

移植などの治療が行われる。10 Sv以上の被ばくを受けると造血障害による感染、出血傾向に加えて被ばく後3日～2週間をピークに消化管障害の影響が大きくなり下痢・下血などの胃腸症状が強くなる。補液とともに前述のような治療が積極的に行われるが、この線量域になると現在の最先端医療でも救命することはほとんど困難になる。

放射線防護の考え方

ICRPは放射線防護体系として、1) 行為の正当化(放射線被ばくを伴う行為は、それによる損失に比べて便益の方が大きい場合でなければ行ってはならない)、2) 防護の最適化(経済的および社会的要因を考慮して合理的に達成できるかぎり被ばくを抑える)、3) 線量限度(職業被ばくおよび公衆被ばくにおける個人の線量の制限)、の3つを大きく掲げている¹⁾。しかし医療被ばくにおいては3)の線量限度が設けられていない。その理由は、a) 放射線被ばくをした人(患者)にはっきりした利益がある。b) 病態は患者ごとで異なり放射線診療に必要な限度を一律に決められない。c) 医師・歯科医師・放射線技師は、放射線防護・管理について十分な知識を持っており、被ばく線量を軽減するために絶えず努力をしている、という前提にある。

またICRPは防護の観点から、しきい値なし直線モデル: linear no threshold model、LNTモデルを提唱している。このモデルに基づき、がんの損害リスク係数を $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ としている。ただし、「集団実効線量は疫学的リスク評価の手段として意図されておらず、これをリスク予測に使用することは不適切である。長期間にわたる非常に低い個人線量を加算することも不適切であり、とくに、ごく微量の個人線量からなる集団実効線量に基づいてがん死亡数を計算することは避けるべきである(Publ.103、総括k)。」また、「LNTモデルが生物学的な真実として受け入れているの

ではなく、低線量被ばくにおいてどの程度のリスクならば避けるべきかの慎重な判断に使用するためのものである(Publ.103、A178)。」とし、「放射線防護の実用的な目的、すなわち低線量放射線被ばくのリスク管理に対する慎重な根拠を提供するものと考えている(Publ.103、65項)。」と示している²⁾。

内部被ばく問題

一方、被ばく機会としては、外部被ばくだけでなく放射性物質を体内に取り込んでしまう内部被ばくも起こりうる。前述したように自然放射線の被ばく線量に関して、世界的には空気中のラドンなどの吸入による内部被ばくが年間被ばく線量の過半数を占めている。またチェルノブイリや東京電力福島第一原子力発電所の事故の際には爆発により放出された核分裂生成物による一般環境の汚染と食物連鎖によるそれらの体内への取り込みが問題となった。タバコ煙に含まれるPo-210による被ばくもラドン同様に内部被ばくによるものとなる。Po-210の場合、壊変時に放出する放射線はほとんどがアルファ線であり、アルファ線は透過力が弱いため、体外から照射される外部被ばくや表面汚染の場合には、そのエネルギーが体内まで届かないため問題となることは少ないが、内部被ばくの際には沈着した臓器の周辺細胞にエネルギーを付与するために問題となってくる。

放射線防御機構に関する最近の知見

低線量の生体影響については実験室レベルでもいろいろな知見が得られてきており、生体には、高度な防御機能も備わっていることも見いだされている。我々は、がん抑制遺伝子p53ノックアウトマウスを用い、胎児の放射線誘発奇形の発生や、遺伝子突然変異の誘発について実験を行ってきた⁶⁻⁷⁾。正常なp53を有する野生型マウスでは、

3 Gyの急照射により放射線誘発突然変異が増加するが、おなじ3 Gyを約70時間かけて緩照射すると誘発突然変異が全く観察されなかった。一方で、p53ノックアウトマウスでは、緩照射においても線量率効果に基づく突然変異の減少は認められたものの有意な誘発突然変異の増加を認められた。同時に、免疫組織染色でアポトーシスを観察すると、野生型マウスでは多数のアポトーシスが見受けられるが、ノックアウトマウスでは全く観察されなかった⁷⁾。すなわち「ゲノムの守護神 guardian of the genome」としてのp53を介したp53依存性アポトーシスによる組織修復モデルを示してきた⁶⁾(図7)。このように、通常の生物体には高度な防御機能も備わっており、それが破綻した時に、発がんなどの影響が観察されると考えられる。低線量の放射線影響については、今後も原爆被爆者の疫学データの蓄積と同時に実験室レベルでのメカニズム探索を進めながら解決していくべき問題として残されている。

C 結論

タバコ煙に含まれるポロニウムの影響を検討するにあたって、放射線・放射能の基礎情報のまとめと、身の回りの放射線について整理するとともに、放射線防護の基本概念、低線量・低線量率被ばくにおける生体影響メカニズムについて概説した。

D 引用文献

- [1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION、1990 Recommendations of the ICRP、Publication 60. Oxford: Pergamon Press; 1991. (日本語訳版: 日本アイソトープ協会訳. ICRP Publ.60国際放射線防護委員会の1990年勧告. 東京: 丸善; 1991)
- [2] INTERNATIONAL COMMISSION ON

RADIOLOGICAL PROTECTION、2007 Recommendations of the ICRP、Publication 103. Oxford: Pergamon Press; 2007. (日本語訳版: 日本アイソトープ協会訳. ICRP Publ.103 国際放射線防護委員会の2007年勧告. 東京: 丸善; 2009)

[3] UNSCEAR 1993 Report; Sources and Effects of Ionizing Radiation、United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation、1993 (日本語訳版: 国連科学委員会1993年報告: 放射線の線源と影響、放射線医学総合研究所監訳、実業公報社、1995)

[4] 原子力安全研究協会. 新版生活環境放射線(国民線量の算定) pp166、2011.

[5] Preston DL、Shimizu Y、Pierce DA、Suyama A、Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiat Res. 2003 ; 160(4): 381-407.

[5] 樺田尚樹、川本俊弘、法村俊之. 【子どもの健康と生活環境】 物理的障害 放射線. 小児科 2000; 41別冊: 33-9.

[6] Norimura T、Nomoto S、Katsuki M、Gondo Y、Kondo S. p53-dependent apoptosis suppresses radiation-induced teratogenesis. Nat Med. 1996; 2(5):577-80.

[7] Kato F、Kakihara H、Kunugita N、Ootsuyama A、Norimura T. Role of p53 gene in apoptotic repair of genotoxic tissue damage in mice. J Radiat Res. 2002; 43 Suppl: S209-12.

