

# 災いが帰ってくる：アパラチアの黒色肺

Carrie Arnold

翻訳：五島綾子、五島廉輔、上田昌文

原題：A Scourge Returns: Black Lung in Appalachia

『環境健康展望』124巻1号A13、2016年1月

*Environ Health Perspect, volume 124, issue 1, A13, January 2016*

(著者について：バージニア州に住んでいるフリーランスのサイエンスライターで、著作は Scientific American, Discover, New Scientist, Smithsonian、他多くに掲載されている)

ニューリバー・ヘルスクリニックに月に1回、Tシャツ、ジーンズ、野球帽の男たちの集団が長いテーブルを囲む。小さな平屋の黄色の羽目板の建物がスカーバラ (Scarbro) という小さな町中にあるウェストバージニア南部のれき青質の丘にたたずんでいる。これがこのクリニックである。フェイエット (Fayette) 郡黒色肺協会のメンバーたちはにがい黒いコーヒーを小さなスタイロフォーム (発砲スチロール) 製カップに注ぎながら、互いに名前呼び合ひながら挨拶を交わす。



図1 1970年代初頭には、石炭労働者塵肺症、または黒色肺が地下で長い期間働いていた炭鉱労働者のおおよそ三分之一に襲いかかっていた。新しい粉塵規制が効果を発揮するようになると、黒色肺の拡がる速度は急落した。ところが、今日、その速度は再び劇的に上昇し、そればかりか新しい世代の黒色肺の患者が以前よりもっと早く進行する疾病を抱えている。

おしゃべりとコーヒーの間は咳、咳。男たちの幾人かは騒々しくからせきをするが、大方の男たちは静かである。彼らすべてに地方の炭鉱で働いていた時に患った黒色肺が進行している。一般的に全米の大人の 18% がたばこを喫煙し、<sup>2</sup> 炭鉱労働者もそのおおよそ 22% がたばこを喫煙する<sup>1</sup> という。しかし（ここに集まる）彼らの誰ひとりとして煙草を吸わない。彼らは支援グループとして集まってきたわけではない。むしろ政府委託の黒色肺に対する給付の申請に必要な山積した事務処理を仕上げるために互いに助け合い、煩雑な上訴を進めようとしている。

メガネをかけた 70 代のグループリーダーである Joe Massie は別にして多くのメンバーは 50 代から 60 代初頭である。黒色肺が進行している幾人かには比較的若いものもいる。そしてその他の労働者はすでに初期の病を患っている。そのように早く病にかかってしまった炭坑夫たちはアパラチアの至る所で荒れ狂う新しい黒色肺の患者の波の最前線にいる。

アメリカ国立労働安全衛生研究所（NIOSH<sup>1)</sup>）によって実施された国家的調査により重篤な黒色肺が急激に進行している地域的な集積を、特にアパラチアで確認した。<sup>3</sup> 科学者たちは 2005 年に初めてこの厄介な傾向に注目したのであった。これらの懸念は炭鉱地域のアウトリーチ<sup>2)</sup>を行いながら、移動式医療機器を用いる自動車にとりつけた追跡調査で確認された。<sup>4, 5</sup> 後に続く研究でウェストバージニアが特に打撃が大きかったことが発表された。<sup>6</sup> 2000 年から 2012 年にかけて最も重症の黒色肺の流行は現在の粉塵法が立法化された<sup>8</sup> 1970 年以來見られなかったレベルにまで高まっていた。<sup>7</sup>

さらに恐ろしいことには、黒色肺の新しい世代は多くの場合、以前の世代より急速に進行することである。今日、進行した黒色肺は仕事を始めて 7.5 年から 10 年も経たないうちに発症してしまうと、ウェストバージニア大学の呼吸器専門家の Edward Petsonk は語る。しかしすべてのケースがそれほど速く進行するわけではない。それ故に労働衛生の研究者たちは自分たちが氷山の一角を見ているにすぎないのではと恐れている。

## 黒色肺の歴史

黒色肺は新しい病ではない。人類はほぼ 5000 年前の青銅器時代に中国で最初に石炭の採掘をスタートして以来、<sup>9</sup> 鉱山で働く人々は黒い粉塵を吸い込み、これがやがて彼らの肺を破壊していった。

1846 年の記録によると、スコットランドの医師である Archibald Makellar は極めて高いレベルの粉塵にさらされた炭坑夫の肺の病の進行状態を描写していた。鉱山で働いていた若くて強靱な男性がほんの短期間従事しただけで咳に襲われ、インクのような痰を吐き、急激に遅くなる脈拍、全身の疲労に陥った。彼は 2, 3 年後に亡くなり、死後胸の検査から肺に穴があき、固体あるいは液体状の炭素系の物質で満たされた空洞がいくつか観察された。<sup>10</sup> Makellar はその病気を黒色肺結核と呼んだ。後の医師たちは黒色肺の公式な現代名称として“石炭労働者塵肺症“(CWP<sup>3)</sup>)と名付けた。

