどこでも、上面が平坦な広々とした台地を作り上げているので、溶岩の粘性はかなり低かったと推定される。ヤッタ台地の響岩溶岩もそのひとつである。これは当時、北北西から南南東方向に流れていた300 km 長さの川の川底を上流側から埋めながら下流側へ流下したものである。現在上流側の海拔は1,300m であり、下流側の海拔は700m である。なお、響岩溶岩の厚さの平均は12m である (FUJITA 1977; 諏訪・藤田 1977)。

第四紀以降、地溝内部はさらに破碎されて、数多くの断層破碎帯や引張り割れ目群が形成された。これに伴って一連のカルデラ火山も形成され、爆発的な火山活動に伴って、かんらん岩団塊が産出している (SUWA *et al.* 1975c; NIXON 1987)。また、大地溝帯の中には大きい火山も存在するが、小さな火山円錐丘も多数存在する。グレゴリー地溝のエルメンティタ湖の南にある円錐丘は、南北方向に走る3本の断層で断ち切られており、大地溝帯の断層運動が円錐丘ができた後もつづいていることを示している。

グレゴリー地溝帯のアルカリ火山岩について、希土類の分布を研究していた SUZUKI (1981) は、希土類元素が鉱物粒界に濃集することを始めて明らかにした。最近ではマントル中のインコンパティブル元素の分布と部分溶融による玄武岩マグマの生成の機構を、鉱物粒界におけるインコンパティブル元素濃度の観点から明らかにしつつある (SUZUKI 1987)。

IV. カーボナタイト

1) 研究略史

ノルウエーの Fen 地方の研究において、BRÖGGER (1921) はアルカリ火成岩と密接に伴う石灰質岩石は火成岩であると結論し、カーボナタイトと命名した。BRÖGGER の研究に驚いた BOWEN は1923年 Fen 地方を訪れた。 CaCO_3 の溶融点は極めて高いので、炭酸塩溶融体が天然に存在し得る可能性はほとんどないと BOWEN は考えていた。彼は BRÖGGER の見解に反対し、炭循環水溶液によって珪酸塩が次第に交代され、炭

酸塩鉱物の集合体ができたと主張した (BOWEN 1924)。BOWEN の発表に直ちに反論したのは BRAUNS (1926) であった。当時 BRAUNS はドイツの Rhine 西岸 Laacher See 地方の火山岩の研究をつづけており、火山放出物のなかに炭酸塩に富むものがあることに注目し、これをマグマ源と考え、カーボナタイトと記述していた。

大正末期から昭和はじめに行なわれた BRÖGGER-BOWEN-BRAUNS 論争にもかかわらず、当時の岩石学者はカーボナタイトの火成説には懐疑的で、低温の交代作用説を支持する者が多かった。1930-1950年に出版された岩石学の教科書にはカーボナタイトは登場しない。

このような世界的な風潮のなかでも、カーボナタイトの存在を主張する人達がいた。すなわち、DIXEY ら (1937) はニヤサランド (現在のマラウイ) の Chilwa 島の石灰岩は古期片岩・片麻岩を貫く貫入岩であり、他の長石質の貫入岩と密接に伴ない、霞石閃長岩によって貫かれていることを明らかにした。これはアフリカ大陸から最初に報告されたカーボナタイトである。

1950-1956の数年間はウランウム探査が世界的に行なわれたが、その副産物として多数のトリウム鉱床が発見された。そのなかには多数の未知のカーボナタイト岩体が含まれていた。カーボナタイト岩体は特徴的な円形の露出状態を示すため、放射能異常や磁気異常の空中調査、精密航空写真調査などによって効果的にどんどん発見されていた。さらに、Nb や Ce などに富む鉱床としてもカーボナタイトは重要なものであることが認識されてきた。世界各地でカーボナタイトの調査が続けられた。

同位体地球化学的研究も1950年代初頭に開始された。von ECKERMANN ら (1952) による炭素同位体の研究、BAERTSCHI (1951, 1957) による炭素および酸素同位体の研究、POWELL ら (1962) によるストロンチウム同位体の研究はいずれも、カーボナタイトと堆積成石灰岩とが同位体組成上大きい差異を示すことを明らかにした。