E 研究発表

なし

F 知的財産権の出願・登録状況

なし

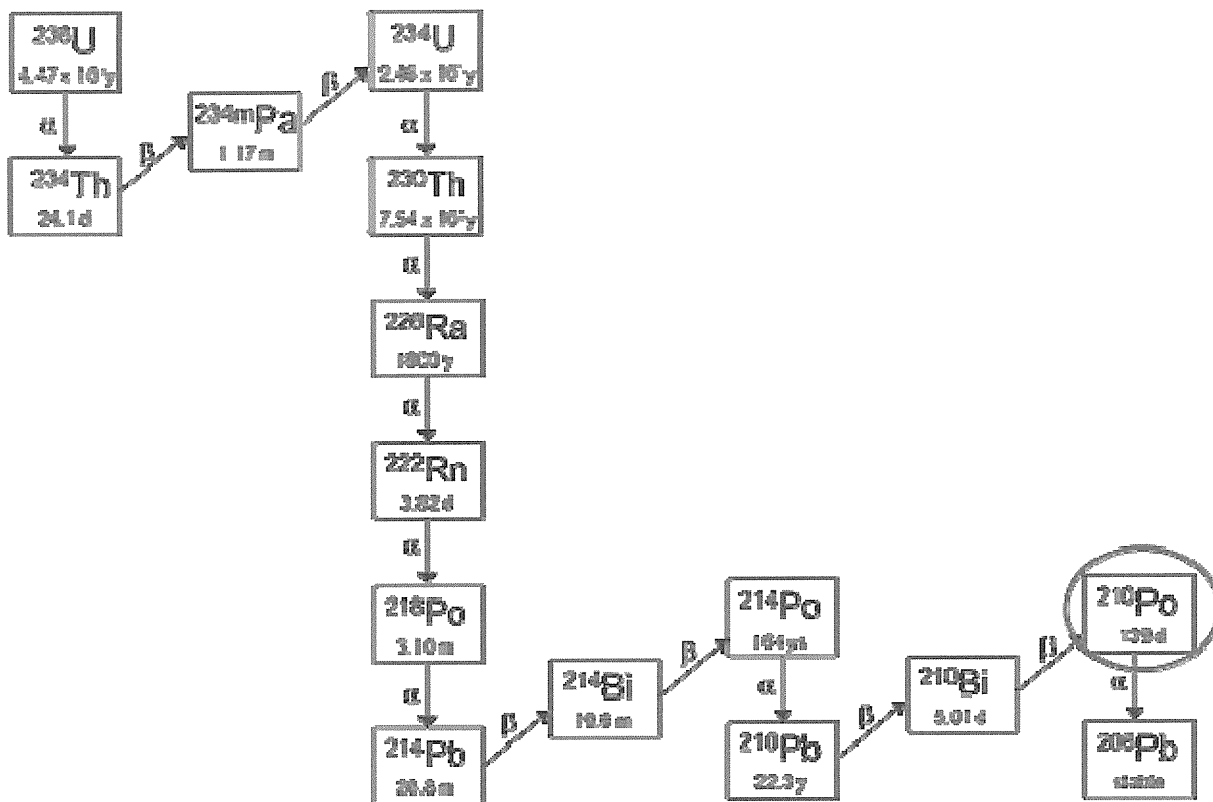


図1 ウラン (U-238) の壊変系列とポロニウム (Po-210)

$$\text{等価線量 (Sv)} = w_R \times \text{吸収線量 (Gy)}$$

放射線の種類	放射線加重係数 w_R
γ 線、X線、 β 線	1
陽子線	2
α 線、重イオン	20
中性子線	2.5~21

国際放射線防護委員会2007年勧告

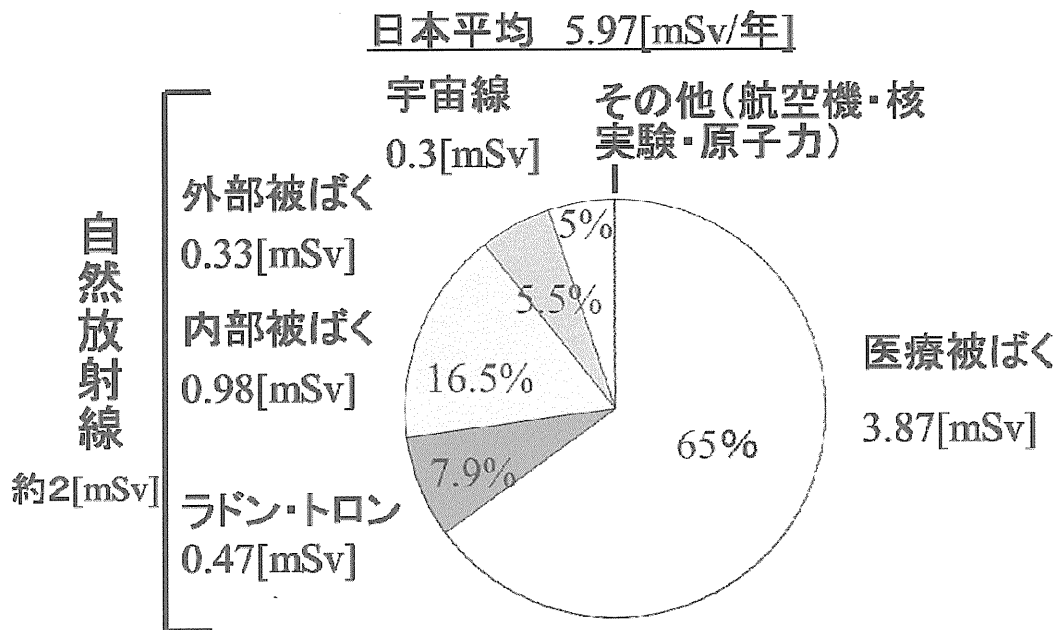
図2 放射線の単位：放射線加重係数と等価線量

$$\text{実効線量 (Sv)} = \sum (w_T \times \text{等価線量})$$

組織	組織加重係数 w_T
骨髄(赤色)、結腸、肺、胃、乳房	0.12
生殖腺	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01
残りの組織の合計	0.12

国際放射線防護委員会2007年勧告

図3 放射線の単位：組織加重係数と実効線量



(原子力安全研究協会:新版生活環境放射線;平成23年12月)

図4 日本の環境放射線

表1 自然からの被ばく線量の内訳

線源	内訳	実効線量 (mSv/年)
外部被ばく	宇宙線	0.3
	大地放射線	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン (屋内、屋外)	0.37
	トリチウム (屋内、屋外)	0.09
	喫煙 (鉛 210、ポロニウム 210 など)	0.01
	その他 (ウランなど)	0.006
内部被ばく (経口摂取)	主に鉛 210、ポロニウム 210	0.80
	トリチウム	0.0000082
	炭素 14	0.0025
	カリウム 40	0.18
合 計		2.09

原子力安全研究協会「生活環境放射線」(2011)

