

総説

紙巻タバコ煙の放射能と肺ガンリスク

Cigarette Smoke Radioactivity and Lung Cancer Risk

Nicotine Tob Res. 2011 Sep 27. [Epub ahead of print]

Hrayr S. Karagueuzian, Ph.D. (UCLA)

Celia White, MLS, James Sayre, Ph.D.

Amos Norman, Ph.D.

(日本語訳 日本禁煙学会理事 松崎道幸)

要約

目的: 紙巻タバコ煙中の放射性ポロニウム 210 (^{210}Po) 問題に関するタバコ産業の意図と行動を明らかにし、喫煙者の肺に沈着したアルファ粒子によってもたらされる肺ガンの長期リスクを評価する。

方法: 1998 年の Master Settlement Agreement (MSA: 全米各州とタバコ会社の間で結ばれた包括的和解契約) によりオンライン検索可能となった紙巻タバコの放射能に関する主要タバコ会社の内部秘密文書の解析。

結果: 内部文書によれば、タバコ産業は早くも 1959 年にはタバコ中の放射性物質の存在を認識していた。さらに、常習喫煙者の肺の中に「癌様増殖 cancerous growth」が生じていることを認識しただけでなく、タバコ煙から排出されるアルファ粒子に由来する長期 (25 年間) の肺吸収線量 (rad) の放射線生物学的推計も行っていた。我々が独自に行ったアルファ線吸収線量の推計値は、タバコ産業のそれと近かった。環境保護局の資料によれば、タバコ産業と我々の推計したアルファ粒子による長期的吸収線量で考えると、1000 人の喫煙者から毎年 120~138 人の肺ガン死が発生することになる。1980 年には、酸洗浄がタバコ葉のポロニウム 210 レベルを大きく低下させることが分かっていた。しかしタバコ産業は、酸性溶媒がニコチンをイオン化し、喫煙者の脳にほとんど移行しない形に変えてしまうため、「ニコチンがガツンと来る感覚」が起きなくなることを懸念して、これを実施しないと決めた。

結論: 紙巻タバコ煙中の放射能が肺ガンリスクを増加させる事は明白であり、その除去を行うべきである。

はじめに

1998 年、Master Settlement Agreement により、半世紀にわたり秘密にされアクセス不可能だったタバコ産業の内部的研究文書および通信文の多くを、オンラインで表示検索できるようになっ

た(Schroeder, 2004; Sloan & Trogon, 2004)。オンライン化された秘密内部文書の数は着々と増え、1300万件、7千万ページを越えた。この新たな情報源の提供により、過去しばしば謎に包まれていたすべての販売されている国内および外国紙巻タバコに含まれているポロニウム 210 の有害作用の可能性に関する情報を明らかにすることができるようになった。これらの文書のうち、すでに 1964 年には、紙巻タバコ煙に含まれるポロニウム 210 が肺癌リスクを増やす可能性があることが首脳陣の間で共通認識となっていたことを明らかにした論文が 2 件見つかった(Muggli, Ebbert, Robertson, & Hurt, 2008; Rego, 2009)。これらの論文は、タバコ産業がその情報に基づいて消費者に適切な情報提供を行うことを怠り、タバコ葉からの放射性物質の除去を行わず、タバコ煙に放射能が含まれていることを一切公表しないようにしてきた(Muggli et al. 2008; Rego, 2009; 2011)。しかし、これらの洞察に富んだ論文中には、タバコ産業が酸洗浄によるアルファ粒子の除去を行わなかった理由も、放射性アルファ粒子の肺内放射線吸収線量(rad)と常習喫煙者の肺ガンリスクの関係をタバコ産業が十分に認識していた事実も書かれていなかった。それだけでなく、RadfordとHuntがScienceに、紙巻タバコに放射性物質ポロニウム 210 が含まれていると初めて発表した 1964 年以前に、すでにタバコ産業がそのことを知っていたことが明らかになった。我々は、タバコ産業の科学者が 1960 年代にすでにアルファ粒子の長期的 rad について、放射線生物学的に定量的に実際的な解明を行い、紙巻タバコ煙中のアルファ粒子が喫煙者の肺の中に「癌様の組織変化」を促進することが「あり得ないことではない」という結論に達していたことに驚いた。

この論文で、我々はタバコ産業の文書を分析して、この問題に関して今まで明らかにされてこなかった諸点に焦点を当てて述べてゆきたい。とりわけ、タバコ煙中のアルファ粒子が喫煙者の肺に与える悪影響をばかす誤った発言をタバコ産業が行ってきたことに焦点を当てる。さらに、タバコ産業が長期間(25年間)喫煙した者の肺が受け取るアルファ粒子による肺の吸収線量の推定値が、我々の推計した放射性ポロニウムによる肺の被ばく線量と非常によく合致することを示す。次いで、米国環境保護局(EPA)が作成した肺ガン死亡率のチャートを用いて常習喫煙者の長期間の喫煙による肺ガン死亡率を示す。最後に、タバコ産業が酸洗浄によって放射性物質をタバコ葉から除去しなかった理由を我々なりに考えて呈示する。米国の連邦機関がタバコを「放射性物質」として規制する最初の試みが行われた 1959 年からちょうど 50 年後の 2009 年に、オバマ大統領が Tobacco Control Act に最終的に署名して法律として成立させたことは、歴史的に興味深いものがある。この Tobacco Control Act は、食品医薬品局(FDA)にタバコ及びタバコに含有される成分を規制する幅広い権限を付与するもので、タバコ葉からアルファ粒子を完全に除去する対策を促進する上で有望な法律である。

方法

我々の目的に対する答えを得るために、我々は、タバコ産業文書のデータベースを、atmospheric fallout, biological effects, bronchial epithelium, calcium phosphate, exudates, hot spots, hot particle, irradiat*, ion-exchange resin, lead and lung cancer, lead 210Pb, lead and hot spots, lead and smoke, polonium 210Po, alpha particles, radioact*, rem (Roentgen Equivalent in Man), relative biological effectiveness (RBE), radium isotopes, radiotracer, strontium, super-phosphate fertilizer, trichomes, uranium, potassium, acid treatment, fertilizer, picocurie or Curie, high phosphate, Becquerel (Bq)をキーワードとして検索した。検索対象としたデータベースは、Philip Morris, R.J. Reynolds, Lorillard, Brown & Williamson (B&W), The American Tobacco Company, The Tobacco Institute, The Bliley Documents および Council for Tobacco Research に属する内部資料である。これらの文書はすべてカリフォルニア州立大学サンフランシスコ校の書類保管所 <http://legacy.library.ucsf.edu> と同校 Tobacco Control Archives <http://www.library.ucsf.edu/tobacco> に保管されている。

「結果」の項で詳しく述べられているが、ポロニウム 210 と鉛 210 に関する公開された文献資料とタバコ産業の放射線生物学的データを用いて、常習喫煙者肺のポロニウム 210 の被ばく線量を計算した。手短かに言うと、まず、喫煙によって吸引され気管支分岐部に沈着するポロニウム 210 の割合を求める。次に、25 年以上の常習喫煙者におけるアルファ線被ばく量を吸収線量に変換した。この時、ポロニウム 210 の喫煙者肺内における滞留時間が比較的長いことを考慮に入れて計算した。次に、この吸収線量をアルファ粒子を放射するラドンガス濃度の高い住宅に居住する者の等価吸収線量と比較して、EPA の作成した肺ガン死チャートを用いて肺ガンリスクを推定した。

結果

本論文で我々は、電離性アルファ粒子の肺内線量の増加に関するタバコ産業の知識、方針、そして実際の放射線医学的推計に関する新発見を記した 27 件の文書を分析した。次いで、酸洗浄がタバコ葉からアルファ粒子を除く極めて効果的な方法であると判明していたにもかかわらず、タバコ産業がこの手法を用いて紙巻きタバコからアルファ粒子を除去することをかたくなに拒んだ真の理由を記した文書の内容を紹介する。

紙巻きタバコに含まれる放射能はどこから来たか

タバコの放射能は二つのルートから入り込んだことが分かっている。すなわち大気と放射能に汚染された土壌からである。化学的活性はないが放射性物質であるラドン 222 が大気中に放散すると、0.1 ミクロンよりも小さな Aitken 粒子と言う粉じんに着着される。拡散沈着と言う機序によ