病は粉塵とともに始まる。つるはしを振る場合も、大きな機械を使う場合も、有史前の原産地から石炭を砕いて取り出し、巨大な量の石炭粉塵をつくりだす。そして狭い地下の縦坑の中で空気によって運ばれる粉塵を効果的な方法によって制御されなければ、炭抗夫たちはそれを肺に吸い込むことになる。

炭鉱の粉塵は一様ではない。物質の種類も粒子のサイズもごちゃ混ぜで一緒になって肺に影響をもたらした結果、肺への影響が変化してくる。<sup>11</sup> より大きな胸部の粒子は気管支つまり肺への気道に積もっていく。<sup>12</sup> 石炭鉱山の粉塵が気管支に存在すると、粘液の生成を刺激し、人々は不快な粒子をもっと容易に吐き出すことができると Petsonk は説明する。それは有効なシステムであるが、粉塵の吸入が長引くと、炭抗夫は慢性の気管支炎に陥る。“石炭粉塵粒子は表面への化学的結合を含めて非常に反応性が高い”と Petsonk は語る。粉塵粒子は近くのどんなものにも、たとえば人体の組織も含めて相互作用し、炎症性反応を引き起こす。

呼吸によって取り込まれるより小さな粉塵粒子がむしろ CWP に最も関係するダメージを引き起こす。小さなサイズ、すなわち直径がしばしば 2.5 ミクロンまたそれ以下の微粒子は気管支を越えて細気管支や肺胞に容易に入り込むことができる。煙草の煙、自動車の排ガス、石炭鉱山の粉塵であれ、小さな粒子はこのように肺の深く沈着したところで炎症を引き起こす。<sup>13</sup> 身体の免疫系が粒子を攻撃し、その周辺で炎症を生みだす。炎症は侵入した病原体を殺すための助けとなるが、石炭やシリカのような石炭鉱山の粉塵を取り除くことができないので、そのままその場所に残り、肺組織に損傷を与える。身体はそのために二重にその効果で痛めつけられ、さらに繊細な肺の組織に損傷を与えてしまう。その結果、慢性の炎症に陥り、結局、肺に傷跡を残し、放射線科医が X 線や CT スキャンで見ることができる斑点を生み出すのである。<sup>14</sup>

損傷しているより小さな斑点は炭抗夫の肺の機能の測定値に殆ど影響を与えない。しかし、時間がたつとその損傷はさらに拡大し、免疫性及び炎症性の細胞、コラーゲン様繊維、さらにはいわゆる単なる CWP を暗示する黒い粉塵からなる 1 から 2mm の小結節をうみ出すようになる。<sup>15</sup> 単なる CWP の兆しは慢性の咳、増える痰の分泌、短い呼吸に見られる。CWP 患者はまた炭抗夫の罹病率の重要な原因となる肺気腫<sup>17</sup> のリスクが高まっている状態にある。<sup>16</sup>

幾人かの患者においては病が悪化し、複雑化した CWP に進み、進行性塊状線維症 (PMF<sup>4</sup>) として知られる病となる。名称が示唆しているように、PMF は直径 1cm 以上の繊維性の組織の大きな高密度の塊が特徴で、肺上部に多くの場合現れる。<sup>18</sup> 肺自身はしばしば黒くなったように見える。線維症は肺が酸素を血液に送り出す能力に影響を与え、慢性的に短い呼吸に苦しみ、やがて死に至る可能性がある。<sup>6</sup>



図 2 肺の切片は進行性塊状線維症（PMF）の爪痕を示している。疾病は上部の肺の部分に大きくて密度の高い繊維状の塊がしばしば現れる特徴を持っている。何年もかかって石炭の粉塵粒子がゆっくり蓄積されたために肺そのものが黒く見える。