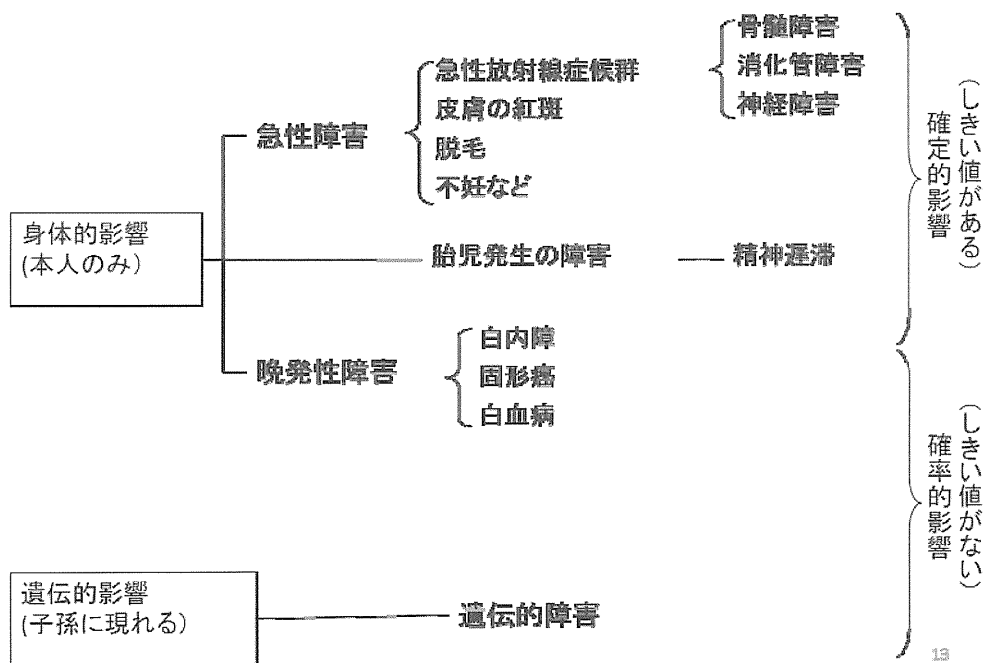


図5 放射線の影響の分類

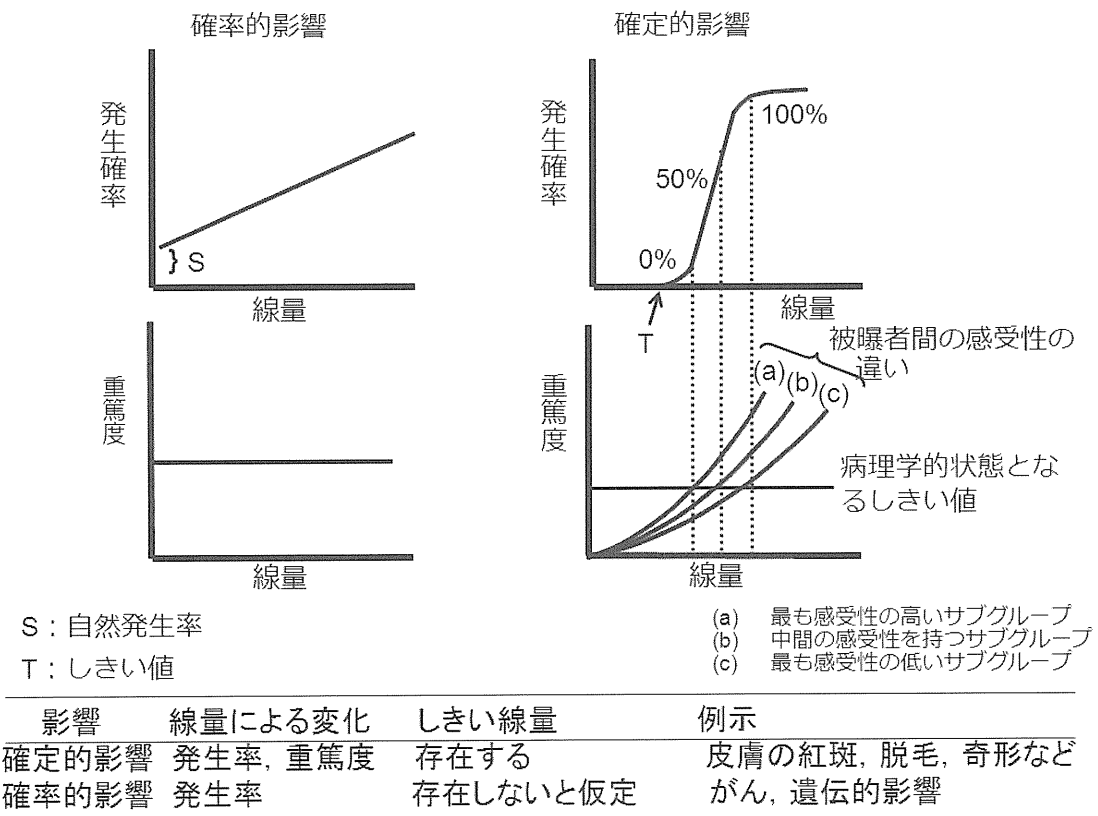


図6 放射線防護から見た放射線の生物影響の分類

表2 被ばく線量と身体各部の状態

線量	臨床状態	解説
0～1 Sv	一般的に無症状	事故後3～5週間の白血球数は正常又は事故前レベルからわずかに抑制
1～8 Sv	造血器症候群 (骨髄症候群)	主な前駆徴候・症状は、食欲不振、悪心、嘔吐であり、時に皮膚紅斑、発熱、粘膜炎、下痢が認められる。2Svを上回る全身被ばく例の臨床検査を行うと、初期には顆粒球増多症、事故後20～30日では明確な汎血球減少症が認められる。造血器系の急性放射線症候群により生じる全身的な影響には、免疫機能不全、感染性合併症の増加、出血傾向、敗血症、貧血、創傷治癒障害などがある。
8～30 Sv	消化管症候群	早期から重度の悪心、嘔吐、水性下痢などの症状が生じ、事故後数時間以内に認められる場合も多い。重症例ではショック、腎不全、心血管虚脱を生じる可能性もある。消化管症候群による死亡は、通常事故後8～14日で生じる。造血器症候群を併発する。
>20 Sv	心血管・中枢神経症候群	被ばく後数分以内の灼熱感、事故後1時間以内の悪心・嘔吐、疲憊、失調・錯乱の神経学的徴候などが認められる。死亡は不可避であり、通常24～48時間で死亡する。

緊急被ばく医療ポケットブック(一部改変)

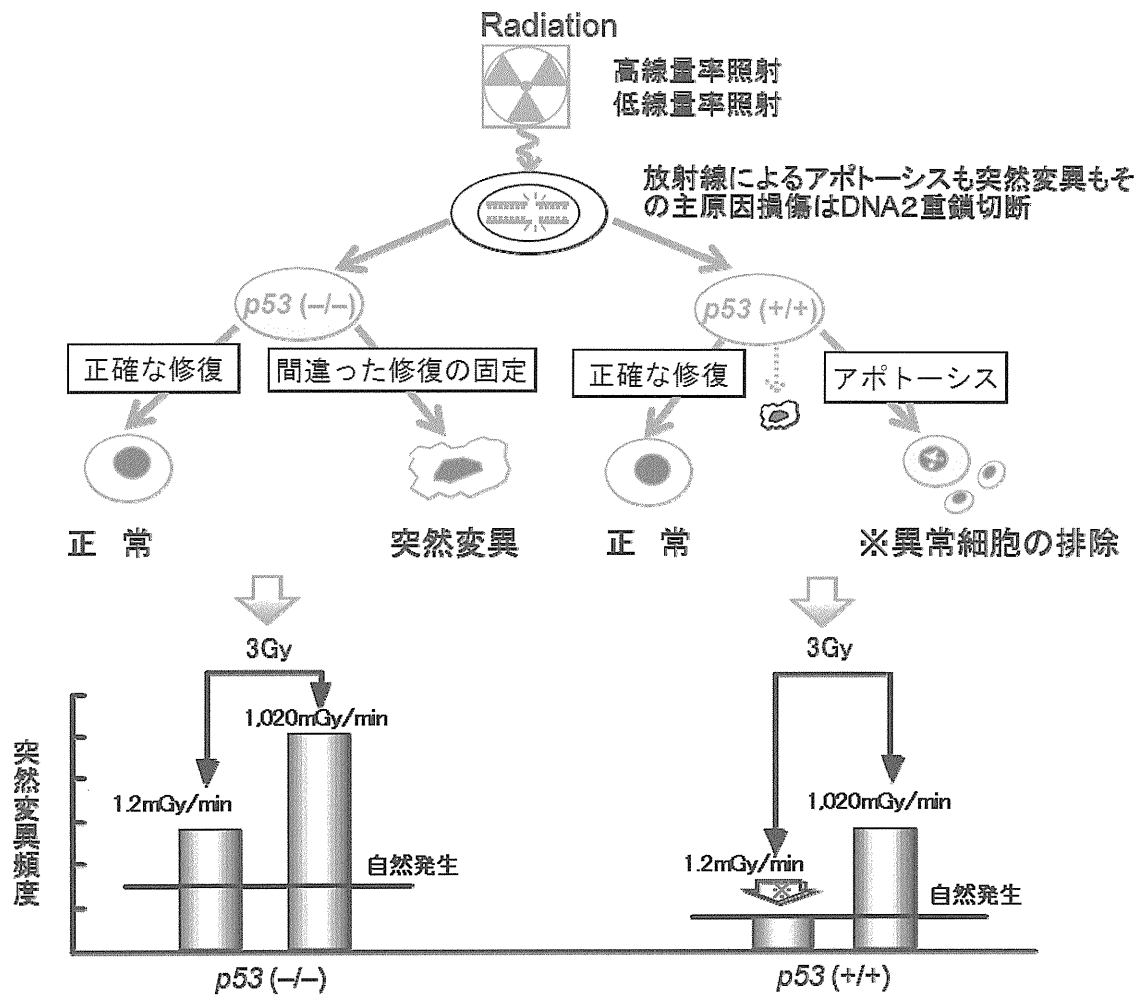


図7 低レベルゲノム損傷に対する危機回避システム

眠れる巨人を呼び起こす：ポロニウム 210 問題に対するタバコ産業の反応

Monique E. Muggli 公衆衛生学修士、Jon O. Ebbert 医学博士、Channing Robertson 博士、Richard D. Hurt 医学博士

