キンバリー岩と金剛石鉱床

松 田 亀 三*

Kimberlites and Diamond Deposits ; a Review from a Standpoint of a Prospector

Kamezo MATSUDA

I. 緒 言

戦時中南東カリマンタンの金剛石採掘現場の視察をしてから金剛石鉱業の発展には深い関心を持つようになったが、表題に関する文献は尠大な量がありその一部を特に鉱床探査の観点から眺めて見た。金剛石は2,000年前印度で発見されてから19世紀末南阿で多数の鉱床が開発されるまでは王侯貴族の装身具として珍重されるに留まったが、最近では宝石級のものが多量に出廻り庶民の夢が叶えられるようになった。更に第1次大戦後は金属加工業の発展と共に宝石級として不適格の工業用金剛石の需要が急増して来た。天然金剛石の世界生産は1930年750万カラット (Carat=0.2gr. 以下Ct. と略す), 50年1,520万Ct., 74年5,014万Ct., 74年産額の87%は工業用であった。金剛石の成分が炭素と判明したのは1797年で爾来実験室で合成が試みられたが工業的に成功したのは1954年米国G. E. 社で、天然金剛石の微粒のものの代用品として使用され始めた。その生産量は56年10万Ct., 69年1,300万Ct., 現在は米国2社で1,900万Ct. を産しており米国外では8ヶ国が合成を行っている。我国の金剛石輸入量は合成を含めて次第に増加し、71年617万Ct. (207億円), 73年1,112万Ct. (901億円), 75年は減少して855万Ct. (757億円) でその92%は工業用であり、73%が合成金剛石であった。現在我国の合成金剛石の産額はほぼ300万Ct. と推定される。合成金剛石は25目 (径0.7mm) 以上のものは商業生産困難で試験ビット、

73年輸入量(工業レアメタルNo.57, p.93, 1975)

工業用内訳	天然金剛石	原石	231.5kg
	"	粉	515.8"
	"	成型	1.693gr
	合成金剛石	粉	1,474.3kg
工業用計			2,233kg
宝石用計			136,111gr

ダイスその他には天然金剛石を用いるが、合成技術の発達と共に次第に合成品で置き換えられる傾向にある。

金剛石鉱床の探査は現在数ヶ国で行なわれているが、資金、時間、経験に十分な配慮が必要であり、調査員には熱意、勇気、忍耐等の精神的強靱さが要求される。その危険率は相当大きい成功した場合の報酬は極めて大きい。戦時中工業用金剛石の不足に苦しんだソ連は南阿と同様な地質条件を示すシベリアで調査を始め9年後の54年に鉱筒確認、70年以降は推定1,200万Ct./年の生産を示しているのは輝かしい成果であった。以下金剛石の母岩であるキンバリー岩、その造岩鉱物、鉱床等に就いて概説する。

II. キンバリー岩 (Kimberlite)

金剛石が産するのは堆積鉱床中と超苦鉄岩に属するキンバリー岩 (以下キン岩と略す) 中の火成鉱床とがある。キン岩の研究は商業的にも重要だが、キン岩自体は産出稀な超苦鉄岩とされ¹⁾、その含有する地球深部からのゼノリスは地殻下部の性情を明らかにする為地球科学研究者の重要な研究課題となっている。南阿キンバリー鉱山産の含

* 国際鉱産コンサルタント International Minerals Survey.

金剛石岩をキン岩と呼んだのは C. LEWIS²⁾でキンバリー市等の名称は1871年英国植民大臣 EARL of KIMBERLEY に由ると云う³⁾。その岩質は蛇紋石化炭酸塩斑状雲母橄欖岩であったが大部分のキン岩には金剛石は含まれず、金剛石は主成分ではない¹⁾。

(1) 産状

キン岩の産状は火道、岩脈稀に岩床をなし特に火道ではその噴出相を伴なう。これらの関係は下部の岩脈、岩床から上部の岩筒に移り⁴⁾、更に爆烈孔に移るとされ^{1,2,5)}、キンバリー鉱山では深さ3,320呎⁴⁾、ヤガースホンテン鉱山では2,500呎⁶⁾で鉱筒が鉱脈に移っている。キン岩の貫入は地下160km以下の深所に岩漿が生成し^{4,7)}地殻下部までは徐々に上昇し⁸⁾、地殻下部(50km)からは極めて急速度(1~2時間)で⁹⁾流動化作用により地表に到達し、その為周囲の岩石にはほとんど熱変成を及ぼさないとされていた。しかし産出稀な岩床では明らかな熱変成を及ぼした例がある。これはベンホンテンで、頁岩に熱変質を与え、キン岩自体は粒度による級化構造を生じ、基質には細柱状~樹枝状の火成方解石を含みカーボナタイトと近縁の成分を示している¹⁰⁾。この場合キン岩の貫入は地表下2~3kmの深さまでは比較的高熱溶液で侵入したが、この水準以上では瓦斯を放出して火道を形成したものと考えられている¹¹⁾。

(2) 岩種

金雲母と角礫の含有量で分類する。金雲母の極めて少ないものは塊状または玄武岩質と呼び(長石はない³⁰⁾)斑晶(巨晶)の5%以上または石基に多量の金雲母を含むものを雲母質と呼ぶ¹⁾。雲母質と塊状のものは移化する事があり¹⁾、岩脈には雲母質が多い^{7a,25)}。キン岩はキン岩岩漿とキン岩その他の超苦鉄岩ゼノリスとの混成岩で^{2,13)}細粒斑状岩から角礫岩、角礫凝灰岩状を呈し深成岩相がない^{12,14)}。塊状のものは角礫化せず半深成岩相で岩脈に多く、破片、または角礫を多く含むものは火道相⁵⁾であるが、移化している事もある¹⁵⁾。その角礫の量により塊状(<25%)角礫状(25~50%)角礫岩(>50%)と分類し角礫状のものは火道中に産し角礫、岩片等が60~90%を占めるキン岩凝灰岩は火道相に限られる^{16,54)}。キン岩と確

認する為の10ヶ規準を挙げた報告もあるが、ここには省略する¹⁷⁾。

(3) 岩質

キン岩の貫入作用は火道では数回に亘って行なわれ^{2,13,17,18,19,20,25)}岩筒はしばしば岩脈に切られる¹⁾。その後の浸蝕作用による深度の変化もあり岩質の変化は甚だしい。化学的風化作用を受けた露頭部分は南阿では黄土盤(Yellow Ground)と称しその下部で変質作用の劣化したものを青盤(Blue Ground)、堅盤(Hardbank)と称する。

(a) 黄土盤。この風化帯は印度で70呎²¹⁾南阿で45m¹⁹⁾に及びシエラレオンでは深さ12呎の掘割で初めて原岩の組織が認められる程度となり²²⁾いずれも黄、緑、青色の粘土となっている。シベリアでは化学的風化作用は妨げられているが古期風化殻中では肉桂色~淡灰クリーム色粘土となりモンモリロン石、ハロイサイト、メタハロイサイトから成る²³⁾。南阿の主要構成鉱物はスメクタイト(モンモリロン石)で¹⁹⁾金剛石が残留富化する場合もあるが、専ら野外比重選鉱用粘土として用いられた。黄土盤は軟質、崩壊し易く特に水を含めば容易に分解し坑内採掘の場合には自然崩落(Self Mining)の現象を呈し極めて危険である²⁴⁾。

(b) 青盤及び堅盤。黄土盤の下部には変質の弱い青盤があり、更に下部は青盤中に次第に堅盤の団塊を増加して比較的新鮮な堅盤に移化する²⁵⁾。青盤は堅緻、韌性に富み断口は介殻状、青黒色~明緑色、斑状構造を示し蛇紋石化橄欖石斑晶が最も多く、石基は緻密~細粒でルーペで組成が見分けられない事がある²⁵⁾。地表で曝すと6~12ヶ月で粗鬆な粘土塊となって崩壊し²⁴⁾、水に濡れて極端に粘着性を生じる²⁶⁾。その明緑色のものは蛇紋岩質角礫岩状に見える²⁷⁾。

堅盤は新鮮なキン岩で暗色~黒色、キラキラ光る粗粒玄武岩状で¹⁰⁾、雲母橄欖岩、煌斑岩、特にアルノー岩に酷似し²⁷⁾、風化面では暗色石基が溶脱して斑晶橄欖石が突出してザラザラした感触を呈する¹⁰⁾。楕円体状割目を示すものもあり²⁸⁾、新鮮に見えてスメクタイトを生じているものもある²²⁾。これ等の比重は次の様である。

黄土盤 南阿²⁹⁾ 1200lb./Load

(Loadとは原岩で10ft³、破碎岩で16ft³、を呼ぶ)

	レソト ^{7b)}	G=2.5
青盤	レソト ²⁵⁾	G=2.54~2.88
堅盤	南阿 ²⁹⁾	1600lb./Load
	レソト ^{7b)}	G=2.75~2.85

(4) 鉱物組成

主要造岩鉱物は橄欖石、チタン鉄鉱、柎榴石、角閃石、金雲母、方解石等で従成分鉱物として金剛石、燐灰石、ザーコン、烟褐色ペロヴス石、石墨等を含み橄欖石、金雲母は2時代に亘って生成された³⁰⁾。斑晶状のものは径数 mm から 5 cm に及び、一部は斑晶であるが、他は超苦鉄岩の分解した外来結晶か、または集積層を構成したと思われる結晶団塊でありその区別は容易でないで総括して巨晶 (Megacryst) と呼ばれている³¹⁾。巨晶橄欖石はキン岩の特徴ともいふべき歪円形~楕円形を呈ししばしば蛇紋石に交代される。その含量は石基中で10~60%^{7b)}、全岩で30~50%³⁰⁾を占め熔融型とも蝕磨型とも見られる³⁰⁾。柎榴石には

パイロプ系とアルマンチン系があり、斜方輝石は淡褐色頑火輝石~古銅輝石、単斜輝石は明緑~暗緑色透輝石、エメラルド緑色クロム透輝石、翠輝石等が主であり金雲母は雲母質種では50~75%の容量を占める事がある^{18,30)}。チタン鉄鉱は輝黒色含苦土種である。石基は蛇紋石化橄欖石、金雲母、方解石が主で少量の角閃石、緑泥石、燐灰石、モンチセライト、ペロヴス石、ザーコン等を含みその組織は細粒~微晶³²⁾~等方質¹⁵⁾となり鏡検不適の構造をなすものが多い¹⁵⁾。

