

位相差顕微鏡を用いた分散染色法によるアスベスト同定の問題点

以前よりアスベストの危険性は疑われていたが、多量のアスベストが日本国内でも使われてしまった。今になって、使われたアスベストを見つけ出し飛散しないようにするか、撤去してしまうとかしなくてはならなくなっている。アスベストが吹き付け材や建材中に含まれているか否かを実用的でかつ確実に同定する方法は分散染色法であるが、研究目的で使用される偏光顕微鏡を使用する訓練を積んだ技能者以外には大変難しい。そこで、偏光顕微鏡による訓練を積んでない人にも、正確度は劣るものの簡便な同定方法を紹介する。

佐々木 一 弘，中 倉 隆 雄，藤 卷 宏 和

1 はじめに

アスベストは人類が石器時代から利用していた天然の繊維であり¹⁾、紡績繊維性が良く、熱に強く、人類にとっては大変有益な自然の繊維であった。工業化の発展に伴って、アスベストは耐薬品性や抗張力に優れ、絶縁性などに優れていることから²⁾、その使用量は増大する一方であった。しかし、世界の先進国は1980年代にはアスベストの危険性を察知し、使用禁止という手を着々とうってきた。我が国でもアスベスト使用禁止に向けて施策を行ってきたが、他の先進国同様多量のアスベストを使用してしまい、科学者も技術者もアスベスト使用を停止させるべく全力を挙げてきたのかと問われると、筆者らも含めて^{くじ}思っている。

行政と科学者、技術者の連携がうまく^{しんし}真摯に行われていれば、アスベストは1000万トンともいわれる量が輸入される前に止めることができたはずであり、これによって将来発生するかもしれない人的被害を低減させることができたはずである。いま日本ではアスベストの危険性が充分認知され、行政、科学者と技術者が協力して、使われてしまったアスベストを見つけ、処理しようという方向に急旋回した。ここで科学者と技術者に直接関係のある問題が発生しつつある。それはアスベストの同定と分析である。自由競争の社会であるからアスベストの同定と分析にも当然のことながら経済効率がつきまとう。そのため、同定と分析に価格競争がおきるのは自然な成り行きである。この競争に打ち勝つため無責任な結果が報告され、アスベストなど含まれていない吹き付け材処理に莫大な税金が投入されてしまう可能性もある。アスベストを同定できずにアスベストはない、などという報告をしたり、その逆に同定できないにもかかわらずアスベスト含有、という報告をする分析会社が現れ

Practical Identification of Asbestos by Dispersion Method using a Phase Contrast Microscope.

たりする可能性もある。

当初アスベストを1%超含むものが製造、輸入、譲渡、提供、使用が禁止されていた。これが2006年には基準が0.1%超含むものとなった。このような微量のアスベストの同定と検出は現在のテクノロジーと高度に訓練された鉱物鑑定力をもつ科学者・技術者が組むことによって不可能ではないが、きわめて大変な作業であることは間違いない。公定法で繊維状物質3000本を400倍の顕微鏡で1本1本観察し、すべてをアスベストか否か決定しなくてはならないということの困難さを想像していただきたい。3000本の繊維状物質のうち4本超のアスベストがあれば初めてアスベスト含有物になる。このような困難な作業のため厚生労働省や、環境省、経済産業省、日本規格協会などからアスベストの同定、分析に関する指針が示されている³⁾。これらの指針で最も重点を置いているのが位相差顕微鏡による分散染色法と、基底標準吸収補正法を用いたX線回折法による含有量分析である³⁾。しかし、X線回折法による同定は多くの研究者が指摘しているように非常に困難である⁴⁾⁵⁾。一方、位相差顕微鏡による分散染色法は簡便であるかのように誤解されているが、X線回折法と同様に極めて難しいのが実情である。今までは大気中のアスベスト濃度は、集めた検体試料中の繊維状物質を数えればよかったが、近々これが変更になり、アスベストを厳密に決定しなくてはならなくなりそうな情勢である。もちろんそのほうが好ましいことは言うまでもないが、このような検体試料についてはX線回折法を使うことができない。そこで本稿では、アスベスト被害の拡散について簡単に紹介し、そのうえで位相差顕微鏡による分散染色法を用いてアスベストの同定を行うための“こつ”と問題点について述べる。