り、これらのラドン 222 の付着した粉じん粒子は、粘着性のある樹脂に似た非水溶性の毛髪状の突起を持ったタバコ葉の両面に付着する(Martell, 1974, 1983)。この濃度は、(茎や根を含む: 訳注)植物としてのタバコ全体の平均値の 1 万倍の濃度に達する(Marmorstein, 1986; Martell, 1974, 1983)。重要な事に、これらのラドン 222 粒子は、その壊変娘子である鉛 210 やポロニウム 210 と同様に、タバコ葉表面の微小毛に含まれる樹脂と非水溶性の複合体を形成するため、葉タバコ加工のための前処理によっても、葉タバコの熟成過程においても除去されずに残留する(Marmorstein, 1986; Martell, 1974)。タバコの放射能のもう一つの発生源はリン酸カルシウム肥料の大量の施肥によってポロニウム 210 と鉛 210 のリン酸化合物に富んだ土壤からそれらの吸収が促進されることによる(Desideri, Meli, Feduzi, & Roselli, 2007; Hill, 1965; Holtzman & Ilcewicz, 1966; Khater, 2004; Martell, 1974; Papastefanou, 2007; Radford & Hunt, 1964; Savidou, Kehagia, & Eleftheriadis, 2006; Tso, Hallden, & Alexander, 1964; Tso, Harley, & Alexander, 1966)。タバコ葉の熟成が進む 2 年間に、葉タバコに含まれる鉛 210(半減期 22.3 年)は徐々にポロニウム 210(半減期 138 日)に変わり、熟成期間が終わってもポロニウムへの変換は止まない(Martell, 1974, 1983)。紙巻きタバコが喫煙されると、鉛 210 の壊変によって生成されたポロニウム 210 と、紙巻きたばこの燃焼によって蒸散した鉛 210 が喫煙者の肺内に吸引される(Cohen, Eisenbud, & Harley, 1980; Little, Radford, McCombs, & Hunt, 1965)。

紙巻きタバコのポロニウム 210 含有量

カナダ厚生省が早くも 1959 年に、タバコ製品にバックグランドレベルを上回る放射能が含まれていることをつかんでいたのは驚きである。この放射能レベルがかなり高いと考えられたため、厚生省の科学者 Ash 博士は「公式見解でなく個人見解として」1959 年 4 月 4 日付のフィリップモリス社あての「放射性物質としてのタバコ煙」と題した覚書で、イギリスの工場法(British Factories Act)を例に、タバコを「放射性物質」として規制することを考慮していると述べている(Ash, 1959)。この目的を達成するために、Ash 博士はタバコの放射能を 33%低減するよう要請し、「私なら、タバコの喫味を損なうことなくこの低減を達成することができる。加工品の質や色が若干悪くなることは避けられないが。」(Ash, 1959)と述べている。しかし Ash 博士の提案は最終的にフィリップモリスの科学者 Seligman 博士によって否定された。彼は秘密のメモで同僚や社内の人々にこう述べている。

この問題をスタッフと論議した結果、Ash 博士が提起したポイントは問題とならないという結論に達した。当方の生化学者 Simmons 博士はカリウムと言う元素が生体の代謝に不可欠な元素であり、通常は 100ml の血液に 17mg 含まれていると述べている。通常の食事で摂取する放射性カリウムの量は 2~3 本の喫煙で体に取り込まれる放射能よりも多い。(訳注:この時、タバコ産業の学者はタバコに含まれる放射能は放射性カリウムだろうと考えていたらしい。食物摂取により体内に取り込まれた放射性物質からの放射線の量は、1 年間に約

0.35 ミリシーベルトである。これと比べてタバコ由来の放射能は少ないと言いたらしい)

Seligman 博士は「Ash 博士は科学的真実に沿って行動するのではなく、感情に動かされて物事を急いでいるように見える」と結んでいる(Seligman, 1959)。

経営首脳と科学者が到達した部内的結論を踏まえて、フィリップモリスの理事 Laporte 氏は Ash 博士にタバコ製品の放射能を提言する要請をきっぱり拒否し、タバコ製品の放射能に関するすべての論議を拒絶する厳しい内容の書簡の草案を作成した。それによれば、

紙巻きタバコ煙の放射能レベルは、貴殿が最近提案した「安全」レベルをはるかに下回るものであり、貴殿がこの問題に固執する理由を理解しがたい。(Laporte, 1959)

しかしながら、タバコ産業は 1959 年に早くもタバコ中の放射能の問題に気付いていたのだが、Radford 氏と Hunt 氏が 1964 年 1 月 17 日付 Science に発表した論文が出るまで、どの放射性同位体がその原因となっているかについてはわからなかった。その論文では、タバコに含まれる放射性物質がカリウムでなくポロニウム 210 と鉛 210 であると述べていた。1964 年にタバコにポロニウムが含まれていることが明らかにされた後、タバコ産業は、電離性アルファ粒子がもたらす肺ガンリスクの大きさについて関心と憂慮を持っていたようである。それは、Radford 氏と Hunt 氏の新知見が「タバコの放射能が肺ガンを起こす可能性に関するさらに徹底した研究の必要性をこの上なく喚起するものである」ことを示唆する秘密報告書をまとめたことに表れている(DNS, Jft, & JB, 1964)。この秘密報告書は、「25 年以上の喫煙曝露により、この放射性物質にさらされることが癌様の病変の発生をもたらし得る」(DNS 他, 1964)とまで述べている。その後タバコ産業と複数の大学に委託した研究の結果、銘柄と生産国によって異なるものの、紙巻きタバコ一本当たり 8~32 ミリベクレルのポロニウム 210 が含まれていることが分かった(平均 16 ± 4 mBq; Desideri et al., 2007; Hill, 1964; Khater, 2004; Marmorstein, 1986; Martell, 1974; Radford & Hunt, 1964; Savidou et al., 2006; Skwarzec, Ulatowski, Struminska, & Borylo, 2001; Tahir & Alaamer, 2008; Tso et al., 1964)。中でもブラジル(Peres & Hiromoto, 2002)と中国(Schayer, Nowak, Wang, Qu, & Cohen, 2009)のタバコの含有量が大きかった。この時点で、フィリップモリスは、1980 年代後半から 90 年代にかけて、放射線物理学と放射線生物学専門家を抱える英国の企業 Harwell 社を雇い、紙巻きタバコに含まれる放射能の量に関する世界的で包括的な文献研究を行った(Pritchard, Pattendon, & Gibson, 1990)。この世界的調査の結果は、1998 年の Master Settlement Agreement が成立する以前は厳格に秘匿されていた。Harwell 氏の知見によれば、タバコ産業が調べた様々なブランドの紙巻きタバコのポロニウム 210 含有量は、公表された論文で報告された数字とよく合うことが分かっている(Pritchard et al.1990)。

タバコ産業の科学者は紙巻きタバコ煙に放射能が含まれることについてしっかりした知識を持っていなかったが、精巧な放射線化学実験設備を駆使して、1964 年には早くもタバコ煙の放射能の

動態と性質に関して目覚ましい知見を獲得していた。「タバコとタバコ煙中のポロニウム」と題した1964年10月27日付の書簡で、タバコ産業の某科学者(ajm)は同僚のBavley博士とSegura博士に、はっきりとポロニウム210の半減期が比較的短い(135日)のに対して、タバコ葉の熟成期間が長いことタバコ葉のポロニウム210含有量が大幅に減ってしまうはずだというジレンマに悩んでいることを明らかにしている。

葉タバコに含まれるポロニウム210がもともと葉タバコに含まれていたわけではないという実験成績もある(半減期が135日だから収穫後放射能レベルは減るだろうから)。つまり、葉タバコがラジウムの崩壊産物である鉛210を吸収するとか、半減期が22年の鉛210がポロニウム210に変わるというプロセスも可能性がある(Polonium in Tobacco and Smoke, 1964)。

135日という半減期を持つポロニウム210は1年ほどの熟成期間中にほとんど崩壊して無くなってしまふから、もともと葉タバコにポロニウムがたくさん含まれていたという考えは撤回せざるを得ない。実際は、半減期が22年の鉛210がポロニウム210の永久的供給原だったのである。

喫煙者の肺に存在するポロニウム210の量

紙巻タバコにポロニウム210がたくさん含まれていることから、喫煙者の肺には非喫煙者の肺よりも多くの放射性物質が存在しているのだろうかという疑問がわいてくる。この問題は、タバコ煙を通じたアルファ粒子吸引に関する多くの研究のきっかけとなった。つまり、紙巻タバコに含まれる放射能のうちどれほどが実際に喫煙者の肺に吸引されているのか、肺のどの場所にアルファ線を放出する粒子が沈着しているのか、肺内の滞留期間はどれほどか、それによってどのような有害作用がもたらされるのか、などである。公開された論文(Winters & Di Franza, 1983)と、タバコ産業の内部資料(Natural radioactivity in tobacco and tobacco smoke タバコとタバコ煙中の自然放射能)によれば、紙巻タバコに含まれる放射性物質の半分以上は喫煙によって(副流煙として)空気中に放出される。その場に非喫煙者がいればその肺に吸い込まれる(受動喫煙)。喫煙者が吸いこんだ煙(主流煙)を通じて、フィルターの有無にかかわらず、一本の紙巻きタバコに含まれるポロニウム210の32%ほどが喫煙者の肺に送り込まれる。フィルターに吸着されるポロニウム210の量はごくわずか(約3%)に過ぎず、紙巻タバコ本体と灰に10%残存する(Department of Health, 1979; Horsewell & Richardson, 1966; Rajewsky & Stahlhofen, 1966; Skwarzec et al., 2001)。鉛210とポロニウム210は吸引されたタバコ煙中の非水溶性の毛髪状粒子に吸着している(Martell, 1974)ため、喫煙者の肺の気管支分岐部に固着するため、簡単に迅速には排除されず、比較的長期間肺内にとどまる。Radford博士とMartell博士は、ポロニウム210がすべて非水溶性の毛髪状粒子に大量に吸着した鉛210の壊変によって供給されると言う前提で、ポロニウム210が気管支分岐部に滞留する平均時間を推計した。ポロニウム210と鉛210の比率を用いて計算すると、ポロニウム210が喫煙者の肺に滞留する時間は約120日と算定された