なお石基および外来岩片の蛇紋石化、フェン岩化、炭酸塩化作用等の変質の強弱は浅所爆発型と深所潜頭型とで異り、前者に強烈な事が示された³⁾。

(5) 化学成分

化学成分の一部を摘記したのが下表で、不飽和超苦鉄岩を示している。DAWSON³³⁾によれば SiO₂ は 22~38% で 30% 台、30% 以下になれば

	① 南	② 阿	③ レソト	④ レソト	⑤ レソト	⑥ ヤクート	⑦ インド	⑧ インド
SiO ₂	25.19	0.52	35.2	31.1	16.97	27.81	35.83	36.09
TiO ₂	1.89	0.10	2.32	2.03	2.17	1.63	4.89	5.10
Al ₂ O ₃	2.87	0.48	4.4	4.9	1.66	3.40	3.27	3.81
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	n.d	0.13	—	—
Fe ₂ O ₃	3.72	1.30	—	—	11.29	5.40	4.82	4.77
FeO	6.72	0.61	9.8	10.5	1.43	2.82	3.39	4.45
MnO	0.22	0.19	0.11	0.10	0.13	0.12	0.14	0.15
NiO	—	—	—	—	—	0.14	—	—
MgO	29.69	8.87	27.9	23.9	9.47	25.53	27.84	24.71
CaO	13.59	44.07	7.6	10.6	28.71	12.21	3.20	3.50
Na ₂ O	0.01	0.41	0.32	0.31	0.29	0.33	0.06	0.20
K ₂ O	0.15	—	0.98	2.1	0.56	0.66	0.63	1.14
H ₂ O ⁺	1.15	0.36	7.4	5.9	3.13	—	—	—
H ₂ O ⁻	—	0.03	—	—	3.68	—	13.98	13.05
P ₂ O ₅	2.20	1.42	0.72	0.66	0.14	0.50	2.15	2.31
CO ₂	12.83	41.24	3.3	7.1	20.12	I.G. 19.42	0.16	0.72
Mg/Fe	—	—	2.2	1.8	—	—	Mg/Mg+Fe 73.4	Mg/Mg+Fe 68.6
K/Na	—	—	3.4	7.5	—	—	11.8	6.4

① ベンホンテン岩床¹⁰⁾② " " 石灰質¹⁰⁾③ 玄武岩質³³⁾④ 雲母質³³⁾⑤ マラカベイ石灰質¹¹⁾⑥ 339種平均²⁸⁾⑦ マデガワン 地表 12ヶ³⁴⁾⑧ " 坑内 7ヶ³⁴⁾

CaO が増加する。TiO₂ が高く (2.0~2.3%) 含鉄量は Fe³⁺/Fe²⁺ が 7.5 となり、他の橄欖岩~ダニ岩では 1 以下で、含苦土チタン鉄鉱が Fe³⁺ を多量に含む事に因るという。苦土は 39~44% と超苦鉄岩よりは少なく、Mg/Fe 比はキン岩で 1.8~2.2、超苦鉄岩では 3.4 となる³³⁾。アルカリ量は Na₂O に較べて K₂O が高く K/Na 比はキン岩で 3.4~7.5 だが超苦鉄岩~塩基性岩では 0.05~4.5 に過ぎない³³⁾。微量成分では特に Sr, Ba の多いのが目立ちレントでは次の通りである。

	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Ca/Sr
キン岩	445~1145 ^{7c)}	550~1570 ^{7c)}	72 ³³⁾
超苦鉄岩	1~ 35 ³³⁾	平均 1	700 ³³⁾

これは印度でも同様だが^{34a)} Rb でもその区別は可能である³⁵⁾。またトラップ岩との区別は Ni, Cr, Ti, Nb で可能だが³⁶⁾ アルノー岩との区別は難しい^{27, 33)}。

(6) ゼノリスおよび結晶団塊

キン岩の貫入に際して捕獲したゼノリスには地表に近い部分のものと地殻下深所のものとがある。前者は径 40³²⁾~100 呎³⁷⁾ の岩塊をなす事があり、後者は径数 cm~数 10 cm 蝕磨された団塊状となり、その量が多い時は礫岩状を呈する^{7c)}。南阿の例では³⁸⁾ 最多が複輝石橄欖岩、次で斜方輝石橄欖岩、輝岩等で少ないのは含藍晶石~鋼玉榴輝岩 (Grosphidite)、火成榴輝岩 (Griquaite) 等である。複輝石橄欖岩団塊には剪断作用による変形を受けた (sheared) ものがありその透輝石は低石灰質で深度 150~190 km, 温度 1,100~1,400°C で再平衡したものとといわれる³⁸⁾。橄欖岩中の柘榴石含量は容量で 15% 以下だが榴輝岩では 30% 以上となる³⁹⁾。なお円形をなすキン岩の同源捕獲岩もあるが岩脈には産しない^{7a)}。このほか単鉱物の団塊および結晶で輝石、柘榴石、チタン鉄鉱等があり輝石とチタン鉄鉱の文象状~ラメラ共生をするものがある^{7a, 40, 41)}。

(7) 貫入時代

その貫入時代は先寒武系^{20, 40)}から古第三紀²⁷⁾に亘るが野外の観察からは中生代¹⁾特に白亜紀が多い⁴⁾。1 地区で 2 時代以上に亘って噴出したもの

もある^{1, 35, 42)}。先寒武系礫岩中に金剛石の発見されるのは南阿、ブラジル、西豪等に知られ¹⁾、先寒武系時代に貫入した岩筒は南阿、タンザニア、象牙海岸、マリ、ガーナ、ソ連¹⁾、印度^{21, 34)}にある。北米でも先寒武系~古第三紀に貫入したものが知られているが金剛石を含むものは中部白亜紀とされている²⁷⁾。年代測定の場合地質条件とずれる場合があり^{43, 44, 45)}、測定鉱物がキン岩の貫入する以前に形成されたものとして説明されている^{1, 40)}。南阿ではプレミア鉱山のみが先寒武系の貫入で^{20, 46, 121)}周辺の岩筒は白亜紀とされており⁴⁵⁾ソ連でも先寒武紀に生成された金雲母を含むキン岩が侏羅紀層を貫いている⁵⁵⁾。なお先寒武系含金剛石礫岩層が白亜紀キン岩に貫かれている場合がありキン岩を生じ易い地域がある事は確かのものである¹⁾。東阿の新生代火山でキン岩の地表徴候と認められるものがあるが^{1, 17)}含苦土チタン鉄鉱、パイロプ、クロム透輝石を欠くというので³⁰⁾検討の必要がある。

(8) キン岩の金剛石包蔵性

キン岩の調査が進むに従って金剛石の包蔵性見込みは最も懸念される問題となり現在は次のような推定方法が発表されている。

⑧ ゼノリスとの関係。 商業的にはキン岩とは金剛石を含むものでありその含有量を定めるには試料 1 ケで 100 t の処理が必要である⁴⁷⁾。品位を速く推定できればこれに越した事はない。最近判って来た事は品質が地下深所からのゼノリスに関係がある事で^{48, 49)}、南阿では大鉱筒は橄欖岩団塊が多くて榴輝岩団塊は少なく、小鉱筒では榴輝岩団塊の方が多い⁴⁶⁾。この場合超苦鉄岩団塊のみならば金剛石は品質不良、品位も 20 Ct./100 Load 以下となるが、小型鉱筒のみにしか産出しないグリクア岩 (稀にグロスピダイトを伴う) が超苦鉄岩に混在する場合は品位は 4~20 Ct./100 Load と大差ないが金剛石の品質が大幅に上昇する⁴⁸⁾。なおシベリアでは塊状のキン岩は最後期の貫入でこれよりも角礫に富むキン岩質角礫岩は最も有望岩種としているが、ゼノリスと関係あるものと見られる¹⁶⁾。

⑨ 随伴鉱物との関係。 シベリアで金剛石を含むキン岩には雲母質岩種は 30% 以下を占め、こ

れに反し無金剛石岩は50~100%が雲母質であるという¹³⁶⁾。また随伴鉱物にはCrに富むものとTiに富む系列とあり^{50, 51)}、高圧鉱物の濃集度を推定する為にパイロップ/クロムスピネルの比率(柘榴石化率)を用い⁵⁰⁾、また金剛石内の包有物にライラック色~堇色のパイロップのある事から重鉱物精鉱の鑑定を行う^{50, 52)}。金剛石を伴う重鉱物にはCr系のものが多く^{51, 112)}随伴鉱物8種の組合せが深度により如何に変化するかを調べ、その結果キン岩を6種類に分類し、金剛石を含有する型としては金剛石-クロマイト-パイロップの組合せを含むものになるという⁵³⁾。南阿で金剛石産出の実績のある鉱筒群につき重鉱物の組合せでキン岩を採算的に見て黒字型(Payable)、年に数回は黒字を出す準黒字型(Provisionally Payable)赤字型(Nonpayable)と分類した報告がある⁵⁴⁾。これはキン岩の非磁性重鉱物精鉱を柘榴石+不透明酸化鉱物(主としてチタン鉄鉱)、クロム透輝石、ゼーコンの3種類に分け、その3成分による三角図上において容量比を計算すると黒字型キン岩の存在範囲は柘榴石+不透明酸化物が90%以上、クロム透輝石12%以下、ゼーコン3%以下の範囲に入るといふ。もちろん品位、品質は不明だが有力な指標になると思われる。

◎ 化学成分との関係。ソ連では大量の試料採取を省略し、6成分の分析値と400ヶの金剛石の晶相から本源岩体の有望性が判定可能としたが⁵⁵⁾南阿では好結果が得られなかった⁵⁴⁾。キン岩の分析値から $Fe/(Fe+Mg) \times 100\% = f$ を計算すると無金剛石の場合は15~22%、含金剛石の場合は20~26%になるという⁵⁶⁾。シベリア産キン岩の微量成分を見ればNi, Crの含量で区別可能となっている⁵⁷⁾が(下表参照)、南阿のキン岩の平均ではシベリア産無金剛石キン岩の範囲にあたるので⁵⁷⁾、岩石区が異ればそのままの適用は難しいのであろう。キン岩中の放射性元素の蓄積は含金剛石キン