1950年代終り頃から、WYLLIE・TUTTLE らによって精力的な実験岩石学的研究が開始され、炭酸塩マグマの存在する可能性が実験的に示され

た (WYLLIE and TUTTLE 1959a, b; 1960a, b)。まさにその時に劇的な事件が起った。

2) カーボナタイト溶岩の実在

1960年10月はじめ、東部大地溝帯中のタンザニア北部の活火山 Oldoinyo Lengai (海拔2,800m)の美しい円錐形の火山、マサイ語で oldoinyo は山, lengai は神の意)で、特異なソーダに富む炭酸塩鉱物だけからなる溶岩 (形態的にはパホイホイ溶岩とアア溶岩の2種類)が、その北火口底から噴出するのを DAWSON は目撃して報告した (DAWSON 1962)。このことは、天然にカーボナタイト・マグマが実在することを明らかにした点で特に注目に値する。

Oldoinyo Lengai 火山は1880年以来10回以上も噴火の記録を残す火山で、山頂には東西に走る山稜があり、山稜の北側と南側に火口がある。1917年の大噴火で北火口を生じ、以後北火口が活動している。北火口は 640m×460m、深さ 120-240m で、1960年1月、6月、9月、10月、1961年8月の都合5回、カーボナタイト溶岩を噴出した。噴出直後の溶岩は黒色だが、1日か1日半径つと白色化がはじまり、1週間すぎると灰白色に変色した。潮解性を有するらしい。噴出時には噴出口からうねるような音が聞えてくるが、夜間でも溶岩は白熱しない。温度は500°C 以下であろう。1963年、1965年、1966年8月初頭にもカーボナタイトの溶岩を噴出した。1966年8月上旬-12月の間に烈しいカーボナタイト質火山灰の噴出があり、北火口はほとんどその火山灰で埋めつくされた。

1970年代にはいって、実験岩石学的研究は、Chicago の WYLLIE 一派、Geophysical Laboratory の EGGLEER 一派、オーストラリアの GREEN 一派らによって更に精力的に続けられ、カーボナタイト・マグマの生成がマントル岩石学の観点から明確に把握されてきている。実験岩石学的研究のあらましは諏訪 (1981) によって紹介されているので参照されたい。また LE BAS (1977) によって、イギリス隊が続けてきたケニア西部の Kavirondo 地溝帯のアルカリ火山岩・カーボナタイトの岩石学的研究成果が集大成され出版された。

3) カーボナタイトとキンバレー岩

キンバレー岩中にざくろ石かんらん岩やエクロジャイトなどマントル構成岩が捕かく岩として含まれていること、キンバレー岩中にダイヤモンドなどの高圧鉱物が含まれていること、大規模な断層帯に集中してキンバレー岩は貫入・噴出していることなど、いろいろな事実から、キンバレー岩がマントル起源の火成岩であることは疑う余地がない。

キンバレー岩とカーボナタイトとが成因的に密接に結びついていることは、地質学的な産状、鉱物学的性質、化学組成、同位体組成などから強く示唆されている。具体例を2つあげたい。

南アフリカの剛塊では、その中心部にダイヤモンドを含むキンバレー岩の分布域がある。そのまわりをダイヤモンドを含まないキンバレー岩、アルカリ岩、カーボナタイトの分布地がとりかこんでいる (DAWSON 1970)。南アフリカでは、この累帯分布構造は、東西700km、南北500kmの範囲にみとめられる広域的なものである。同じような累帯分布構造は、シベリアのヤクーチャ地方でも見出されている (MILASHEV 1965)。

南アフリカのキンバレー地方の Benfontein では、キンバレー岩がシル (sill) として産出する。シル内部では magmatic な集積組織や分化現象がみられる。このシルは周りの母岩に熱変成を与えている。シル岩体中には、5mm~20cm 厚さの白色層がしばしばみとめられ、とくにシルの上部に白色層が多い。この白色層には方解石が濃集しており、幅2~6mm、長さ5~20mm 大のダイアピル状の方解石集合物が多数形成されている。DAWSON and HAWTHORNE (1973) は、キンバレー岩シル中の炭酸塩に富む間隙液から方解石が晶出したと考えた。この方解石の同位体組成や微量元素が、カーボナタイト中の方解石と類似することを指摘し、キンバレー岩とカーボナタイトの密接な成因的關係を示すものであると強調した。