大手のタバコ製造業者は、ポロニウムがタバコおよびタバコの煙に含まれていることを 40 年以上も前に発見しており、自社の製品からこの放射性物質を取り除くことを試みたが失敗した。タバコ産業の内部文書は、紙巻きタバコ中の放射能に対する国民の認識が高まることを恐れ、タバコ会社が自社の内部調査の公表を差し止めていたことを明らかにしている。タバコ会社は、喫煙と健康の訴訟において、紙巻きタバコ中のポロニウム 210 についての知識を引き続き最小限に押さえている。タバコの箱には、放射線被ばくを警告するラベルを貼るべきである。[*American Journal of Public Health. (アメリカン・ジャーナル・オブ・パブリックヘルス)*2008; 98:1643-1650. doi:10.2105/AJPH.2007.130963]

タバコの煙が放射性物質のポロニウム 210 (PO-210) を含むことは、40 年以上も前から知られていたが、2006 年の元 KGB の諜報員であったアレクサンドル V. リトビネンコの PO-210 による中毒にかかわる報道によって、タバコの煙に含まれるその存在がさらに認識されるようになった^{1,2}。我々は、タバコ内の PO-210 の存在および健康への潜在的影響を踏まえた紙巻きタバコ製造業者の内部および外部活動を評価するために、訴訟を通して公表されたタバコ産業の企業の内部記録を再調査した。

主要な多国籍の紙巻きタバコ製造業者が「眠れる巨人を呼び起こす」ことを恐れて、タバコ内の PO-210 に関する潜在的な広報機関の問題について、この問題へのあらゆる世間の関心を避けることによって対処していたことを資料は示している³。「実際に否定することなく、健康に対する非難についての疑問を生み出す」という長年の産業の戦略にもかかわらず⁴、企業の内部記録は、製造業者が社会全体にかかわる PO-210 の問題に人々の注目を集めることを避けていたことを示唆している。また、製造業者は PO-210 がタバコの煙の成分であることが分かった時点で、それを除去することを試みたが失敗したことも資料に示されている。同時に、科学的知識の向上につながる可能性のある内

部調査は敬遠された。同様に、タバコ会社に有利となる内部の実験結果の公表は、彼らのデータが医学文献に発表されている報告に異議を唱えることができると主張する社内科学者の要請にもかかわらず、会社の弁護士によって差し止められていた。現在、すべての主要のタバコ会社が、自社の製品に PO-210 が含まれていることを認めるであろうが、喫煙と健康の訴訟においてはその重要性を引き続き最小限に押さえ、彼らのウェブサイトおよび消費者へのメッセージではこの問題に関して沈黙を守っている。

方法

我々は、大手のタバコ製造業者をめぐる訴訟に対応するために作成された企業の社内文書を分析した。こうした記録の歴史および公開については以前に述べられている⁵⁻⁹。ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社のドキュメント・アーカイブ・ウェブサイト (<http://bat.library.ucsf.edu>) で、英国に本拠を置くブリティッシュ・アメリカン・タバコ社が作成した文書を調査した。我々は、タバコ会社文書のデータベースであるレガシー・タバコ・ドキュメント・ライブラリ (Legacy Tobacco Documents Library) に収集・管理されている大

手タバコ製造業者の資料、裁判の証言、宣誓供述書の転写などを調べた (<http://legacy.library.ucsf.edu>)。また、英国ギルフォードにあるブリティッシュ・アメリカン・タバコ社の資料保管庫に収められている資料も調査した。

我々は2005年から2007年にかけて、最初にポロニウム、PO-210、放射能、チェルノブイリ、PB-210、鉛-210などの言葉を組み合わせ、雪だるま式検索テクニックを用いて¹⁰ オンライン検索を実行した。さらに、内部の技術研究プロジェクトおよびそれぞれの企業内の研究部門に勤務している人員の名前の検索を実行した。我々は歴史のおよび主題の枠組みを構築するため、およそ1500の関係資料を分析した。研究データとしてタバコ会社の内部記録を使用することの限界について、以前に述べられている^{11,12}。

ポロニウム 210 源

1964年に、PO-210がタバコの煙の成分であると報告された¹³。PO-210は、アルファ線と呼ばれる発がん性の放射線を放出している^{14,15}。吸入実験によると、PO-210は動物における肺がんの原因であることが示されている^{16,17}。PO-210は、気管支分岐部に沈着し、多量の高エネルギーのアルファ線が肺に付与され、気管支がんが頻繁に発生すると考えられている^{18,19}。アルファ線は、直接被ばくしていない細胞内のシグナル伝達経路を誘導することも知られている（いわゆるバイスタンダー効果）²⁰。喫煙者の組織内の平均PO-210濃度は、非喫煙者の2倍以上であることが認められている²¹。1日1.5箱の紙巻きタバコの喫煙者は、1年間に300回の胸部X線から受ける量と同等の放射線にさらされていると推定されている¹⁴。PO-210は、米国における肺がん全体の1%の原因となっていると推測されている²²。したがって、毎年米国で推定16万2460人²³、世界中で130万人が肺が

んで死亡している²⁴ことを考慮すると、PO-210は毎年米国では1600人および世界で11700人の死亡原因となっている可能性がある。

大気圏には地球の表面で自然に存在するラジウム-226から発生するPO-210を含んでいるが²⁵、タバコの植物中のPO-210の大部分は、タバコ栽培に投入される高リン酸肥料から生じている可能性が高い^{26,27}。先進国のタバコ農家は、主にリン酸濃度が高い人工の化学肥料を使用しており、それらは、ラジウム-226および鉛-210やPO-210などの子孫放射性同位体を含むアパタイト岩から製造されている^{18,28}。タバコは、そのフレーバーが高リン酸肥料の反復使用によって発生する窒素還元依存しているという点で、独特の農作物である²⁸。肥料のリン酸レベルが高ければ高いほど、タバコの植物に含まれるPO-210濃度が高くなる¹⁸。特定の発展途上国で生育されるタバコは、先進国で栽培されるタバコよりも放射能がおよそ3分の1少なく²⁵、米国で栽培されるタバコの放射能は年々増加している²⁶。

高リン酸肥料がタバコ栽培に投入されると、植物の根を經由してPO-210が土壌から吸収される²⁶。PO-210は、微細な粘毛（毛状突起）を通してタバコ葉の表面にも沈着し、それが肥料の使用中に生成される空気伝達の放射性ダスト粒子を結合させるのである²⁹。PO-210は、リン酸カルシウムおよび鉛-210とともに不溶性の放射性粒子に被包されると考えられており、その後、主流煙（喫煙者の肺に直接吸い込まれる煙）の中に直接伝播される^{29,30}。

ポロニウム210を除去する取り組み

1960年代に、大手のタバコ製造業者がPO-210はタバコおよびタバコの煙の成分であると判断した³¹⁻³⁷。1968年までに、フィリップ・モリス社は自社の紙巻きタバコブランドに含まれるPO-210レベルは、当時の文献で報告されて

いたレベルと同等であると確認していた(紙巻きタバコに含まれるタバコ物質1グラム当たり0.33—0.36ピコキュリー[pCi/g])³⁸。

PO-210がタバコおよびタバコの煙に存在することを確認した後、タバコ産業は自社の製品からPO-210を取り除くことを試みたが、結局タバコ葉中の濃度を大幅に低下させることに失敗した。こうした取り組みには、主にタバコ葉の洗浄、紙巻きタバコを市販用に製造する前に、タバコの原料内のPO-210を選択的に計測すること、主流煙をフィルターにかけること、タバコ葉の放射能を低減するために遺伝学的技術を用いることなどがあった。