岩より周辺相をなす無金剛石キン岩に多く、そのU含量で区別可能⁵⁸⁾、またK/U比でも可能というが⁵⁹⁾南阿では明確でない⁶⁰⁾。

III. 造岩鉱物

(1) チタン鉄鉱

チタン鉄鉱はパイロップと共にキン岩探査の主要鉱物で稀に金剛石中の包有物として産する⁷⁴⁾。Ti系鉱物団塊には金剛石を伴わずともいわれ¹³⁾、またパイロップよりチタン鉄鉱が大量にある場合はほとんど金剛石のない事もある⁶¹⁾。キン岩中のチタン鉄鉱は超苦鉄岩、塩基性岩中のものに較べて苦土を含むのが特徴で($MgO > 5\%$)^{62, 63)}、かつ Fe^{3+} が高く²⁵⁾、金剛石の生成状態に近い環境で育ったと考えられている⁵²⁾。その含量は岩筒型で0.001%¹⁴⁾~7%¹⁸⁾、岩脈型で4~16%⁶⁴⁾にも達するが、またほとんど含まないものもある^{15, 65)}。キン岩では径1~10cmの卵形巨晶をなすものと⁶³⁾径0.2~1mmの微晶が石基中に散在するものとある⁶⁵⁾。これらのものが崩壊運搬されて、礫の大きさ1~1.5cmのチタン鉄鉱の礫層となる場合がある⁶⁶⁾。なお砂鉱中に六方卓状~斜方十二面体をなすものがあればその原岩は岩脈型と推定出来るという⁶⁷⁾。巨晶をなすものは他形結晶の融合したもので²⁵⁾いずれも表面は円磨され、窪みを生じ(Pitted, Pluck Mark)¹⁸⁾線状擦痕がある^{25, 65, 68)}。表面はペロヴズ石^{25, 68)}白チタン石の白~灰色被膜を生じる事もあるが⁶⁹⁾通常は帯青黒色、破面はピッチ黒色で苦土含量の多い事を示している¹⁸⁾。硬度はモース5~6で苦土量には比例しない。比重はチタン鉄鉱(4.72)とゲイキヤ鉱($MgTiO_3$, (MgO 33.05%), 4.05)との中間を占める筈でレソト産で4.61 (MgO 8.60%)~4.44 (MgO 12.10%)²⁵⁾、苦土含量の特に高いのは19.5%を含む⁷⁰⁾。その成分は各粒毎に変化するが⁷¹⁾鏡下では均質で特殊の構造が無いのが普通だが稀にクロム

	Cr	Ni	Ba	Sr
含金剛石キン岩	平均 1040 ppm (710~1,340)	平均 970 ppm (840~1,250)	380 ppm	460 ppm
無金剛石キン岩	平均 820 ppm (530~1,070)	平均 590 ppm (240~790)	810 ppm	990 ppm

黒 字 型	MgTiO ₃ 分子	41.6%	Fe ₂ O ₃	8.1%	酸化率	27.1%
準 黒 字 型		36.2%		7.5%		26.6%
赤 字 型		34.2%		11.3%		30.0%

スピネルの離溶が報告されている²⁰⁾。チタン鉄鉱をキン岩源と認めるには苦土の定量にあるがその測定には次の2方法がある。1は仏国 BRGM 公社の携帯用マグネシオメーターで、研磨片で苦土の含量が増加すれば反射率は直線的に減少する関係を利用したもので BRGM 公社の特許になっている⁷²⁾。他はソ連で考案されたチタン鉄鉱の熱起電力を測定する方法で、その熱起電力は Fe³⁺ が増加すると共に減少し、遂には負の値を示すに至るのを用いる。含金剛石キン岩中のものは負の熱起電力を示し (p 型)、金剛石の殆んど認められないものは正の熱起電力を示すもののみで (r 型)、p 型を殆んど欠くという⁷³⁾。南阿のキン岩の経済的分類ではキン岩中のチタン鉄鉱の成分は次の様で⁵⁴⁾要するに有望なキン岩は苦土に富むチタン鉄鉱を含む事となる (上表参照)。

(2) スピネル～クロム鉄鉱

これらは、金剛石中にも含まれるが^{74,75)}キン岩の重鉱物精鉱中にはわずかに2%以下の少量で産する⁷⁶⁾。クロム鉄鉱は黒色丸味ある八面体で、スピネルは鋭稜ある八面体で出る。ソ連では無金剛石キン岩のクロム鉄鉱含有量は含金剛石種に較べて30倍以上も多く⁷⁶⁾、かつ含金剛石種のスピネル中には高度にクロム鉄鉱分子が濃集し弱磁性、格子定数も増大するため、格子定数の測定で金剛石との随伴性が決められるという。

(3) 柎榴石

チタン鉄鉱と共に探査の主要鉱物がパイロープ柎榴石である。パイロープで Cr₂O₃ 0.5%以上を含むものは産出きわめて限られ、キン岩、またそれに含まれる橄欖岩ゼノリス、金剛石、造山帯の柎榴石橄欖岩レンズ中にも産するといわれる⁸⁰⁾。キン岩中の含量は1.5⁴⁸⁾～4%⁷⁷⁾で残留土壌中には濃集して5～15%を示す事がある⁷⁸⁾。これらが風化浸蝕作用を受けて流水中に分散すれば安定鉱物として残存する範囲は15km⁷⁹⁾、60km^{87a)}、200km⁸⁰⁾とされている。キン岩中に存在する時は粒度0.5mm から10cm⁴⁸⁾、赤紫色のものは微～小

粒、黄褐色のものは数 cm になる事が多い⁸¹⁾。形は円粒状結晶で厚さ0.01～2.9mm^{52,82)}、帯灰白～帯緑黒色のケリファイト反応縁を生じている^{2,18,25,50,52,63,82)}。この反応縁はキン岩産の特徴で²⁾キン岩生成前に岩漿溜りで生成されたものであり、砂鉄中のものにこれが見られる時はキン岩源に近い事を示す⁸²⁾。従来柎榴石の分類は6種の端成分を用いていたが、これでは不十分で緑色のノーリン柎榴石 (Knorringite, Mg₃Cr₂(SiO₄)₃) 分子を多量に含むパイロープが現れて来た⁷⁸⁾。なお柎榴石の分析には Cr₂O₃、TiO₂ の追加が必要で、これに基づいて柎榴石を12族に分類し金剛石中の包有物には2族あるのを示した⁸¹⁾が大別すればキン岩産の柎榴石は2種類となる。

③ パイロープ～ノーリン石系 キン岩中の柎榴石の成分は変化が多く⁸¹⁾岩体毎に色も粒度も異なりパイロープ分子60～80%で、団塊をなす榴輝岩系のものとは著しく異なる⁸³⁾。その色は Cr₂O₃ の増加と共に葡萄酒赤色～ピンクから紫色を帯びライラック～紫となり更に緑色調を増して暗青緑色～暗緑色となり^{76,78,84)}特に CaO が増加すると緑色調は濃厚となる⁸⁵⁾。Cr₂O₃ 含量の更に高いものは緑色～赤紫色のアレキ石効果を示し⁸⁵⁾ Cr₂O₃ 17.9% に達する⁸⁴⁾。通常のものは MgO 18～25%、Cr₂O₃ 3.01～9.52%、CaO は1～4%また5～7%とあり⁵²⁾、Cr₂O₃ 5%以上は高 Cr 種と呼ぶが⁵²⁾含量の変化による累帯構造もある^{89,86)}。赤色のものはルビースピネルと鑑定された事があり⁷⁷⁾、ライラック色のは Cr₂O₃ 9～14%、CaO 6～8%である⁵²⁾。その Cr₂O₃ 含量の増加と共に屈折率、比重、格子定数も増大する⁸⁷⁾。屈折率等はパイロープ (N=1,714, G=3,852, a₀=11,458 Å)⁸⁸⁾とノーリン石 (N=1,803, G=3,852, a₀=11,659 Å)⁷⁸⁾の間を変化し、

$$\text{ソ連産 } N=1,754\sim 1,789, \\ a_0=11,535\sim 11,698\text{\AA}^{83)}$$

$$\text{米国産 } N=1,746\sim 1,755, \\ a_0=11,547\sim 11,584\text{\AA}^{68)}$$

となる。このためパイロープ～アルマンデン系のもので $N=1,759\sim1,781$, $a_0=11,535\sim11,678\text{\AA}$ を示すものとは区別出来ないで化学分析の必要がある⁷³⁾。

⑤ パイロープ～アルマンデン系 これには多少のグロツシュライト成分も入る。色は淡黄～オレンジ～褐色となり $\text{MgO } 8\sim11\%$ ¹⁸⁾で榴輝岩源と考えられている。レソトのキン岩中の榴輝岩団塊からの黄～褐色のものは $N=1,758\sim1,796$, $G=3,770\sim4,076$, $a_0=11,585\sim11,521\text{\AA}$ でアルマンデン分子55.2%までを含む¹⁸⁾。金剛石を含む榴輝岩中のオレンジ色のものは $\text{Na}_2\text{O } 0.09\sim0.22\%$ であるが変成岩源および無金剛石橄欖岩中のものは0.01～0.07%と低いという⁸⁹⁾。

⑥ 金剛石中の柘榴石 金剛石中に含まれるものは CaO 少なく Cr_2O_3 高く (17.3%)¹¹²⁾ キン岩中のものとは異なる^{52, 76, 88, 112)}。多量にあるのは赤色系含 Cr パイロープでオレンジ色アルマンデン系のものは少ない^{74, 75, 81, 90)}。色彩別では次のようになる。

赤色種	Cr_2O_3 5.85～12.6%, $N=1,758\sim1,783$, $a_0=11,500\sim11,542\text{\AA}$ ⁷⁵⁾
オレンジ種	0.04～0.06%, 1,739～1,768, 11,523～11,651 $\text{\AA}$ ⁷⁵⁾
ライラック種	6.08～15.9%, 1,753～1,790, 11,620 $\text{\AA}$ ⁸⁸⁾

金剛石中のものは低石灰種 ($\text{CaO } 0.93\sim3.10\%$) となっているが^{52, 75, 112)}, ソ連産で帯青堇色 $\text{CaO } 13\%$ と高いものがあり⁹¹⁾ 榴輝岩源と考えられる⁷⁵⁾。ライラック色のものは従来は金剛石中のみ報告されたが鉍筒中にも報告されたのは注目すべきである⁵²⁾。

⑦ 探査目標としての柘榴石 金剛石の随伴鉍物として赤紫色、特に堇色～ライラック色のものが最も有望で緑色～黄褐色のものはキン岩探査の目安にはなるが有望鉍床の追跡には如何と思われる^{52, 81)}。前記キン岩の経済的分類の場合、黒字型中の柘榴石は赤～紫色で $N=1,760\sim1,780$, その色彩も殆んど均一だが赤字型に移行すると色彩も複雑となり屈折率も $N>1.80$ と高くなり Cr_2O_3 を大量に含むものは有利なキン岩ではないという⁵⁴⁾。ソ連では $N=1,750$ 以上を目標とし⁷⁶⁾ その

$\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比で含金剛石量推定の資料としている⁹²⁾。パイロープの Cr_2O_3 含量の推定には加熱変色法があり, Cr_2O_3 2.5% 以上のものは含量増大と共に色彩変換温度が低くなる現象を用いる。赤色から緑色に変化するものが3.0%で380°C, 7.5%で130°C という⁹³⁾。