(Radford and Martell, 1975)。公開された論文(Little et al., 1965; Martell, 1983)とタバコ産業内部文書(Polonium 210)によれば、気管支分岐部に集積したポロニウム 210 が実際に「ホットスポット」と呼ばれる状況を作り出していることが分かった。Little 等および、Little 氏と Radford 氏(1967) は、肺ガンで死亡した喫煙者と交通事故で死亡した非喫煙者の肺の剖検標本をシステムティックに解析した画期的研究を発表した。それによれば著者等は、ポロニウム 210 濃度が非喫煙者より喫煙者の肺で有意に増加していたこと、特に下葉の区域気管支分岐部で放射能レベルが最も高く(ホットスポット)、ポロニウム 210 濃度は 500mBq/g(13pCi/g)に達していたと言う。肺実質の他の場所のポロニウム 210 濃度は 0.5mBq/g 未満あるいは検出不能レベルだった(コールドスポット)。後に他の研究者 (Holtzman & Ilcewicz, 1966; Little & Radford, 1967; Martell, 1974, 1983; Radford & Martell, 1975) およびタバコ産業の秘密内部文書 (Polonium 210; Post-mortem concentrations of Po 210 in tissues of cigarette smokers and non-smokers) も同様の所見を報告した。このホットスポットの問題に符合した極めて興味深い体系的でよく配慮された研究が、Little 氏等の研究の4年前に Auerbach, Stout, Hammond, and Garfinkel (1961) によって独自に行われ発表されていた。その研究では、肺ガンで死亡した 63 名の肺を解剖したところ、気管支の分岐部に最も多くガンが発生しており、Little 氏等が、肺ガンで死亡した喫煙者の肺でポロニウム 210 濃度が最も高かったと発表した部位と一致していた。

肺の被ばく線量と肺ガンリスクに関するタバコ産業の推計

喫煙者肺気管支分岐部に放射能の集積が見られ、ポロニウム 210 集積の最も高度な部位に癌細胞の集団的増殖が観察された事が早くからわかっていたことは、タバコ産業の首脳陣の間に大きな不安を巻き起こした。不安があるからと言って何か意味のある行動を起こす事はしなかったが、内部文書から 1960 年代のタバコ産業の内部の意見、苦悩、姿勢を垣間見ることができる。たとえば、1962 年以降、タバコ産業経営陣はタバコに含まれる放射能を「issue」、「problem」、「situation」と呼び変えてきた。この懸念は、1962 年の BATCO のある内部文書に如実に反映されている。その文書では、最高経営陣が、自社の放射線トレーサー研究所の科学者に、タバコ煙中の放射能の問題をより正確に解明するよう求めていた。

揮発性放射性物質がタバコ煙粒子中に存在し、それが肺の(気管支の: 訳注)表面にトラップされ、崩壊するまでそこにとどまる事は可能性としてあるだろう。そうだとすると、その量はどれくらいになるのか?そして、それはラドンの吸入に匹敵するほどの量なのか、ラドンなら肺内に滞留している間に崩壊してしまうのだが。もし取るに足りない量だと言うのなら、この問題はこれで一件落着だ。しかし、そうでない場合は、我々はタバコに含まれる放射能の問題を極めて深刻に受けとめる必要が生じるかもしれない(Anderson, 1962)。

タバコ産業の経営陣がすでに、紙巻タバコの煙を吸いこんでアルファ線にさらされる人々の肺

ガンリスクと、ラドンガスに汚染された室内気を吸いこんでアルファ線にさらされる人々の肺ガンリスクを比較する研究を実行しようと考えていたことは注目に値する。興味深いことに、タバコ産業が比較研究の必要性を考慮した8年後に、米国政府から独立した機関であるEPAが創設されている。

その後長年、放射能問題はBATCOの科学者と経営者の関心と懸念の的となっていたが、タバコ煙からポロニウム210を除去するための具体的対策は講じられなかった(Hughes, 1964)。

しかし、この懸念は収まらなかった。それは、タバコ産業の科学者がタバコ煙に含まれるポロニウム210が肺ガンを起こす恐れがありそうだというより現実的な予測をまとめたためである。1964年1月29日付の「Suggestions for research on Polonium-210 in tobacco タバコのポロニウム210の研究に関する提案」と題したAmerican Tobaccoの秘密報告書によれば、タバコ産業の科学者が紙巻タバコ煙に含まれる電離性アルファ粒子が驚くべき科学的正確性を持って発ガン作用を持つことを明確に認めたのである。

電離放射線はヒトにガンを起こす可能性がある。相当な量のポロニウムがタバコに含まれている。タバコが燃焼すると、ポロニウムが蒸発し、煙粒子に付着し、肺に入り込む。ポロニウムの多くはそこにとどまり、肺胞の毛細血管床に達し、大循環により全身に拡散する場合もある。また喰細胞に吞食されたり、気管支の粘液纖毛システムによって肺外に排除される事もある。また、ポロニウムが特定の部位に集積してそこに化生変化をもたらす事もありうる。紙巻タバコ喫煙は纖毛運動を麻痺させ、肺の正常な浄化システムを傷害することが明らかになっている。25年以上この放射性物質にしっかり曝露された場合、ガン様の増殖(cancerous growth)が発生する事もありうる(DNS et al.1964)。

電離作用のあるアルファ粒子を吸いこんだことにより引き起こされる可能性のある傷害について、他に先駆けて明らかにされたこの科学的に正確な評価結果は、タバコ産業が、アルファ粒子の吸入が肺ガンを起こす病理生物学的機序について、深くかつ詳細な知識を持っていたことを明確に表している。このイベントのプロセスをまとめるとこうなる：(a)放射性粒子と樹脂様物質の非水溶性複合粒子の形成、(b)この非水溶性粒子の気管支分岐部への固着(ホットスポット)、(c)傷害を受けた気管支分岐部の纖毛運動の停止により、放射性粒子の滞留時間の延長が生じ、(d)ホットスポットにおけるガン様増殖の前駆変化となる細胞の化生変化の誘導。

この早い時期に得られた洞察力のある知見は、その発見だけで終わらなかった。1967年のフィリップモリス社の秘密メモには、アルファ粒子の吸入がもたらす長期的有害影響に関するさらにレベルの高い精密な分析と解釈が述べられている。そして、タバコ産業は、この話はなかったこととしたのである。

1 日二箱の常習喫煙者の肺に数百倍のレベルの放射能が存在することが分かったため、アルファ放射がヒトに肺ガンを起こす事に関しては疑いがない。我々は、この点で紙巻タバコ-ポロニウム問題の研究者間で全体的な意見の一致が見られていることを確認できる。しかし紙巻タバコを吸う一般市民に生じている比較的軽度なポロニウム 210 によるアルファ放射の影響がどれほどあるのかを判断する上で、現在利用可能な疫学調査成績には多くの不確実性があるため、いかなる明確な結論も引き出せないことも確認される(Kensler, 1967)。

タバコ産業が早くから行っていた紙巻タバコ煙中のアルファ粒子の有害影響の大きさの予測には「先見の明」があった。長期間の肺組織へのアルファ粒子の吸収線量に関するタバコ産業の行った推計と我々の推計(後述)は 25 年間の常習喫煙者の吸収線量について同様の結果となった。

紙巻タバコの放射能に関するタバコ産業の懸念は、その後数十年間続いたが、この放射性物質を除去する具体的な対策は何一つ講じられなかった。タバコ産業は、被ばく量は「極めて少ない」から心配はない、アルファ線被曝と肺ガンの因果関係の存在については極めて多くの不確実性が存在すると言い張ってきた。吸入したアルファ粒子が肺ガンを引き起こす事を認めているにもかかわらず、これらの昔から行われてきた論難への反論として、フィリップモリスは 1980 年に次のような報告書を作った。

鉛 210 とポロニウム 210 はタバコ煙と灰の中に存在する。Martell 氏の「ホットパーティクル・セオリー」は過去に注目されたが、現在すでに科学界では支持を失っている(最近この分野での注目度の低下)。ポロニウム 210 のアルファ放射線が肺ガンの原因だとは考えにくい。なぜならば、癌化をもたらすに足る放射線量を持たないからだ。しかし現在までの研究では、その可能性を否定することもできない(Comes, 1980)。

アルファ粒子の吸収線量の問題は、Brazilian Souza Cruz cigarette company (BATCO の子会社)の一人の科学者が直接解明に当たった。彼は、常習喫煙者の実際の肺内アルファ粒子線量を定量的に測定し、自社のタバコを毎日二箱 20 年間吸った場合の吸収線量を推定した。この BATCO の科学者は次の結論に達した。

私の研究によれば、ブラジリアンシガレットを毎日二箱吸う喫煙者は 20 年間で 1000rem の被ばくを受けることになる(de Siqueira, 1988)。

rem(ヒトの等価放射線量)は、rad で表した吸収線量に RBE(生物学効果比: 訳注)をかけたものである。アルファ線の場合これは 20 だから、1000rem は 50rad となる。1 rad は 1 グラムの生体組織に 100erg のエネルギーが吸収されたときに等しい吸収線量のことである。ちなみにより普

