

たばこの煙の成分に関する調査

研究分担者 戸次 加奈江 国立保健医療科学院
研究協力者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院
研究協力者 内山 茂久 国立保健医療科学院
研究協力者 樺田 尚樹 国立保健医療科学院

研究要旨

現在のたばこ製品は、ニコチンによって喫煙者を長期的に使用継続させる「依存性」、ヒトの健康に悪影響を与える「有害性」に加えて、メンソールなど添加物によって「魅惑性」を有する。WHOは、FCTCガイドラインでこれら3要素を規制することも検討している。我が国の販売量のほとんどは紙巻たばこであり、喫煙によって発生する主流煙の粒子成分が4300種類、ガス成分が1000種類の合計5300種類と報告されている。これらの化学物質には、発がん性があると報告される物質も約70種類存在している。ここでは、国産たばこ銘柄によって発生する定量可能な成分をまとめ、同銘柄であっても、その化学物質量は経年的に変化していることから継続的な分析の必要性を説明する。また、日本人喫煙者は、外箱表示タール・ニコチン量の曝露量と実態は異なることも説明した。最後に我が国で販売される低タール・低ニコチンたばことメンソールたばこの有害性について説明した。

A. 目的

喫煙における健康影響の原因は、たばこ煙に有害化学物質が含まれていることにある。たばこ製品の有害化学物質に関しては、我が国も批准するたばこの規制に関する世界保健機関枠組条約(WHO Framework Convention on Tobacco Control: FCTC)において、具体的な実施条項が第3部「たばこの減少に関する措置」の第9条「たばこ製品の含有物に関する規制」と第10条「たばこ製品についての情報開示に関する規制」に以下のように記されている。

第9条

締約国会議は、権限のある国際団体と協議の上、たばこ製品の含有物及び排出物の試験及び測定並びに当該含有物及び排出物の規制のための指針を提案する。締約国は、権限のある国内当局が承認した場合には、当該試験及び測定並びに当該規制のための効果的な立法上、執行上、行政上又は他の措置を採択し及び実施する。

第10条

締約国は、国内法に従い、たばこ製品の製造業者及び輸入業者に対したばこ製品の含有物及び排出物についての情報を政府当局へ開示するよう要求する効果的な立法上、執行上、行政上又は他の措置を採択し及び実施する。さらに、締約国は、たばこ製品及び当該たばこ製品から生ずる排出物の毒性を有する成分について情報を公衆に開示するための効果的な措置を採択し及び実施する。

上述のようにFCTC第9、10条は、たばこ製品の有害化学物質の規制・情報開示の実施を求めている。さらにFCTCは、締約国が第9、10条を施行し効果的なたばこ製品の規制対策を推進するためのガイドラインも作成している。

そこで本研究は、たばこ煙に含まれる有害化学物質の物理化学的な特徴、国内で販売される製品の含有量に関する文献調査を行い、今後、我が国で実施するたばこ対策の基礎資料を作成することを目的とした。

B. 方法

我が国で販売されるたばこ製品の分析を実施している論文とたばこに含まれる有害化学物質や物理化学要因に関しては、国際がん研究機関(IARC)の報告書などをもとに文献調査を実施した。

C. 調査結果およびD. 考察

1. たばこ製品とは

現在のたばこ製品は、ニコチンによって喫煙者を長期的に依存させることに加えて、添加物によってたばこ本来の苦味を低減させることでより喫煙しやすい味を有するようになった(1)。喫煙がヒトの健康に悪影響を与える理由は、(A)有害性;たばこ製品とたばこ煙に含まれる有害化学物質、(B)依存性;喫煙行為により依存性を伴う化学物質、(C)魅惑性;喫煙者を惹きつける化学物質及びたばこのデザインの3つの要素にある。これら3要素に該当する化学物質のたばこ製品への含有は、WHO FCTCの目的(たばこの消費及びたばこの煙にさらされることが健康、社会、環境及び経済に及ぼす破壊的な影響から現在及び将来の世代を保護する)に反する。以下に、たばこ製品の特徴と我が国で販売される製品の現状を示す。

1.1. たばこ製品の特徴

1.1.1. 有害性

たばこ製品には多くの有害化学物質が含まれており、中でも紙巻きたばこは燃焼によっても有害化学物質が発生する。これら多数の有害化学物質は喫煙者のみならず受動喫煙者の健康影響を引き起こす原因になっている。

1.1.2. 依存性

たばこ製品に含まれる「ニコチン」はたばこへの依存性を高める化学物質である。特に、紙巻きたばこは無煙たばこ、ニコチンガムと比較するとニコチンの吸収が早く、喫煙後約5分で血清中ニコチン濃度が最大になる(2)。さらに、ニコチンの生体内半減期が1-2時間であるために、喫煙者はニコチン濃度を維持しようと断続的に喫煙を行う。紙巻きたばこは、ニコチンの効果を最大限活用するためにアンモニア化合物が含有され、不快な味を覆い隠し、ニコチンの

