

# 天然ピンクダイヤモンドの特徴とグレーディング

うえずき はじめ  
AGFジェムラボラトリー 上杉 初

今回はジェム&ジェモロジー 2002年夏号より天然ピンクダイヤモンドについての論文を紹介します。日本の宝石市場においてもピンクダイヤモンドは絶大な人気を誇っており、非常に興味深い論文と言えます。

GIAジェムトレードラボラトリー(GTL)は、1490個の宝石品質天然色ピンクダイヤモンド・タイプ とタイプ の双方 - に関する宝石学関連データを収集した。

2つのタイプ間で宝石学的特性に、一部の共通点が見られたが、カラー範囲、紫外線蛍光、吸収スペクトル、拡大特徴は異なっていた。

GIAGTLのグレーディングレポートでピンクダイヤモンドの表記に使用する用語を紹介、考察する。レッドダイヤモンドについてはG&Gを参照してください。本論文には、色の微妙な差異を示した写真が数点挙げられているが、写真の色はダイヤモンドの実際の色とは異なる場合がある。

## カラーと色因

タイプ およびタイプ ピンクダイヤモンドの色因については、今もなお科学的調査が進められている。ピンクカラーがダイヤモンドの結晶構造内に存在する何らかの微量元素に由来しているという証拠は確認されていない。

色因はダイヤモンドにブラウンカラーをもたらすもの～すなわち、カラーセンター～に類似しているように思われる。カラーセンターは、光のスペクトルの可視領域を選択的に吸収することができる原子レベルの格子欠陥である(コリンズ、1982; ジャクソン、1997)。タイプ 及び一部のタイプ ダイヤモンドにおけるこのカラーセンターは、平行な滑り面に集中することが多いため、ほぼ無色のダイヤモンドにピンクまたはブラウンの面(カラーグレーディング)が生じる。(図1)このような色因の類似性は、ダイヤモンドにピンクからブラウン・ピンク、ブラウンまでのバリエーションがあること、こうした色相のすべてにいくつかの類似した特徴(すなわち、縞状の内部カラーグレーディングと、可視光線スペクトルにおいて優位を占める強度が様々な550nmの広い吸収帯)が認められることで裏付けられる(コリンズ、1982)。カラーが面状に現れる場合、ダイヤモンドが地球内部に存在したときの塑性変形に由来すると考えられている(コリンズ、1982)。この変形時、加わった応力の方向に平行な炭素原子の層が、平行な滑り面に沿ってわずかにずれる。この滑り面に沿って構造により不明のカラーセンターが生じ、このカラーセンターがピンクあるいはブラウン



図1 ピンクダイヤモンド - 特にタイプ - には、ピンクカラーの分布が不均等で、平行な縞沿いに濃くなっているものが多い。これらの縞は八面体面に平行な方向に並んでおり、ダイヤモンドが地球内部に存在していたときの塑性変形に由来している可能性が高い。顕微鏡写真はジョン・コイブラ撮影 倍率15倍

の色因となるスペクトル特徴をもたらす。

## ピンクダイヤモンドに関するGIAのカラー表記

色相範囲が同じでも彩度と明度が異なると色は違って見える。GIAがグレーディングレポートでカラーダイヤモンドのカラー表示に使用している用語は、色相環(図2)の色相が、その色相の明度・彩度を基本にしている。

特定の彩度・明度では、色相範囲がレディッシュパープルからオレンジのダイヤモンドにピンクという用語が使用される。彩度が高い場合にはレディッシュパープルからオレンジであるが、彩度が低く、明度が高い場合には、全体的な色の外観はピンクが優勢になる。色相範囲がパープル・レッド、パープリッシュレッド、レッド、オレンジレッドのダイヤモンドは、彩度が高く明度が低い石でもピンクが優勢に見える。

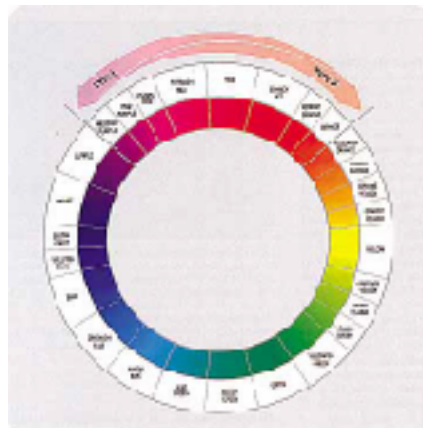


図2 この図は、GIAGTLが「ピンク」という表記を使用しているダイヤモンドの比較的幅広い色相(矢印)を表したものである。ピンクはダイヤモンドの色の外観を表す際に用いられるものであり、実際の色相を表したものではないため、この範囲には、薄い場合にピンクに見えるオレンジも含まれる。外観が「比較的冷たい」ものはタイプ の方が多い。タイプ は外観が「比較的暖かい」傾向にある。