通に使われる単位のシーベルトで表すと、 $100\text{rem}=1\text{Sv}$ である。

計算の詳細は本論文では省略する。しかし、タバコ産業および学術誌に発表された放射線生物学的データ、アルファ粒子の分布動態パラメータ、喫煙者肺内滞留時間をもとに行った我々の推計では、毎日 2 箱の喫煙者が長期的に取り込む放射線量は、タバコ産業の計算結果とほぼ一致した。

肺の被ばく線量と肺ガンリスクに関するタバコ産業の推計

我々は、BATCO の科学者が 23 年前に行った様に、毎日二箱(40 本)吸う常習喫煙者が 20 年あるいは 25 年間で吸いこむアルファ粒子の量を繰り返して計算した。紙巻きタバコ一本当たり平均 16mBq のポロニウム 210 が含まれているとして、その 32%を喫煙者が吸いこみ、毎日 40 本喫煙すると、肺の中には毎日 $16 \times 0.32 \times 40 = 24.5\text{mBq}$ の放射性物質が入り込む。(1Bq=原子核崩壊が 1 秒間に 1 個)

アルファ粒子 1 個から放出されるエネルギーは 5.3MeV である(Hall, 1987)から、肺は毎秒 $24.5/\text{s} \times 5.3\text{MeV} = 130\text{MeV}$ のエネルギーを受ける。

しかし、アルファ粒子が肺に放出する総エネルギーは 1kg の肺組織中に均等に分布するものではない。先に検討したように、アルファ粒子は小さな気管支の分岐部に選択的局所的に付着してホットスポットを形成しているから、アルファ粒子が付着している肺組織の比率は全体の 4%つまりわずか 40g (体積で 40cm^3)となる。したがって、 40g の肺組織に毎秒 130MeV のエネルギーが付与されるのだから、 1g あたり 3.25MeV の付与となる。放射性粒子の平均肺内滞留時間を 120 日とする(Radford & Martell, 1975)と、25 年間で、喫煙者の肺全体には、 $3.25\text{MeV}/\text{sg} \times 120\text{日} \times 25\text{年}$ となり、 1rad 当りのエネルギーを $6.24 \times 10^7\text{MeV}/\text{g}$ とすれば、肺吸収線量は 41rad となる(Effects of pollution on health,1972)。したがって、25 年で 41rad 、20 年で 33rad の被ばくとなる。アルファ線の生物学効果比 20 をかけると rad を rem に変換することができる(Committee on Health Risks of Exposure to Radon, 1999; Rego, 2009)。ちなみに、ベータ線、X 線、ガンマ線の生物学効果比はおよそ 1 である(Hall, 1987)。

結局、毎日 2 箱の喫煙者が 25 年あるいは 20 年で肺に取り込む放射線量は 820rem 、 660rem となる(Committee on Health Risks of Exposure to Radon, 1999; Rego, 2009)。ブラジリアンシガレットは 1 本当たり 30mBq 以上のポロニウム 210 を含んでいるので、アルファ粒子線量を 16 から $30\text{mBq}/\text{本}$ に増やして計算すると、放射線量は 1235rem となりタバコ産業の推計値とそうかけ離れた結果とならない。興味深いことに、タバコ産業と我々の推計した数字は、他の公開された 3 研究の結論とも大筋で似ていた。Radford and Hunt (1964) : 50rad ($1,000\text{rem}$), Little 等

(1965): 20 rad、Martell (1983): 60–140 rad。

EPA は肺ガンリスクを住宅内のアルファ線を放出するラドンガス濃度 (pCi/L、1pCi =37 mBq) の関数として推計し、EPA のサイト(www.epa.gov)に Radon Risk Chart として掲載している。EPA は 100 pCi/L のアルファ線を放出するラドンに曝露されると、25 年間で肺は 36rad の被ばくを受けるとしている。これはちょうど毎日 2 箱の喫煙者が 25 年で肺に吸い込む放射線量に匹敵する。EPA は 25 年間に 36rad のラドンに被ばくすると、1000 人中毎年 120~138 人が最終的に肺ガン死するとしている。

タバコ煙の放射能に関するタバコ産業の対応

Philip Morris, BATCO, Brown & Williamson, R.J. Reynolds などの主要タバコ産業と Council on Tobacco Research は、沈黙と秘匿といういつもの戦術を一致してとり続けた。それは 1959 年から 1998 年まで、MSA によって多くの秘密文書をネットを通じて公開する命令が出されるまで続いた。多くのタバコ会社の首脳陣は沈黙と秘匿戦術をとったが、それには、徹底的な否定、公表の全面禁止、タバコの放射能に関する学術論文が出たなら、徹底的に反論しその論文の信用性を失墜させるなどのやり方でこれを行った。そして最終的に、肺に取り込まれる真の放射線量とタバコ煙中のアルファ線粒子により癌が発生する恐れがあることをうやむやにするレトリックを駆使してそれをなしとげた。

否定

おそらく、タバコの放射能問題を否定する最も絵になる見本は、1997 年に法廷で供述したフィリップモリス CEO の Geoffrey C. Bible であろう。Bible 氏は、タバコの放射線に付いて 38 年間、化学、動態、定量的研究を行ったがタバコ煙中に放射能が存在することなど全くあるはずがないと否定した。以下はその証言である。

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、私はそう思いません。

問:あなたはポロニウム 210 をご存知ですか?

答:はい、知っています。

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、知りません。(Summary of deposition of Geoffrey C, 1997) (Muggli , Ebbert, Robertson, & Hurt, 2008)

公表の禁止

タバコ産業の首脳は、早くも 1962 年に、紙巻タバコの放射能に関するいかなる情報もタバコビジネスに深刻な悪影響をもたらすと感知していた。この言い訳のロジックは理解可能である。一般市民は原爆被爆者、原子力発電所の事故、そしてとりわけ直近の 2011 年 3 月 11 日の地震と津波による福島第一原発の事故がもたらした映像の記憶によって、放射線被ばくが極めて大きな被害をもたらす恐れがあることをつねに気に懸けている。その結果、紙巻きタバコから吸い込んでいるのは放射能なのだという認識を持った喫煙者もこれからタバコに手を出そうとしている非喫煙者も、喫煙に対してあからさまな嫌悪感を抱くことになる。したがって、タバコ産業は、このような現実的な理由づけから、タバコの放射能の問題について完全な沈黙と隠匿の戦術を選んだのである。そして、いったん白日の下にさらされたならタバコを売る商売もタバコ産業のイメージも丸つぶれになる恐れのあるタバコに含まれる放射能に関するいかなる発表も禁止したわけである。「Alpha activity in tobacco タバコのアルファ粒子放射能」と題した 1962 年の書簡で、フィリップモリスの役員 Bavelly 氏は自社の科学者 Wakeham 氏に喫煙者に敵意に満ちた強硬派的態度を呼び起こす恐れがあるから、放射能に関する研究結果を公表しないように要請した。

オーストラリアで作られた紙巻きタバコとパイプタバコに検出された放射能は極めて少ないため、直ちに問題となることはない。しかし、この種の情報は、タバコがからだに悪いという情報を熱心に探し求めている人々につけ込まれるきっかけを作ることになる(Bavelly, 1962)。

いかなる発表も禁止するという方針は、1963 年にフィリップモリスの Blackmore 氏の重役会議メモに明確に書かれている。

我々は、この論文がタバコあるいは紙巻きタバコに放射能が含まれているという主張に対する反論として書かれたものとする。...我々は今この論文を公表する理由はないと考える。大衆はこの種の論文の見出し以外は読まないのがふつうであり、内容をきちんと理解するなどと言うことは期待できない。だから、我々タバコ産業にとっては、この論文を公表することによって、一般の人々にタバコに放射能が含まれているという観念を広げるから、かえって不利益をもたらす(Blackmore, 1963)。

タバコの放射能に関するすべての情報を公表することを禁じた方針は、早くも 1962 年からタバコ産業によって完璧に実行され、長期間保持された。このことは「210 Polonium briefing」と名付けられた 1980 年のフィリップモリスのメモからうかがうことができる。

1967 年—68 年までに、紙巻きタバコに含まれるポロニウム 210 のレベルは R&D によって明らかにされた。この研究の草稿は作られたが、論文として発表しないことになった(Charles, 1980)。

公表を禁止するという方針は、一般市民全体と喫煙者がタバコ煙に放射能が含まれていることを知らせないようにするうえで大きな成功をおさめと言わざるを得ない。Cumplings 等 (2004)の世論調査によれば、成人喫煙者 1046 人中 86%はタバコに放射能が含まれていることは知らないと答えた。言うまでもなく彼らは喫煙をやめていないが。Rego(2009)は自身の調査において、86%と言うのは過小評価であり、タバコに放射能が含まれていることを知らない人々の割合はもっと多いはずだと述べている。このことは、40 年以上に渡ったタバコ煙の放射能に関する情報の公表を厳禁する冒険的方針は極めて成功したことを示す。まさしく一篇の論文も発表されなかったのである。同様にタバコに放射能が含まれているという情報もただの一回たりとも一般消費者に伝達されなかったのである。

反論

タバコの放射能に関するいかなる内部的研究内容も公表をさせないと言うタバコ産業の方針は、一般市民にタバコの放射能の問題に気付かせないという目的を極めて首尾よく達成した。しかし、タバコ煙の放射能に関する(タバコ産業と独立の; 訳注)学術的な研究発表が公表されるとそれに対して別な手を打つ必要があった。その際、タバコ産業は、公表されたデータの信頼性をくじくためには、学術的結論の信ぴょう性、再現性、信頼性に対して重大な疑問があると触れまわるのが有効な手段であると判断していた。1992 年にサンパウロ大学の教授がブラジリアンタバコ (BATCO の子会社 Souza Cruz 社)には、他の銘柄のタバコよりも多量のポロニウム 210 が含まれているという研究を発表したが、これに対してタバコ産業は強力な抵抗を見せた。その様子は 1992 年の「Secret」と題したメモに描かれている。

この教授の成績は、通常放射能レベルの低い検体、つまり植物(この場合はタバコ)の放射能を測定法を翻案して計測したことによって得られたのだろう。この翻案は、その教授が行ったもので、世界中では他の誰一人使用していない方法である。いわば彼の「Novelty 新発明・珍品」と言える。(Cruz, 1992).