2 アスベストによる健康被害

アスベストがもたらす健康被害については多くのメ

ディアがとりあげ、被害者救済のための法整備も行われている。アスベストは安価で有用であったため我々の生活空間で多用されてしまったし、おそらく依然として多用されたままになっていると考えられる。使用されたアスベストはこれから先、そのアスベストを含む材料とともに処理され、2020年ころに処理量がピークに達すると考えられている⁶⁾⁷⁾。その間何も起こらないかと言うとそうではない。風雨や季節変化によってアスベストを含む材料そのものが劣化し、目視できないほどの細かな粒子として飛散を始める。それだけではなく、建造物の解体や改築に伴って微粒子化した繊維状の粉塵アスベストは空中を浮揚し始める。これらのアスベストは大きくても数百ミクロン、小さければ0.1ミクロン程度の大きさであり、呼吸するだけでたやすく人間の肺胞に達する大きさのものもある。0.1ミクロンというのはウイルスの大きさであると思えばよい。これを防止するため大気汚染防止法や作業環境基準などが定められているが、日本の現在の都市では、100リットルの大気中に目に見えない小さな20~30本のアスベスト繊維が浮遊していると言われている。この空中を浮遊しているアスベストを絶対に吸引しないようにするには、特殊な防護マスクを全員がかぶって生活しなくてはならないが、現実的とは思えない。確かにアスベストは国際がん研究機関(IARC)によって“人に対する発がん性あり”の最高度の注意を喚起すべき繊維状の物質とされているが、同じ量のアスベストを吸引しても、悪性中皮腫(癌の一種)を発症する人もいれば発症しない人もいる。また極微量で発症する人もいるし、多量に吸引しても発症しない人もいる。たとえ発症するとしても、吸引してから20年程度、長い場合は40年程度⁸⁾の時間が経過して発症するのが一般的であるため、パニックになる必要はない。肺癌そのものの原因はアスベストにとどまらず、習慣的喫煙など多様な原因があると考えられ、原因の画一的な特定はできていない。一方で、実際に我が国でのアスベスト関連疾患は徐々に増加の傾向があるが、それでも悪性中皮腫の患者の多くはアスベストとの直接的な因果関係は必ずしも立証できず、50代から70代に集中しているということが明らかにされているので、前述の大気条件で突然パニック状態にならないよう注意を喚起しておきたい。もちろん、アスベストを吸引しないようにするに越したことはない。

3 アスベストの同定にまつわる問題

アスベストをX線回折装置によって同定することは、実際上不可能にちかい。詳細は文献⁴⁾⁵⁾を参照いただきたい。一般に蛇紋石系のアスベストはすべて似たようなスペクトルを示すし、角閃石系のアスベストのスペクトルは似たようなスペクトルを示すものと、ピーク位置が重なってしまうものなどがたくさんあり、この方法

による同定は困難であると言わざるを得ない。まして他の鉱物が混在した場合、スペクトルは極めて解析不能な複雑なものになり、ほとんど役にはたたない。X線回折装置でアスベストを確実に同定するためには、膨大な基礎知識と経験が必要である。アスベストの同定は、2006年のJIS A 1481³⁾の指示どおりX線回折によってアスベストのピークがあったとしても、最終的には顕微鏡で決定しなくてはならない。もちろん他の有効な方法はあるが、多数の検体を迅速に測定しなくてはならないとなると適してはいない。

我が国において最も一般的に行われているアスベストの同定法は、位相差顕微鏡による分散染色法であろう。そこでこの方法のもつ問題点を指摘する。位相差顕微鏡による分散染色法の原理的な説明は他の文献⁵⁾⁹⁾を参照していただきたい。分散染色法は観察している物の、分散色を確認することによりおおよその屈折率がわかり、形ももちろん見られる。これはもちろん重要な情報をもたらしてくれるが、天然の鉱物の光学的な性質は非常に多様性に富んでおり、実際には同じような屈折率を持つ鉱物は数多くある。特に、鉄とマグネシウムを主要な成分として含んでいる鉱物の屈折率の多くは、アスベストのうちの茶石綿や青石綿の屈折率と重なる。また白石綿は、一部の長石や珪灰石など鉄をあまり含まない鉱物と同じような屈折率をもつ。このため2006年のJIS A 1481では半ページほどでしか触れられていないものの、偏光顕微鏡の知識と使用経験が必須となる。この知識と経験なしには、検体試料の中にアスベストがないと言い切るのはかなり困難なのではないだろうか？ また逆に、分散染色法とX線回折法でアスベストらしいものがあつたとしても、断定することは非常に困難ではないだろうか？ かといって、透過型高分解能電子顕微鏡や顕微レーザー・ラマン分光法を用いて1粒子ごとに決めていくというのは実用的ではないことは既に述べたとおりである。

4 アスベスト同定方法について

2006年のJIS A 1481の方法は、有効で現実的な方法であり、合衆国で規定されている基準より厳しい基準を設けていることは高く評価できる。ただし、建材を含むあらゆる検体に対処しようとすると、多くの似たような鉱物とアスベストを峻別しなくてはならない。これはつまり、JISの規格の「建材製品中のアスベスト含有率測定フロー」の図にあるとおり、顕微鏡による定性分析が決定的な手段であることがわかる。つまり、顕微鏡を使って決定することを要求されていると判断すべきであろう。JIS A 1481の方法には、位相差顕微鏡で同定できる人はそれによって分散染色法で決定しても良いし、偏光顕微鏡で同定できる人は偏光顕微鏡による消光角で行っても良いと示唆している。位相差顕微鏡で分散