(4) 金剛石

天然産には結晶形をなすものと微細な晶子の集合体とがある。後者は円粒状, 暗灰～黒色のカーボナード, バラス等と呼ばれるもので^{94, 95)}, ソ連産のものでキン岩と関係ないとされたものもある⁹⁵⁾。これらはもちろん工業用であるが結晶をなすものも色彩不良, 傷あり, 包有物多く, 宝石用に研磨不適の大きさ (1/20Ct. 以下) のものは工業用となる。大体山元で工業用と宝石用に選別する⁹⁶⁾。合成金剛石は大きさは0.01～0.5mm が大部分で工業用とするが G.E. 社では直径6mm の宝石用の合成に成功した⁹⁷⁾。金剛石の物理性に関しては砂川教授の著書⁹⁸⁾に詳しいので簡単な補足説明に止める。

⑧ 結晶形 等軸系で八面体, 斜方二面体が最も多く六面体は少ない。稀に六方系片状のものがある⁹⁹⁾。ソ連では卓状地の中心部の岩筒には八面体が多く¹⁰⁰⁾ 周辺の岩脈には十二面体を⁶⁴⁾, 中間にはその混合型が産し帯状分布が見られるという^{100a)}。その結晶面が彎曲するのが特徴で, 稜は丸みを持つが時にはソ連 Mir のように結晶の21%が鋭稜を持つ事がある⁹⁶⁾。八面体の面上には微細な逆三角形の凹み (トライゴン) があり⁹⁸⁾, 溝を生じ (Striated) 一面に平行な層状構造を呈する事がある⁹⁹⁾。産地毎にまた鉍床毎に結晶の晶相とその比率は変化し色彩, 包有物, 粒度等も変化するが粒度分布は深さにより大体一定している⁹⁶⁾。野外での分類は八面体, 十二面体, 板状十二面体 (Flat) 卓状双晶体 (Macle) 集合体, 貫入双晶 (Aggregate), 不定形, 破片 (Irregular) 等とし¹⁰¹⁾ 毀れていない原石を Stone と称する。

⑨ 堅さ モース硬度10で堅さでの代用品はない。南アデビアス社研究所で南西阿砂鉍床産宝石用結晶とザイル産低品質ボルトをボールミルで磨耗試験を行なった。ボルトは7時間で消滅したが宝石用は950時間を経て0.01%の減量が認めら

れたのに過ぎなかった¹⁰²⁾。

④ 比重 純粋なものは $G=3.51$ となっているがカーボナード等では $G=3.2\sim 3.3$ で孔隙率6.2%のものがある¹⁰³⁾。八面体なら稜長4.23mmで1 Ct. 六面体なら1辺3.9mmで1 Ct. になるが、カーボナードでは直径8~12mmで20Ct. と

Mir 鉾筒中粒度分布 (I.D. No. 2, p. 109)

4 mm以上 (0.7 Ct. 以上)	1~2%
2~4 mm (0.35 ~0.7 Ct.)	15~20%
1~2 mm (0.175~0.35 Ct.)	50~60%
1 mm以下 (0.175 Ct. 以下)	10%

なる。通常は篩で分粒し、網上個数当り重量を測る¹⁰¹⁾。南西阿の砂鉾床では20ケ/Ct. という細かいものを採っているが探査の場合には40ケ/Ct. の微細なものの確認が必要である¹⁰⁴⁾。現在の金剛石総生産額を見ると2 Ct. 以上のものの産出は3%以下と甚だ少なく¹⁰⁵⁾ 稀小価値を生ずる訳である。

④ 色彩 白~灰~黄~褐~赤~緑~青~黒等の濃淡の色彩を呈するが宝石用には淡灰~白~帯淡青色が主で、まず使えるのは淡黄~淡緑~極淡褐色であり褐色暗色以下のものは工業用とする。ただカナリヤ黄、赤、緑、青色で澄明なものは稀産で珍重される。宝石用の規格は⁹⁸⁾省略するが、色彩のみで8~9段階、明澄度にも5~8段階があり、品質の鑑定は熟練の技師でなければ難かしい。但し現在は宝石用にならないものでも変色技術が向上して宝石用に格上げ出来るようになったので注意が必要である^{98, 165)}。なお無色~淡褐色のザーコンは金剛石と容易に見誤られる¹⁶⁾。

⑥ 光学性 屈折率は $N=2.475$ (Na) で光の分散が強く、ブリリアント型に磨いたものが最もその特質を発揮し、チカチカと7色の燦き (Fire) を生ずる。チタニヤ等では黄色反射が甚しくなる。

① 不純物 鉾物質包有物^{74, 75, 76, 90, 106, 107)}のうちで多いのは橄欖石、柘榴石等で石墨は黒色片状となる。これらは小さいものが4~5ヶまでなら宝石用となる。なお不純物としての吸蔵ガスは窒素が主で、0.23%まで含むものをI型、含まないものをII型と呼び紫外線の吸収度が異なり⁹⁸⁾ 発光性も異なる¹⁰⁸⁾。

⑧ 発光性 X線及び紫外線を照射すると発光する¹⁰⁸⁾。紫外線では黄、緑、青と発光する (I型に多い) が全く発光しないものを混ずる場合もあり、よく見ると極めて微弱な発光を見逃している事もある¹¹⁰⁾。また輝黄色の発光をするザーコンと見誤る事がある^{18, 204)}。

⑨ 撥水性 金剛石の新鮮破面は撥水性がないが^{29a)} 結晶表面は水には濡れず、グリース等には密着する。この性質は1896年キンバリーで偶然零れ落ちた精鉾中の金剛石のみが車の車軸グリースに附着した事から判ったもので¹⁰²⁾ 現在の選鉾場では総てグリース板なりグリースベルト等を用いて捕収する。南西阿砂鉾床産等のもので結晶表面に塩類、含鉄分等の被膜のあるものは水に濡れるので予め前処理をして撥水性を持たせる^{29, 111)}。また被膜に覆われたものは螢光を発しないので^{21a)} 鑑定には注意が必要である。

(5) 橄欖石

円~楕円形で2 cm に達する巨晶と石基中に自形だが殆んど蛇紋石 (アンチゴライト) に交代されたものとの2時代のものから成るが⁸⁰⁾ 比重¹⁸⁾、組成^{74, 18)}、金剛石中の包有物との差異等¹¹²⁾ に就いては省略する。

(6) 輝石類

キン岩の重選精鉾 ($G>2.9$, 径1~2 mm) 中には灰色低石灰質透輝石⁸⁾、淡草緑色頑火輝石、烟褐色古銅輝石、暗瓶緑色透輝石、輝エメラルド緑~鮮緑色クロム透輝石 ($G=3.25\sim 3.30$, Cr_2O_3 0.92~6.82%¹⁸⁾)、暗帯灰緑色翠輝石 (Na_2O 1.17 120)~6.82%⁹⁰⁾) 等がある。特にクロム透輝石は重要で金剛石の包有物では Cr_2O_3 11.8% に及ぶものがある¹¹²⁾。

(7) ザーコン

ザーコンのキン岩中含量は多いもので1 g/t と いわれるが¹⁶⁾ Orapa のように50g/t を示す事もあり¹¹³⁾、比重大 ($G=4.5\sim 4.7$) なので重選で濃集するのは容易である。産状は稀に団塊 (チタン鉄鉾との共生を含む)⁷⁴⁾ をなすが、通常は基質中に分散し自形は稀で円形~亜円形をなし、液体包有物に富み、劈開は通常貧弱だがキン岩中のものは数方向の劈開に富む特徴がある。色は無色~白~淡オレンジ~淡褐⁷⁸⁾ となり、表面には厚さ0.2~

0.5mm の帯灰～白～帯黄～帯褐色霜状模様を呈する被膜を生じる。その被膜の組成で無金剛石キン岩と含金剛石岩の判定可能な事が示された¹¹⁸⁾。金剛石とザーコンは負の相関性を示し⁵⁴⁾、ザーコンの含ウラン量では花崗岩産との区別は可能である¹¹⁸⁾。

IV. 金剛石鉱床

金剛石は火成鉱床としてキン岩の岩筒、岩脈中に産し、これらが風化浸蝕作用を受けて運搬堆積されて旧期砂岩礫岩層、現世の河岸～海岸段丘、河床～海底砂礫層中に濃集する。キン岩中の榴輝岩団塊にはしばしば金剛石を産するが^{114, 115)} 橄欖岩団塊中にはレソトおよび北米で各1例しか見られない^{116, 116a)}。キン岩以外の火成岩としては先寒武系榴輝岩¹¹⁷⁾、中生代オフィオライトの橄欖岩¹¹⁸⁾、白榴石ランプロアイト^{30, 35)}、新期アルカリ玄武岩中の角礫岩岩筒¹¹⁹⁾、含霞石アルカリ玄武岩^{100a)}に産するがいずれも稼行されてはいない。ただ貫入性榴輝岩は金剛石の包蔵可能性が大きいとして注目されている¹²⁰⁾。旧期礫岩層で最古のものは南アランド地方の含金礫岩層中のもので26億年前という¹²¹⁾。金剛石の産額としては砂鉱床産が多くキン岩産は1972年で24.3%を占めるに留まる¹⁰⁵⁾。

(1) キン岩鉱床

㊸ 産地 世界各地ではほぼ1,500本のキン岩岩筒が発見されているが³⁴⁾その産地には甚だしい特質がある。ソ連では大陸の卓状地～橋状地の中心部と周辺部に限られ^{1, 82)}卓状地の上昇中心部に限られるともいう^{15, 80)}。アフリカではサハラ砂漠以南、15億年前から安定している4地塊の周縁で¹²²⁾レソト等では18億年前の旧期安定地塊に限られる⁷⁾。これら地塊を囲繞する11億年前以後の新期地帯では低品位か無品位のものとなるという¹²²⁾。地域的にはこれら地塊の上昇波曲部、また甚だしく張開した地溝中に産する¹²³⁾。旧期安定地塊は低熱流量地域で^{85, 124)}上部マントル温度が最低かつ地温勾配も最低の部分である⁸⁵⁾。従来はキン岩は造山地帯には関係がなく、安定地塊のみに産するといわれたが最近では褶曲山脈地帯にも^{119, 125, 126)}産し、島弧中にもキン岩質岩種が報告

された⁶⁶⁾。ただし鉱床として稼行されているのは安定地塊中のものに限られる。安定地塊外でのキン岩の成因も考えられてはいる⁸⁵⁾。最近のプレートテクトニクスで南阿の産状を説明するとケープ州の褶曲山脈地帯に平行した内陸部で200～800kmの範囲にキン岩群が分布するのが可能としたが¹²⁴⁾、中心部の高品位鉱床群から周辺の低～無品位岩筒の発達する累帯分布説からの反論もあり⁴⁶⁾一致した結論はまだ出ていない。キン岩岩石区の特徴としては広大な玄武岩流を伴い^{80, 124, 127)}またアルカリ岩^{28, 61)}、カーボナタイト^{25, 30, 61, 123, 124, 128)}を伴うが、特にアルカリ玄武岩の産する場合は含金剛石キン岩の潜在が見込まれるという²⁸⁾。