遊離塩基を増加させる(3)。

依存性を間接的に増加させる化学物質も指摘されており、Rabinoffらは、たばこ会社の文書から喫煙者へ薬理効果を与える可能性がある成分を調査報告した(4)。これらの成分には、ココア、チョコレートやメンソールなどがある。メンソールは、喫煙者の喉を刺激し爽快感を与えるため、たばこ本来の苦みやエグみを感じずに、より深く吸煙する結果、喫煙あたりのニコチン曝露量が多くなる。これに合わせてココアのような化学物質が添加されると気道が広がるため、たばこ煙が深く肺に入り込み、喫煙者がより多くのニコチンとタール成分に曝露される(3)。

1.1.3. 魅惑性

たばこ産業は、たばこ製品が喫煙者や将来的な喫煙者に魅力的になるように、さまざまな添加物、製品の形状と使用法を工夫している。1つめに口当たりの良いフルーツ、カクテル味など食品や菓子に使用されている成分を添加してたばこ製品に味や香りを与えている。2つめに新しいたばこ製品を開発し販売をしている。世界的に紙巻きたばこへの受動喫煙対策が行われるようになり、有害性に関する情報が広まるにつれて喫煙率の低下も起こっている。これに対応するために、たばこ産業は紙巻きたばこの販売量が低下する地域に無煙たばこなど新しいたばこ製品を販売している。最後に、新しいたばこ製品はデザインが魅力的な電子器具と組合せることで視覚的にも喫煙者へアプローチしている。このように、たばこ本来が有する欠点を克服するために添加物を使用することなどは、喫煙者の開始や喫煙の継続を助長することになり、最終的に公衆衛生に悪影響を与える。

2. 我が国で販売されるたばこ製品について

紙巻きたばこは、毎年のように新しい銘柄が発売されており、ここ数年でメンソールカプセルたばこが販売されるようになった(Fig. 1)。この紙巻きたばこは、たばこ吸い口フィルター部にメンソールを充填したカプセルが埋め込まれている。喫煙者はカプセルを歯でつぶし、充填された液体メンソールをフィルターに染みこませる、これを喫煙することでメンソールの爽快感が得られる。我が国の2013年のメンソールたばこシェア率は、21.6%まで上昇している(5)。それ以

外にも我が国は、いわゆる低タール・低ニコチンたばこと呼ばれる外箱表示タール1 mg・ニコチン0.1 mgの2014年たばこ販売シェア率が24.9%を占めており、他のタール・ニコチン量たばこと比較しても高い状況である。

また、2010年4月に我が国で最初の受動喫煙防止条例が神奈川県で施行されると、これに対抗するように5月には無煙たばこ「ZERO STYLE MINT(現ZERO STYLE STIK)」が販売され、雑誌での広告戦略等が行われ広く周知された(Fig. 1)。この「ゼロスタイルミント」を販売する日本たばこ産業は、喫煙者の周辺にいる人たちへ配慮が必要な場所で使用する、燃焼しない(副流煙の発生しない)たばこ製品を発売したと自社ホームページに掲載している(6)。続いて2013年には「ZERO STYLE SNUS」さらに法律上はパイプたばこに分類される、非燃焼の電気加熱式(Heat-not-burn)の「Ploom(プルーム)」が日本たばこ産業から販売された(Fig. 1)。プルームは、たばこポッド(たばこ葉が充填された容器)を熱することで発生する蒸気成分を吸引するたばこ製品である。2014年には、フィリップモリス社が愛知県限定でやはり電子器具とたばこ葉を組合せて使用する電気加熱式のたばこ「iQOS」の販売を開始し、2015年9月からは全国発売をしている(Fig. 1)。iQOSは、たばこ葉を熱することによって発生する蒸気成分を吸引する。

2.1. たばこ製品の種類

2.1.1 紙巻たばこ

我が国で販売されるたばこの製品は、燃焼を伴うものが多く、「葉巻たばこ」、「パイプたばこ」、「刻みたばこ」そして「紙巻たばこ」である。特に、紙巻たばこは、他のたばこ製品と違い、器具を使わず喫煙することが可能な製品であることから、我が国において戦後に広く普及した。発売当初は、たばこ吸い口部にフィルターの無い両切りたばこが販売されていたが、現在では吸い口部にフィルターが設置された紙巻たばこが販売の中心となっている。さらに我が国の紙巻たばこの特徴として吸い口部のフィルターに穴(通気孔)や活性炭、メンソールカプセルなどが設置された様々な加工がされている。