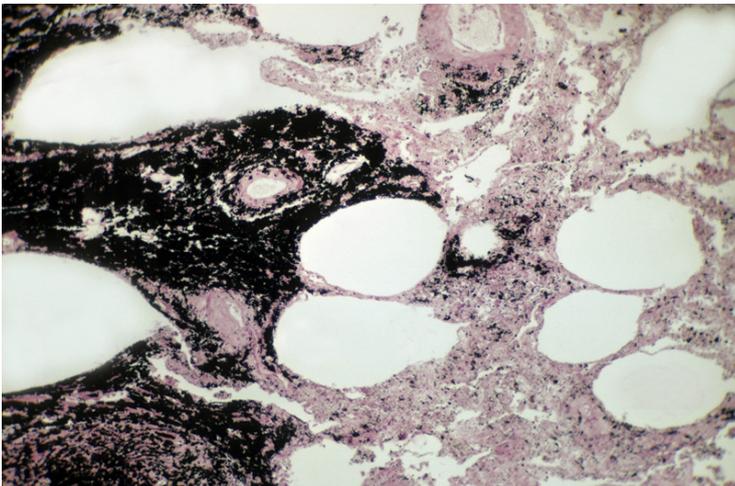


図 3 反応性の高い石炭鉱山の粉塵粒子は肺の最も深い部分に浸透できる。これらの石炭の粉塵またはシリカの粒子は吸入されて、肺を損傷する慢性の炎症反応を引き起こす。

当初は石炭の粉塵は無害とみられ、CWP の真の原因は硅肺症と信じられていた。この病気は石炭鉱山の粉塵の中にも見いだされる吸入性結晶シリコン粒子を吸い込むことによって生じる。<sup>19</sup> 実際に CWP の症状は硅肺症のそれと重なっている。すなわち二つの病は X 線で同じように見え、両者は石炭鉱山の粉塵肺の病として知られる一群に入れることができる。<sup>18, 19</sup> しかし研究は 19 世紀に Makellar<sup>10</sup> とその仲間のスコットランドの医師、J.C. Gregory<sup>20</sup> によって着手され、1920 年代と 30 年代まで続き、CWP の唯一の原因として石炭粉塵に特に焦点が当てられるようになった。<sup>21, 22</sup> 1950 年代までには、科学者たちは CWP が石炭粉塵の過剰な暴露によってほぼ確実に引き起こされることを示した。

これはアパラチア全体で働く数万人以上の石炭抗夫やその地方に住む人々の中では驚くことではなかった。彼らは何十年、黒色肺によって引き起こされる惨害をみてきたばかりか、体験してきたからである。1960 年代までにはその危機は山場を迎えた。1968 年にアメリカ炭抗労働者連盟のメンバーは働く環境

を改善し、石炭の塵肺から身を守り、黒色肺により身体障害を受けた炭抗夫のための基金を扱う機関の設置を要求してストライキに入った。<sup>23</sup>

ストライキが動かした。1969年にはアメリカ合衆国石炭鉱業健康と安全法または石炭法がまもなく議会を通過し、Richard Nixon 大統領によりサインされ法律が施行された。<sup>24</sup> 石炭法の制定により石炭鉱業安全・健康管理局が創設され、そしてすべての地下の石炭鉱業は年に4回、地上では年2回調査が求められた。したがってこの制定は粉塵量の炭抗夫に対する暴露許容限度を設定し、CWPにより健康を害した炭抗夫に対して補償を受けることができるように手続きを促した。

1970年初頭の石炭法が効力を発するようになってまもなくして25年以上地下で働いた炭抗夫の3分の1程度にCWPが見られた。<sup>5</sup> 新しい規則や規制の効果がでてくるにつれ、CWPの速度は落ち始め、その後、急落し始めた。1990年代までにCWPは過去の遺物になりつつあるようにみえた。<sup>25</sup>

## 粉塵と闘う

石炭法のもう一つの要求は石炭抗夫の健康の監視調査プログラム（CWHSP<sup>5)</sup>）、すなわち労働者が雇われてX線を受け、その後、5年ごとに継続検査にもどることができる黒い肺のボランティアによるスクリーニングプログラムであった。X線評価を行う責任者の医師の一人、Petsonkは改良された粉塵の基準にしたがってCWPと診断された炭抗夫の数が減少し始めた後で、<sup>25</sup> CWPにかかった炭抗夫の数はさらに減り続けるだろうと期待したが、実際には落ちなかった。彼は2000年代の初期にはPMFの患者の数は増加しつつあると信じていたのであるが、彼の考えを裏打ちするためのデータが必要とされた。

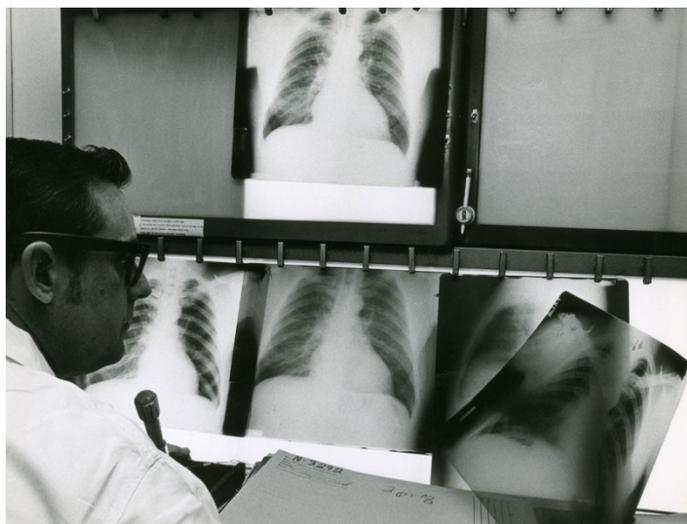


図4 石炭労働者の健康調査プログラムは1970年代初期に石炭法制定の下で生まれた。自発的にプログラムに参加する炭抗夫は雇用の際にX線検査を受け、その後、5年ごとにX線の追跡調査に参加する。2000年代中ごろ、プログラムに参加している医師たちは連邦当局者にアパラチアの炭抗夫に黒色肺の再燃を警告した。