㊹ 分布 ソ連では卓状地の中心部には含金剛石キン岩の岩筒が多く周辺部には無金剛石キン岩脈が分布する帯状分布をなし、中心部の岩筒は径の大きい程品位良好であり^{55, 100a)}周辺は急速に劣化する事が判明した¹³²⁾。南阿では上記したようにキンバリー地区を中心として周辺のO.F.S.州、ボツワナ、レソトと品位低下し^{47, 121)}熱流量資料に関係があるとされた¹²¹⁾。なおキンバリーを中心として半径40哩以内には6枚のキン岩岩床があり金剛石を含有するが稼行不能である¹³³⁾。岩筒も岩脈も群生する事が多くClusterなりSwarmとなる。岩筒の場合は間隔数10m～数km以上で群生し^{9, 61, 129, 130)}規模は径数mの小さいものから大は3,500×5,000呎¹³¹⁾となり、しばしば直線上に配列されいづれも直立し下細りになっている。岩脈も平行脈、エシェロン状配列をして^{7, 15, 25, 26)}幅6吋～30呎と細いが延長部、深部に続くのが特徴で、長さ2哩も続くものがある²⁵⁾。南阿での鉱筒の採掘はキンバリー地区で地下1,032m¹²¹⁾～4,000呎¹⁰⁷⁾鉱脈では850呎²⁶⁾～1,100呎²⁴⁾で行われ幅6吋以下は採掘しない²⁶⁾。岩体の規模は玄武岩質キン岩の方が雲母質キン岩のものより大きく特に岩脈には雲母質のものが多い^{64, 128)}。ソ連では貫入相の岩脈や角礫の少ない塊状キン岩は有望でない¹⁾と見ていたが岩脈にも金剛石が産する事が判った⁶⁴⁾。

㊺ 品位 岩筒の上部は表土、残留土壌、堆積性黄土盤、黄土盤等から成り、これらの土壌部

	鉱 山 名	処 理 量	品位(Ct/100t)	品 質	処理費	文 献
鉾筒露天掘	Orapa(南阿)	280万t/Y(73)	85.84Ct./100t	宝石用10%	1\$95/t	(WM 74.7)
	Finsch	336万t/Y(73)	74.18Ct./100t	" 25%	1\$75/t	(" ")
	Koffiefontein	360万t/Y(73)	10.36Ct./100t	" 40%	1\$82/t	(" ")
	Mwadui(タンザニア)	317万t/Y(75)	12.62Ct./100t	平均価格 379.93\$/Ct. ≒55\$7/Ct.	—	海鉾情 76.10
	Majhgawang(インド)	400万t/d(70)	10Ct./100t	宝石用80%	—	(WM 71.6)
坑 内 掘	Premier	723万t/Y(73)	36.60Ct./100t	" 20%	1\$88/t	(WM 74.7)
	Jagersfontein	56万t/Y(71)	3.87Ct./100t	—	1R91/t	(EMJ 72.11)
	Dutoitspan	180万t/Y(73)	14.46Ct./100t	—	2\$91/t	(WM 74.7)
鉾脈坑内掘	Helam	3万t/M(64)	260Ct./100t	宝石用35%	—	(24)
	Star	10万t/Y(60)	38.33Ct./100t	—	5\$50/t	(26)

(R=Rand÷1.15 \$)

分には金剛石の残留富化が見られて2~2.5Ct./m³¹²⁹⁾, 残留黄土盤で63Ct./100t⁷⁵⁾, 黄土盤で21~33Ct./100t⁷⁶⁾を示すが, 青盤以下になれば数分の1に低下する^{26, 105)}。鉾筒内の金剛石はキン岩基中に結晶として産し, 分布は不規則で, 貫入時期の異なる岩体で品位が数倍も異なるため¹³⁴⁾, 水平的品位の変化は上下方向の変化より激しく, また下部では金剛石の品質が落ち, 粒度も小となる¹³⁴⁾。シベリア Mir では300m 下がって品位が10%下がった例があり, (I. D. No. 2 p. 108) 南阿でも1,870呎下がって品位が1/4になった例がある⁶⁾。特に大粒宝石用のものの分布が疎らであるが, 微粒工業用の分布はほぼ一様で採掘時には安定した操業が可能である¹³⁵⁾。鉾脈の場合は母岩が変化しても鉾況には変化がない²⁶⁾。なおキン岩中の雲母の増量と共に品位は低下し, 八面体結晶が少なくなる例がある¹³⁶⁾, 次に現在稼行中の主要鉾山の品位の一部を挙げる(上表参照)。

最近レソト Letseng-la-Terae 鉾筒の開発をデビアス社が実施している(M. J. 77.4.29. p. 335)。この鉾床は1968年からR.T.Exp. 社が坑道探鉾を行ない試料8万tを処理して⁷⁷⁾400万\$を投入したが品位低くインフラ不整備として72年放棄したもので, 57~68年間に実績として62,000Ct. 産出し最大のものは601Ct. あった。デビアス社が大粒宝石用の潜在を見込んで開発に踏み切ったのはJagersfontein の経験によるものである。大体4~5Ct./100 Loads 以上あれば充分検討に値する

し, 処理量は兎も角として小規模探鉾で100Ct. 回収出来れば利益の出る可能性ありとして前進すべきであるという¹³⁷⁾。

④ 品質 鉾床の評価は品位のみでは不充分で宝石用と工業用の比率, 粒度等が品質判定の基準となり従ってCt. 当たりの価格に関係する。マデガワン鉾山は²¹⁾品位は高くはないが宝石用が80%と高く, 附近の凝灰岩中から産するものは10~20ヶ/Ct. であるがキン岩中からののは時に1ヶ4~5Ct. 普通2~3Ct. のものが出る。重量が2倍になれば価格は4倍以上になり⁹⁸⁾かつ工業用は宝石用の1/4以下の価格に過ぎない。金剛石の価格体系は原石でも複雑で, 専門家でなければ価格推定は難しいので公表された原石平均価格を次に示す(p. 37上表参照)。

日本の輸入平均価格は1975年度粒度は発表していないが宝石用で66,085円/Ct. 加工宝石104,548円/Ct., 工業用5,193円/Ct. で合成金剛石は822円/Ct. であった。1974年の工業用金剛石は4~65\$/Ct., 合成で2.07\$/Ct. であるが¹⁶⁵⁾近く日本で合成金剛石産額が400万Ct./Yになれば1\$/Ct. の目標値も達せられる見込みといわれている。

(2) 堆積鉾床

④ 産地 キン岩中の鉾床から重鉾物が運搬堆積されて砂鉾床となるがその生成時代は先寒武紀から現世にまで及んでいる。先寒武系のもものは原生代下部から上部にわたり¹³⁸⁾南阿・南米・印度・西豪等にあるが稼行可能なのは印度, ブラジ

シエラレオン産(71年)	宝 石 用	3 ~ 5 ケ/Ct.	121\$20/Ct.
	工 業 用	—	4\$22/Ct.
(D.N.S.A.J. 76.0 Ct.)			
南 阿 Minestone (76)	—	—	51R21/Ct.
南西阿 Alluvialstone (77)	—	—	89R17/Ct.
(D.N.S.A.J. 77. March)			
南 阿 Orapa (72)	宝石用 10% を含む	—	9\$30~10\$80/Ct.
	(M.J. June, 2.)		

ル等である¹³⁸⁾。ベネズエラではその根元と見られる先寒武系基底礫岩層は偽層等から流走方向を推定すると大西洋東岸からの由来を示しているという¹³⁹⁾。砂鉱床が出来るまでには各地共深く浸蝕作用が行なわれ、南阿で3,000呎¹²¹⁾シエラレオンで1,000呎^{21a)}の削剝運搬が行なわれた。旧河床等に堆積したものは現在の流路とは無関係に分布し、急流～奔流の流路中に形成され⁶¹⁾高品位部は基底部^{139,140)} また流路中の 割目部分、 欧穴部等にある¹⁴¹⁾。ソ連では海岸砂層、三角洲、河床中のものに分類し¹³⁸⁾ 河床生成のものが品位高く、その発達する部位は陸背斜が陸向斜または褶曲底部と

交叉する部分に当り浸蝕作用と堆積作用がほぼ平衡を保った場所にあたるという¹⁴²⁾。またその分布は陸背斜を圍繞する帯状分布をなしブラジル、ザイール等でも同様の関係があるという¹⁴²⁾。

⑤ 随伴鉱物 主なものはチタン鉄鉱パイロープ等であるが地域により特有な指示鉱物と称されるものがある。南東カリマンタン¹⁴³⁾、シエラレオン¹⁴⁰⁾の灰青色綱玉、中央アフリカ¹⁰³⁾の褐～黄色ゴルサイ石 (Gorceixite) 帯黄色フロレンス石、ベネズエラの針状酸化鉄鉱¹³⁹⁾ 等である。指示鉱物ではないが南西阿海岸段丘砂鉱床で砂鉱床上部の定位置に牡蠣貝殻の集積部があり鍵層をな

国 名	処 理 量	品 位	品 質	処理費	文 献	
ア ン ゴ ラ	414万m³/Y (71)	0.58Ct./m³	宝石用 5.4ヶ/Ct.	—	M.J.72.9.8	
ザ イ ー ル	387万m³/Y (72)	2.57 Ct./m³ (71)	宝石用 10%以下	—	M.J.73.5.25 W.M.71.7	
ガ ー ナ	77.480yd³/M (70)	1.52 Ct./yd³	—	—	9.C.M.M.C Vol.1	
シエラレオン	115万m³/Y (71)	0.8 Ct./m³	G.D 30万Ct./Y I.D 74万Ct./Y	—	DNSJA 76.10.	
南西阿海岸	段 丘	536万m³/Y (69)	0.32 Ct./m³	G.D のみ	3\$30/m³	I.D.A.71
	海 浜	—	—	G.D124,649Ct.	—	〃
ブラジル	海 底	17万m³/Y (68)	1.10 Ct./m³	G.D のみ	34\$71/m³	W.M.68.10
	計 画	300万m³/Y (64)	0.014Ct./m³	20\$/Ct.	—	M.J.64.8.7
ベネズエラ	110万m³/Y (70)	0.4~0.7 Ct./m³	G.D18万Ct. I.D17万Ct. ボルツ19万Ct. 平均£5.49/Ct.	—	M.J.71.4.2	
イ ン ド	含ダイ礫岩 厚さ4呎	225,000t/Y (70)	5 Ct./100 t	—	—	W.M.71.6
南東カリマン タン	—	1Ct./m³(42) Pt+Au 3Ct./m³	—	—	—	(144)

している (I.D. No. 2 p.49-50)。この海岸砂鉱床はオレンヂ河の河口の南北に各 200哩、内陸部に幅 2 哩の範囲を占め、現世海岸砂鉱床から海底砂鉱床に連続し、品質は前記のように優秀だが河口を遠ざかると共に粒度は小となる¹⁴¹⁾。