2.1.2 無煙たばこ

無煙たばこは、たばこ葉を噛んで使用するchewing tobacco(噛みたばこ)とたばこ葉の成分を鼻腔または口腔から吸収するsnuff(スナッフ)の2つに大別される(7)。さらにsnuffは、たばこ葉から放散されるガス成分を鼻腔で吸引するdry snuffや、たばこ葉を口唇と歯茎の間に設置して使用するmoist snuffやsnus(スヌース)など、使用法や曝露経路の異なる様々な種類に分類される(7)。この他にも、無煙たばこにはメントール、チョコレートやバニラをはじめとする様々な香料が添加されており、使用者を魅惑する問題も報告されている(8)。さらに無煙たばこの包装形態は、デザインを工夫したパッケージによって魅惑性が高められている(9)。また、米国では、moist snuffの年間販売量は、2000年の21億6100万箱から2007年に28億7500万箱となり、増加傾向にある(10)。

2.2. 販売本数の傾向

たばこの課税をもとに算出した販売本数は、Fig. 2に示すように1990年代の3,200-3,400億本をピークに減少し、2014年の販売本数は1,800億本であった(11)。しかし現在も我が国における紙巻たばこの販売量は、他の葉巻たばこ、刻みたばこなどと比較して99.8%を占めている(11)。そうしたなか2010年から2013年にかけて「パイプたばこ」が徐々に販売量を増やし、2013年から2014年にかけては1.1億本から2.4億本へ増加した(11)。これは、2010年の増税を境に「手巻きたばこ」を使用する喫煙者が増え、2014年からは「Ploom」、「iQOS」が販売量を伸ばしていることが考えられる。2010年のたばこの増税を伴う価格上昇は、「わかば」、「エコー」などの旧3級品の販売量が急激に増加する影響をもたらした。これは、旧3級品のたばこが330円以下と他の紙巻たばこより安価であることが大きい。喫煙者は、たばこ製品の価格に敏感に反応し、より安価な製品を購入する傾向にある。

3. たばこ煙の発生に関する物理化学

3.1. 主流煙と副流煙

喫煙者が紙巻たばこを吸煙することによって、吸い口のフィルター部分から吸い込む「主流煙」と、たばこの先端から発生する「副流煙」が発生する。これらたばこ煙には多くの化学物質が含まれており、粒子

成分とガス成分の2種類に大別される (Fig. 3)。本論文の粒子成分とガス成分の定義を以下に示す。たばこ煙の成分分析は、機械喫煙装置を使用してたばこ煙を捕集している (Fig. 4)。粒子成分は、機械喫煙装置に設置したガラス繊維フィルターに捕集された成分である (Fig. 4)。一方、ガス成分はガラス繊維フィルターを通過した成分である。

3.2. たばこ煙の物理化学

たばこ煙には、主流煙と副流煙に加えて「環境たばこ煙 (Environmental tobacco smoke; ETS)」が定義されている。ETSは「副流煙」と喫煙者が喫煙後に吐き出す「呼出煙」によって構成されている。この副流煙とETSの化学成分の成分数は、主流煙とほぼ同じであるが、ETSの成分量は非常に多い。特にETSの成分及び化学物質量は、空気と混合・希釈される過程で水分が蒸発し、室内であれば空間の特性 (酸性、中性、アルカリ性)、温度、湿度、換気などによってカーペットや壁紙などに吸着・室外への放出などで大きく変動する。

たばこ煙の物理化学条件について Table 1 に示した (12)。たばこロッドは「たばこ葉を巻いている部分」であり、喫煙時に燃焼する部分をさす。喫煙者が紙巻たばこ1本を使用する際に、たばこロッドの30-40%は主流煙となり、50-60%が副流煙の発生源となる。そこで発生するたばこ煙の粒子径は、主流煙は0.30-0.40 μm になるのに対し、ETSは発生した粒子の水分が蒸発するため、主流煙よりも小さくなり0.15-0.20 μm となる。これら粒子の肺への吸着率は、主流煙が50-90%、ETSが10-11%になる。ETSが主流煙よりも吸着率が低い一因として、ETSの発生時点から外気による拡散と吸収した粒子から揮発性物質が消失するなどの物理効果の影響があげられる。

たばこ煙中のニコチン挙動は、各種条件によって変化する。主流煙のニコチンは粒子成分に90%以上が含まれ、副流煙は粒子とガス成分に分布する。そしてETSのニコチンは、一旦、副流煙で粒子成分に含まれるものの環境中で95%ガス成分へ移行する。これは、ETSの環境中の空気による強力な希釈とわずかにアルカリ条件になることによって起きる。ニコチンを含む「化学物質発生量」と「たばこデザイン (要因)」との関連性では、主流煙の発生には「たばこの