タバコ産業が学術的知見を否定する次の戦略は、タバコのポロニウム 210 を正確に測定できるのはタバコ会社だけだと自画自賛する事だった。とくにタバコ産業の有料私的コンサルタントの Harwell 氏が行った測定結果が世界で最も正確だと述べていた。もっとも彼の測定結果は部外秘とされ一般市民の手の届かないものだったが。1992 年の Souza Cruz 社メモを見ると、自画自賛によって学術成績を否定するやり方が分かる。

(Harwell 氏が行った)我々の測定結果によれば、ブラジリアンタバコと他国のタバコの間には何ら差は見られないことが明らかになった。同様に、Souza Cruz 社ブランドの放射線レベルは意味のない(とても低い; 訳注)レベルであり、ブラジルや国外で売られているタバコの放射線レベルと差はなかった。Souza Cruz 社は、自社の研究センターにおいて、我々の製品

が常に恒久的国際基準を保つように、積極的な品質管理計画をシステムティックに進めている(Cruz, 1992)。

専門家の研究結果をけなすことに加え、Souza 社グループはタバコの放射能測定における科学的優越性と能力を誇示する有料広告を科学専門雑誌に掲載した。その一例を示そう。

Souza Cruz 社は、ブラジルの「Institute of Radioprotection and Dosimetry of the National Commission of Nuclear Energy 核エネルギー国立委員会放射線防護・線量測定研究所」および United Kingdom Atomic Energy Authority (英国原子力エネルギー局 UKAEA)とタイアップした Harwell Laboratory で即時の測定を行っている。この測定は、国際的に適切で信頼性があると認められた方法で行われているので、Souza Cruz 社の製品は完全に世界標準のものとなっている。(Cruz, 1992)

学術専門家の公表論文を否定する方針は、1974年のRadfordと Martellのタバコ煙中の放射能に関する先駆的知見に対する攻撃にまで向けられた。フィリップモリスの科学者 Wakeham 氏の 1974 年の書簡は、会社に対して社外の科学者の研究をけなしで否定する戦術をしっかりと定着させる必要があると述べている。

Martell 氏も Radford 氏も、技術会議や専門誌投稿というピアレビューを受ける前に、新聞社に彼らの知見を公表するよう求めている。このような状況であるから、彼らに対して、ただ科学的真理の発見に興味があるのか、それとも、権力欲とか、タバコに反対する布教活動が動機なのかが当然の疑問である(Wakeham, 1974)。

この論述は奇妙で自己矛盾している。それは、彼の秘密メモの最初に Wakeham 氏が明確にこう述べているからである。

タバコに放射性物質のポロニウムが含まれており、しかも喫煙者の気管 trachea (訳注: 気管支のことか?) の分岐部に多量に付着していることが疑いなく明らかにされた。(Wakeham, 1974).

うやむや化

否定、公表禁止、社外の専門家の研究のけなしに加えて、タバコ産業は、紙巻タバコ煙に含まれるアルファ粒子が肺に傷害を与えるおそれをうやむやにして隠すレトリックを駆使した。BATCO の内部文書にそのようなごまかしの表現を見ることができる。

うやむや化の手法としては、ヒトの剖検肺のポロニウム 210 線量の表現法がよい例と言える。

ポロニウム 210 が集積している肺の容積は極めて小さい(肺容積の 4%)ので、もしポロニウム 210 線量(喫煙者と非喫煙者の剖検肺のポロニウム 210 濃度)を肺組織 100 グラム当たりとして表示すると、ホットスポット(高々10mg の肺組織)におけるポロニウム 210 の線量が故意に 100 分の 1 から 1 万分の 1 に小さく表示されることになる。しかも、アルファ線の到達距離は 40 ミクロンにすぎないので、[ホットスポットのアルファ粒子+コールドスポットのアルファ粒子]の平均値で放射線量を計算すると、極めて誤った(小さな: 訳注)値となってしまう(Hill, 1965; Little & Radford, 1967)。

ポロニウム除去、pH、ニコチン

タバコ産業がなぜ、迅速かつきっぱりとこの問題を拒否したかは、今も不明である。葉タバコからアルファ粒子を酸洗浄という手法で極めて効率的に除去する方法が 1980 年に確立された(Campbell, 1980)が、秘密文書を見るとそれを拒否する意志が明確に示されている。社外の科学者の論文には、酸処理(Bretthauer & Black, 1967; Campbell, 1980; Jenkins, 1985; Kensler, 1967)とレジン交換フィルター(Horsewell & Richardson, 1966; Kensler, 1967)が葉タバコに含まれる放射性物質を 99%除去できる極めて効果的な方法であると述べられている。タバコ産業は、「コスト」、「非現実的」、「環境への影響が不明」を理由に酸処理を拒否した(Campbell, 1980; Jenkins, 1985)。ここで、フィリップモリスの Jenkins 氏が、効果が証明されているのに、タバコの葉からポロニウム 210 を除去する酸洗浄を行わない理由として挙げた諸点を示す。

この特許の実用性の度合いがもう一つの問題である。農場でタバコの葉を酸で洗浄すると、土壌の pH を適正に維持する上で莫大な費用が必要となるから、経済的にマイナスである。収穫後の熟成前に酸洗浄を行うことは、幾分現実的だが、廃液の処理がもう一つの問題となる。それは酸性溶液だけでなく放射能含有量の大きな溶液を扱うのだから、適切な処分が必要となるためである(Jenkins, 1985)。

皮肉なことに、タバコ産業が並べ立てた様々な懸念、つまり、環境破壊、コスト、放射能廃液の問題はどれも、タバコ産業がタバコ葉を酸洗浄して放射能を除去することを拒絶する真の理由ではない。このようなタバコ産業の論理を認めるならば、喫煙者に放射能を吸いこませることと、土壌に放射能の混じった酸溶液を投棄することが悪さにおいて同等だということになる。ところで、pH が喫煙者の脳へのニコチンの到達量と到達速度に与える影響を論じたタバコ産業の文献("nicotine freebasing"; Stevenson and Proctor, 2008),を詳しく調べると、タバコ産業が酸洗浄を拒否した理由が、彼らが先に挙げたものではないことが分かる。事実、Jenkins 氏はその秘密メモに、酸を使用しない肝心の理由に関する明確なヒントを述べている。

酸処理によって生ずるタバコの主観的変化について、私はコメントしていない(Jenkins, 1985)。

まさに、タバコ産業の関心の的は、タバコの pH を操作して喫煙者の「主観的変化」をもたらす事だった。そしてそれは酸洗浄という手法が問題となるずっと以前のことである。酸性溶媒は、陽イオン化作用によりニコチン分子を陽イオン化する。この陽性ニコチン分子は、中性ニコチン分子（ニコチン遊離塩基）よりも生体膜を通過する速度が遅い。したがって、喫煙者の脳細胞に到達するニコチンの量と速度が減少する。脳細胞へのニコチン搬送が遅くなると、喫煙者が求めるニコチンの即時的な「ガツン kick」と来る感じが損なわれる。酸洗浄の影響に関する明確な記述が 1971 年の Liggitt 文書の中にある。一部を紹介する。

ニコチンの溶媒の pH を上げると、遊離塩基／塩比が増加し、ニコチンの生理学的作用が増強される。遊離塩基型の方が生体膜をより速く通過するためである。我々は、タバコ煙のニコチン量を出来るだけ減らしつつ、残されたニコチンの作用を増強させて、最終的にニコチンの総生理学的作用を以前よりも増やすことを最終目的としてこのプロジェクトを進めている (Williams, 1971)。

酸洗浄が「ニコチンのガツン感」を減らすという関係をタバコ産業が許せない理由は、R.J. Reynolds 社の研究部門アシスタントディレクター Claude E. Teague, Jr の当を得た言葉に表現されている。