◎ 品位 各地の砂鉱床の品位は次の様である (p. 37 下表参照)。南アキンバリー地域を貫流するオレンヂ河流域は砂鉱床の 1917 年から 65 年までの産額を調べると試掘～採掘鉱区計 1,000 鉱区から 4,000 Ct./月程度を産していたが、採掘期間中に 200 Ct. 以下の産額しか示さぬものは鉱区が放棄され採掘鉱区でも、埋蔵量 2,000 Ct. (3 万 \$) 以下のものは操業不能となったという¹⁴⁵⁾。

(3) 処理

上記鉱床の処理は鉱山業の分野となる。鉱山業の妙味は鉱床の確保、稼行にあり、鉱石の買鉱製錬等の加工賃稼ぎは収益の面からは二の次と云える。その失敗も成功も第 1 の条件としては試料採取による鉱量品位の推定であり技術者には最も誠実な人物が必要となる。その試料採取まで実施するか否かは予察する技師の技術と経験による判定に俟つ訳である。Orapa 鉱山の場合は調査期間 12 年 (採鉱費 226 万 £) 起業費 844 万 £ を投入し 230 万 t/Y 処理選鉱場を建設、露天掘りで年間収益 800 万 £ を見込んで 72 年開山した⁸⁰⁾。通常鉱筒の上部は露天掘り^{29, 134)} (Finsch 鉱山工程 450t/工) その下部はブロックケービング法で坑内採掘を行なう^{6, 130, 134)} (工程 17t/工¹³⁰⁾)。鉱脈はシュリンケージ法または下向階段法等で採掘する^{24, 26)}。坑内採掘では乾式鑿岩が原則なので粉塵の処置が問題であったが最近では分散剤を用いて効果を挙げており¹³⁴⁾ かつ発破に際しては金剛石結晶を傷めぬよう細心の注意が必要となる^{26, 146)}。選鉱では過粉碎せぬように注意し、選鉱実収率は 90~95% である²⁹⁾。露天掘りで大規模剥土が行われているのは南西阿海岸段丘上の被覆層で厚さ 40~70 呎である^{102, 104, 147)}。河底、海底の砂礫鉱床は水深 200 呎程度までは吸引浚渫機を用い、またエアリフトポンプを用いる^{139, 141)}。採掘鉱石は比重選鉱法で重鉱物のみの粗精鉱を採る。当初は黄土盤を混ぜた粘土水で鉱石を攪拌する Rotary Pan を用いたが

現在はジグ重液サイクロン等を用い、グリースベルトで金剛石粗精鉱とし更に X 線選別機 (色彩選別機) などで精鉱とし最後は手選する。Finsch 鉱山の場合粗鉱 1 万 t/d から粘土槽後は 300 t に減量、重液選別後 50 t、グリースベルト後 0.5 t、色彩選別機後 60 lb. の精鉱とし、手選で 3 lb. の金剛石を採りその採取比率は 666 万の 1 分である²⁹⁾。選鉱用水は処理量の 1.5 倍 (Orapa M. M. 71. Jan) から 3.5 倍 (Helam²⁴⁾) で前者は湿地帯に堰堤を築き後者では 80 哩の配管取水をしている。

V. 要 旨

金剛石の用途では特に工業用の増加が著しいが最近米国鉱山局が 1985 年度の工業用金剛石の需要予想を行った。これによると年間 4.2% の成長率と推定して米国需要は合成生産予想 2,770 万 Ct. を含めて 3,700 万 Ct.、米国以外の需要は 8,000 万 Ct. と見ている。その推定累積量は龐大なもの (9~10 億 Ct.) となり 76 年度の工業用天然金剛石の埋蔵量 6 億 8,000 万 Ct. (内ザイール 5 億 Ct.) では天然資源の涸渇を招くのではないかと憂えている¹⁶⁵⁾。米国同様に資源の無い日本にとっても、深刻な問題である。ただし 2000 年に於ける米国合成金剛石の生産予想は 4,280 万 Ct. としてあり、これを更に繰り上げる可能性もあり、85 年には合成で 25 目以上の大粒のものの生産も期待されている。最近の価格は宝石用は上昇し続け、工業用は下落しつつあり、需要に生産が間に合わなければ当然価格は上昇し、新鉱床の探査は加速され、合成工場の増設も行われると見られる。新鉱床の発見は 20 世紀初頭のような明るい見通しは持てないがなお期待は可能と考える。従って今後の工業用金剛石の需要増に対しては合成技術の発展と共に物探化探を併用した地質調査の進展如何に係るものであろう。なおキン岩及び金剛石鉱床の探査として探査地域、探査方法、賦存率等に就いては別の機会を得て発表する心算である。

最後に秋田大学の由井助教授からはキン岩等の試料、また NIXON 著 “Lesotho Kimberlite” を借覽させて戴いたのでここに御礼申し上げる。

引用文献

- 1) DAWSON, J. B. (1967) : A review of the geology of Kimberlites in ultramafic & related rocks, Edit. by P.J. WYLLIE, 241-251.
- 2) EDWARDS, C. B. et. al. (1966) : Kimberlites in Tanganyika, with special reference to the Mwadui occurrences. *Econ. Geol.* No. 3, 537-554.
- 3) WILSON, A. N. (1966) : The discovery of diamonds. *S. A. Min. Eng. Jour*, Apr. 8, 778-782.
- 4) KENNEDY, G. C. et. al. (1968) : The genesis of diamond deposits. *Econ. Geol.* No. 5, 495-503.
- 5) DAWSON, J. B. (1971) : The genesis of kimberlite. *Diam. Research 1971, Ind. Diam. Rev.* Nov. 2-7.
- 6) STUCKE, H. J. (1965) : Dropping down to a new block caving level at Jagersfontein. *Jour. S. A. Inst. Min. Met.* May 524-550.
- 7) NIXON, P. H. et al. (1973) : The evidence of kimberlite & it's inclusions on the constitution of the outer part of the earth in Lesotho kimberlites, Edit. by P. H. NIXON, Lesotho National Dev. Corp. 312-318.
- 7a) WHITELOCK, T. K. : The monastery mine. 214-220.
- 7b) NIXON, P. H. : The geology of Mothae etc. 39-47.
- 7c) NIXON, P. H. et al. : Butha Butha dyke swarm. 197-200.
- 7d) BOYD, F. R. et al. : Origin of the ilmenite-silicate nodules. 254-268.
- 7e) HORNUNG, G. et al. : Chemical variations in the knorringite rich garnets. 122-127.
- 7f) KRESTEN, P. : The coating of kimberlitic zircons. 220-223.
- 7g) FERGUSON, J. : Petrochemistry of kimberlite autoliths. 285-293.
- 7h) HAGGERTY, S. E. : Spinel of unique composition associated with ilmenite reactions in the Lihobong kimberlite pipe, Lesotho. 149-158.
- 7i) BLOOMER, A. G. et al. : The geology of Letsengla-Terae kimberlite pipes. 20-36.
- 8) MCCALLUM, M. E. (1976) : An emplacement model to explain contrasting mineral assemblages in adjacent kimberlite pipes. *Jour. Geol.* No. 6, 673-684.
- 9) MCGETCHIN, T. R. (1973) : Carbonate-Kimberlite relations in the Cane Valley diatreme, San Juan County, Utah. *Jour. Geophysics. Res.* 68(11), 1854-1869.
- 10) DAWSON, J. B. et al. (1973) : Magmatic sedimentation and carbonatitic differentiation in kimberlite sills at Benfontein, S. A. *Jour. Geol. Soc. London*, 129(1), 61-85.
- 11) DAWSON, J. B. (1971) : Intrusion features of some hypabyssal South African kimberlites. *Bull. Volc.* 34(3), 740-757.
- 12) MCGREGOR, I. D. (1970) : Hypothesis for the origin of kimberlite. *Min. Soc. Am. spec. pap.* No. 3, 51-62.
- 13) LAZKO, Ye. Ye. (1975) : Structural characteristics of certain minerals in kimberlite as evidence of deepseated evaluation of the ultrabasic melt. *Int. Geol. Rev.* No. 4, 373-381.
- 14) ILUPIN, I. P. (1974) : New data on the relationship between chemical & mineral compositions of kimberlites. *Dokl. E. Sci.* 217, 153-155.
- 15) MITCHEL, R. H. et al. (1973) : Kimberlite from Somerset Island, N.W.T. *Can. Jour. E. Sci.* No. 3, 384-393.
- 15a) MITCHEL, R. H. et al. (1975) : Geology, magnetic expression & structural control of the central Somerset Island kimberlite *Can. Jour. E. Sci.* No. 5, 757-764.
- 16) ARTSYBASHEVA, T. F. et al. (1964) : The problem of the classification of the Yakutian kimberlite. *Int. Geol. Rev.* No. 10, 1773-1781.
- 17) NIXON, P. H. (1973) : Kimberlitic volcanoes in East Africa. *Ov. Geol. Min. Res.* 41, 119-138.
- 18) NIXON, P. H. et al. (1963) : Kimberlites & associated inclusions of Basutoland : Mineralogical & geochemical study. *Am. Min.* No. 9-10, 1090-1132.
- 19) RUOTSALA, A. P. (1975) : Alteration of the Finsch kimberlite pipe, South Afr. *Econ.*