長さ・直径」、「フィルターの種類」など幾つかの要因が上げられている。これに対し副流煙は「たばこのブレンド」と「重量」が大きく占めている。ETSの化学物質発生の要因は、ETSの構成成分の85-90%が副流煙であることから、副流煙と同じ要因にある（「たばこのブレンド」と「重量」）と10-15%の構成成分が呼出煙であることから、主流煙の発生要因も上げられる。ETSは、副流煙発生直後から空気に希釈され、その曝露環境にも健康影響は大きく左右される。

4. たばこ煙の化学的組成

最近の報告では、たばこ主流煙成分量の95.5%がガス成分、3.52%が粒子成分 (タール) であり0.28%がニコチンとされている (12)。ガス成分の内訳は、通常の大気中主成分と燃焼での88.5%が窒素、酸素、二酸化炭素と水分で占められ、その他、一酸化炭素が4.0%、その他の有害化学物質が1.5%になっている (Fig. 5)。以上の主流煙の粒子成分が4300種類であり、ガス成分が1000種類の合計5300種類と報告されている (12)。これらの化学物質の中には、健康影響が懸念され、発がん性があると報告される物質も約70種類存在している (13,14)。国際がん研究機関 (International Agency for Research on Cancer; IARC) は、有害化学物質の曝露研究と疫学研究をもとに発がん性リスク一覧を作成しており、「喫煙」、「受動喫煙」、「たばこ煙」さらには「無煙たばこ」をグループ1 (ヒトにおける発がん性がある) に指定している (13,14)。それ以外にもリスク一覧は、たばこ製品中またはたばこ煙中の有害化学物質を指定している。

4.1. たばこ煙の粒子成分に含まれる化学物質

たばこ煙中の粒子成分は、たばこに含まれる化学物質が燃焼によって移行した成分と燃焼によって発生する成分の2つが混在している (Fig. 6)。まず、IARC発がん性分類グループ1のたばこ由来の成分は、たばこ特異的ニトロソアミン (tobacco-specific N'-nitrosamines; TSNA) である4-(メチルニトロソアミノ)-1-(3-ピリジル)-1-ブタノン (NNK) とN'-ニトロソホルニコチン (NNN) と重金属類のニッケル化合物、カドミウム及びカドミウム化合物、ヒ素及び無機ヒ素化合物、ベリリウム及びベリリウム化合物、6価クロムと自然放射性核種のポロニウム-210がある。TSNAは、たば

こ葉中アルカロイドであるニコチン、ノルニコチン、アナタピン及びアナバシンが、たばこの発酵、製造過程において亜硝酸や硝酸と反応することで生成される(13)。次に、燃焼によって発生する成分では、4-アミノピフェニル、2-ナフチルアミンの芳香族アミン類や大気汚染物質でもあるベンゾ[a]ピレンがIARCグループ1であり、ジベンゾ[a,h]アントラセン、ベンゾ[a]アントラセンをはじめとする多環芳香族炭化水素類(PAH)が、発がん性に関する成分である。また、発がん性以外にも依存性があり、我が国においては毒物及び劇物取締法で毒物に指定されているニコチンや劇物に指定されているフェノールも含有されている。

4.2. たばこ煙のガス成分に含まれる化学物質

たばこ煙のガス成分には、粒子成分と同様にIARCグループ1に指定される化学物質(ベンゼン、1,3-ブタジエン、ホルムアルデヒド)が含まれる(Fig. 6)。グループ1以外でもシックハウス症候群の原因物質と考えられているアセトアルデヒド、アクリロレインをはじめとするカルボニル類やスチレン、トルエンを含む揮発性有機化合物、更にジメチルニトロソアミンをはじめとする揮発性ニトロソアミン類など多岐にわたって含有されている。

4.3. 規制を検討されている化学物質

2012年にアメリカ食品医薬品局(Food and Drug Administration; FDA)は、たばこ製品やたばこの煙に含有され喫煙者や非喫煙者に害を引き起こす可能性があるとして、有害または潜在的に有害な成分(harmful and potentially harmful constituents; HPHCs)の93物質のリストを発表した(Table 2)(15)。また、WHOたばこ製品規制のための技術部会(WHO Study Group on Tobacco Product Regulation: WHO TobReg)は2013年12月にリオデジャネイロで開いた会議で、紙巻きたばこの煙に含まれる7,000種以上の化学物質の中から、次の3つの基準に基づいて38種類の有害化学物質リストを作成した(Table 1)(16)。リストに含まれる化学物質は、IARCグループ1に指定された成分が中心となっている。以下に、3つの選定基準を示す。