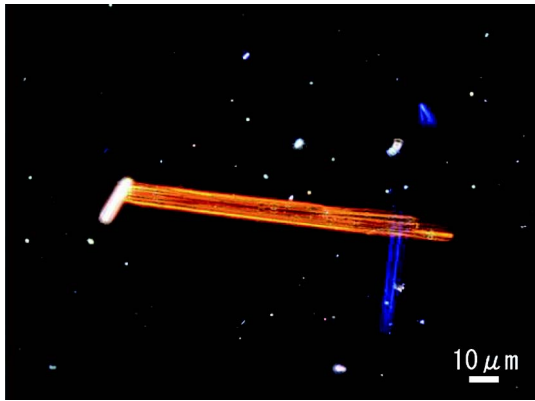


図1 茶石綿の分散色写真（アナライザー回転0度）

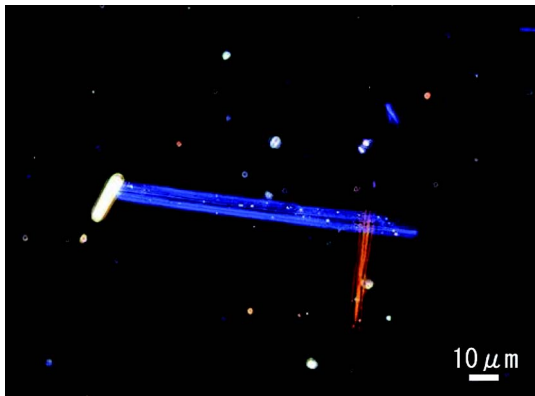


図2 茶石綿の分散色写真（アナライザー回転90度）



図3 白石綿の浸液中の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，アナライザー不使用）

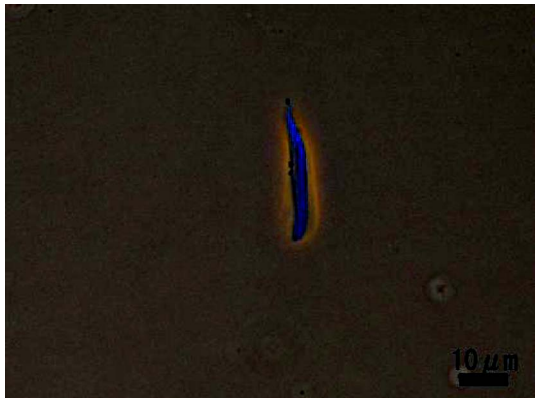


図4 白石綿の浸液中の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ，アナライザー使用）

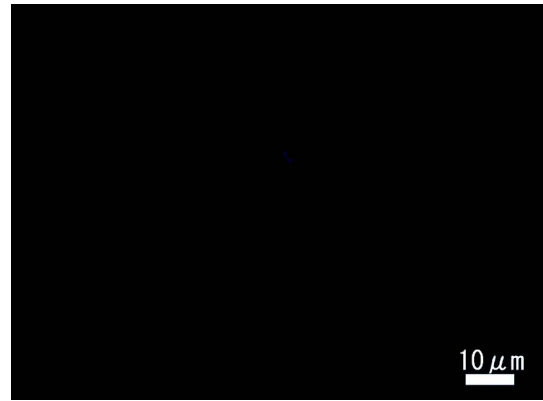


図5 白石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，直交ニコル，消光位）

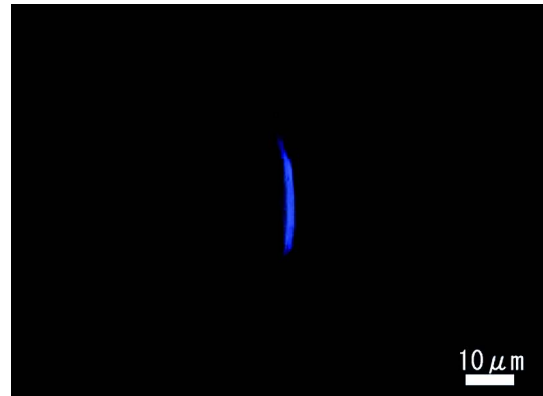


図6 白石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，直交ニコル，白石綿が青く光るのは消光位から45度傾けているため）