GIAジェムトレードラボラトリーでは、ピンクの用語を、一定の色相範囲における特定の明度・彩度の組み合わせに使用しているために、レッドの用語とは常に別個に用いている。

また、カラー表記システムは他の物質～布、塗料、他の宝石～に用いられるカラー表記システムで対応する外観とは必ずしも一致しない。

## グレーディング法及び試験法

ラボラトリーの熟練スタッフが統一D65昼光照明環境でダイヤモンドを評価した。ダイヤモンド1個に対し、3名から6名のスタッフが、観察箱の中で、フェースアップの全体的な特徴色と、GIAのカラーダイヤモンド色見本を独自に比較した。

単独または複数の手法によりダイヤモンドのタイプを調べた。2つのタイプ( と )の区分は完全に明確ではなかった(明瞭な境界はなかった)。窒素含有率が低くなるにつれて2つのタイプの識別が困難になった。従来、タイプの識別根拠は、ダイヤモンドの赤外線スペクトルに窒素関連特徴が出現しないことのみであった。

高感度の赤外線分光器の登場により、窒素に由来する弱いスペクトル特徴の検出が容易になったため、タイプ と見なされるダイヤモンドの数は減少傾向にある。

## データ分析と結果

### ダイヤモンドのタイプ

今回の研究で検査した1490個のダイヤモンド中1166個がタイプ 、324個がタイプ であった。

### 重量

研究対象サンプルのタイプ では5c以上の石が12%であったのに対し、タイプ ではわずか9%であった。

### GIA GTLのファンシーカラー用語

1490個の研究対象サンプルは、GIA GTLのすべてのファンシーグレード(ファンシーダークは除く)を網羅していた。ピンクダイヤモンドの場合、このカラーグレードでは、通常ブラウンが優勢である。

### 色相

ピンクダイヤモンドでは色相の段階的変化が滑らかである。研究対象サンプルのタイプ とタイプ ではカラー範囲が完全に重複していたが、タイプ ピンクダイヤモンドは「比較

該当した。興味深いことに、タイプ ダイヤモンドでは116個の73%がこのカテゴリーに該当したが、タイプ では32個の38%が該当したのみであった。研究対象サンプルでの調査結果と経験全般からすると、タイプ ピンクダイヤモンドはタイプ に比べてほぼ2倍、明度が低く彩度が高い。タイプ ピンクダイヤモンドは概して明度が高いが、彩度は極めて低いから中程度に高いにまでわたっている。

的冷たい「色相(パープル側)」が多く、タイプ ピンクダイヤモンドは「比較的暖かい」色相(オレンジ側)が多かった。324個のタイプ ダイヤモンド中、42%が比較的暖かい色相であったのに対し、116個のタイプ ダイヤモンド中、同じ色相に該当するものはわずか29%であった。

### 明度及び彩度

ピンクダイヤモンドの明度・彩度の範囲は、その色相により変わることがある。図3から理解できるように、149個のダイヤモンドの66%は、明度が低く、彩度が高い4つのカテゴリーに