(1) 紙巻きたばこ煙の対象化学物質が、確立された

科学的毒性指標で評価したところ、喫煙者に有毒と判断される濃度で存在している。

(2) 異なる紙巻きたばこ銘柄間の濃度差が、単一銘柄について対象化学物質を繰返し測定した場合の差よりも大きい。

(3) 対象化学物質の上限値の義務づけを実施する場合には、煙中の毒物を低減させる技術が存在する。

Table 2は、FDA、TobRegとIARCがグループ分けした化合物を一覧にした。今後、TobRegが提案した38種類の有害化学物質を中心に我が国のたばこ製品を評価し、最終的に製品規制をするためにも定期的に分析することが望まれる。

4.4. たばこ煙の化学分析

たばこ主流煙の分析は、「主流煙の捕集」と「捕集成分の化学分析」の2工程に分けられる。我が国では、これらはたばこ事業法施行規則に基づき「財務大臣の定める方法により測定したたばこ煙中に含まれるタール及びニコチン量」と定義している。現在、我が国の主流煙の捕集は、国際標準化機構(International Organization for Standardization; ISO)の規格で機械喫煙装置を使用して実施されている(17-19)。粒子成分は、機械喫煙装置に設置したガラス繊維フィルターの捕集される成分であり(Fig. 4)、ガス成分はガラス繊維フィルターを通過した成分と定義されている。たばこ外箱に表示されているタール・ニコチン値は、ISO法で捕集した主流煙の含有量(1本あたり)を示している。また、タールは化学物質の名称ではなく、ガラス繊維フィルターに捕集された粒子成分の総称であり、ここに多くの化学物質が混在している。ISO法による捕集・化学分析の結果は、我々が実施した先行研究や他の研究者の成果からヒトの喫煙行動に相当しない事が分かってきた。その対策としてカナダ保健省がヘルス・カナダ・インテンス(Health Canada Intense; HCI)法(20)を提案し、これをWHOも推奨している(21)。以下に喫煙法及び問題点を示す。

4.4.1. たばこ煙捕集の喫煙法

4.4.1.1 ISO法

ISO法は、1服の吸煙量が35 mL、吸煙時間が2

秒,吸煙間隔が60秒となっている(Table 3)。この喫煙法の特徴は,たばこ吸い口のフィルター部分に設けられた通気孔が開放された状態で行われる。紙巻きたばこの通気孔は,たばこ吸い口のフィルター周囲に多数あけられた細孔である。ISO法で吸煙すると通気孔から空気が流入し,たばこ煙を希釈する構造になっている。

4.4.1.2. HCl法

カナダ保健省の提案するHCl法は,1服の吸煙量が55 mL,吸煙時間が2秒,吸煙間隔が30秒,そして吸い口のフィルター部分の通気孔をテープで完全閉鎖して主流煙の捕集を行う(Table 3)。ISO法と比較すると,1服の吸煙量が多く,通気孔の閉鎖によってたばこ煙の希釈が起こらないため,たばこ煙の捕集量が多くなる。

4.4.2. 国産たばこ銘柄の分析結果

4.5.1 タール・ニコチン

Fig. 7は,2つの喫煙法(ISO法とHCl法)で捕集した国産たばこ銘柄(Table 3)の主流煙に含まれるタール,ニコチン,一酸化炭素とたばこ特異的ニトロソアミン類の分析結果を示す。

ISO法で捕集した主流煙中のタール及びニコチン量は,外箱表示とほぼ同じであった。一方で,HCl法で捕集した値は,ISO法と比較するとニコチン量(mg/本)が0.89-2.21であり,タール量(mg/本)は,13.6 - 29.5となり,全ての銘柄で上昇した(22, 23)。これは,HCl法が1回の吸煙量を35から55 mLへ上昇し,たばこ吸い口部フィルターの通気孔を塞いだ条件で捕集しているので主流煙が通気孔で希釈されずに分析結果は上昇していると考えられる。特に,Pianissimo Oneのように表示量が低いたばこ銘柄は,HCl法で喫煙するとニコチン量が9倍近く上昇した(22, 23)。この傾向は,これまでの海外の先行研究においても報告されている。次にFig. 7ニコチンの折れ線グラフは,国産たばこ10銘柄(Table 4)の1本あたりのたばこ葉中ニコチン量を示した。全10銘柄の測定結果から,たばこ葉中のニコチン含有量(mg/本)の平均値が 9.9 ± 1.0 となり,範囲は8.6 - 12.6であった(22, 24)。今回報告のたばこ銘柄は,外箱表示のニコチン量が0.1 - 1.2 mgの範囲のものを使用しているが,たばこ

葉中ニコチン量では濃度差は確認されなかった。この分析結果は,紙巻たばこは喫煙者の吸煙行動によってニコチン曝露量が変動することを示している。

4.5.2 たばこ特異的ニトロソアミン(TSNA)