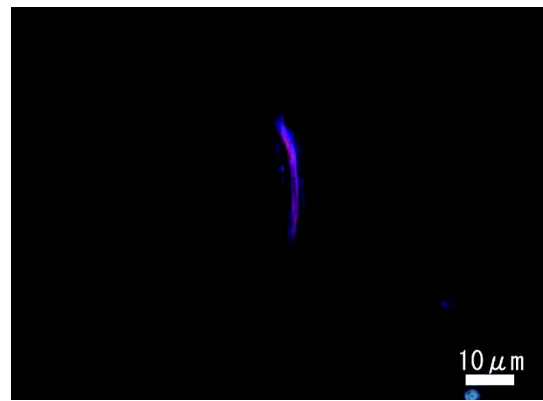


図7 白石綿の分散色写真（アナライザー不使用）

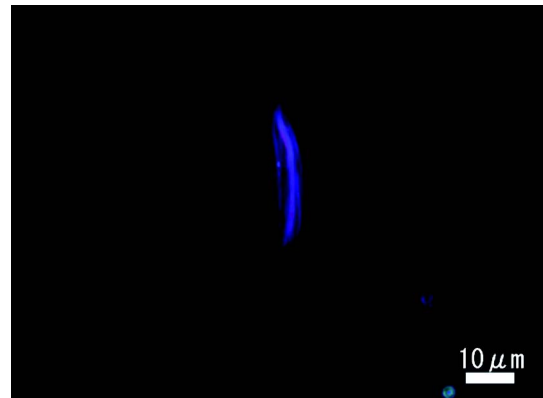


図8 白石綿の分散色写真（アナライザー使用，回転0度）

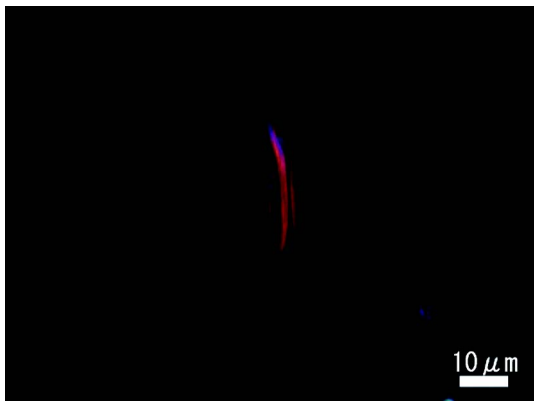


図 9 白石綿の分散色写真（アナライザー使用，回転 90 度）

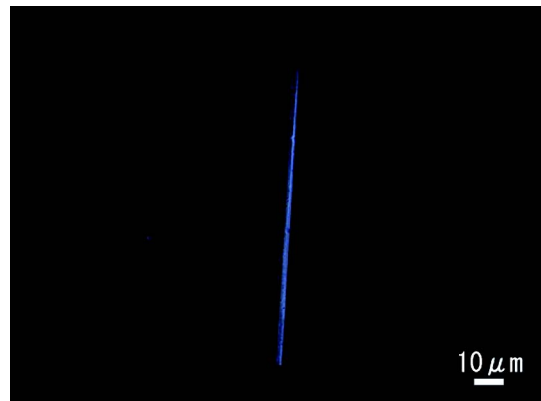


図 13 茶石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，直交ニコル，茶石綿が青く見えるのは消光位から 45 度傾けているため）

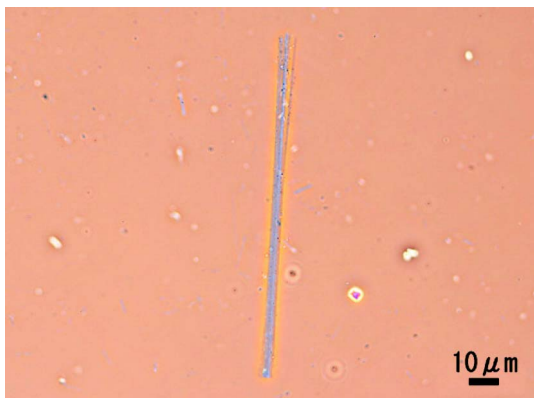


図 10 茶石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，アナライザー不使用）

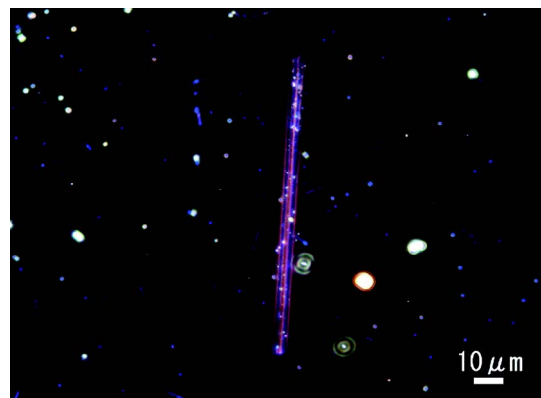


図 14 茶石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，分散染色用対物レンズ使用，アナライザー不使用）