2005年に彼はアメリカ合衆国労働安全保健研究所（NIOSH<sup>6)</sup>）の研究者とともにアパラチアを含めて急激に進行するCWPの事例の地理的なクラスターの最初の証拠を発表した。<sup>3</sup> 2011年に彼と仲間の研究者は2000年から2009年の間にPMFに関して国により補償された138人のウェストバージニアの炭

抗夫についての研究成果を発表した。<sup>6</sup> 炭抗夫たちは石炭法が発効された後の長期間、鉱山において働いてきた。この研究に基づいてこの石炭法の基準が適切ではなかったか、そのルールが遵守されてこなかったか、または両方かであることが明らかにされた。この病を起こす唯一のものは炭抗での粉塵の吸入であると、NIOSH の呼吸器健康科のディレクター、David Weissman は語る。人々を若くして病気にしてしまうためには、彼らが過剰に暴露されたにちがいない。これこそが法令遵守の失敗を意味している。

NIOSH のスクリーニングプログラムから得られた黒色肺のデータは以下のことを示している。CWP の上昇はケンタッキー、バージニア、そしてウェストバージニアにおいて顕著であり、<sup>26</sup> 小さな規模の操業の鉱山（155 人以下の炭抗夫）で働く炭抗夫はより大きな操業の鉱山で働く炭抗夫より深刻に影響を受けていたようであった。<sup>27</sup> 他の州の炭抗夫と比較してみると、これらの地域の炭抗夫はより若く、地下ではほんの数年前働いたにすぎないが、PMF すなわちもっとも重い黒色肺を患っているようであった。<sup>27</sup> 別の研究では肺活量測定により検知された異常な肺機能は CWP よりも三倍も蔓延していたことが示された。これは CWP が炭抗夫の肺に影響を与えていた唯一の病気ではなかったことを示唆している。

スクリーニングプログラムは任意であり、それ故に炭抗夫の三分の一以下程度しか参加していない。<sup>28</sup> NIOSH 研究者はそれらの最初の研究結果の信頼性をさらに分析した。2014 年に報告されたこれらの分析結果によると、炭抗夫の間での CWP 有病率のもともとの見積もりは誇張されたものではなかった。むしろ現実に黒色肺の有病率を少なめに見積もっていたのかもしれない。<sup>29</sup>

PMF は CWHSP 参加者の 0.08% のみに、そして少なくとも 25 年地下で働いた炭抗夫の 0.33% にその影響が見られたものの、2000 年にはほとんど存在しなくなっていた。<sup>7</sup> しかし NIOSH や“疫病コントロール及び予防センター(the Centers for Disease Control and Prevention)”の研究者たちは PMF の有病率の図表を描いた時、急こう配の U 字形のカーブを見出した。彼らは 2012 年までにその有病率を 2000 年のそれと比較して 900% に跳ね上がり、25 年以上働いた炭抗夫の 3.23% にまで影響を与えていたことを報告した。<sup>7</sup> これらは 1970 年代初期以来見られなかったレベルであり、最新の粉塵の管理基準値が有効になったすぐ後であったと、共著者の NIOSH の疫学者 David Blackley は言う。

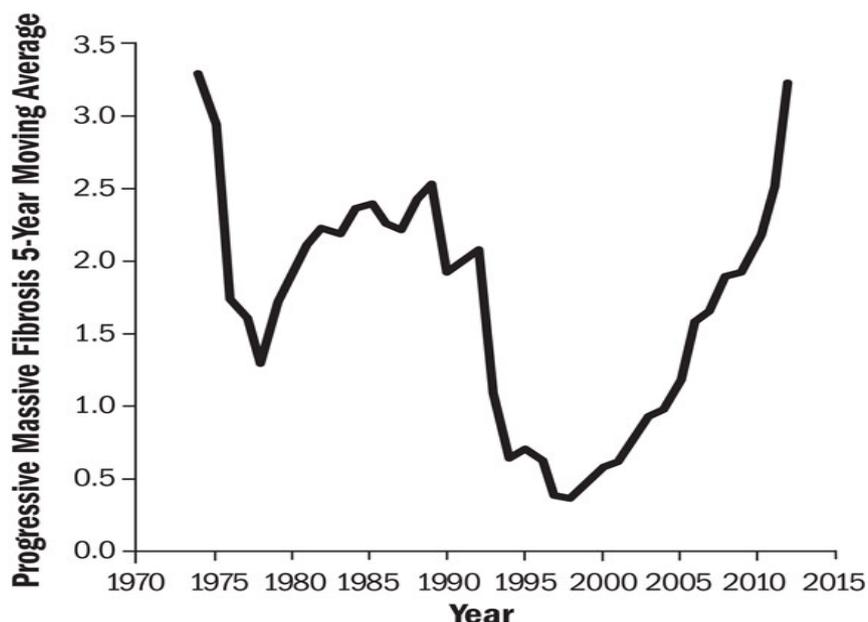


図5 石炭法の効果が出てまもなく経た 1974 年には地下鉱山で 25 年以上の身分保障されていた炭坑夫のほぼ 3.5% に PMF が襲いかかっていた。新しい保護法の下でその速度は急激に落ちたが、それ以来再燃し、過去 15 年を通して劇的に 900% にまで上昇した。Source: Blackley et al. (2014)<sup>7</sup>