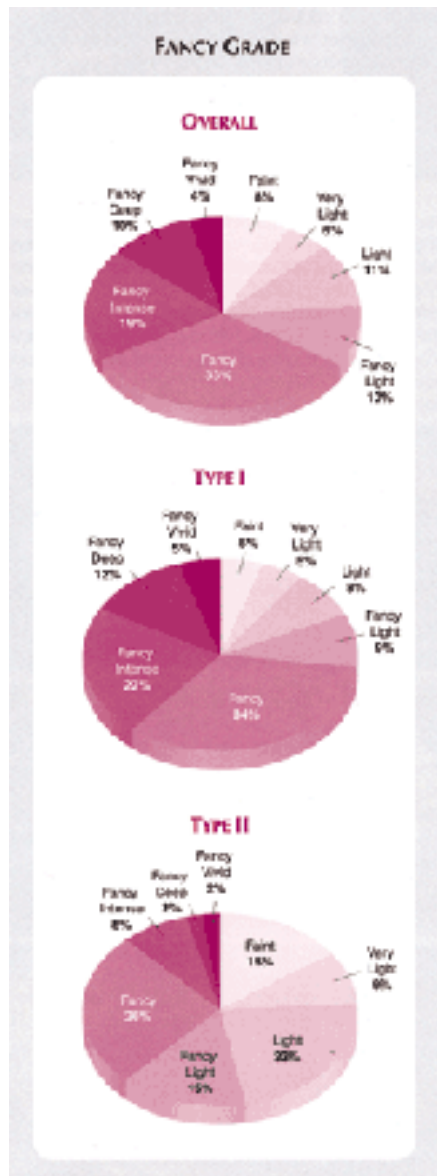


図3 この円グラフは、研究対象の149個のピンクダイヤモンドを、GIA-GTPのファンシーグレード別に分類したものである。タイプピンクダイヤモンドでは、彩度の高いグレード・ファンシーディープ、ファンシー・インテンス、ファンシー・ビビッドの割合がタイプの場合より高くなっている(116個)

### 顕微鏡検査

#### クラリティ

クラリティを調べた69個中、FLもしくはIFはわずか7%であったのに対し、SIクラスまたはクラスは49%に及んだ。全体的に見てもクラリティグレード範囲はSIであった(38%)。しかし、タイプ別に見ると、タイプ ダイヤモンド(48個)では低いクラリティグレード(SI及びI)に該当するものが56%であったのに対し、タイプ ダイヤモンド(203個)ではわずか32%であった。従って、タイプ ピンクダイヤモンドはタイプ よりクラリティグレードが高い。

#### インクルージョン

ピンクダイヤモンドには、鉱物インクルージョンの他にフラクチャーやクリベージが見られることがある。サンプルで認められた内部特徴は、一般に見られるものであった。暗く不透明なグラファイトの斑点(図4上)やピンポイントインクルージョンは、タイプの方が多かった。タイプ ピンクダイヤモンドの方に、ガーネットとパイロキシンなどの鉱物インクルージョン(図4下)や、ダイヤモンドの他形結晶が多く含有されていた。

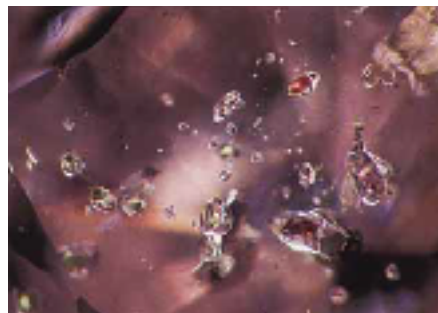


図4 研究対象ピンクダイヤモンド内の鉱物インクルージョンは、他のダイヤモンドでよく見られるものであった。上:タイプピンクダイヤモンドの方には、暗く不透明なグラファイトの斑点が含有されることが多かった。下:このタイプダイヤモンドには、ガーネットとパイロキシンのインクルージョンが含有されている。顕微鏡写真はトーマスゲルプ及びジョン・コイブラ撮影。倍率はそれぞれ50倍と10倍。

### グレイニング

ピンクダイヤモンドには内部グレイニングも表面グレイニングも多く認められた。表面に達する内部面状グレイニングは、無色、ピンクやブラウンに見える反射板の形をしていることがある。このグレイニングは、クラリティグレードと地色の双方に影響する可能性がある。内部グレイニングは、ホワイティッシュな縞や全体的に曇った外観として生じることもある。このグレイニングはダイヤモンドの透明度やクラリティグレードを低下させる場合がある。

### カラーゾーニング

研究サンプルでは、タイプ ピンクダイヤモンドには、表面グレイニングや反射する内部グレイニングが多く見られた。それに対し、タイプ サンプルのグレイニングは明瞭な線はなく、全体的な曇りとして生じることが多かった。

検査したダイヤモンドの46%にカラーゾーニングが認められた。このカラーゾーニングは、比較的暗いピンクカラーもしくは、ピンク部分と無色部分が交互に現れ、平行な縞として生じることが最も多かった。タイプ ピンクダイヤモンドは、明度が低く彩度が高い色をしていることが多かったため、検査対象のタイプ ピンクダイヤモンドの69%にカラーゾーニングが認められた一方で、検査対象のタイプ ダイヤモンドでは12%にしか認められなかった。

### 異常複屈折

ピンクダイヤモンドは地球内部で塑性変形を受けているため、生じた歪みパターンは交差偏光状態の時に見える。この歪みパターンは、カラーゾーニングに平行な場合があるが、鮮やかな干渉色からなるモザイク模様であることが多い。