図 11 茶石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，アナライザー使用）

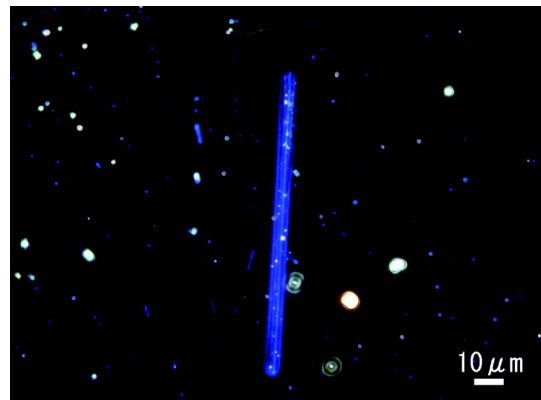


図 15 茶石綿の分散色写真（アナライザー使用，回転 0 度）

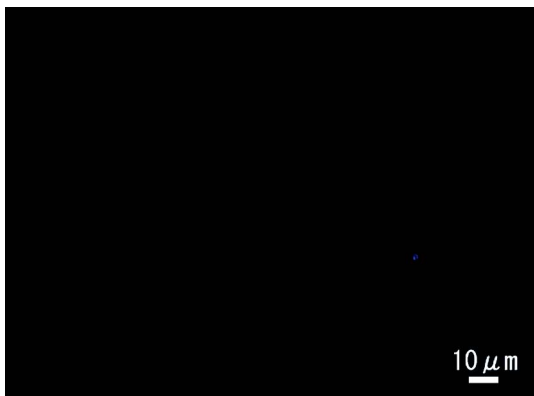


図 12 茶石綿の位相差顕微鏡写真（位相差板装着対物レンズ使用，直交ニコル，消光位）



図 16 茶石綿の分散色写真（アナライザー使用，回転 90 度）

色を観察すると、浸液の屈折率と同じような屈折率をもつ鉱物は、分散曲線上で両者の屈折率が一致する付近の波長の光が遮蔽板によってさえぎられ、通過してきた光のみが観察される。例えば JIS A 1481 の方法で観察した場合、白石綿だと組成によって青～赤紫、茶石綿だとほぼピンク、青石綿だとほぼ橙色に見える。茶石綿と青石綿は共に浸液により青にもなる。しかし、偏光顕微鏡を用いた消光角による判定の方法についての説明は大変高度で、専門家以外には意味がわからないであろう。特に、光学的弾性軸と結晶軸との関係は説明がなく、参考として具体的計測方法が書かれているものの、位相差顕微鏡による分散染色法と偏光顕微鏡観察とを併用して決定できる分析請負業者の数は極めて限られたものとなってしまうとも限らない。

位相差顕微鏡を用いて分散色を観察し、検体と対物レンズの間に偏光板を置き、それを回転させてアナライザーのように使用し発色の状態を確認しやすくすることも可能である。アナライザーはメーカーの設定にもよるが、0度するとき横方向に振動する光しか通さない製品と、逆に縦方向に振動する光しか通さないものがある。現在市販されている位相差顕微鏡は試料台が回転できないため、アナライザーを回転させ特定の振動方向の光だけを通して色の変化を見る。しかし検体の色は変化するものの、これだけでは消光位が断定できないだけでなく、色が大きく変化するため初心者戸惑わせるであろう。偏光顕微鏡ではポーライザーと呼ばれる偏光板が検体の下部に固定されており、アナライザーと組み合わせると消光位を決定できる。しかし市販の位相差顕微鏡に

表 1 浸液屈折率 1.550 を使用した場合、クリソタイルと間違えやすい物質

| | 形状 | 分散色 | 回転偏光板を入れたときの色の变化 | 位相差レンズを用いた場合の見え方 | クリソタイルとの違い | その他 |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------------|
| クリソタイル | 曲がった繊維状のものが多い。枝分かれがある場合あり。 | 主に赤紫～紫。青色になることもあり。全体的に暗い。 | 橙色～青色 | 浸液と屈折率が近いので、ぼんやりとしている。 | | |
| アンチゴライト | 板状～柱状 | 橙～赤紫 | 橙色で明暗 | 青みがかっている。 | 形 | 分散色はクリソタイルに近い。クリソタイルが混入している恐れあり。 |
| 石膏・硬石膏 | 板状～柱状。細く割れることもあり、繊維状に見えることもある。 | 青色～水色。少し明るい。 | 黄色～青色 | 輪郭ははっきりしている。 | 分散色の明るさ、位相差像。 | 建材に多く使われている。 |
| 絹雲母 | 板状。細く割れることにより、繊維状に見えることもある。 | 明るい水色 | 黄色～明るい青 | 青い | 形状と分散色 | |
| 金雲母 | 板状。細く割れることにより、繊維状に見えることもある。 | 切れる方向によって一部青色、ほとんどが無色。 | 切れる方向によって一部は青で明暗。 | かすかに黒味がかっている。 | 形状と分散色 | 切れ方によってはクリソタイルに似る。 |
| 石英 | 粒状又は短柱状 | 明るい青 | 青であり変化なし。 | | 形状と偏光板挿入時の色 | 緑泥石より少し明るい。 |
| 斜長石 | 長柱状 | 組成によってクリソタイルと同じ。 | 組成によってクリソタイルと同じ。 | 組成によってクリソタイルと同じ。 | 形状と消光位 | |
| 緑泥石 | 板状又は粒状 | 暗い青 | 青で濃淡あり。 | 黒い | 形状と偏光板挿入時の色 | 石英に似る。 |
| カオリナイト | 繊維状、クリソタイルに近い。 | 青色～水色 | 青で濃淡あり。 | わずかに青味を示す黒 | 分散色 | |
| 木片他植物繊維 | 繊維状のものが多い。生物系の繊維。 | クリソタイルに近い色もあるが、全体的に明るい。 | 光が散乱している。 | | 形状と偏光板を入れたときの分散色 | |
| 獣毛等 | 太い、毛、枝分かれあり。 | | | | 形状 | |
| 合成繊維 | 繊維状、クリソタイルに近い。 | 青～黄色 | グラデーションのような色の变化、光が散乱している。 | | 形状と偏光板を入れたときの分散色 | |
| ガラス繊維(グラスウール、ロックウール) | のっぺりしている。曲がっているものもあり。粒子内では太さが一定。 | クリソタイルに近い色もある。 | 色の变化なし。 | 輪郭がはっきりしているものが多い。 | 回転偏光板を入れたときの色の变化なし。 | 吹付け材、断熱材に多用されている。 |