たばこ特異的ニトロソアミン(TSNA)は,ヒトの肺腺癌に関係があり,さらに実験動物による先行研究でも肺腺癌の発生が報告されている(25)。特に,NNNとNNKは肺での悪性腫瘍を誘発すると報告されている(25)。TSNAはたばこ葉中のアルカロイド(ニコチン,ノルニコチン,アナタピンおよびアナバシン)と亜硝酸や硝酸が反応することで,アルカロイドがニトロソ化し,4種類(NNN,NNK,N²-ニトロソアナタピン;NATとN²-ニトロソアナバシン;NAB)生成される(26, 27)。このニトロソ化反応はたばこ葉の発酵,たばこの製造過程や燃焼時に熱合成により起こるといわれている(28)。このようにTSNAは,たばこ製造工程そして喫煙時等の多くの過程で生成し,最終的に主流煙に含まれ喫煙者の体内に吸収されることから,たばこ主流煙中TSNA濃度を測定することは喫煙者の健康影響を評価する上で必要な資料になると考えられる。Fig. 7は,たばこ主流煙及びたばこ葉に含まれる4種のTSNAの合計量を示している。10銘柄のたばこ主流煙中TSNA量(ng/本)の範囲は,ISO法が31 - 140であり,HCl法が160 - 350であった(29)。銘柄間の分析結果を比較すると,ISO法では外箱表示ニコチン量の高いHopeとSeven StarsがMild Seven originals(現Mevius)より低値となった。さらにHCl法では,HopeとSeven Starsの値が,外箱表示ニコチン量が0.1 mgのたばこ銘柄より低値になることが確認された(29)。紙巻たばこに使用されているたばこ葉は,オリエント種,バージニア種(黄色種),パーレー種そして再生たばこシートが存在する。これらたばこ葉に含有されるTSNA量は,バージニア種はNNK量が高く,パーレー種はNNKとNNN量が高いといった傾向がある(13)。一方でオリエント種は全般的にTSNA量が低い(13)。以上のように紙巻たばこを構成するたばこ葉の使用比率が,紙巻たばこの発がん性へ直接影響を与えている。Fig.7に示す10銘柄中5銘柄は,旧厚生省が平成11年に実施したたばこ銘柄の成分分析と重複している(30)。ISO法のTSNA分析結果を比較したところ,5銘柄とも低下していた。

特にSeven Starsの主流煙TSNA量は196から84 ng/本となり、約2分の1以下になっていた。これに対し、2003年から2005年までの3年間でカナダ産たばこ銘柄は、101から38.9 ng/本まで低下しており(31)、我が国のたばこ銘柄がさらなる低下が可能であることを示唆している。

次にたばこ葉中TSNA量 (ng/本) の範囲は、624 - 1640であった。主流煙と同様に銘柄間のTSNA分析結果を比較すると外箱表示タール・ニコチン量の高いHOPE, Seven Starsが低値であった(24)。一方で、Pianissimo One(外箱表示ニコチン量 0.1 mg)とCabin Mild(外箱表示ニコチン量 0.5 mg)が高値となった。10銘柄のたばこ葉中TSNA量は、たばこ葉中ニコチン量がほぼ一定であった傾向に対して、銘柄ごとに差が認められた。国産たばこ銘柄中TSNA量は、最小値が951 ng/gに対しカナダ産のたばこ銘柄は最大値が677 ng/gであった。これは2008年にO'Connorらが報告したように、たばこ葉中TSNAはたばこ葉の火力乾燥の削減、乾燥たばこを主成分とした構成の転換、微生物活性の削減を目的としたたばこ葉乾燥のための燃焼や保存条件の改良によってさらなる低減が可能と推測される(32)。以上のように発がん性のあるTSNA量は、喫煙者が外箱に記載された情報をもとに知ることが出来ないことが分かり、さらには、HCl法で喫煙した場合は、低ニコチンたばこが高ニコチンたばこと比較してTSNA量の曝露が高くなる可能性もあった。

4.5.3 一酸化炭素(CO)

国産たばこ10銘柄の主流煙中CO量は、ISO法が2.5 - 12.4であり、HCl法が22.1 - 29.1 mg/cigであった(23)(Fig. 7)。ガス成分CO量の特徴は、HCl法による測定結果がほぼ一定の値であった。このようにCOは、HCl法で捕集するとたばこ銘柄の外箱表示からは推測できないほど高値になり、銘柄間の差は無くなることが考えられた。また、この傾向は日本人喫煙者の呼気中CO量も同様であった。たばこ主流煙中には、CO以外にもホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル類や1,3-ブタジエン、ベンゼンなどの揮発性有機化合物が含有されている。これらガス成分についても調査したところ、HCl法で捕集すると銘柄間の差が無くなった。