- Geol.* No. 3, 587-590.
- 20) DANCHIN, R. V. et al. (1972) : Chromian spinell exsolution lamella in ilmenite from the Premier Mine, Transvaal, South Afr. *Cont. Min. Pet.* 35(1), 43-49.
 - 21) GRANTHAM, D. R. (1964) : The diamond deposits of Panna, central India. *Ind. Diam. Rev.* No. 2, 30-35.
 - 21a) GRANTHAM, D. R. (1960) : Kimberlites in Sierra Leone. *Ov. Geol. Min. Res.* 8(1), 5-25.
 - 22) FAIRBAIRN, P. E. (1966) : Stages in the tropical weathering of kimberlites. *Clay Mineral.* No. 4, 351-370.
 - 23) ROZHKOV, I. S. et al. (1969) : ヤクトキンバリー岩パイプの古期風化殻. *Dokl. Akad. Nauk.* 188(5), 1130-1133.
 - 24) TOWNE, W. B. F. (1965) : Exploiting kimberlite fissures in the western Transvaal. *S. A. Min. Eng. Jour.* July 2, 1538-1548.
 - 25) DAWSON, J. B. (1962) : Basutoland kimberlites. *Bul. Geol. Soc. Am.* No. 5, 545-560.
 - 26) ALLAN, H. F. (1961) : Mining a vertical kimberlite fissure at Star Diamonds Ltd. *Jour. S. A. Inst. Min. Met. Jan.* 310-318.
 - 27) MEYER, H. O. A. (1976) : Kimberlites of the continental United States. *Jour. Geol.* No. 4, 377-403.
 - 28) GONSHAKOVA, V. I. (1969) : Volcanic pipes & dikes of kimberlitic rock on the Russian platform. *Int. Geol. Rev.* No. 1, 60-73.
 - 29) LOFTUS, W. B. et al (1969) : Mining & treatment practice at the Finsch Mine, De Beers Cons. Mines. *Jour. S. A. Inst. Min. Met. March.* 364-407.
 - 29a) *Discussion.* Aug. 26-31.
 - 30) MITCHELL, R. H. (1970) : Kimberlites & related rocks. *Jour. Geol.* No. 6, 686-704.
 - 31) 青木謙一郎 (1974) : キンバリー岩の巡検旅行, 岩鉱, No. 3, 121-127.
 - 32) TROFIMOV, V. S. (1971) : The meaning of kimberlite. *Int. Geol. Rev.* No. 11, 1652-1656.
 - 33) DAWSON, J. B. (1967) : Geochemistry & Origin of kimberlite in Ultramafic & related rocks. Edit. by P. J. WYLLIE, 269-278.
 - 34) PAUL, D. K. et al. (1975) : Chemical characteristics & K-Ar ages of Indian kimberlite. *Geol. Soc. Am. Bull.* No. 3, 364-366.
 - 34a) PAUL, D. K. et al. (1975) : Rare earths abundances in Indian kimberlite. *E. Plan. Sci. Let.* 25(2), 151-8.
 - 35) HARRIS, P. G. et al. (1970) : The evolution of kimberlites. *Lithos* 3(1) : 77-88.
 - 36) LITINSKY, V. A. (1961) : On the content of Ni, Cr, Ti, Nb & some other elements in kimberlite & the possibility of geochemical prospecting for kimberlite bodies. *Geochem. Int.* No. 9, 813-821.
 - 37) McGETCHIN, T. R. et al. (1970) : Compositional relations in minerals from kimberlite & related rocks in the Moses Rock Dike, San Juan Cty., Utah. *Am. Min.* No. 9-10, 1738-1771.
 - 38) BORLEY, G. D. (1975) : Stressed pyroxenite nodules from the Jagersfontein kimberlite. *Miner. Mag.* 40(309), 6-12.
 - 39) RICKWOOD, P. C. et al. (1968) : A study of garnets from eclogites & peridotite xenoliths found in kimberlite. *Cont. Min. Pet.* 19(4), 271-301.
 - 40) ILUPIN, I. P. (1974) : The pyroxene-ilmenite graphic inclusions from the Mir kimberlite pipe & their origin. *Int. Geol. Rev. Nov.* 1298-1365.
 - 41) RINGWOOD, A. E. et al. (1970) : Significance of pyroxene-ilmenite intergrowth among kimberlite xenoliths. *E. Plan. Sci. Let.* 7(4), 371-375.
 - 42) MALICH, N. S. et al. (1976) : Distribution patterns of mineral resources in the Siberian platform cover. *Int. Geol. Rev.* No. 4, 417-424.
 - 43) BROOKINS, G. D. (1969) : Possible age of crystallization of pyrope from the Stockdale kimberlite, Kansas, U.S.A. *Geochem. Jour.* 3(2-3), 135-40.
 - 44) MIKHEYENKO, V. I. (1974) : Age of kimberlite bodies of the Siberian platform. *Dokl.*

- E. Sci.* **217**, 52-54.
- 45) BORLEY, G. D. (1975) : Mantle deformation beneath the South African & Siberian plate-forms. *Nature*, **254**(5500), 489-491.
- 46) GURNEY, J. J. et al. (1975) : Discuss. of "A plate tectonic origin for diamond bearing kimberlite" *E. Plan. Sci. Let.* **27**(2), 356-358.
- 47) JAMES, T. C. (1965) : Diamantiferous diatremes. *Econ. Geol.* No. 5, 1073-1080.
- 48) FRICK, C. (1972) : The garnets in kimberlite and in the associated griquaité & ultramafic nodules. *Cont. Min. Pet.* **35**(1), 63-76.
- 49) BLAGULBKIN, A. B. (1974) : キンバリー岩中の幾つかの包有物とそのダイヤモンド包蔵性との関係, *Sov. Geol.* No. 4, 科技文速 56028151.
- 50) ROVSHA, V. S. (1971) : Mineralogical screening tests for the diamond potential of Yakutian kimberlite. *Dokl. E. Sci.* **201**, 185-188.
- 51) FRANTSESSON, YE. V. (1973) : Chemical factor & mineralogical criteria of the kimberlite rock capacity in diamond. *Izv. Acad. Sci. G.S.* No. 9, 89-96.
- 52) GURNEY, J. J. et al. (1973) : The discovery of garnets closely related to diamonds in Finsch pipe, S. A. *Cont. Min. Pet.* **39**(2), 103-106.
- 53) KHARKIEV, A. D. (1975) : The subcrustal (protomagmatic) stage of mineral crystallization in kimberlites & the relation to possible presence of diamond. *Izv. Akad. Sci. G. S.* No. 1, 14-23, 科技文速 G 75122003.
- 54) SNYMAN, C. P. (1974) : Possible classification parameters of S. Afr. kimberlites. *Jour. Geol. Soc. S. A.* **77**(2), 85-98.
- 55) DAWSON, J. B. (1968) : Recent researches on kimberlite & diamond geology. *Econ. Geol.* No. 5, 504-511.
- 56) MAL'KOV, B. A. (1973) : Differentiation of kimberlites. *Dokl. Acad. Sci.* **212**, 172-174.
- 57) ILUPIN, I. P. et al. (1974) : Geochemical specialization of kimberlites from various parts of Yakutia. *Geochem. Int.* **11**(2), 357-370.
- 58) AKIMOV, A. P. (1970) : Radioelement content of kimberlite of the Siberian platform. *Dokl. Acad. Sci.* **190**, 205-208.
- 59) KOMALOV, A. N. et al. (1975) : Potassium-uranium ratio in kimberlite. *Dokl. E. Sci.* **222**, 243-245.
- 60) KRESTEN, P. (1974) : Uranium in kimberlites & associated rocks with special reference to Lesotho occurrences. *Lithos*, **7**(3), 171-180.
- 61) REIS, B. (1972) : Preliminary note on the distribution & tectonic control of kimberlites in Angola. 24th. *Int. Geol. Cong. Sect.* 4, 276-281.
- 62) LOVERING, J. F. et al. (1968) : The petrological environment of magnesian ilmenite. *E. Plan. Sci. Let.* June 310-314.
- 63) SMIRNOV, I. S. (1959) : Mineralogy of Siberian kimberlite. *Int. Geol. Rev.* Dec. 21-39.
- 64) KHARKIEV, A. D. et al. (1973) : Diamond concentration in kimberlite veins. *Dokl. Acad. Sci.* **209**, 171-173.
- 65) SERGEYEVA, NYE. (1971) : E. P. M. A. study of micromorphology of picroilmenite. *Int. Geol. Rev.* No. 8, 42-46.
- 66) ALLEN, J. B. (1965) : Ultrabasic eruptives with alnoitic-kimberlitic affinities from Malaita, Solomon Islands. *Miner. Mag.* **34** (Filley Vol.), 16-34.
- 67) AFANASYEV, V. P. (1974) : Typomorphism of diamonds from kimberlite veins & possible bed rock sources of diamond bearing placers in N. W. Yakutia. *Dokl. E. Sci.* **214**, 154-157.
- 68) MCCALLUM, M. E. et al. (1971) : Mineralogy of the Sloane diatreme, a kimberlite pipe in northern Larimer Cty., Colorado. *Am. Min.* No. 9-10, 1735-1749.
- 69) MITCHELL, R. H. (1973) : Magnesian ilmenite & its role in kimberlite petrogenesis. *Jour. Geol.* No. 3, 301-311.
- 70) MITCHELL, R. H. (1972) : The relation between microindentation hardness & chemical composition in magnesian ilmenite. *N. Jb. Min. Mon.* No. 7, 312-316.

- 71) FRISCH, T. (1970) : A note on "The petrological environment of magnesian ilmenite by J. F. LOVERING et al." *E. Plan. Sci. Let.* 8(4), 329-330.
- 72) CERVILLE, B. et al. (1971) : Dosage rapide du magnesium dans les ilmenites par micro-reflectometrie. *Min. Dep.* No. 1, 34-40.
- 73) KNYAZEY, G. I. et al. (1974) : Thermoelectric properties of ilmenite, as prospecting & evaluation criteria for diamond deposits. *Dokl. E. Sci.* 217, 138-140.
- 74) MEYER, H. O. A. (1968) : Chrome pyrope; an inclusion in natural diamonds. *Science*, June 28, 1446-1447.
- 75) MEYER, H. O. A. (1972) : Composition & origin of crystalline inclusion in natural diamonds. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 36(11), 1255-1273.
- 76) MAL'KOV, B. A. et al. (1973) : Chrome spinellids as indicators of the presence of diamonds in Yakutian kimberlite. *Dokl. Acad. Sci.* 211, 141-144.
- 77) ROST, F. et al. (1975) : Chemical investigation of pyrope garnets in the Stockdale kimberlite intrusion, Riley Cty., Kansas. *Am. Min.* No. 7-8, 675-680.
- 78) NIXON, P. H. et al. (1968) : A new chromian garnet endmember, knorringite, from kimberlite. *Am. Min.* No. 11-12, 1833-840.
- 79) LITINSKY, V. A. (1963) : Measurements of magnetic susceptibility in prospecting for kimberlite pipes. *Min. Mag. Spt.* 137-146.
- 80) OPPENHEIMER, H. (1972) : The Orapa story. *Min. Jour.* Jun. 2, 451.
- 81) DAWSON, J. B. et al. (1975) : Statistical classification of garnets from kimberlite & associated xenoliths. *Jour. Geol.* No. 5, 589-607.
Addendum. (1976) : *Jour. Geol.* No. 4, 495-496.
- 82) ILUPIN, I. P. et al. (1971) : ヤクーチャ産キンバリー岩中のパイロープに見られるケリファイト緑の特殊形態, *Izv. V. Geol. & Raz.* No. 8, 52-4, 科技文速 53043538.
- 83) REID, A. M. et al. (1970) : Pyropes in kimberlites. *Am. Min.* No. 7-8, 1374-1379.
- 84) SOBOLEV, N. V. (1973) : Chrome-rich garnets from the kimberlite of Yakutia & their paragenesis. *Cont. Min. Pet.* 40(1), 39-52.
- 85) CARSTENS, H. (1973) : The red, green change in chrome bearing garnts. *Cont. Min. Pet.* 41(3), 273-276.
- 86) SOBOLEV, N. V. (1972) : Zoned garnet from kimberlite of the Mir pipe. *Dokl. Acad. Sci.* 207, 126-129.
- 87) ALEKSEYEVSKY, K. M. et al. (1972) : New data on the possible primary source of Timan diamond. *Dokl. Acad. Sci.* 204, 82-83.
- 87a) ALEKSEYEVSKY, K. M. et al. (1974) : Properties of pyropes related to the diamond potential of the Northern Timans. *Dokl. E. Sci.* 218, 126-128.
- 88) SOBOLEV, N. V. et al. (1969) : Chrome-pyrope from Yakutian diamonds. *Dokl. Acad. Sci.* 189, 133-136.
- 89) SOBOLEV, N. V. et al. (1971) : Isomorphic sodium mixture in garnets formed at high pressures. *Cont. Min. Pet.* 31(1), 1-12.
- 90) SOBOLEV, V. S. et al. (1972) : Inclusions in diamond from diamondiferous eclogite. *Dokl. Acad. Sci.* 207, 121-123.
- 91) SOBOLEV, N. V. et al. (1970) : Olivine-garnet chromediopside assemblage from Yakutian diamond, *Dokl. Acad. Sci.* 192, 134-137.
- 92) KHARKIEV, A. D. et al. (1973) : Cr & Ti content of garnets from ultramafic inclusions in Yakutian kimberlites. *Geochem. Int.* 10(1), 156-162.
- 93) YEREMENKO, G. K. et al. (1972) : Thermochromatic effect in pyrope. *Dokl. Acad. Sci.* 203, 129-131.
- 94) TRUEB, L. F. et al. (1972) : Microstructural investigation of Ballas diamond. *Am. Min.* No. 11-12, 1664-1680.
- 95) FRANTSESON, YE. V. et al. (1974) : Carbonado, a diamond variety of nonkimberlitic origin. *Dokl. E. Sci.* 219, 117-119.
- 96) COTTY, W. F. et al. (1971) : Differences between diamonds from different sources. *Diam.*