は設置されておらず、そのため簡単に消光角などを決めることはできない。既に述べたように似たような屈折率を持つ鉱物はいくらでもあり、同じような分散色を示す。またアナライザーを挿入しただけでは、検体の置かれた方向によって分散色が変わってしまい、回転させると観察者を戸惑わせるように色が変化する。このため市販の位相差顕微鏡を用いて、他の鉱物と混在しているアスベストを同定するのは大変難しいであろう。図1にはほぼ直交するように置いた茶石綿だけの繊維の、アナライザー挿入時の分散色の写真を示す。図2には図1の位置でアナライザーを90度回転した状態の写真を示す。

図3と図4に白石綿を分散色観察用ではない位相板を用いた位相差顕微鏡で撮った写真を示す。この位相差顕微鏡には対物レンズに位相板(膜)が付属しているために、本来の偏光顕微鏡による観察とは異なる色を示す場合がある。大気浮遊物中のアスベストの同定はこのレ

ンズを使用した観察から始まることもあり、また分散色観察用のレンズを使用することもある。

図3はアナライザーを挿入せず、そのまま撮影したものである。図4はアナライザーのみを挿入し、0度の位置で撮影したものである。両図で白石綿は前述のように通常の色とは異なり青味がかって見える。位相差顕微鏡に市販の写真機材店などで売られている偏光板を用いて、アナライザーと正確に逆方向に振動する光しか通さないように検体の下方に設置し、機能の向上を試みた。この偏光板を通常ポーラライザーと言う。この状態でポーラライザーとアナライザーを使用して光の振動方向を直交させたとき、つまり直交ニコルのときの白石綿の顕微鏡写真を図5と図6に示した。図5の白石綿は消光位にあり光は白石綿を通過できないためほぼ真っ暗な状態である。図6の顕微鏡写真は消光位からアナライザーを45度回転させたもので、もっとも明るい色を示

表2 浸液屈折率1.680を使用した場合、アモサイト又はクロシドライトと間違えやすい物質

| | 形状 | 分散色 | 回転偏光板を入れたときの色の变化 | 位相差レンズを用いた場合の見え方 | アモサイト、クロシドライトとの違い | その他 |
|---------------|---|------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|
| アモサイト | 柱状～針状 | 紫～桃色 | 青色～黄色 | 青みががっている。 | | |
| クロシドライト | 柱状～針状 | 黄色～橙色 | 橙色で明暗あり。 | 青～かすかに黒みががっている。 | | |
| 黒雲母 | 板状、稀に繊維状に見えることもある。 | 水色～青 | 青～水色 | | 分散色と形状 | |
| トレモライト(透閃石) | 板状～柱状、一部針状にも。 | 水色 | 水色で明暗(ほぼ変化なし) | 無色 | 分散色 | アスベストの一種。浸液屈折率1.605と1.640で同定 |
| アクチノライト(透緑閃石) | 板状～柱状、一部針状にも。 | 水色(ほぼ無色) | 青で明暗(ほぼ変化なし) | 輪郭がはっきりしている 無色 | 分散色 | アスベストの一種。浸液屈折率1.605と1.640で同定 |
| アンソフィライト(直閃石) | 柱状～一部針状 | 無色～水色 | 青で明暗(ほぼ変化なし) | 輪郭がはっきりしている 無色 | 分散色と消光位 | アスベストの一種。浸液屈折率1.605と1.640で同定 |
| 普通角閃石 | 板状～柱状 細いものは針状に見えることもある。 | 濃い青～青紫、薄い青のときもある。 | 赤紫～青(青で明暗のときもある) | 青(少し黒みががっている) | 分散色と形 | |
| 斜方輝石 | 柱状～長柱状 | 橙 | 橙～赤紫 | 輪郭ははっきりしない。 青みががっている。 | 形 | クロシドライトに分散色似る。 |
| 単斜輝石 | 柱状～短柱状 | 紫～赤紫 | 橙～紫～青 | 無色に近い青 | 形 | アモサイトに分散色似る。 |
| かんらん石 | 短柱状でころころしている。 | 青 | 青で明暗 | 無色 | 分散色と形 | |
| 珪灰石 | 針状 | 水色 | ほぼ変化なし。 | 無色 | 分散色 | クロシドライトによく形が似ている。 |
| ガラス繊維 | のっぺりしている。曲がっているものもあり。同一粒子内では太さが一定、まっすぐしたものはアモサイトやクロシドライトと間違える可能性あり。 | アモサイトやクロシドライトに近い分散色を示すものもある。 | 色の变化なし。 | 輪郭がはっきりしているものが多い。 | 回転偏光版を入れたときの色の变化なし。 | 吹付け材に多用されている。 |