タバコ葉の洗浄

1970年半ばからの資料で、フィリップ・モリス社は、タバコ葉からPO-210を洗浄するために特定の無極性溶媒を使用し、タバコ葉の放射能を10%から40%減少させることができると報告している³⁹⁻⁴¹。元フィリップ・モリス社の科学者であるWilliam Faroneは、2001年にフィリップ・モリス社の洗浄の取り組みについて証言している：

我々は、タバコからポロニウム210を除去する方法を試みました。私の下で働いていた研究者の1人は相当な時間をこの試みに費やし、フィリップ・モリス社が調達したタバコで、およそ半分を洗い落とすことが可能であることが分かりました。残りの半分はタバコの中に存在するため、洗い落とすことは困難なのです。また、フィリップ・モリス社で製造するすべてのタバコを、どうやって洗浄するかを考えることは困難です⁴²。

リゲット・タバコ・グループは、タバコ葉を洗浄するために使用される溶媒が、「タバコに

独特の魅力的な香りを与える芳香性の風味のほとんども取り除いてしまう」ことを認めた⁴³。リゲットの研究アシスタントディレクターは、わずかな健康効果の実現と相まって芳香族性を失うことを考えれば、タバコ葉を洗浄することは商業的に有利なことではないと結論付けた：「このタイプのプロセスに対してわずかに低減される生物学的活性の利点よりも、経済的意味と風味の喪失に関する不利益の方が多いと我々は感じている。」⁴⁴

生産する前にタバコの原料内のポロニウム210を選択的に監視すること

フィリップ・モリス社は、PO-210から生じる低レベルの放射線に対し、選択的にタバコをチェックするために1980年代前半に研究室を設置した。2001年に元フィリップ・モリス社の科学者であるFaroneは、タバコからPO-210を除去するために洗浄することの代替案は、選択的に会社の紙巻きタバコに取り入れられるタバコをチェックすることだったと証言した⁴²。さらにFaroneは、1999年に以下のように証言している：

そこでの考えは、「分かりました。我々は肥料と農家が適用するものをコントロールすることはできませんが、一定の低いレベルよりもさらに放射能レベルが低いことを確認するために、自分たちが使用している製品を評価することができます。そこで1981年の終わりに、81年頃、我々は、実際はRosene博士の「原文のまま；Osdene博士の」グループですが、タバコ製品に用いられている原料が放射性物質であるかどうかを査定するための低レベル研究室を設置し、計測を開始しました。Rosene博士「原文のまま；Osdene博士」から得た情報によれば、彼は、

過度に放射性で紙巻きタバコの製造には使用できないと感じた特定の原料を生産過程から除去したそうです⁴⁵。

公的に入手可能な資料は、他の紙巻きタバコ製造業者も、紙巻きタバコ中のPO-210含有量を測定していたかについて明らかにしていない。しかしながら、記録では、大半の会社は1980年代の半ばにチェルノブイリの惨事に対応するため、購入した作物の放射能レベルを測定もしくは測定する計画があったことを示している⁴⁶⁻⁴⁸。

退職したフィリップ・モリス社の研究、開発、技術部のバイス・プレジデントである Richard Carchman も、紙巻きタバコ中のPO-210に関する知識についての質問へのフィリップ・モリス社の対応の1つは、低レベルの放射能計測の研究室を作ることだったと証言している。

問. それが原因でフィリップ・モリス社は何らかの対応策を取りましたか [PO-210問題に関して] ?

答. 放射能と言うとーはい、取りました。すみません。措置を講じました。我々が行ったことは、第一に、放射能と言っても、これはガイガーカウンター（計数管）を持ち歩いて放射能を検知するのを観察することではありません。この放射能レベルは非常に低いものです。ですから、我々はポロニウム210を計測するための、最初の低レベル放射能研究室を開発しました。それは非常に低いレベルで検知されるものなのです。計測することは大変困難でしたが、我々は実際に計測するための研究室を設置しました。

問. それで計測できたのですか？

答. それはタバコの中にあります。タ

バコの煙の中です⁴⁹。

Faroneは、低レベル放射能の計測施設が、喫煙と健康の訴訟において会社を危機にさらす可能性のある結果を生み出していたため、フィリップ・モリス社は研究室を閉鎖したと1998年に証言している⁵⁰。つまり、会社はより安全な紙巻きタバコを生産する手段を有していたにもかかわらず、そうしないことを選択したのだと原告が論証することがあり得るからである。

主流煙をフィルターにかけること

紙巻きタバコの煙をフィルターにかけてPO-210を取り除く取り組みは、1960年代に開始されたが、資料によれば、検証されたフィルターのいずれもPO-210の相当量を除去していない^{51,52}。加えて、資料は紙巻きタバコの先端のフィルターを通してPO-210を除去するためには、タールとニコチンを含む粒子状物質も取り除かれる必要があることを示唆している^{53,54}。元フィリップ・モリス社の化学者の Jerry Whidby は、2002年に「一般的なタールとニコチンを減少させるための方法は、ポロニウム210も減少させる」と証言している⁵⁵。トルマリンフィルター（ジェイコブスンのフィルター）を検証した後、R. J.レイノルズ社は、フィルターには「ポロニウム210の除去においてわずかな効果があった」と結論付けた⁵⁶。さらに、R. J.レイノルズ社の科学者である Charles Nystrom は、以下のように報告している：

トルマリンフィルターは、対照の WINSTONS と比較して、煙の中のポロニウム210と固体の両方をおよそ30%低減した。この結果は、ジェイコブスンのトルマリンフィルターによる煙の中のポロニウム210の低減に関する報告は、煙の中の固体に対するフィルターの高いろ過効率のためであり、煙からポロニウム210を特に除去してい

るからではない可能性が高いことを示している⁵¹。

会社は Nystrom の研究結果から、「トルマリンフィルターが、広告キャンペーンにおいて有益であると考えすることは困難である。我々はこの考えに関心を示さないことが望まれる」という結論を下した⁵¹。

また、R. J.レイノルズ社は 1967 年にイオン交換樹脂フィルターの検証も行い、煙の中の PO-210 の除去に効果がないことを見出した⁵²。ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社では、1966 年には早くも銅処理したフィルターを用いて、PO-210 を除去する作業が開始されていたが、ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社の研究者は、目的に応じた銅濃度でそのフィルターに効果がないことを発見した⁵⁷。ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社の科学者は、「ポロニウム 210 の選択的な除去がわずかに」あるかもしれないが、有意であってもその「効果はあまりに小さく有益ではない」と結論付けた⁵⁸。

フィリップ・モリス社は、1976 年に酢酸セルロースフィルターを用いて最も成功したように思われた。そのフィルターが煙から 40% から 50% の PO-210 を取り除くことを認めたのである⁵⁹。しかし、それらのフィルターは、PO-210 の不溶性分画の「感知できるほどの量」を除去できず、可溶性分画のわずか 50% しか除去しなかった⁶⁰。肺に沈着すると考えられているのは不溶性の放射性粒子であるため、この結果は重要である^{29,30}。

1980 年代前半、R. J.レイノルズ社は、紙巻きタバコの煙から PO-210 と鉛-210 を除去するためにフィルターをかける方法を再び検討した。これらの物質をタバコおよびタバコの煙から除去するための特許取得済みの技術を評価した後、R. J.レイノルズ社の科学者は、商業的に成功する可能性が低いこと、ならびにさまざまな腐食性の添加物を取り入れることの有害性という理由から、会社がこの技術を追及しな

いように勧めた。

言うまでもなく、この提案されている方法を商業規模で実行することは極めて困難になるでしょう。さらに我々は、過酸化水素や硝酸など、鉛-210 とポロニウム-210 の除去用に推奨されている物質のタバコへの潜在的な悪影響を評価することができないのです⁶¹。