たばこ製品市場は、毎年、新製品が投入されるため、新規たばこ製品の有害成分分析など継続的なモニタリングが望まれる。

4.6. 国産たばこ紙巻たばこの特徴

4.6.1. 低タール・低ニコチンたばこ

低タール・低ニコチン表示たばこの通気孔の調査

最近、我が国の外箱表示量ニコチン0.1 mg、タール 1 mgの紙巻たばこ製品(低タール・低ニコチンたばこ)の販売量シェア率は、2000年の12.9%から最上位の24.9%(2014年)を占めるまでに上昇した(33)。低タール・低ニコチンたばこは、たばこ吸い口部分のフィルターに通気孔が数多く設けられているため、ISO法で主流煙を捕集するとこの通気孔から流入する空気によって主流煙が希釈されてしまうと指摘がある。さらに、喫煙者は生体内により多くのニコチンを取り込もうと喫煙行動するため、「代償性補償喫煙行動(後述)」をすると報告もある(34-36)。このような指摘があるたばこ製品にもかかわらず、我が国では、これらたばこ製品は、喫煙者のタール・ニコチンの曝露量が低いたばこ製品という印象を与えかねない状況が続いている。過去に米国疾病管理予防センター(Centers for Disease Control and Prevention; CDC)は、米国内で販売される紙巻きたばこ32銘柄について、紙巻たばこ吸い口部の通気率(%)について調査を行った(37)。外箱表示タール量が1-2 mgの紙巻たばこの通気率は、80%に近い結果となった。これは、たばこ外箱表示量を決定するための条件で喫煙すると、捕集している主流煙は80%が通気孔から流入する外気で、20%がたばこ煙となる。さらに、ISO法によるタール・ニコチン・一酸化炭素量は、通気率と逆相関になることから、外箱表示量が低いたばこは、通気率が高いことを示している。これら結果から、低タール・低ニコチンたばこは、ISO法で喫煙した場合、主流煙がフィルター通気孔から流入する空気希釈されることが分かった。よって低タール・低ニコチンたばこのフィルター通気孔が主流煙を希釈する根拠の一因であると考えられた。

日本人喫煙者に多い低タール・低ニコチンたばこの弊害

我々は、日本人喫煙者の1日の喫煙行動と吸煙量

を調査したところ、外箱表示ニコチン表示量が0.6 mg未満のたばこを使用する喫煙者は、1回の吸煙量が平均で58.4 mLであり、それに対して外箱表示ニコチン表示量0.6 mg以上のたばこ喫煙者は、同値50.0 mLとなった(34)。この研究結果は、日本人喫煙者がHCl法に近い喫煙行動をしていると考えられた。次に、国産たばこ売上上位10銘柄(Table 3)を使用する喫煙者をUltra-low(外箱表示ニコチン量0.1 mg)、Low(外箱表示ニコチン量0.1 mgより高く、0.6 mg未満)、Medium(外箱表示ニコチン量0.6 mg以上で1 mg未満)とHigh(外箱表示ニコチン量1 mg以上)の4群に分け、1日の総吸煙量を調査した。Ultra-low喫煙者は22,579 mL、Lowが14,423 mL、Mediumが11,435 mL及びHighが13,079 mLとなり、Ultra-low喫煙者の総吸煙量が有意に高いことを確認した(34)。以上の結果から、低タール・低ニコチンたばこ喫煙者は、たばこ煙をより多く吸引してニコチンを体内に取り込む代償性補償喫煙を行い、HCl法に近い喫煙行動であったと考えられる。一方で、呼気中の一酸化炭素量は、各群間の差は認められなかった(34)。これは、ガス成分の曝露量は、たばこ銘柄の外箱表示タール・ニコチン量の差との関連性は低く、低タール・低ニコチンたばこ喫煙者も高タール・高ニコチンたばこ喫煙者と同等であった。

4.6.2. メンソールたばこについて

喫煙者に魅力ある製品の開発は、企業努力においては重要な要因である。しかし、ヒトの健康に影響するのであれば、制度のもとに規制されることも必要になってくる。たばこ製品は、たばこの吸いやすさを向上させるために添加物が使用されている(38)。添加物には、長期間の保存を可能にするためのグリセロールやプロピレングリコールといった保湿剤、たばこ煙の吸入を穏やかに容易にするための糖類、ココアやバニラなどの香料が含まれている。これまで、たばこの添加剤についてたばこ会社から公表することは無かったが、最近、日本たばこ産業のホームページには、190種類の添加物リストが掲載され、たばこ銘柄ごとにも公表されている(39)。しかし、製品づくりの重要なノウハウということで、0.1%未満の物質については「その他たばこ添加物」として記載されている。この添加物の1つに「メンソール」がある。このた