す。付属のアナライザーと市販の偏光板をポーライザーとして組み合わせるだけでも、このように消光位が正確に決定できる。

次に遮蔽板のついている分散染色用の対物レンズを用いて、繊維状の白石綿を1.550の屈折率を持つ浸液に浸した状態で、どのように見えるかを示す。図7は、アナライザーを挿入せずに分散色を見たものである。図8と図9は、アナライザーを挿入して観察した分散色である。白石綿は伸長方向の光学性が正であるから、これが偏光の振動方向と一致したとき青色を示し(図8)、アナライザーを90度回転させて偏光の振動方向と直交したとき赤紫色(赤系の色)を示す(図9)。繰り返になるが、同じような色を示す鉱物は数多くあり、鉱物の光学的特性の知識がなければ、様々な光学性を持っているすべての鉱物を、このような分散色だけで断定するのは、アナライザーを使用したとしても困難な場合は多々ある。

同じことを茶石綿で見よう。図10と図11に位相差板が付属している位相差顕微鏡の対物レンズを使用して、撮影した顕微鏡写真を示す。図10はアナライザーを挿入せず、そのまま撮影したものである。図11はアナライザーのみを挿入し、0度の位置で撮影したものである。この状態でポーライザーとアナライザーを使用して光の振動方向を直交させたとき、つまり直交ニコルのときの茶石綿の顕微鏡写真を図12と図13に示した。図12の茶石綿は消光位にあり、茶石綿を通過した光は観察できない。図13の顕微鏡写真は、消光位から直交ニコルのままアナライザーとポーライザーを同時に45度回転させたもので、もっとも明るい色を示す。白石綿と同じように原理的にはポーライザーを使うことにより、偏光顕微鏡がなくても消光角を確認することができた。

続いて図14, 15, 16には遮蔽板の付属した対物レンズを用いて、屈折率1.680の茶石綿の分散色を観察した写

表3 浸液屈折率1.700を使用した場合、アモサイト又はクロシドライトと間違えやすい物質

| | 形状 | 分散色 | 回転偏光板を入れたときの色の变化 | 位相差レンズを用いた場合の見え方 | アモサイト、クロシドライトとの違い | その他 |
|---------------|---|------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| アモサイト | 柱状～針状 | 青色 | 青色で明暗 | 輪郭が不明瞭。 | | |
| クロシドライト | 柱状～針状 | 青色 | 青色で明暗 | 輪郭が不明瞭。 | | |
| トレモライト(透閃石) | 板状～柱状で一部針状。 | 無色(分散色が出ない) | | 無色 | 分散色 | アスベストの一種。浸液屈折率1.605と1.640で同定。 |
| アクチノライト(透緑閃石) | 板状～柱状で一部針状。 | 無色(分散色が出ない) | | 無色 | 分散色 | アスベストの一種。浸液屈折率1.605と1.640で同定。 |
| アンソフィライト(直閃石) | 柱状～一部針状 | 無色～水色 | 青で明暗(ほぼ変化なし) | 輪郭がはっきりしている。 無色 | 分散色と消光位 | アスベストの一種。浸液屈折率1.605と1.640で同定。 |
| 黒雲母 | 板状、稀に繊維状に見えることもあり。 | 無色(分散色が出ない) | | | 分散色と形状 | |
| 普通角閃石 | 板状～柱状で細いものは針状にも。 | 青(水色に近い明るい青) | 青色で明暗 | 無色 | | |
| 斜方輝石 | 柱状～長柱状 | 青～青紫 | 青～紫 | 青みがかったり。 | 形 | クロシドライト、アモサイトに分散色似る。 |
| 単斜輝石 | 板状 | 青 | 青で明暗 | 無色に近い青 | 形 | クロシドライト、アモサイトに分散色似る。 |
| かんらん石 | 短柱状でころころしている | 無色(分散色が出ない) | 青で明暗 | 無色 | 分散色と形 | |
| 珪灰石 | 針状 | 無色(分散色が出ない) | | 無色 | 分散色 | クロシドライトによく形が似ている。 |
| ガラス繊維 | のっぺりしている、曲がっているものもあり、同一粒子内では太さが一定、まっすぐしたものはアモサイトやクロシドライトと間違える可能性あり。 | アモサイトやクロシドライトに近い分散色を示すものもある。 | 色の变化なし。 | 輪郭がはっきりしているものが多い。 | 回転偏光板を入れたときの色の变化なし。 | 吹付け材に多用されている。 |