### 紫外線蛍光

両タイプの1363個のピンクダイヤモンドを対象に、長波及び短波紫外線を照射した時の蛍光を調べた。短波紫外線に対しては、79%がなしから弱い反応であり、約20%は中程度の蛍光を示し、強い蛍光を示したのはわずか1%であった。(図5)長波紫外線に対しては、44%がなしから弱い反応を示し、56%は中程度から強い蛍光を示した。

タイプ ピンクダイヤモンドの場合、長波紫外線に対して半数以上が中程度から強い蛍光(ブルーが多い)を示した。短波紫外線にはなしから弱い反応を示すのみであった。タイプ ピンクダイヤモンドの場合、長波紫外線に対して大半が弱いから中程度の蛍光(大抵ブルー)を示した。短波紫外線に対しては84%が弱い反応を示すか反応なしであった。過去の経験では、短波紫外線の照射時間が長くなると、蛍光反応の強度が強くなる。タイプ ピンクダイヤモンドが、短波、長波紫外線に対して中程度から強いオレンジの蛍光を示す場合もある。

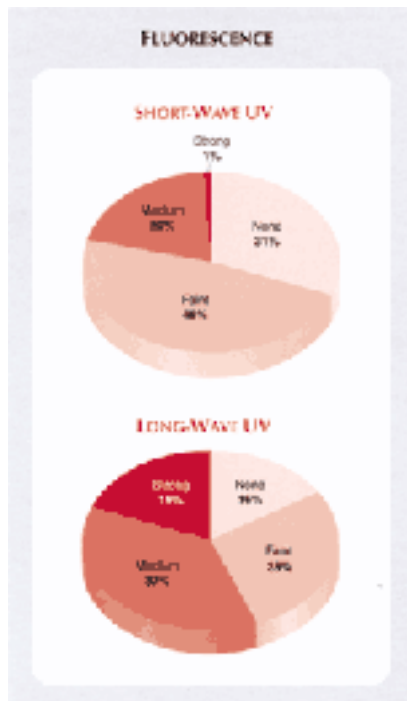


図5 総じて、蛍光を調べたピンクダイヤモンド(1363個)において、短波紫外線の場合よりも長波紫外線の場合に反応が強かった。このパターンはタイプIとタイプIIの双方に見られたが、長波紫外線反応はタイプIよりタイプIIの方が強い傾向にあった。

### 赤外線・可視光線スペクトル

図6のAとBは、それぞれタイプI及びタイプIIの典型的な赤外線スペクトルである。これらのスペクトルは、今回の研究サンプルで観察されたスペクトルと一致する。1400~1000 $\text{cm}^{-1}$ の吸収帯は、ダイヤモンド内に窒素が存在することを示唆している。窒素濃度が低下するにつれて、この吸収が減少する。この吸収が検出されない場合、ダイヤモンドはタイプIIとされる。