NIOSH の科学者がこれらの数を見て多分最も挫折感を抱く部分はこのようなことがあってはならなかったと知ることであった。“石炭労働者の塵肺は全く予防できる病である。石炭粉塵をこのように多く吸入しなかったら病気にならなかっただろう。” NIOSH の共著者の A.Scott Laney は言う。

フェイエット郡黒色肺協会の労働者に再燃したことはなぞではなかった。背が高く肩幅が広く、グレイの口髭の Terry Lilly によると、1980 年代の石炭炭坑夫協会の弱体化が石炭法により設置された防護を蝕み、その結果、労働者を無防備な状態においてしまった。現場監督として働いた Lilly は石炭鉱山の当局者が鉱山の塵肺基準の測定値を変更するように彼に指示してきたという。

鉱山の視察官が地下に足を踏み入れる前にすでに彼らが向かっていることを知っていた。彼らは我々を呼び訪問者が来ることを我々に知らせ、そして我々は仕事に取り掛かっていた。我々は粉塵モニターを常に新鮮な空気がまわっている通気口の下に設置した。我々はカーテンを開けたのだと Lilly は言う。そして粉塵が厚く積もった時でさえ、彼の選択は働き続けるかまたは仕事を失うかのどちらかであった。連盟がより強くなった数十年前には彼は安全でない状況での作業を中止させる権限を与られていると感じていたと、彼は言う。しかし今日、それも遠い昔である。

違反を起こした鉱山企業は売却され破産し、そして代表者たちはこの評判に対してコメントすることもできなかった。しかし全国的鉱山組合の代表者の Luke Popovich は語る。この業界の誰もが鉱山事故を望んでいないばかりか、彼らの従業員に何らかの理由で安全基準を無視するように告げてはいない。

全米石炭協議会の准ディレクターの Jason Hayes は付け加える。私はいかなる匿名レポートにもコメントできない。しかし私は指摘したい。鉱山の呼吸できる粉塵基準を管理している明確な州および国の規制があるばかりか、労働者の粉塵暴露を減らすために求められている安全基準もある。そしてすべてのアメリカの鉱山はこれらの規制に従うことが要求されている。

## 安全性の新しい時代

最も大きな石炭鉱脈の多くははるか昔に枯渇し、現代の炭坑夫にとってはほんの小さな狭い鉱脈が残されているにすぎない。Lilly はそこにはたくさんの石炭がまだあるが、石炭を採掘するために必要な大きな機械を置く空間をつくるために、石炭でなくその周りの岩盤に発破をかける必要がある。岩盤の主成分はシリカであり、矽肺症の原因である。<sup>30, 31</sup>

Weissman と他の研究者たちはシリカと石炭の両者を含む粉塵が特に毒性があり、新しい CWP の急増に関係しており、以前の世代の CWP より速く進行させる原因であると信じている。<sup>31, 32</sup> この粉塵は非常に毒性があり、炭坑夫はそれをより多く吸入していると、Weissman は語る。まさに発現しているものは CWP ではなく、混合した粉塵による CWP と矽肺症の最悪の様相をもつ疾病のように見える。この考え方はより進行した CWP の炭坑夫から得られた肺のサンプルの最近の病理組織学的分析により支持されていると彼は言う。<sup>32</sup>

New York University School of Medicine のポストドクの科学者、Andrea Harrington は、” CWP の増加が何故中央アパラチアで顕著であるかという問いに対して石炭の内容物が役割を持つのかかもしれない” と語る。この地域で採掘される石炭は異常に高い濃度の黄鉄鉱を含み、これは“患者の黄金”として一般的に知られる鉄化合物である。<sup>33</sup> 黄鉄鉱中の鉄はかなり化学的に反応性が高く、水分子から電子を引き抜いて、過酸化水素、ヒドロキシルラジカル、スーパーオキシド、一重項酸素など活性酸素種を生成する。<sup>34</sup>

2005 年の研究では、様々な炭坑地域で実証された石炭の中の黄鉄鉱の含量と CWP の進行速度の間に関係性を報告している。<sup>35</sup> Harrington の研究では石炭粉塵中の黄鉄鉱が炎症を増やし、<sup>36</sup> 肺の損傷を増加させる<sup>37</sup>という。彼女によると、吸入量の問題で、あなたの体は苦しめられる前に大量の粒子を対処できると。