真を示す。図 14 はアナライザーを挿入せずに、図 15、16 はアナライザーを挿入して分散色を観察したものである。茶石綿は白石綿と同様に伸長方向の光学性が正であるから、これが偏光の振動方向と一致したとき青色を示し（図 15）、アナライザーを 90 度回転させて偏光の振動方向と直交したとき^{だいたい} 橙色（赤系の色）を示す（図 16）。

以上位相差顕微鏡を使用した消光角の確認の試みと、分散色がどのようなものであるかを白石綿と茶石綿で示した。鉱物の屈折率は光学的方位で異なり、アナライザー使用時の分散色がどのような色になるかは非常に複雑であるだけではなく、この方法によってアスベストを同定することがいかに困難であるか想像していただきたい。詳細を述べるには専門的過ぎるが、位相差顕微鏡を通常の試料台が回転する偏光顕微鏡と並べておいて、交互に使いながらならば、更に多くの光学的特長を決定することができて同定の確度は向上するであろう。しかし 400 倍で観察していたものを隣の顕微鏡に移して、直ちに同定を行っていた同じ鉱物を視野の中心にピタリと置けるような神技が可能であろうか？また今回試みたように市販のポーライザーを使用すれば、消光角を決定することは可能ではあるが、作業の複雑さを考えると、やはり特別な訓練を積んだ人以外では現実的には大変困難であると思われる。

しかし、偏光顕微鏡での訓練を十分に積んで鉱物学的な知識が十分にあれば、今回のように付属のアナライザーを使用することにより、鉱物の光学的な伸長方向が正であるか負であるかを確認することができる。偏光顕微鏡により鉱物同定の訓練を十分に積んでいけば、その他にも多くの鉱物学的な知識や経験を得ることができ、位相差顕微鏡による同定にも役立つであろう。

5 おわりに

現状では、初めに偏光顕微鏡で鉱物同定の訓練を十分に積んで、そこで得た鉱物学的な知識と経験を基にして位相差顕微鏡による分散染色法を加えて同定することにより、より正確なアスベストの同定を行うべきである。簡単な方法は当面なさそうである。そこで、白石綿と紛らわしいもの、茶石綿と紛らわしいもの、青石綿と紛らわしいものなどを挙げながら、石綿と他のものをどのように区別したらよいかコツのようなことを簡単に表 1~

3 にした。ここに示した表はあくまでも目安に過ぎないが、紛らわしいものと間違えてしまうようなことは格段に減少するであろう。しかし、それでも不完全である可能性はぬぐえず、ぜひ充分な訓練を積んだ人が同定を行っていただきたい。

文 献

- 1) M. Ross, R. P. Nolanm : "Geological Society of America, Special Edition", Edited by Y. Dilek. S. Newcomb, p. 447, (2003).
- 2) R. L. Vitra : United State Geological Survey, Open File Report, 2, 2002.
- 3) JIS A 1481, 建材製品中のアスベスト含有率測定方法, (2006).
- 4) F. C. Hawthorne, H. D. Grundy : *Canadian Mineralogists*, 14, 334 (1976).
- 5) 榎並正樹 : 岩石鉱物科学, 35, 11 (2006).
- 6) 環境庁大気保全局, アスベストモニタリングマニュアル (改定版), (1993).
- 7) 日本石綿協会 : <http://www.jaasc.or.jp>
- 8) 村井嘉寛 : 岩石鉱物科学, 35, 34 (2006).
- 9) 宇野泰章 : 粘土科学, 32, 42 (1992).



佐々木一弘 (Kazuhiro SASAKI)

(株)アスベストセーフネット (〒981-3203 仙台市泉区高森 2-1-40 21 世紀プラザ研究センター 104)。東北大学大学院理学研究科地学専攻博士課程後期修了。理学博士。《現在の研究テーマ》アスベスト分析における残さ率の低減のための鉱物分離法の開発。

E-mail : sasaki@asbestos-safe.net



中倉隆雄 (Takao NAKAKURA)

(株)アスベストセーフネット (〒981-3203 仙台市泉区高森 2-1-40 21 世紀プラザ研究センター 104)。東北大学大学院理学研究科博士前期課程修了。《現在の研究テーマ》角閃石系のアスベストの無害化。《趣味》ソフトテニス。

E-mail : nakakura@asbestos-safe.net



藤巻宏和 (Hirokazu FUJIMAKI)

東北大学大学院理学研究科 (〒980-8578 仙台市青葉区青葉 6-3)。東京大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。《現在の研究テーマ》汚染土壌の浄化法に関する研究。《主な著書》“アスベスト” (共著) (東北大学出版会)。《趣味》スキー。