タバコ製品は、様々な生理学的作用を持つ強力なドラッグであるニコチンを含みそれをヒトに送り込むというユニークな商品である。...もしわれわれが、批判者の言葉に従順にしたがって、タバコからニコチンを減らしたりなくしたりしたならば、我々は商売を止めるほかなくなる。もしこの商売を続けたいなら、そして、我々の商売がガツンと来るようなニコチン製品を売る商売 (sale of dosage forms of nicotine) ならば、ある時点でこの問題にきっぱりとけりをつけなければならない (Teague, 1972)。

1973 年の Teague 氏のメモは、フィリップモリスがマルボロの売り上げを莫大に伸ばした理由がタバコの pH を上げたことにあると述べている。

タバコ煙の pH を上げたおかげで、何年来タバコ煙の「タール」とニコチンを 3 分の 2 も減らしたにもかかわらず、現在売られているマルボロ銘柄には昔のウィンストンと同じ量の「遊離」ニコチンが入っている (Stevenson & Proctor, 2008)。

Stevenson 氏と Proctor 氏 (2008) は、彼らの包括的研究の中で、タバコ産業がアンモニアを使って pH を上げ、喫煙者の脳へのニコチン搬送速度を上げる操作 (遊離塩基化) を行っていたことを詳しく解説している。しかし、タバコ産業は、アンモニア添加によって pH を上げた理由が「遊離

塩基化」を促進するためでなく、アンモニアを「フレーバー」あるいは「ペクチン放出」のためであると言いつけていた。明らかに、がけつぷちに立たされたタバコ産業は、アンモニアを遊離塩基化促進のために使ったことを隠し否定しようとした。事実、Iron Workers(鉄鋼労働組合) 対 Philip Morris の裁判(訳注:労働組合がタバコによる超過医療費をPMに請求した事案のようである)では、同社の元副社長 Harold G. Burnle, Jr がこのように尋問されている。

フィリップモリスは、ニコチンキックを増強するためにアンモニアを使ったのですか？

彼の答:いいえ。アンモニアは、はじめ、ブレンドしたタバコ葉をまとめるために使いました。その後、再構成タバコ葉のフレーバーとして添加しました(Stevenson & Proctor, 2008)。

長年かけて、タバコ煙の有害作用の証拠が集められ、アルファ粒子も含まれることも明らかされ、公衆衛生長官が喫煙の有害性に関する警告を出すに至り、タバコ産業は、起こりうる訴訟の危険を避けるために、今までと違う新たな戦術を使い始めた。可能性のある訴訟に備えて、タバコ産業の科学者と重役はタバコの放射能に関するこれまでの内部資料をまとめた報告書を作成して、顧問弁護士に渡し、attorney-client privilege clause(訳注:弁護士と依頼者との間の秘密保持特権(米)特にディスカバリーなど訴訟手続において、弁護士と依頼者との法的問題に関する会話や通信について、開示する必要がないことを認めさせる条項)の締結を図ろうとした(Bero, Barnes, Hanauer, Slade, & Glantz, 1995; Hanauer, Slade, Barnes, Bero, & Glantz, 1995; Kensler, 1967)。しかし、1998年のMSAによって、多くの内部文書をインターネット上に公開する命令が裁判所から出されてしまった(Schroeder, 2004)。最後に、通常の紙巻きたばこフィルターが除去できるのはポロニウム5%以下であり(Horsewell & Richardson, 1966)、ニコチン除去能に至ってはおそらくほとんどゼロに近いことも銘記しておく必要がある。たとえどれほどのニコチンがフィルターで除去されようとも、喫煙者は「摂り損ねた」ニコチンを、代償喫煙(パフ数・喫煙本数・吸煙量の増加)で補ってしまうだけである。皮肉なことに、いわゆる「低タール・低ニコチン」タバコを吸っている時、この代償メカニズムが働きすぎて、実際に吸い込むアルファ粒子の量は減らず逆に増加している(Russel, 1987)。しかし、考案で検討していることだが、2009年にオバマ大統領がTobacco Control Actの立法のための署名を行ったことにより、FDAにタバコ製品を規制する大幅な権限が与えられ、タバコ煙の有害成分の開示と同定を命令することができるようになった。これによって、一般市民全体が、タバコを吸っている時には放射能も吸い込んでいるのだという認識を持つようになるだろう。

考案

カナダの保健担当当局がフィリップモリスの首脳部にタバコの放射能レベルを減らすように求めた1959年には早くも、タバコ産業の科学者と重役はバックグラウンドレベルよりも高い放射能がタ

バコの葉に存在していることを知っていた(Ash, 1959)。

この論文で分析した文書から、タバコ産業の科学者が実際に喫煙者の肺に吸収されるアルファ粒子の量を現実には即した放射線生物学的手法で推計したことが明らかになった。タバコ産業の科学者が 50rad(1000rem または 10Sv)という値を算定したプロセスの詳細は置いておくとして、我々がタバコ産業およびそれとつながりのない学術界の放射線生物学的手法とアルファ粒子の分布動態データを用いて計算を行った結果、長期間の(喫煙による)肺のポロニウム 210 吸収線量はタバコ産業の推計と類似した値となった。肺の吸収線量推計値は、以前に独立の科学者が行った 40~160rad という 3 件の推計値(Little et al., 1965; Martell, 1983; Radford and Hunt, 1964)の範囲におおむね合致した。EPAによれば、肺に対して 25 年間このレベルのアルファ線が作用すると、1000 人当たり 120~138 人の肺癌死が発生するという。電離放射線の生物学的影響に関する National Academy of Sciences の報告書(BEIR VI)が綿密に述べているように、アルファ粒子とガン様増殖の間に因果関係が存在するという考えには極めて説得力がある。

ただ一個のアルファ粒子でも一個の細胞の遺伝子に突然変異と形質転換をはじめとした大きな変化をもたらし得る。...アルファ粒子が一個通過した細胞では、死に至らないまでも、修復不能な(遺伝子:訳注)損傷を受ける可能性がある。さらに、ガンの多くがたった一個の細胞から始まるという説得力のある証拠が存在する(Committee on Health Risks of Exposure to Radon, 1999)。

BEIR 報告書によれば、過去に発表された独立に行われたアルファ粒子とガンの因果関係に関する二つの研究成果を援用できることを考慮すると、喫煙者の肺のホットスポットで一個のアルファ粒子が貫通した一個の上皮細胞が死滅せず生き残ることはあり得ないことではない。おそらく、アルファ線とガンの因果関係が最初に示されたのが 1920 年頃からであろう。当時、時計の文字盤の夜光塗料としてアルファ線を出すラジウムが使われていた。その塗布は素手で、しかも筆先を細めるために唇で筆先を舐めることが常態化していた。多くの労働者がラジウム 226 を大量に飲み込んだ結果、顎の骨や口にガンが発生したため、そのような作業が中止されたという(Frame, 1999)。二つ目の例は、血管造影剤として投与されたトトロラストに含まれる難溶性の二酸化トリウムから放射されるアルファ粒子に長期間低線量被ばくした患者に肝臓ガンが発生したことである。これらの患者の肝臓ガンは、アルファ線がガン抑制遺伝子 p53 の点突然変異をもたらしたことにより発病したという仮説が唱えられている(Iwamoto et al., 1999)。

タバコに含まれる放射能の問題についてはカナダの保健当局が早くも 1959 年に深い憂慮を示しており、タバコ産業にタバコの放射能レベルを 35%下げる対策を講ずるよう要請していた(Ash, 1959)。しかしタバコ産業はすぐにそれを拒絶した。その後 1980 年に Campbell は極めて効果的な酸洗浄(放射能を 99%除去可能)という手法を発見した。タバコ産業は、「タバコ農家に経済的

負担となる」とか「酸溶液の土壌処分に伴う環境影響が不明」などという理由を挙げて酸洗浄を拒否した(Jenkins, 1985)が、今回発見した内部資料によれば、タバコ産業が酸洗浄を拒絶した真の理由は、先に挙げた「懸念」ではなく、酸性溶液の中では、ニコチンがイオン化(陽イオン化)してしまい、塩基化しているニコチン分子(すなわち非陽イオン化)が難吸収性の陽イオン化分子に変えられてしまうためである。陽イオン化したニコチン分子は生体膜を通過する速度が遅いため、酸洗浄されたタバコでは、喫煙者が切に願っている「吸ってすぐにニコチンがガツンと来る感じ(nicotine kick)」が損なわれてしまう。タバコ産業の首脳部にとって、ニコチンキックのないタバコで商売をすることはあり得ない。結局タバコ産業は、自ら認めているように、タバコの煙を搬送手段としてニコチンを売る商売に徹することにした(Stevenson & Proctor, 2008; Teague, 1972)。