LE BAS (1977) は、ケニア西部の Kavirondo 地溝帯のアルカリ火山類、カーボナタイトの体積を詳しく算出し、優黒質霞岩 (melanephelinite) 64%、霞岩 (nephelinite) 19%、響岩 (phono-

lite) 6%, 黄長岩 (melilitite) 4%, アイヨライト (ijolite) 4%, アルカリカーボナタイト (alkali carbonatite) 3%を得た。そして、それぞれの化学組成から、母マグマの化学組成を次のように推定した。すなわち、 SiO_2 42.0, TiO_2 2.4, Al_2O_3 12.4, Fe_2O_3 6.8, FeO 5.0, MnO 0.3, MgO 5.8, CaO 12.2 Na_2O 5.6, K_2O 2.7, P_2O_5 0.7, CO_2 1.4, $\text{H}_2\text{O}+2.8$ (重量%) である。ノルム霞石は23.9%に達する。この LE BAS の計算値は、MIDDLEMOST (1974) が求めた値に近い。このような組成の液は、パイロライト質の上部マントル物質が、30kb 以上の圧力下で、1-2% 部分熔融すれば生じ得る (GREEN 1973)。

このようにしてできた揮発性成分に富むアルカリ質の起苦鉄質マグマは、その上昇機構や上昇過程のちがいによって、次の5つに大別される岩型を生ずる。しかも、これら5つの岩型は互いに漸移的な関係にある (LE BAS 1977)。

a. キンバレー岩の爆発的な噴出火道：揮発成分を保持して急速に上昇し、ダイヤモンドや捕かく岩を運ぶ。

b. メイメチャイト (meimechite) 溶岩：上昇速度は中程度、上昇の過程で大部分の揮発成分は失われる。

c. アルカリ質超マフィック火砕岩およびカーボナタイト質火砕岩：上昇速度は中程度で、大部分の揮発成分は保持される。かんらん石、黒雲母、輝石は分別晶出し、角閃石も分別晶出したと考えられる。

d. 黄長岩溶岩と小貫入岩：上昇速度は小さく、若干の揮発成分が失われる。かんらん石は分別晶出し、黄長石も分別晶出したと考えられる。

e. 霞岩質溶岩・火砕岩とカーボナタイト質溶岩・火砕岩：上昇速度は小さく、揮発成分は保持される。液体不混和によって、揮発成分に乏しい珪酸塩溶液と、揮発成分に富む流体とにわかれる。前者は種々のアルカリ岩、後者は種々のカーボナタイトを生ずる。LE BAS (1977) は野外の事実をもとに、その生成過程をさらにこまかく論じている。

4) 野外の特徴

1. カーボナタイト貫入岩体は、他の貫入岩体

と同様に周縁急冷相を生じたり、捕かく岩を有したり、互いに貫いたり貫かれたりし、岩枝を生じたりする。カーボナタイトには各種鉱物が条線状・薄層状に配列して流理構造を示すことが多い。

2. カーボナタイトの全露出体積は、他の火成岩にくらべて非常に小さい。直径500m~5kmのものが多い。花崗岩とはかなり異なる。

3. カーボナタイトには、火山型・中間型・深成型がある。火山型は溶岩流や火砕岩などをつくる。深成型は環状岩脈や円錐形岩床の複合岩体をつくる。カーボナタイト貫入の際、ドーム運動、破断、角礫化作用、流体化作用などを伴う。