いかなる粉塵の吸入も問題を引き起こすようだと、Harrington は付け加える。しかし、吸入された粉塵に反応性の高い金属が加わると、問題を悪化させるばかりだ。

アメリカの石炭鉱山の数の減少、つまり天然ガスとの競争と低下する利益の結果であるが、<sup>38</sup> アメリカの石炭生産は減少し、2013 年には 20 年間ではじめて 10 億トン以下に低下した。<sup>39</sup> 少ない炭坑夫で生産性をあげるというプレッシャーが機械化を増加させ、その結果、労働者が手作業の頃に比べ、よ

り小さなより有害な粉塵粒子を生みだしていたのであった。また炭抗夫はより長時間働いた。これは長時間暴露されるばかりか、肺からの粉塵を浄化する交替時間をなくしてしまうことを意味している。<sup>29</sup>

増加の原因が何であれ、炭抗夫たちはより強力な労働法と粉塵保護が彼らの仲間の炭抗夫たちを病気から救い続けることに役に立つであろうと信じている。彼らの願いは鉱山安全保健管理局が粉塵暴露についての最新の規則を発効した 2014 年になされた。2016 年に発効された規定の中で許容できる全体の粉塵レベルは  $2.0 \text{ mg/m}^3$  から  $1.5 \text{ mg/m}^3$  と厳しくなり、そして鉱山経営者は持続的に粉塵基準をモニターすることが要求され、もし粉塵基準が高ければ、ただちに行動することが求められている。<sup>40</sup>

このような変化はそれ故に X 線ばかりでなく、肺活量を用いた肺機能テストによってなされる CWP 調査を要求している。これは石炭鉱山塵肺暴露が引き起こす肺のはん痕のみならず気道に与えたダメージを捉えることができると Northwestern University 呼吸器内科教授 Robert Cohen は語る。



図 6 粉塵暴露の最新の規則は肺活量測定法による肺機能テストを要求しており、黒色肺以外に他の仕事に関係した肺の病を確認する助けとなるかもしれない。

Popovich は語る。鉱山産業界は「暴露から炭抗夫を保護するためにより多くのことができる、あるいはなされなければならない。」と信じている。「鉱山安全保健管理部が新しい粉塵基準に関して規則制定の手続きをしている間に産業界は具体的に提案をしたのだ。」と彼は言う。特にすべての炭抗夫に NIOSH 調査プログラムに会社命令で参加するばかりか、呼吸で吸い込む粉塵による炭抗夫の暴露を減少するために徐々に強くなる保護制御の階層性の採用を要求した。<sup>41</sup> しかしながら、Popovich はこれらの提案は管理部によって採用されなかったという。

採用された基準は実際に CWP の数を減少させるかどうか言及するには早過ぎるが、研究者たちはそのように望んでいる。ほぼ労働者の 10% を無能力にしてしまう疾病は他の環境分野では受け入れられないであろうと、Blackley は語り、「彼らはこのリスクに暴露されるべきではない。」と言う。

## 注

- 1) NIOSH: アメリカ国立労働安全衛生研究所 (the National Institute for Occupational Safety and Health)
  - 2) アウトリーチ: 援助などを通常行われている限度を超えて差し伸べようとする活動または啓蒙活動
  - 3) CWP: 石炭労働者塵肺症 (coal workers' pneumoconiosis)
  - 4) PMF: 進行性塊状の線維症 (Progressive Massive Fibrosis)
  - 5) CWHSP: 石炭抗夫の健康の監視調査プログラム (the Coal Workers' Health Surveillance Program)
  - 6) NIOSH: アメリカ合衆国労働安全保健研究所 (the National Institute for Occupational Safety and Health)
- 

## References

1. Wang ML, et al. Lung-function impairment among US underground coal miners, 2005 to 2009: geographic patterns and association with coal workers' pneumoconiosis. *J Occup Environ Med* 55(7):846-850 (2013), doi: [10.1097/JOM.0b013e31828dc985](https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e31828dc985).
2. CDC. Cigarette Smoking Among U.S. Adults Aged 18 Years and Older [website]. Atlanta, GA:U.S. Centers for Disease Control and Prevention (updated 23 October 2015). Available: <http://www.cdc.gov/tobacco/campaign/tips/resources/data/cigarette-smoking-in-united-states.html> [accessed 8 December 2015].
3. Antao VC, et al. Rapidly progressive coal workers' pneumoconiosis in the United States: geographic clustering and other factors. *Occup Environ Med* 62(10):670-674 (2005), doi: [10.1136/oem.2004.019679](https://doi.org/10.1136/oem.2004.019679).
4. Antao VC, et al. Advanced cases of coal workers' pneumoconiosis—two counties, Virginia, 2006. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 55(33):909-913 (2006); <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5533a1.htm>.
5. Attfield MD, Petsonk EL. Advanced pneumoconiosis among working underground coal miners—eastern Kentucky and southwestern Virginia, 2006. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 56(26):652-655 (2007); <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5626a2.htm>.
6. Wade WA, et al. Severe occupational pneumoconiosis among West Virginian coal miners: one hundred thirty-eight cases of progressive massive fibrosis compensated between 2000 and 2009. *Chest* 139(6):1458-1462 (2011), doi: [10.1378/chest.10-1326](https://doi.org/10.1378/chest.10-1326).