遺伝学的技術によるタバコ葉の放射能の低減

元フィリップ・モリス社の科学者である Farone は、2001 年にフィリップ・モリス社が、タバコの植物が PO-210 を取り込むことを防止するため、遺伝子組み換えのプロジェクトに着手したことを証言している。

我々は、タバコの遺伝子組み換えを行うための幅広いプログラムを計画しました。ポロニウムがタバコの中に入ることを防ぐ方法の 1 つは、いわゆる沈着しないタバコの株の遺伝子を操作して選択することです…我々は 2 つのを行うために、クロップ・ジェネティクス・インターナショナル (Crop Genetics International) のプログラムに取り掛かりました。1 つはポロニウムを取り込まないタバコを探すことでした。そして、タバコの洗浄をより簡単にすることに関しては…ちりなどのようなものが表面に付着しないように、より滑らかな表面の株を作るという考え方です。こうしたプログラムのすべては—わざわざ時間を割いて全部のプログラムについて話すつもりはないですが、基本的に、紙巻きタバコの生物学的活性を低減するために、プログラムの結果を利用できるかもしれないという考え方で導入されたのです⁴²。

同じ裁判中、Farone は、PO-210 を低減することを目的とした遺伝子組み換えの研究に、フィリップ・モリス社が（2001 年の証言した日まで）継続して資金援助をしたかについて尋ねられた。

答．実は、すべての結果が出る前にプロジェクトは終了しました。我々には、資金が提供される時期があつて、その後中断して、また資金が提供されて、そして中断するというサイクルがあるのです。それは…分析し過ぎてまひしているということです。人の命を奪う製品が市場に出ている期間を延長することが狙いです。

問．フィリップ・モリス社は今でも自社の製品の遺伝子操作を実施しているのですか？

答．今でもまだではありません。フィリップ・モリス社は現在、始めては止め、始めては止め、始めては止めを繰り返した後、自社の生産品の遺伝子操作を行っています⁶²。

タバコ産業によるポロニウム-210の研究の隠蔽

研究発表の拒否と法的責任への恐れ

法的責任を負わないように、弁護士の指示によるタバコ産業内部の喫煙と健康調査の規制、隠蔽、および場合によっては破棄を行っていることが、学術的文献や訴訟記録に記述されている^{8,63-66}。米国政府対フィリップ・モリス社の裁判において、2006 年 8 月に Gladys Kessler 裁判官は、米国の RICO 法 [組織犯罪懲罰的損害賠償請求法 (Racketeer Influenced and Corrupt Organizations Act)]⁶⁷ の特定の規定に違反したとして、この大手タバコ会社に有罪の判決を下し、情報の隠蔽に関連するタバコ産業の行為を以下のように要約した：

[タバコ会社] 被告は、喫煙と健康に関する自社の公的立場を守り、訴訟での喫煙と健康に関連する申し立てに対する責任を避けるもしくは限定し、紙巻きタバコ産業に対する管理的制約を防ぐために、進行中の研究を阻止／中止することを試み、時には実際に阻止／中止し、既存の研究を隠蔽し、機密文書を破棄しました⁶⁸。

PO-210 の産業の内部調査に関係している社内文書は、会社の法的立場を守ることを目的とした情報の隠蔽に、弁護士が大きな役割を果たしていたことを示している。たとえば、PO-210 の研究に関する内部調査の公表を拒否したことへの法務部門のかかわりに関連して、1985 年の R. J.レイノルズ社の「秘密情報」のスタンプが押された弁護士資料には、以下のように述べられている：

法務部門と R&D [研究開発] マネジメントは、研究結果を発表することを許可しないことが何度かあった。こうした拒絶は、競争上の懸念のための場合もあれば…時によっては、喫煙と健康の視点からタバコ産業の問題だと考えられる話題に、人々の注目を集めたくなかったからである…ポロニウムの研究。Stewart Bellin [R. J.レイノルズ社の生物学的研究部門の社内科学者] は、会社が 1967 年のポロニウムにおける研究の発表を拒否したことに対し、ショックを受けたと報告している。Bellin は Nystrom 博士 [R. J.レイノルズ社の生物学的研究部門の課長] とともに、タバコ内のポロニウムの存在は、土壌から吸収されたものではなく大気汚染の結果であると結論付ける論文を執筆していた⁶⁹。

1967 年から、タバコ研究センター (CTR)

は、スペシャルプロジェクト 48 を通じて発表された PO-210 に関連する文献の分析を実施するために、金銭的な貢献を行った⁷⁰。スペシャルプロジェクトは、CTR によって資金提供された研究プロジェクトであり、フィリップ・モリス社；R. J.レイノルズ社；ロリラード社；リゲット社；ブラウン・アンド・ウィリアムソン社；アメリカン・タバコ社の法務担当責任者、および予想される訴訟に備えて特別に委任された外部の弁護士によって指揮されていた⁷¹。スペシャルプロジェクトに関する弁護士の記録によれば、(1) 最初に Shook, Hardy, and Bacon 有限責任事業組合の David Hardy 弁護士が、情報は別の方法で入手可能であるという理由から CTR の法律顧問によるポロニウム-210 の文献調査提案を認めなかった、(2) CTR は公表を求める要請への対応を遅らせた、そして (3) センターは出来上がった公表文献の内容に大幅な変更を要請した。弁護士の記録はさらに、「法律顧問は、公表のために作成されたすべての原稿を審査し意見を述べる特権、およびそれらの発表時期に対する限定された管理を行う特権を維持していた。」と述べている⁷⁰。フィリップ・モリス社の資料は、すべてでないにしても、PO-210 に関連する会社の社内報告書のほとんどは発表されなかったことを示している^{72,73}。フィリップ・モリス社の科学者が、タバコ産業に有利であり、現存している文献を論破することができるかと確信した原稿の 1 つは、PO-210 に対する国民の認識が高まることを恐れ、会社が公表を差し控えた。1998 年のミネソタ州の訴訟で特権を奪われた「フィリップ・モリス社の科学資料のレビュー」と題されたフィリップ・モリス社の文書には、以下のように記述されている：

ポロニウム-210。1970 年代の研究で、Martell の [紙巻きタバコ中の PO-210 の濃度を発表した人物] 数値は高過ぎることを発見したが、再び論争を巻き起こすことを避けるため、研究結果の

発表は許可されなかった⁷⁴。

フィリップ・モリス社の科学者は 1978 年に、フィリップ・モリス社の研究者である Robert Jenkins、Roger Comes、Margaret Core、およびバージニア大学の Thomas Osdene、Robert Tucci、Thomas Williamson 執筆の「タバコと煙凝縮物中に自然に存在する 222 ラドン娘核種 (*Naturally Occurring 222 Radon Daughters in Tobacco and Smoke Condensate*)」と題される原稿を作成した⁷⁵。彼らが下した結論は、(1) 可溶性および不溶性の放射性粒子は主流煙に存在し、PO-210 濃度は発表されている数値よりも「2 倍から 3 倍低かった」、そして (2) これまで報告されている喫煙者に送り込まれる量を算出する方法は、正しいものではないであった⁷⁵。

資料によれば、フィリップ・モリス社の科学者には、会社の法務担当責任者に 1978 年の Jenkins の論文を公表するよう強く求める者がいた。なぜなら、彼らの研究はこれまで発表されている論文に真に異議を唱えることができ、会社はこの結果によって政治的に利益を享受すると確信したからである。研究と開発部のバイス・プレジデントである R. B. Seligman は、Jenkins の報告書を公表することを要請するため、フィリップ・モリス社の法務担当責任者の Alex Holtzman に書簡を出した：

私の意見をあらためて手短かに述べますと、我々は事実を明らかにする [原文のまま] ために、煙の中の 210PO レベルに関するこの記事を発表すべきであると確信しています…我々は既に文献にある情報を公表しますが、Martell が発表した誤った定量データを訂正するつもりです⁷⁶。