タバコ産業は、彼らの持っている知識を生かす(訳注:タバコの放射能を減らすこと)ように行動しなかっただけでなく、タバコの放射能のことにだんまりを決め込み続けた。それだけでなく、タバコ産業は、タバコに放射能が含まれていることも否定し、タバコとタバコ煙の放射能についてのいかなる発表も禁止した(Muggli et al., 2008; Rego, 2009)。さらに、タバコ煙の放射能の害を隠したり小さく見せるために、タバコ産業が、二つの戦術を追加したことが分かった。一つは肺内の放射エネルギーの大きさをうやむやにする似非科学的レトリックを使うこと、もう一つは、専門雑誌に有料広告を出して、タバコの放射能に関する一般の研究者の業績の真実性と信頼性を攻撃することである。タバコ産業がタバコの放射能に関するいかなるニュースに対しても、沈黙、否認、うやむや化、反論という対応をゆるぎなく厳然として貫いたことは疑いがない。これらの事実から「ポロニウムストーリーは、(禁煙による:訳注)疾患の予防を妨害するために科学と学術当局を利用するタバコ産業の長年の伝統に新たな章を付け加えた」というコメントをする者もいる(Rego, 2009)。1959年の最初の闘いからちょうど50年経った2009年に、やっとFDAにタバコ製品の(ニコチン以外の)有害物質の規制権限を付与する Family Smoking Prevention and Tobacco Control Act に対する大統領の署名が行われた(Deyton, Sharfstein, & Hamburg, 2010; Harris, 2010)。タバコ産業がこの新たな規制に速やかに従うことが簡単でないのは理解できるが、アルファ粒子の問題は、極めて深刻な問題なのだから、今すぐ紙巻きタバコのアルファ粒子の規制を実施し、放射能レベルをゼロに近づける必要がある。本論文の知見とこれまでに発表された二つの報告書(Muggli et al., 2008; Rego, 2009)、ならびにFDAに「有害」あるいは「有害の可能性あり」の成分リストの作成義務を負わせた Tobacco Control Act 904 項(e)に基づいて(Deyton et al., 2010)、我々は放射性ポロニウムを、規制が必要な有害成分リストの筆頭に入れる必要があることを強く勧告する。この重要な修正措置が完了するまで、有害警告ラベルには「紙巻きタバコ煙には放射性物質が入っている」あるいは「紙巻きタバコに入っている放射能は肺ガンリスクを高める」などこうした影響を表現する言葉を紙巻きタバコのパックに印刷すべきである。現在あるいは将来の警告表示を検討している国々向けのタバコにも同様の警告ラベルを表示することも重要な課題である。

紙巻きタバコによる肺ガン死は毎年 16 万人の米国人の命を奪っており、また、喉頭ガン、口腔ガン、咽頭ガン、食道ガン、膀胱ガンの多くも喫煙によって発病している(U.S. Department of Health and Human Services, 2004)。タバコに放射能が含まれているという情報は、とりわけ若者に不安を与えるから、彼らの喫煙開始を減らす効果がある。また、喫煙者に対しては、禁煙してタバコ依存から抜け出そうと真剣に考えるきっかけとなりうる。放射線と放射能という話題は、原子爆弾の被害者や原子力発電所事故の犠牲者の姿を想起させることで、深刻な健康被害をもたらすのではないかと多くの人の心にもたらず。このことは逸話的にも証明されているようである(Di Franza & Winters, 1982; Winters & Di Franza, 1982)。

最後に、アルファ粒子の有害影響は、受動喫煙者にも及ぶことを忘れてはいけない。タバコ煙の半分(したがって放射能の 50%)は室内に拡散して、受動喫煙者の肺ガンリスクを大きく高める(Hirayama, 1981)。

研究資金受領

University of California Tobacco-Related Disease Research Program (UC-TRDRP, 141T-0001) to H.S.K.

利害関係の申告

なし

引用文献

Anderson, H. D. (1962). To: Dr. V.C. Runeckles. From: H.D. Anderson (Private & Confidential) Radioactivity in smoke. Bates numbers: 100215500-5501. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Ash, M. (1959). Smoke as a radioactive substance. 1959. 4/11/1959. Bates number: 11276510-512. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Auerbach, O., Stout, A. P., Hammond, E. C., & Garfinkel, L. (1961). Changes in bronchial epithelium in relation to cigarette smoking and in relation to lung cancer. *New England Journal of Medicine*, 265, 253-267. doi:10.1056/NEJM196108102650601

Bavley, A. (1962). To: Dr. H. Wakeham. From: A. Bavley. Re: J.R. Fawke—Alpha activity in tobacco—letter no. x.45. Philip Morris Documents, Bates number: 1001898294. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Bero, L., Barnes, D. E., Hanauer, P., Slade, J., & Glantz, S. A. (1995). Lawyer control of the tobacco industry's external research program. The Brown and Williamson documents. *Journal of the American Medical Association*, 274, 241-247. doi:10.1001/jama.1995.03530030061035

Blackmore, R. H. (1963). To: Dr. A. Bavley. From: R.H. Blackmore. Re: Prof. Philip Drinker's paper,

"Studies of Radioactivity of Tobacco and Cigarette Smoke". Bates number: 1001898298. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Brethauer, E. W., & Black, S. C. (1967). Polonium-210: Removal from smoke by resin filters. *Science*, 156, 1375–1376. doi:10.1126/science.156.3780.1375

Campbell, R. G. (1980). Removal of radioactive lead and polonium from tobacco. Westport, CT: Stauffer Chemical Company. Patent number: 4,194,514. Bates numbers: 85688005-8009. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Charles, J. L. (1980). To: Dr. R.B. Seligman. From: J.L. Charles. Subject: Meeting with Mr. Alex Holtzman—210 Polonium briefing—November 11, 1980. Bates numbers: 1000083337–8. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Cohen, B. S., Eisenbud, M., & Harley, N. H. (1980). Alpha radioactivity in cigarette smoke. *Radiation Research*, 83, 190–196. doi:org/10.2307/3575269

Comes, R. A. (1980). To: Dr. T.S. Osdene. From: R.A. Comes. Subject: "Newscript"—Radioactive cigarettes 2/22/80. Bates number: 2012611337. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Committee on Health Risks of Exposure to Radon. (1999) *Health effects of exposure to radon: BEIR VI*. Washington, DC: National Academy Press.

Cruz, G. S. (1992). Souza Group, Radioactivity in cigarettes, 3rd September 1992. (Secret). Bates numbers: 201816728–6729. Accessed 7/3/2008. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Cummings, K. M., Hyland, A., Giovino, G. A., Hastrup, J. L., Bauer, J. E., & Bansal, M. A. (2004). Are smokers adequately informed about the health risks of smoking and medicinal nicotine? *Nicotine and Tobacco Research*, 6(Suppl. 3), S333–S340. doi:10.1080/14622200412331320734

Department of Health. (1979). *Smoking and health: A report of the surgeon general*. Washington, DC : United States Public Health Service, Office on Smoking and Health.

Desideri, D., Meli, M. A., Feduzi, L., & Roselli, C. (2007). 210Po and 210Pb inhalation by cigarette smoking in Italy. *Health Physics*, 92, 58–63. doi:10.1097/01.HP.0000236597.72973.3c

de Siqueira, C. J. P. (1988). Radioactivity measurements on tobacco leaf & cigarettes. Souza Cruz Group. Bates numbers 400751698 to 1699. Retrieved from <http://legacy.library.ucsf.edu>

Deyton, L., Sharfstein, J., & Hamburg, M. (2010). Tobacco product regulation—A public health approach. *New England Journal of Medicine*, 362, 1753–1756. doi:10.1056/NEJMp1004152

Di Franza, J. R., & Winters, T. H. (1982). Radioactivity in cigarette smoke. *New England Journal of Medicine*, 307, 312–313.

DNS, Jft, & JB. (1964). Suggestions for research on Polonium-210 in tobacco. Collection: American Tobacco Company, Bates number: 950142942–950142945. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Frame, P. (1999). "Radioluminescent paint," on line, Oak Ridge Associated Universities. Retrieved from: <http://www.ornl.gov/ptp/collection/radioluminescent/radioluminescentinfo.htm>

Gofman, J. F., & Tamplin, A. R. (1972). Epidemiologic studies of carcinogenesis by ionizing radiation. In L.

LeCam, J. Neyman, E. Smith (Eds.), *Effects of pollution on health (Vol. 6)*. Proceedings of the Sixth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (pp. 235-277). Berkeley CA: University of California Press.

Hall, E.J. (1987). *Radiobiology for the Radiologist*, 3rd Edition, Philadelphia: Lippincott.

Hanauer, P., Slade, J., Barnes, D. E., Bero, L., & Glantz, S. A. (1995). Lawyer control of internal scientific research to protect against products liability lawsuits. The Brown and Williamson documents. *Journal of American Medical Association*, 274, 234–240. doi.org/10.1001/jama.274.3.234

Harris, G. (2010, November 10). F.D.A. unveils graphic warning labels for cigarettes. *New York Times*.