7. Blackley DJ, et al. Resurgence of a debilitating and entirely preventable respiratory disease among working coal miners. *Am J Respir Crit Care Med* 190(6):708-709 (2014), doi: [10.1164/rccm.201407-1286LE](https://doi.org/10.1164/rccm.201407-1286LE).
8. MSHA. History of Mine Safety and Health Legislation [website]. Arlington, VA: Mine Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor (2015). Available: <http://www.msha.gov/MSHAINFO/MSHAINFO2.HTM> [accessed 8 December 2015].
9. Dodson J, et al. Use of coal in the Bronze Age in China. *The Holocene* 24(5):525-530 (2014), doi: [10.1177/0959683614523155](https://doi.org/10.1177/0959683614523155).
10. Makellar A. An Investigation into the Nature of Black Phthisis; Or Ulceration Induced by Carbonaceous Accumulation in the Lungs of Coal Miners. Edinburgh: Andrew Jack (1846); eBook, Project Gutenberg. Available: <http://www.gutenberg.org/files/21907/21907-h/21907-h.htm> [accessed 8 December 2015].
11. McCunney RJ, et al. What component of coal causes coal workers' pneumoconiosis? *J Occup Environ Med* 51(4):462-471 (2009), doi: [10.1097/JOM.0b013e3181a01ada](https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181a01ada).
12. Heyder J. Deposition of inhaled particles in the human respiratory tract and consequences for regional targeting in respiratory drug delivery. *Proc Am Thorac Soc* 1(4):315-320 (2004), doi: [10.1513/pats.200409-046TA](https://doi.org/10.1513/pats.200409-046TA).
13. Donaldson K, Seaton A. A short history of the toxicology of inhaled particles. Part Fibre Toxicol 9:13. (2012), doi: [10.1186/1743-8977-9-13](https://doi.org/10.1186/1743-8977-9-13).
14. Laney AS, Weissman DN. Respiratory diseases caused by coal mine dust. *J Occup Environ Med* 56(suppl 1):S18-S22 (2014), doi: [10.1097/JOM.0000000000000260](https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000260).
15. Blackley DJ, et al. Profusion of opacities in simple coal workers' pneumoconiosis is associated with reduced lung function. *Chest* 148(5):1293-1299 (2015), doi: [10.1378/chest.15-0118](https://doi.org/10.1378/chest.15-0118).
16. Wang X, et al. Respiratory symptoms and pulmonary function in coal miners: looking into the effects of simple pneumoconiosis. *Am J Ind Med* 35(2):124-131 (1999); PMID: [PubMed].
17. Kuempel ED, et al. Contributions of dust exposure and cigarette smoking to emphysema severity in coal miners in the United States. *Am J Respir Crit Care Med* 180(3):257-264 (2009), doi: [10.1164/rccm.200806-840OC](https://doi.org/10.1164/rccm.200806-840OC).
18. Petsonk EL, et al. Coal mine dust lung disease. New lessons from an old exposure. *Am J Respir Crit Care Med* 187(11):1178-1185, doi: [10.1164/rccm.201301-0042CI](https://doi.org/10.1164/rccm.201301-0042CI).
19. Castranova V, Vallyathan V. Silicosis and coal workers' pneumoconiosis. *Environ Health Perspect* 108(suppl 4):675-684 (2000); PMID: [PubMed].
20. Gregory JC. Case of particular black infiltration of the whole lungs resembling melanosis. *Edinburgh Med Surg* 36:389-394 (1831).
21. Collins EL, Gilchrist JC. Effects of dust upon coal trimmers. *J Ind Hyg* 10:101-110 (1928).
22. Gough J. Pneumoconiosis of coal trimmers. *J Pathol Bacteriol* 51:227-285 (1940).
23. Barth PS. The development of the Black Lung Act. In: *The Tragedy of Black Lung: Federal Compensation for Occupational Disease*. Kalamazoo, MI: W.E. Upjohn Institute for Employment

Research (1987); Available: [http://research.upjohn.org/up\\_bookchapters/116](http://research.upjohn.org/up_bookchapters/116) [accessed 8 December 2015].

24. Federal Coal Mine Health and Safety Act of 1969. Public Law No. 91-173. Available: <http://www.msha.gov/SOLICITOR/COALACT/69act.htm> [accessed 8 December 2015].

25. Vallyathan V, et al. The influence of dust standards on the prevalence and severity of coal workers' pneumoconiosis at autopsy in the United States of America. *Arch Pathol Lab Med* 135(12):1550-1556 (2011), doi: [10.5858/arpa.2010-0393-OA](https://doi.org/10.5858/arpa.2010-0393-OA).