4. カーボナタイトはアルカリ岩と密接に伴う。アルカリ岩のなかにはカーボナタイトを伴わないものもあるが、カーボナタイトは必ずアルカリ岩に伴って産出する。

5. カーボナタイトは剛塊地帯の中央部または縁辺部に貫入・噴出し、多くの場合、大規模な断層帯に貫入・噴出している。

6. カーボナタイトの貫入・噴出時代は先カンブリア時代から現在までのいろいろな時代にまたがる。

なお、名古屋大学のアフリカ調査では、カーボナタイトの研究も主要テーマの1つにあげられ、これまでに、南アフリカ・タンザニア・ケニア各国のカーボナタイトの岩石学的・同位体地球化学的研究 (SUWA *et al.* 1969, 1975b), カーボナタイトおよびキンバレー岩中の逆多色性金雲母の光学的・化学的およびメスバウアーによる研究 (SUWA and AOKI 1975a; SHINNO and SUWA 1981; 進野・諏訪 1981; 進野ほか 1982), マラウイ・ケニア両国のカーボナタイトの希土類元素など微量元素の地球化学的研究 (OHDE *et al.* 1979a, b) が発表されている。

V. おわりに

アフリカ大陸には先カンブリア時代から現在に至るまでの、顕著な火山活動の証拠が数多く残されている。たとえば、南アフリカ Barberton 山地の35~32億年前のグリーンストーン帯に莫大なコマチ岩やソレライト質玄武岩が分布することはよく知られている。

本日の話を終るにあたって、ザンビアの落日を がない。これは、坪井先生の想像世界にあった
スライドでごらんいただきたい。太陽が単なる円 ナイルの日没にまさるものかもしれない。
ではなく、熱球として沈むことを実感されるにち

引用文献

- BAERTSCHI, P. (1951) : Relative abundance of oxygen and carbon isotopes in carbonate rocks. *Nature*, **168**, 288-289.
- , (1957) : Messung und Deutung relativer Häufigkeitsvariationen von ^{18}O und ^{13}C in Karbonatgesteinen und Mineralien. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, **37**, 73-152.
- BAKER, B. H., MOHR, P. A., and WILLIAMS, L. A. J. (1972) : Geology of the Eastern Rift System of Africa. *Geol. Soc. America, Spec. Paper*, **136**, pp. 67.
- BOWEN, N. L. (1924) : The Fen area in Telemark, Norway. *Am. J. Sci.*, **8**, 1-11.
- BRAUNS, R. (1926) : Primärer Calcit in Tiefengesteinen oder Verdrängung der Silikate durch Calcit? *Centr. Mineral.*, A(1), 1-8.
- BRÖGGER, W. C. (1921) : Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemarken, Norwegen. *Norske Videns. Skrift. Mat.-Naturvm Kl.*, 1920, No. 9. 1-408.
- COX, K. G. (1970) : Tectonics and vulcanism of the Karroo period and their bearing on the postulated fragmentation of Gondwanaland. In *African Magmatism and Tectonics* (ed. by Clifford, T. N. and Gass, I. G.), Oliver and Boyd, Edinburgh, 211-235.
- DAWSON, J. B. (1962) : The geology of Oldoinyo Lengai. *Bull. Volcanol.*, **24**, 349-387.
- , (1970) : The structural setting of African kimberlite magmatism. In *African Magmatism and Tectonics* (ed. by Clifford, T. N. and Gass, I. G.), Oliver and Boyd, Edinburgh, 321-335.
- , and HAWTHORNE, J. B. (1973) : Magmatic sedimentation and carbonatitic differentiation in kimberlite sills at Benfontein, South Africa. *J. Geol. Soc. Lond.*, **129**, 61-85.
- DIXEY, F., SMITH, W. C. and BISSET, C. B. (1937) : The Chilwa Series of southern Nyasaland: a group of alkaline and other intrusive and extrusive rocks and associated limestones. *Nyasaland Geol. Surg. Bull.* **5**.
- FUJITA, M. (1977) : Geology of the Yatta Plateau, Kenya. *2nd Prelim. Rept. African Studies, Nagoya Univ.* (Earth Sci. 2), 165-177.
- GREEN, D. H. (1973) : Contrasted melting relations in a pyrolyte upper mantle under mid-oceanic ridge, stable crust and island arc environments. *Tectonophysics*, **17**, 285-297.
- LE BAS, M. J. (1977) : Carbonatite-nephelinite volcanism. *John Wiley & Sons, London*, 347pp.
- MILASHEV, V. A. (1965) : Petrochemistry of the kimberlites of Yakutia and some factors in diamond formation (in Russian). Moscow.
- NIXON, P. H. ed. (1987) : Mantle xenoliths. *John Wiley & Sons, Chichester*, pp. 844.
- OHDE, S., SUWA, K. and KITANO, Y. (1979a) : Trace element geochemistry of carbonatites from Homa mountain, Kenya. *4th Prelim. Rept. African Studies, Nagoya Univ.*, 169-174.
- , —, YUSA, Y. and KITANO, Y. (1979b) : Rare earth element geochemistry of carbonatites from the Kangankunde Mine, Malawi. *4th Prelim. Rept. African Studies, Nagoya Univ.*, 175-179.
- POWELL, J. L., HURLEY, P. M. and FAIRBAIRN, H. W. (1962) : Isotopic composition of strontium in carbonatites. *Nature*, **196**, 1085-1086.
- SHINNO, I. and SUWA, K. (1981) : Mössbauer spectrum and polytype of phlogopite with reverse pleochroism. *6th Prelim. Rept. African Studies, Nagoya Univ.*, 151-157.
- 進野 勇・諏訪兼位 (1981) : 逆多色性を示す金雲母のメスバウアースペクトル. 岩鉱, **76**, 122-129.
- ・—・立見辰雄 (1982) : 南ア・パラボラ鉱山カーボナタイト中のフェリキンウンモについて. 鉱物雑, **15**, 273-282.