Hill, C. R. (1964). Radioactivity in tobacco and smoke (polonium 210). (Private and Confidential) 2/18/1964. British American Tobacco Document Collection. Bates numbers: 100152935–937. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco>

Hill, C. R. (1965). Polonium-210 in man. *Nature*, 208, 423–428. doi.org/10.1038/nature.187211a0

Hirayama, T. (1981). Non-smoking wives of heavy smokers have a higher risk of lung cancer: A study from Japan. *British Medical Journal*, 282, 183–185. doi:10.1136/bmj.282.6259.183

Holtzman, R. B., & Ilcewicz, F. H. (1966). Lead-210 and polonium-210 in tissues of cigarette smokers. *Science*, 153, 1259–1260. doi:10.1126/science.153.3741.1259

Horsewell, H. G., & Richardson, R. B. (1966). Evaluation of copper treated filters with regard to the removal of polonium-210 from cigarette smoke. 2/24/1966. Legacy National Tobacco Documents Library. Bates numbers: 570342353–262. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

at University of California, Los Angeles on September 28, 2011 ntr.oxfordjournals.org Downloaded from

Hughes, I. W. (1964). Letter from I.W. Hughes to H.D. Anderson enclosing draft memo on the polonium situation [Letter]. 2001/12/23/. Bates numbers: 105521579. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco>

Iwamoto, K. S., Fujii, S., Kurata, A., Suzuki, M., Hayashi, T., Ohtsuki, Y., et al. (1999). p53 mutations in tumor and non-tumor tissues of thorotrast recipients: A model for cellular selection during radiation carcinogenesis in the liver. *Carcinogenesis*, 20, 1283–1291. doi:10.1093/carcin/20.7.1283

Jenkins, R. W., Jr. (1985). To: Mr. Tom Goodale. From: R.W. Jenkins, Jr. Subject: Removal of radioactive lead and polonium from tobacco, U.S. patent 41 94 514 [Philip Morris U.S.A. inter-office correspondence]. Bates numbers: 2000778115–8117. Retrieved from: <http://www.pmdocs.com>

Kensler, C. J. (1967). Draft of report from joint defense consultant to Philip Morris counsel and joint defense counsel for review regarding biological activity of cigarette smoke. Part II. Bates numbers: 1005100892–1038. Retrieved from: <http://www.tobaccodocuments.org>

Khater, A. E. (2004). Polonium-210 budget in cigarettes. *Journal of Environmental Radioactivity*, 71, 33–41. doi:10.1016/S0265-931X(03)00118-8

Laporte, L. C. (1959). To: Dr. Michael Ash. From: L.C. Laporte. Letter in reply to Dr. Ash. 11/16/1959. Bates numbers: 11276498–499. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Little, J. B., & Radford, E. P., Jr. (1967). Polonium-210 in bronchial epithelium of cigarette smokers. *Science*, 155, 606–607. doi:10.1126/science.155.3762.606

Little, J. B., Radford, E. P., Jr., McCombs, H. L., & Hunt, V. R. (1965). Distribution of polonium 210 in pulmonary tissues of cigarette smokers. *New England Journal of Medicine*, 273, 1343–1351. doi:10.1056/NEJM196512162732501

Marmorstein, J. (1986). Lung cancer: Is the increasing incidence due to radioactive polonium in cigarettes? *South African Medical Journal*, 79, 145–150.

Martell, E. A. (1974). Radioactivity of tobacco trichomes and insoluble cigarette smoke particles. *Nature*, 249, 215–217. doi:org/10.1038/nature.249215a0

Martell, E. A. (1983). Alpha-radiation dose at bronchial bifurcations of smokers from indoor exposure to radon progeny. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 80, 1285–1289. doi:org/10.1073.pnas.80.5.1285

Muggli, M. E., Ebbert, J. O., Robertson, C., & Hurt, R. D. (2008). Waking a sleeping giant: The tobacco industry's response to the polonium-210 issue. *American Journal of Public Health*, 98, 1643–1650. doi:10.2105/AJPH.2007.130963

Natural radioactivity in tobacco and tobacco smoke. British American Tobacco Company. Bates numbers: 100215546–558. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco/>

O' Keeffe, A.E. (1960). Radioactive material (radioisotopes project) Philip Morris Memo dated January 20, 1960. Bates number: 1000323899. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco/>

Papastefanou, C. (2007). Radiation dose from cigarette tobacco. *Radiation Protection and Dosimetry*, 123, 68–73. doi:10.1093/rpd/ncl033

Peres, A. C., & Hiromoto, G. (2002). Evaluation of 210Pb and 210Po in cigarette tobacco produced in Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 62, 115–119. doi:10.1016/S0265-931X(01)00146-1

Polonium 210. British American Tobacco Company, Bates numbers: 100180837–838. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco>

Polonium in Tobacco and Smoke. (1964). Memo to Bavley and Segura signed by "ajm." Dated October 27, 1964, Bates numbers 1001896688 to 1001896689. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco>

Post-mortem concentrations of Po 210 in tissues of cigarette smokers and non-smokers. British American Tobacco Document Collection. Bates Numbers: 100180839–42. Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco>

Pritchard, J. N., Pattendon, J. N., & Gibson, C. M. (1990). The radiological dose from cigarette smoking. Philip Morris. Bates numbers: 500890676 to 500890681 (BAT). Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Radford, E. P., Jr., & Hunt, V. R. (1964). Polonium-210: A volatile radioelement in cigarettes. *Science*, 143,

247–249. doi:org/10.1126/science.143.3603.247

Radford, E. P., & Martell, E. A. (1975). Polonium-210: Lead-210 ratios as an index of residence times of insoluble particle from cigarette smoke in bronchial epithelium. Bates number HK0741025 to HK0741041.

Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Radioactivity in cigarettes. British American Tobacco Company, Bates numbers 201816728–201816729.

Retrieved from: <http://www.library.ucsf.edu/tobacco/batco>

Rajewsky, B., & Stahlhofen, W. (1966). Polonium-210 activity in the lungs of cigarette smokers. *Nature*, 209, 1312–1313. doi:org/10.1038/nature.2091312a0

Rego, B. (2009). The Polonium brief: A hidden history of cancer, radiation, and the tobacco industry. *Isis*, 100, 453–484. doi:10.1086/644613

Rego, B. (2011). Radioactive smoke. *Scientific American*, 304, 78–81. doi:10.1038/scientificamerican0111-78

Russell, M. A. H. (1987). Nicotine intake and its regulation by smokers. Bates numbers: 515935929 to 5955. (RJ Reynolds collection). Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/zlo56a00/pdf>

Savidou, A., Kehagia, K., & Eleftheriadis, K. (2006). Concentration levels of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in dry tobacco leaves in Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 85, 94–102. doi:10.1016/j.jenvrad.2005.06.004

Schayer, S., Nowak, B., Wang, Y., Qu, Q., & Cohen, B. (2009). ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb activity in Chinese cigarettes. *Health Physics*, 96, 543–549. doi:10.1097/01.HP.0000342164.08042.9c

Schroeder, S. A. (2004). Tobacco control in the wake of the 1998 master settlement agreement. *New England Journal of Medicine*, 350, 293–301. doi:org/10.1056/NEJMp048218

Seligman, R. B. (1959). To: Mr. L.H. Davis. From: R.B. Seligman. Re: Correspondence with Dr. M. Ash—Radioactivity. Philip Morris Incorporated Document Site. Bates number: 1001898284. Retrieved from: <http://www.pmdocs.com>

U.S. Department of Health and Human Services. (2004). *The health consequences of smoking: A report of the surgeon general*. Rockville, MD: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health.

Skwarzec, B., Ulatowski, J., Struminska, D. I., & Borylo, A. (2001). Inhalation of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb from cigarette smoking in Poland. *Journal of Environmental Radioactivity*, 57, 221–230. doi:10.1016/S0265-931X(01)00018-2

Sloan, F. A., & Trogdon, J. G. (2004). The impact of the Master Settlement Agreement on cigarette consumption. *Journal of Policy Analyses and Management*, 23, 843–855. doi:10.1002/pam.20050

Stevenson, T., & Proctor, R. N. (2008). The secret and soul of Marlboro: Phillip Morris and the origins, spread, and denial of nicotine freebasing. *American Journal of Public Health*, 98, 1184–1194. doi:10.2105/AJPH.2007.121657

Summary of deposition of Geoffrey C. Bible (08/21/1997). The State of Florida et al v American Tobacco, et al. Bates no.

BIBLEG082197. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/mna85a00>

Tahir, S. N., & Alaamer, A. S. (2008). Pb-210 concentrations in cigarettes tobaccos and radiation doses to the smokers.

Radiation Protection and Dosimetry, 130, 389–391. doi:10.1093/rpd/ncn097

Teague, C. E., Jr. (1972). The nature of the tobacco business and the crucial role of nicotine therein. Research planning memorandum. R.J. Reynolds, 4/14/1972. Trial exhibit 12408. cited (1998) in Journal of American Medical Association, 280, 1173-1181.

Tso, T. C., Hallden, N. A., & Alexander, L. T. (1964).

Radium-226 and polonium-210 in leaf tobacco and tobacco soil. Science, 146, 1043–1045. doi:10.1126/science.146.3647.1043

Tso, T. C., Harley, N., & Alexander, L. T. (1966). Source of lead-210 and polonium-210 in tobacco. Science, 153, 880–882. doi:10.1126/science.153.3738.880

Wakeham, H. (1974). Disease and radioactive polonium in tobacco smoke. Bates numbers: 1004863883 to 10014863883. Retrieved from: <http://legacy.library.ucsf.edu>

Williams, R. L. (1971). Development of a cigarette with increased smoke pH. Trial exhibit 11903. Liggett Company . Cited (1998) in Journal of the American Medical Association, 280., 1173-1181

Winters, T. H., & Di Franza, J. R. (1982). Radioactivity in cigarette smoke. New England Journal of Medicine, 306, 364–365.

Winters, T. H., & Di Franza, J. R. (1983). Radioactivity and lung cancer in active and passive smokers. Chest, 84, 653–654. doi:10.1378/chest.84.6.65

以上