- Research 1971, *I.D.R. Nov.* 8-11.
- 97) STRONG, H. M. et al. (1972) : The growth of large diamond crystals. *Nature*, **59**(1), 1-7.
- 98) 砂川一郎 (1969) : ダイヤモンド—その生いたちと性質, ラティス社.
- 99) SOKHOR, M. (1973) : A find of the polymorph of diamond (Lonsdaleite) in placers. *Dokl. Acad. Sci.* **209**, 118-121.
- 100) KAMINSKIY, F. V. (1972) : Distribution of kimberlite (of different facies) & associated rocks on the Siberian platform. *Dokl. Acad. Sci.* **204**, 87-89.
- 100a) KAMINSKIY, F. V. (1975) : Evidence of diamonds in alkali basaltoids in the northern part of the Russian platform. *Dokl. E. Sci.* **222**, 180-182.
- 101) WHITELOCK, T. K. (1973) : Morphology of the Kao diamonds in Lesotho kimberlite. Edit. by P. H. NIXON. 128-140.
- 102) LINHOLM, A. A. L. (1969) : Diamond recovery is big business. *E. M. J. Nov.* 67-80.
- 103) TRUEB, L. F. et al. (1971) : Carbon from Ubangi—a microstructural study. *Am. Min.* No. 7-8, 1252-1262.
- 104) WEAVIND, R. G. et al. (1958) : The recovery of diamonds from prospection samples. *Jour. S. A. Inst. Min. Met.* July 635-42.
- 105) RECKLING, K. et al. (1975) : "Diamonds" in industrial minerals & rocks, 4th Ed. *Am. Inst. Min. Met. Pet. Engrs.* 587-604.
- 106) HARRIS, J. W. (1968) : The recognition of diamond inclusions. *Ind. Diam. Rev. Spt.* 402-410, Oct. 458-461.
- 107) MEYER, H. O. A. et al. (1976) : The nature & significance of mineral inclusions in natural diamond : A Review. *Min. Sci. Eng.* **8**(4) : 242-61.
- 108) SOBOLEV, E. V. et al. (1973) : Nitrogen in Ukrainian diamonds. *Dokl. Acad. Sci.* **212**, 130-133.
- 109) KASHKAROV, I. F. et al. (1968) : More information on diamonds in Neogene & Recent sandy sediments in some Ukrainian district. *Dokl. Acad. Sci.* **179**, 156-159.
- 110) MCCALLUM, M. E. (1976) : Diamond in kimberlite diatremes of northern Colorado. *Geology*, Aug. 467-469.
- 111) WEAVIND, R. G. (1952) : The treatment & recovery of refractory diamonds. *Jour. Chem. Met. Min. Soc. S. Afr. May*, 243-244.
- 112) MEYER, H. O. A. (1975) : Chromium & the genesis of diamond. *Geochim. Cosmochim. Acta* **39**(6-7), 929-936.
- 113) KRESTEN, P. et al. (1975) : Kimberlitic zircons—a possible aid in prospecting for kimberlites. *Min. Dep.* **10**(1), 47-56.
- 114) SOBOLEV, N. V. et al. (1970) : A diamond bearing eclogite with calcium rich garnet from the "Mir" pipe, Yakutia. *Int. Geol. Rev. Nov.* 1357-1358.
- 115) RICKWOOD, P. C. (1970) : Diamondiferous eclogite xenoliths in kimberlite. *Lithos*, **3**(3), 223-235.
- 116) MCCALLUM, M. E. et al. (1976) : Diamonds in an upper mantle peridotite nodule from kimberlite in S. Wyoming. *Science*, **192**(4236), 253-256.
- 116a) DAWSON, J. B. et al. (1975) : Occurrence of diamond in a mica-garnet-lherzolite xenolith from kimberlite. *Nature*, **254**, 580-581.
- 117) ROZEN, O. M. et al. (1972) : A diamond find in precambrian eclogite of the Kokchetov block. *Dokl. Acad. Sci.* **203**, 163-165.
- 118) PAVLENKO, A. S. et al. (1974) : On the diamonds in the ultramafic belts of Armenia. *Geochem. Int.* **11**(2), 282-294.
- 119) KUTIEV, F. SH. (1975) : Diamonds in basaltoids of Kamchatka. *Dokl. E. Sci.* **221**, 134-6.
- 120) GOROKHOV, S. S. (1973) : Intrusive eclogite, a potential source of bedrock diamonds. *Dokl. Acad. Sci.* **212**, 149-151.
- 121) GURNEY, J. J. (1972) : Plumbing the secrets of the earth's mantle. *Int. Diam.* No. 2, 42-48.

- 122) CLIFFORD, T. N. (1966) : Tectono-metallogenetic units & metallogenetic provinces of Africa. *E. Plan. Sci. Let.* 1(6), 421-434.
- 123) DAWSON, J. B. (1964) : An aid to prospecting kimberlites, *Econ. Geol.* No. 7, 1385-1386.
- 124) SHARP, W. E. (1974) : A plate tectonic origin for diamond bearing kimberlites. *E. Plan. Sci. Let.* 21(4), 351-354.
- 125) MEYER, H. O. A. (1975) : Kimberlite from Norris Lake, eastern Tennessee, mineralogy & petrology. *Jour. Geol.* No. 4, 518-526.
- 126) VAN BEMMELN, R. W. (1949) : The geology of Indonesia. II. 202-204.
- 127) DAVIDSON, C. F. (1967) : The kimberlites of the U.S.S.R. in ultramafic & related rocks, Edit. by P. J. WYLLIE. 251-261.
- 128) MAL'KOV, B. A. (1975) : Carbonatite-kimberlite, a new type of diamond bearing rock. *Dokl. E. Sci.* 221, 193-195.
- 129) BALDOCK, J. W. et al. (1976) : Gold, basemetals, & diamonds in Botswana, *Econ. Geol.* No. 1, 139-156.
- 130) GALLAGHER, W. S. (1960) : Mining blue ground at De Beers. *E. M. J. June.* 92-102.
- 131) DU TOIT, G. J. (1959) : Williamson diamond mine. *Mine & Quar. Eng. Apr.* 146-153, May, 196-200.
- 132) FRANTSESSON, YE. B. (1976) : キンバーライトフィールドの構造の特徴, *Geol. Rudn. Me-stro*, No. 4, 科技文速 G 77034326.
- 133) HAWTHORNE, J. B. (1968) : Kimberlite sills. *Tr. Geol. Soc. S. A.* 71, pt. 3, 291-311.
- 134) CLEASBY, J. B. (1975) : Mining practice in the Kimberley Division of De Beers Consolid. Mines Ltd. *Jour. S.A. Inst. Min. Met. Dec.* 247-272.
- 135) ADAMSON R. T. et al. (1963) : The retreatment plant at Premier diamond Mine. *Jour, S. Afr., Inst. M. M. Spt.* 45-68.
- 136) ZVEDER, L. N. (1973) : Effect of faults on the diamond concentration in kimberlite of Siberian platform. *Dokl. Acad. Sci.* 208, 69-72.
- 137) ANONYM (1965) : The evaluation of South African diamond occurrences *S.A.M.E.J. Nov.* 26, 2793-2794.
- 138) METELKHINA, M. P. (1976) : The associations of precambrian diamond bearing conglomerates. *Int. Geol. Rev. Oct.* 1194-2000.
- 139) HEA, J. P. (1975) : Exploration needed for a new mining industry in Venezuela. *C.I.M. Bull. March*, 133-144.
- 140) APPLIN, K. E. S. (1972) : Sampling of alluvial diamond deposits in West Africa. *Trans. Inst. M. M. Apr.* A 67-A 77.
- 141) BORCHERS, D. et al. (1970) : Beach mining at Cons. Diamond Mines of S. W. Africa Ltd; exploitation of the area between the high & low water marks. 9th Commw. Min. Met. Congres. 1, 571-590.
- 142) PROKOPCHUK B. I. (1973) : Zoning in the distribution of diamond placers on old platforms. *Dokl, Acad. Sci.* 212, 100-102.
- 144) 斉藤正次 (1973) : 太平洋戦争当時の南方地質調査始末記, 鈴木醇一人と背景, 130 p.
- 145) SHARP W. E. (1976) : A log-normal distribution of alluvial diamonds with an economic cutoff. *Econ. Geol.* No. 3, 648-655.
- 146) KUTZUETSOV V. M. (1976) : キンバリー岩を発破で採掘する場合のダイヤ結晶の保持に関する問題について, 科技文速 G 76171285.
- 147) LOWRENCE C. P. A. (1958) : Earthmoving in the diamond mines of southern Africa. *Jour. So. Afr. Inst. M. M June* 563-587.
- 165) CLARKE R. G. (1977) : World will run out of natural industrial diamonds. *Diam. News & S. A. Jew. March* 39-47.

(昭和52年9月16日受理)