- 諏訪兼位 (1972) : アフリカ大地溝帯と火山活動. 地理, **17**, No. 5, 7-14.
- (1981) : カーボナタイトの岩石学. 鉱山地質, **31**, 457-465.
- SUWA, K., OSAKI, S., OANA, S., SHIIDA, I. and MIYAKAWA, K. (1969) : Isotope geochemistry and petrology of the Mbeya carbonatite, south-eastern Tanzania, East Africa. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **17**, (special volume), 125-168.
- and AOKI, K. (1975a) : *Reverse pleochroism of phlogopites in kimberlites and their related rocks from South Africa. 1st Prelim. Rept. African Studies, Nagoya Univ.*, 60-64.
- , OANA, S., WADA, H. and OSAKI, S. (1975b) : Isotope geochemistry and petrology of African carbonatites. *Phys. Chem. Earth*, **9**, 735-746, Pergamon Press.
- , YUSA, Y. and KISHIDA, N. (1975c) : Petrology of peridotite nodules from Ndonyuo Olmchoro, Samburu district, central Kenya. *Phys. Chem. Earth*, **9**, 273-286, Pergamon Press.
- 諏訪兼位・藤田元夫 (1977) : マントル起源の火成活動とアフリカ大陸地殻の形成——特にヤッタ台地の形成をめぐって——. 学術月報, **30**, 360-376.
- SUZUKI, K. (1981) : Grain boundary concentration of rare earth elements in a hornblende cumulate from the Ngong Hills, Kenya. *6th Prelim. Rept. African Studies, Nagoya Univ.* (Earth Sci. 4), 173-179.
- (1987) : Grain-boundary enrichment of incompatible elements in some mantle peridotites. *Chemical Geology*, **63**, 319-334.
- von ECKERMANN, H., von UBISCH, H. and WICKMAN, F. E. (1952) : A preliminary investigation into the isotopic composition of carbon from some alkaline intrusions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **2**, 207-210.
- WILLIAMS L. A. J. (1970) : The volcanics of the Gregory Rift valley, East Africa. *Bull. volcanol.*, **34**, 439-465.
- WYLLIE, P. J. and TUTTLE, O. F. (1959a) : Synthetic carbonatite magma. *Nature*, **183**, 770.
- and —— (1959b) : Melting of calcite in the presence of water. *Am. Mineral.*, **44**, 453-459.
- and —— (1960a) : The system CaO-CO₂-H₂O and origin of carbonatites. *J. Petrol.*, **1**, 1-46.
- and —— (1960b) : Experimental verification for the magmatic origin of carbonatites. *21st Intern. Geol. Congr.* **13**, 310-318.

(昭和63年2月1日受理)