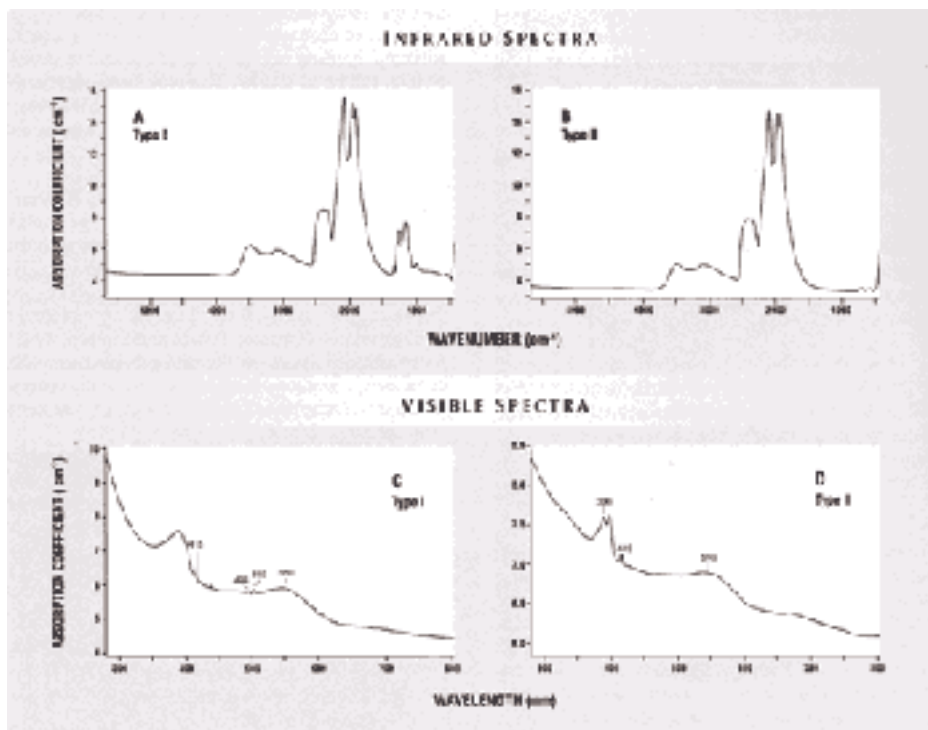


図6 スペクトル及びBは、タイプI及びタイプIIの典型的な赤外線スペクトルである。1400~1000 $\text{cm}^{-1}$ の吸収は、ダイヤモンド内の窒素濃度をほぼ反映しており、この吸収によりダイヤモンドのタイプが決まる。スペクトルC及びDは、タイプI及びタイプIIの典型的な可視光線スペクトルである。いずれのスペクトルでも、550nmの広い吸収が出現している。ただし、タイプIでは415nmの吸収が強いのにに対し、タイプIIでは415nmの吸収が出現しないか極めて弱い。

ピンクダイヤモンドの可視光線スペクトルにおける主要な特徴は550nm付近を中心とする広い吸収帯である(図6の及びD)。この吸収帯は、大半のピンクダイヤモンドの色因となっている。(コリンズ、1982)。

### 検討

#### カラー同士の関係

GIAのピンクダイヤモンドのカラー表現は、色相、明度や彩度の差異に左右される。この3つの特性におけるわずかな差異が、ピンクダイヤモンドのファンシーカラーグレードを一貫して判断することを一層難しくしている。

色相、明度、彩度はすべて、色空間において連続している。GIAのグレーディングシステムでは、この連続の中で、一定範囲の明度・彩度に該当するダイヤモンドの境界を定めている。自然界の色では明度・彩度の範囲がそれぞれ異なるために、明度・彩度の境界は色相ごとに異なる。

#### クラリティ

カラーダイヤモンドの評価においてカラーが最も重要であることは、ピンクダイヤモンドを見てははっきりわかる。ディーラーは、ピンクダイヤモンドの価値を判断する際にクラリティグレードはさほど重要ではないと言っている。

#### グレーニングとカラーゾーニング

タイプIのピンクダイヤモンドのグレーニングとカラーゾーニングは縞状として存在することが多い。サンプルでは、縞状のカラーグレード

ニングの色が濃くなったり数が多くなったりすると、フェースアップの色の外観の彩度が高くなる関係が認められた。

#### 加工

ピンクダイヤモンドのカラーゾーニングは色の強さに影響することがある。カラーゾーニングが存在する場合、最高のフェースアップの外観を実現するには、テーブルに対するカラーゾーニングの角度が極めて重要になる。

#### スペクトル

550nm付近を中心とする広い吸収帯は、ピンクダイヤモンド内の滑り面に沿った未知の構造のカラーセンターに由来している。550nmの広い吸収帯には常に390nm付近の吸収が付随する。今回のサンプルで、ピンクからレッドにかけて色が深くなるにつれて550nmの吸収帯の強度が上昇する現象が認められた。

### 要約及び結論

ピンクダイヤモンドは美しく、また、比較的稀少であるために昔から高く評価され、人気が高かった。わずか20年前から、オーストラリアのアーガイル鉱山でピンクダイヤモンドが安定的に供給されるようになり、ジュエリー市場でのピンクダイヤモンドの商業的価値が高まった。

本論文は、現在までに発表された中で最大級のピンクダイヤモンドを対象にしたものである。ピンクダイヤモンドの2タイプに関しては、今回の研究により、宝石学的特徴はタイプIとタイプIIで共通している場合があるが、大抵は、色の外観、クラリティ、グレーニングにある程度の差異が見られることが確認された。

今回の研究の主な目的は、色相、明度、彩度が多岐にわたるピンクダイヤモンドのカラーグレーディングの各側面について説明することであった。

大量のサンプルを揃えたことで、いくつかの色相において従来より広範な明度・彩度を確認することができ、また、カラーダイヤモンドのカラーグレーディングにおいては、一貫した方法の採用と色見本との比較が重要であることが改めて確認された。

### 感想

AGTジェムラボラトリーにも多くのピンクダイヤモンドが持ち込まれるが、検査したピンクダイヤモンドの特徴は、今回の論文によるピンクダイヤモンドの宝石学的特徴にほぼ一致すると考える。

GIAには、今後も他のファンシーカラーについての研究を大いに期待したい。

レッドダイヤモンドについての記述および他の特性についてはジェム&ジェモロジー2002年夏号をご覧ください。