26. Suarathana E, et al. Coal workers' pneumoconiosis in the United States: regional differences 40 years after implementation of the 1969 Federal Coal Mine Health and Safety Act. *Occup Environ Med* 68(12):908-913 (2011), doi: [10.1136/oem.2010.063594](https://doi.org/10.1136/oem.2010.063594).

27. Laney AS, et al. Potential determinants of coal workers' pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States, 2005-2009. *Am J Public Health* 102(suppl 2):S279-S283 (2012), doi: [10.2105/AJPH.2011.300427](https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300427).

28. CDC. Work-Related Lung Disease Surveillance System (eWoRLD). Coal Workers' Pneumoconiosis. CWXSP: Estimated Number of Actively Employed Workers at Underground Mines and Number of Miners Examined, 1970-2006 [website]. Atlanta, GA:U.S. Centers for Disease Control and Prevention. Available: [http://wwwn.cdc.gov/eworld/Data/CWXSP\\_Estimated\\_number\\_of\\_actively\\_employed\\_workers\\_at\\_underground\\_mines\\_and\\_number\\_of\\_miners\\_examined\\_1970-2006/347](http://wwwn.cdc.gov/eworld/Data/CWXSP_Estimated_number_of_actively_employed_workers_at_underground_mines_and_number_of_miners_examined_1970-2006/347) [accessed 8 December 2015].

29. Laney AS, Attfield MD. Examination of potential sources of bias in the US Coal Workers' Health Surveillance Program. *Am J Public Health* 104(1):165-170 (2014), doi: [10.2105/AJPH.2012.301051](https://doi.org/10.2105/AJPH.2012.301051).

30. Leung CC, et al. Silicosis. *Lancet* 379(9830):2008-2018 (2012), doi: [10.1016/S0140-6736\(12\)60235-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60235-9).

31. Laney AS, et al. Pneumoconiosis among underground bituminous coal miners in the United States: is silicosis becoming more frequent? *Occup Environ Med* 67(10):652-656 (2009), doi: [10.1136/oem.2009.047126](https://doi.org/10.1136/oem.2009.047126).

32. Cohen RA, et al. Lung pathology in U.S. coal workers with rapidly progressive pneumoconiosis implicates silica and silicates. *Am J Respir Crit Care Med*, doi: [10.1164/rccm.201505-1014OC](https://doi.org/10.1164/rccm.201505-1014OC) [online 29 October 2015].

33. Diehl SF, et al. Distribution of arsenic, selenium, and other trace elements in high pyrite Appalachian coals: evidence for multiple episodes of pyrite formation. *Int J Coal Geol* 94:238-249 (2012), doi: [10.1016/j.coal.2012.01.015](https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.01.015).

34. Harrington AD, et al. Pyrite-driven reactive oxygen species formation in simulated lung fluid: implications for coal workers' pneumoconiosis. *Environ Geochem Health* 34(4):527-538 (2012), doi: [10.1007/s10653-011-9438-7](https://doi.org/10.1007/s10653-011-9438-7).

35. Huang X, et al. Mapping and prediction of coal workers' pneumoconiosis with bioavailable iron content in the bituminous coals. *Environ Health Perspect* 113(8):964-968 (2005), doi: [10.1289/ehp.7679](https://doi.org/10.1289/ehp.7679).

36. Harrington AD, et al. Inflammatory stress response in A549 cells as a result of exposure to coal: evidence for the role of pyrite in coal workers' pneumoconiosis pathogenesis. *Chemosphere* 93(6):1216-1221, doi: [10.1016/j.chemosphere.2013.06.082](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.082).

37. Harrington AD, et al. Metal-sulfide mineral ores, Fenton chemistry and disease-particle induced inflammatory stress response in lung cells. *Int J Hyg Environ Health* 218(1):19-27 (2015), doi: [10.1016/j.ijheh.2014.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.07.002).
38. EIA. Coal Mine Starts Continue to Decline [website]. Washington, DC:U.S. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy (updated 23 September 2015). Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=23052> [accessed 8 December 2015].
39. EIA. Annual Coal Report 2013. Washington, DC:U.S. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy (April 2015). Available: <http://www.eia.gov/coal/annual/pdf/acr.pdf> [accessed 8 December 2015].
40. Mine Safety and Health Administration. Lowering miners' exposure to respirable coal mine dust, including continuous personal dust monitors; Final Rule. *Fed Reg* 79(84):24813-24994 (2014); <http://webapps.dol.gov/federalregister/HtmlDisplay.aspx?DocId=27535&AgencyId=16>.
41. Watzman B. Re: RIN 1219-AB64; Comments on MSHA Proposed Rule for Lowering Miners Exposure to Respirable Coal Mine Dust, Including Continuous Personal Dust Monitors [letter]. Arlington, VA:Mine Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor (20 June 2011). Available: <http://www.msha.gov/REGS/Comments/2010-25249/AB64-COMM-74.pdf> [accessed 8 December 2015].