他のフィリップ・モリス社の科学者らは、その研究を公表すべきではないと主張した。フィリップ・モリス社の Paul Eichorn は Seligman に

「Gannon 博士 [フィリップ・モリス社] は、そうすること [発表すること] に疑問を持っており、私も同意しています。そうすることで眠れる巨人を呼び起こす可能性があります。」と書面で伝えた³。

実際、Walter Gannon は、たとえフィリップ・モリス社が Martell の発表した数値²⁹よりも低い煙の中の PO-210 レベルを報告できたとしても、紙巻きタバコの煙の中に PO-210 が存在するという現実は、それ自体が会社に悪影響を及ぼすであろうと Eichorn に手紙を書いた。

このプロジェクトは、私が化学研究部門のマネージャーをしているときに開始されました。しかしながら、その時から私は、この研究の結果を公表すべきかどうかについて懸念を抱いていました。今でもこの懸念が残っています。Martell 論争への世間の関心は衰えているように思われます。この研究を今発表することによって、その問題全体が蒸し返されるかもしれません…Martell の研究結果よりも2-4倍低いレベルを示したという事実が、全体的な結論を軽減するわけではありません…我々がこれより低ければ生理学的な障害が起こらないというしきい値があることを示すことができるのであれば、私はこの論文を公表することにあまり不安を覚えることはないでしょう。しかし、この問題はまだ議論の余地があり、Martell は基本的に正しかったと我々が認めることは、我々にとって不利になる可能性があります⁶⁰。

フィリップ・モリス社の開発部長の Richard Thomson も、Eichorn 宛ての手書きの覚書の中で、「我々がこの分野における研究を発表する

べきかどうかについて、私は疑問を持っています」と述べている⁷⁷。

資料によれば、Jenkins の原稿を公表することを求める Seligman の要請は繰り返し拒否された。フィリップ・モリス社の法務担当責任者である Holtzman 宛の 1980 年の書簡で、Seligman は再びこの弁護士に PO-210 に関する研究の発表を許可するよう求めた：

私は…我々が数年前に生み出したデータを発表するための [Jenkins の] 訴えを支持したいと思います。我々が発表することを要請したとき、憶えていらっしゃると思いますが、我々のデータは Martell が報告した値が誤りであることを証明できたため、これは文献に対する重要な貢献であると感じました。その当時は公表することが許可されず、我々は非常に落胆しました。しかし、その決定は再検討されるべきです。我々は、文献のどこにも明らかにされていない専門知識を活用した完全で正確な調査を実施しました。我々の研究は専門的根拠に基づいたもので、同分野のどのような専門家の厳しい査読にも耐えられます。そして、繰り返しますが、以前に Martell が発表したデータに疑問を投げかけることができるでしょう⁷⁸。

米国農務省の科学者との会合の後、ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社も、「フィリップ・モリス社は法的な理由のため、[ポロニウムに関する] 一切の研究を発表しないであろう」と伝えた⁷⁹。

1982 年 6 月、フィリップ・モリス社の当時の研究部長で科学技術部のバイス・プレジデントである Osdene の要請により、Jenkins は Martell が「*米国科学アカデミー紀要 (Proceedings of the National Academy of Sciences)*」に投稿した「*高い室内ラドン娘核*

種レベルにさらされた喫煙者の気管支分岐部におけるアルファ線量 (*The Alpha Radiation Dose at Bronchial Bifurcations of Cigarette Smokers Exposed to High Indoor Radon Progeny Levels*)」と題される記事を再検討した。彼の批評の中で、Jenkins は再び Osdene に 1977 年の彼自身の研究をフィリップ・モリス社のために発表すること、および「公然と独立した研究者を支持し…彼らの研究結果を自由に発表できるようにすること」を促した⁸⁰。Jenkins は以下のように続けた：

そもそも、こうしたタイプの仮説に基づいた論文を取り上げてもらうための唯一の方法は、適切で正確な科学的な結果を公表することなのです。現在、この方式に沿った研究のための主要な資金援助は、喫煙反対の勢力からのものとなっています。うまく実施された科学研究を用いたそれらの調査に対して、タバコ産業は回答しないことを決めていますが、「物事には必ず終わりが来る」ことを期待して、沈黙を守ることを選んでいます。1964 年以来絶えず目にしているように、引き続きニュースになっています。一番悪いのは、多くのひどく誤った仮定の中に、ある程度の妥当性があるかもしれないということです⁸⁰。

最後に、研究開発部門の Andrew Frisch から当時の部門のバイス・プレジデントである Cathy Ellis への 1997 年の報告書によれば、1978 年の Jenkins の調査を発表するための要請は拒否された⁸¹。Ellis のファイルで見つかったその文書にある手書きの傍注には、「すぐに発表してください！ Jenkins を呼んで投稿してください」と書かれていた⁸²。我々の知る限りでは、フィリップ・モリス社はこの報告書を決して公表しなかった。

ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社内で

も、研究者らは PO-210 に関する調査を発表することを制限されていた可能性がある。たとえば、1985 年のブリティッシュ・アメリカン・タバコ社の R. B. Richardson から彼の研究開発部の同僚である C. I. Ayres に宛てた手書きの記録には、「私がしばらく前に書いたポロニウム-210 についての報告書の草稿を添付しました。この件に関しては、決して日の目を見ることがないのは明らかであるように思うので、これ以上の研究は行っていません。」と書かれていた⁸³。

フィリップ・モリス社のポロニウム 210 監視研究室の閉鎖

2002 年に元フィリップ・モリス社の科学者の Farone は、フィリップ・モリス社が製造物責任の懸念のため、低レベルの放射能監視施設を閉鎖したことを証言している。フィリップ・モリス社が「ポロニウム問題」を調査したかどうかに関する質問に答えて、Farone は以下のように述べている：

答. [ポロニウム] は低割合の問題だと考えられていました。たとえば、病気の…10 パーセント以下が有機化合物が原因で発症していたとすれば、そのうちのほんの 10 パーセントがポロニウムによるものかもしれません—ですから、問題の 1 パーセントに過ぎないということです。しかし、それは非常に容易に対処できることでした。なぜなら、タバコを測定して、使用している製品の放射能が、この部屋のようなバックグラウンドの放射能レベルよりも高くないことを確認すればよかったですから。そうすることで、人をより高いレベルの放射能にさらしていないということを確認できます。

問. それでそのプロジェクトはどうなったのですか？

答. ええと、我々は実際に 1981 年、82 年頃に施設を作りました。それは委託され、業務が開始され計測が行われていました。そして私が辞めた当時、測定はまだ実施されていました。施設は大体 1986 年頃に閉鎖させられました。

問. なぜか知っていますか？

答. はい、知っています。

問. 陪審員に話してください。

答. このような訴訟において会社を危機にさらす可能性のある証拠を生み出していたからです⁵⁰。

Farone は 1999 年に、フィリップ・モリス社はその施設を閉鎖したことだけではなく、フィリップ・モリス社の Osdene が、PO-210 のレベルが高い特定のタバコを製造プロセスから取り除くことに成功したことを報告していたことも証言している⁴⁵。

喫煙者の肺内に滞留するポロニウム-210 の量に関する調査の回避

タバコ産業の内部文書は、企業はタバコおよびタバコの煙に含まれる PO-210 レベルを測定するための取り組みに着手したが、ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社とドイツの紙巻きタバコ産業のみが、喫煙者の肺内に滞留する PO-210 の限定的な調査を実施したことを示唆している⁸⁴。1985 年に、ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社は 1 人の喫煙者と 12 本の紙巻きタバコを用いて、PO-210 の滞留量（40% の平均滞留量）は、吸い込まれた主流煙からの総粒子状物質（タールとニコチン）の肺内の滞留量よりもわずかに低いと同等であると結論付けた⁸⁵。ブリティッシュ・アメリカン・タバコ社は、たとえ真の PO-210 の肺内滞留量を測定することができたとしても、さらなる研究は行わないことを決定し、この分野で生み出される他の研究に迅速に対応していく予定であるという結論を出した⁸⁵。

フィリップ・モリス社の内部文書では、会社が自社の製品中に含まれる生物学的に重要なレベルの PO-210 に関して知識を得ることを回避すれば、肺がんの考えられる原因である PO-210 を無視することができることと示唆されている。たとえば、元フィリップ・モリス社の研究部長で科学技術部のバイス・プレジデント Osdene から、元フィリップ・モリス社の最高経営責任者である Hugh Cullman とフィリップ・モリス社の法務担当責任者 Holtzman に宛てた 1982 年の文書では、喫煙者に送り込まれる生物学的に重要な PO-210 量が不明のままである限り、「PO-210 からのアルファ粒子などによる被ばくと悪性腫瘍の発症の因果関係についてのあらゆる示唆は、誤ったもので根拠がないのである」と示唆されていた⁸⁶。

フィリップ・モリス社の自社のコンサルタントが、喫煙者の肺内の PO-210 滞留量を測定することを奨励したにもかかわらず⁸⁷、公的に入手可能な内部文書で、肺内に滞留する PO-210 を評価するためにフィリップ・モリス社で人間もしくは動物の実験が実施されたという証拠を記載しているものは存在しない。考えられるところでは、そのような文書は廃棄されたか、特権の主張により開示されていないのかもしれない。米国の訴訟中に発見することを避けるため、ドイツのケルンにあるフィリップ・モリス社の海外研究室 INBIFO（Institut Fur Biologische Forschung）で、フィリップ・モリス社の Osdene が、ニコチン依存症と紙巻きタバコの煙が誘発する発がんに関する生物学的実験の指揮を取ったことはよく知られている⁶⁴。フィリップ・モリス社のコンサルタントの Alfred Wolf^{88,89} は、会社に肺内の PO-210 滞留量を測定するための動物実験を行うよう勧め、以下のように記している：

文献もしくは「報道」に何か新しいことが現れるごとの経費削減の方針は費用がかかるに違いない…集められるすべてのツールを用いて、喫煙のあ

らゆる面についてより積極的に研究を実施する方針の方が、長い目で見れば、必ず費用が低く満足度と安定性が高くなるだろう⁹⁰。

喫煙と健康の訴訟におけるタバコ産業の対応

1960年代以来、タバコ製造業者は、タバコおよびタバコの煙に PO-210 が含まれていることを認識しているが、彼らは喫煙と健康の訴訟においてその知識を最小限に押さえている。最初に、フィリップ・モリス社の上級幹部は、自社の製品中の PO-210 の存在について実質的な知識があることを認めることを拒否したり回避したりしている。1997年の宣誓証言において、フィリップ・モリス社の最高経営責任者（1994年－2002年）である Geoffrey Bible は、PO-210 が彼の会社のマルボロ・ブランドの中に含まれていることを知らなかったと述べた。Bible は、1968年－1970年そして1976年－2002年までフィリップ・モリス社に勤務しており、その間に PO-210 についての研究が会社で実施されていたが、紙巻きタバコ中の PO-210 含有量を知らなかったと主張した：

問. あなたがマルボロを吸うと、あなたの体に放射性物質が入る可能性があるかと認識していますか？

答. いいえ、私は知りませんでした。

問. あなたはポロニウム 210 をご存知ですか？

答. はい、聞いたことがあります。

問. あなたはポロニウム 210 がタバコに含まれていることを知っていますか？

答. いいえ、私は知りませんでした。

91

同様に、低レベルの PO-210 計測研究室を運営していた元フィリップ・モリス社の研究部長

で科学技術部のバイス・プレジデントの Osdene も⁹²、影響力の大きなミネソタ州のタバコ訴訟において、1997年に原告側の弁護人が作成した供述調書で、PO-210に関する質問に答えることを拒否した。当時、タバコ製造業者が永続させている詐欺行為に対する司法省の調査の対象となっていた Osdene は、自己を有罪にしないようにするための黙秘権を123回行使した。

問. ポロニウム210は放射性物質ですよ？

答. 同じ回答です。[同時に進行中の刑事事件の捜査がありますので、弁護士の助言により、自己を有罪にしないようにするための黙秘権に基づいて、私は質問に答えることを謹んで辞退いたします。]⁹³

さらに、ブラウン・アンド・ウィリアムソン社の会長兼最高経営責任者（1995年－2000年）である Nick Brookes は、以前に1978年からブリティッシュ・アメリカン・タバコ社に勤務し、5人の地区総支配人の1人として働いたが、彼も1997年の宣誓証言において、知らないと主張した：

問: ポロニウムが放射性物質であることをご存知ですか？

答: そのようですが、私はそれについて直接は知りません⁹⁴。

最新のブラウン・アンド・ウィリアムソン社の資料は、紙巻きタバコ中の一酸化炭素やニコチンレベルをはじめとするいくつかの主題に関して、会社の鑑定人のために事前に準備した回答の概要を説明している。PO-210 については、ブラウン・アンド・ウィリアムソン社の弁護士は、鑑定人が自社の製品中に微量の PO-210 が存在することを認めることに前向きであったが、PO-210 は喫煙者に健康上のリスクをも

たらさないと主張するように指示した：

鑑定人の宣誓証言の概要
タバコの煙の成分
主張すべき点：⁹⁵

うわさによると、ポロニウム 210 (210PO) は実験動物にとって腫瘍原性であるとされているが、タバコもしくはタバコの煙の中の 210PO 含有量と人間の発がん性の活動との間に、合理的な関連性は引き出されていない。実際、喫煙者がさらされる 210PO のレベルは、明らかに、喫煙者の健康に影響を及ぼすほど高いものではない。信認。タバコもしくはタバコの煙に含まれる微量のポロニウム 210 は、喫煙者にとって危険の源ではない⁹⁵。

タバコ会社が、喫煙と健康の訴訟において PO-210 問題を避けるために使用している第 2 の戦術は、タバコへの PO-210 の取り込みを製造業者が制御できない自然現象のせいにするものである。R. J.レイノルズ社は、1960 年代初めにこの自己防衛戦略の可能性を認識していた：

ポロニウム 210 レベルが低い市場向け紙巻きタバコの潜在的価値に加えて、大気中のアルファ活動が肺がん発症の主な要因であるという可能性を示す証拠は、肺がん患者が会社に対して起こす訴訟において、法律的な観点から会社にとって有益となるかもしれない⁹⁶。

1999 年の公判で、退職したフィリップ・モリス社の研究、開発、技術部のバイス・プレジデントである Carchman の証言は、PO-210 はあらゆる場所にあり、彼がいる証言台のある法廷にさえも存在しているかもしれないことを力

説した。

問. ポロニウム 210 についてはいかがですか？…ポロニウムは放射性的のようですが—ポロニウムは放射性物質ですか？

答. ポロニウム 210 は放射性です。

問. どのようにしてタバコの中に入るのでしょうか？

答. それはどこにでも存在するものなのです。ロシアのチェルノブイリ災害では、多くのポロニウム 210 が空中に吹き飛ばされました。それがあらゆる場所に沈殿しています。適切な装置を持ってくれば、この法廷で必ずポロニウム 210 を計測することができると思います。ですから、戸外で育つものすべてにポロニウム 210 が付着するのです。タバコは外で生育しますから、ポロニウム 210 を含むのです⁴⁹。

Carchman は、1999 年の別の公判で同様の議論を展開した：

問. ポロニウム 210 はどこに存在するのですか？

答. あらゆる場所です…

問: ポロニウム 210 はなぜタバコの煙の中に入るのでしょうか？

答: タバコの植物はその環境で育つのです。それは本当に一環境なのです。この理由は第一に、チェルノブイリのような [原文のまま] 核降下物のため、言ってみればポロニウム 210 が空から降って来て、タバコを含む多くのものに付着するというようなことなのです⁹⁷。

結論

タバコ産業は、紙巻きタバコの煙に含まれる PO-210 の存在に関する幅広い議論が、一般大