ばこへのメンソールの添加について、米国では米国食品医薬品局(FDA)が「たばこ製品の科学的な諮問委員会(TPSAC)」を組織し「使用開始直後の喫煙者、アフリカ系やスペイン系アメリカ人及び他の人種や少数民族の間でメンソールの使用を含む公衆衛生上の影響」に関する報告書の作成を委ねた。そして2011年3月23日にTPSACは「メンソールたばこの排除はアメリカの公衆衛生に有益である」と勧告した(40)。さらにドイツがんセンター(dkfz)は、我が国においても販売されている「メンソールカプセルたばこ」についての報告書を発表した(41)。Dkfzは過去の研究論文を調査し、米国の12歳から25歳までの喫煙者は、喫煙開始後、12ヶ月以内のメンソールたばこのシェア率が、44.6%と12ヶ月以上のシェア率31.8%より高く、喫煙の導入に使用されることが分った。さらに、全喫煙者のメンソールたばこのシェア率は、男性が22.2%、女性が31.8%と女性に好まれることも分ってきた。また、メンソールカプセルたばこは、1. たばこ煙の不快感の影響を覆い隠し、吸煙しやすくする。2. たばこへの依存の効果を増大させる。3. がんのリスクを増大させる。最終的に、Dkfzは、たばこフィルターのメンソールカプセルは、有害な製品の魅力を増大させると結論づけた(41)。我が国においても2010年のメンソールたばこのシェア率は、21%まで上昇しており、早急なメンソールたばこ対策が必要である。

E. 結論

我が国では、2005年のFCTC批准以降、たばこ対策が実施されている。たばこの有害性、受動喫煙による健康影響に関する知識が広く普及することによって、たばこ会社は次々と新しいたばこ製品を販売している。今後は、たばこ製品の調査研究を進めながら、化学的根拠を蓄積し、たばこ製品規制といった踏み込んだたばこ対策についても検討する必要があると考えられる。

引用文献

- 1) The World Health Organization (WHO) Framework Convention on Tobacco Control: Partial guidelines for implementation of Articles 9 and 10: Regulation of the contents of tobacco

- products and regulation of tobacco product disclosures. Geneva, World Health Organization, 2012.
- 2) Digard H, Proctor C, Kulasekaran A, Malmqvist U, Richter A. Determination of nicotine absorption from multiple tobacco products and nicotine gum. *Nicotine Tob Res.* 2013;15:255-61.
 - 3) WHO. Fact sheet on ingredients in tobacco products. Geneva, World Health Organization, 2014.
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/152661/1/WHO_NMH_PND_15.2_eng.pdf?ua=1&ua=1
(平成28年2月18日 接続)
 - 4) Rabinoff M, Caskey N, Rissling A, Park C. Pharmacological and chemical effects of cigarette additives. *Am J Public Health.* 2007;97:1981-91.
 - 5) 日本たばこ産業 . 日本たばこ産業アニュアルレポート2013 .
 - 6) JT to Launch New Style of Smokeless Tobacco Product “Zerostyle Mint”
http://www.jt.com/investors/media/press_releases/2010/0317_01/ (平成28年2月18日 接続)
 - 7) International Agency for Research on Cancer (IARC): Smokeless tobacco and some tobacco-specific N-nitrosamines. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 2007;89:1-418.
 - 8) Regan AK , Dube. SR, Arrazola R. Smokeless and Flavored Tobacco Products in the U.S.: 2009 Styles Survey Results. *Am. J Prev. Med.* 2012; 42:29-36.
 - 9) Carpenter CM, Connolly GN, Ayo-Yusuf OA and Wayne GF. Developing smokeless tobacco products for smokers: an examination of tobacco industry documents. *Tob Control.* 2009;18:54-59.
 - 10) Connolly GN and Alpert HR. Trends in the use of cigarettes and other tobacco products, 2000-2007. *JAMA.* 2008;299:2629-2630.
 - 11) たばこ税及びたばこ特別税 国税庁統計情報 1989-2014.
 - 12) Rodgman A, Perfetti TA. Alphabetical Component Index. In: *The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke* Second Edition. Rodgman A, Perfetti TA, editors. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013;xxix-xciii.
 - 13) IARC. Tobacco smoke and involuntary smoking. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 2004;83:1-1438.
 - 14) IARC. A review of human carcinogens: personal habits and indoor combustions. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 2012;100E:1-579.
 - 15) FDA. Harmful and potentially harmful constituents in tobacco products and tobacco smoke; Established List. 2012.
<http://www.fda.gov/downloads/TobaccoProducts/Labeling/RulesRegulationsGuidance/UCM297981.pdf>(平成28年2月18日 接続)
 - 16) World Health Organization. Work in progress in relation to Articles 9 and 10 of the WHO FCTC. *FCTC/COP/6/14.* 2014.
http://apps.who.int/gb/fctc/PDF/cop6/FCTC_CO_P6_14-en.pdf (平成28年2月18日 接続)
 - 17) ISO Standard 3308. International Organization for Standardization. Routine analytical cigarette smoking machine-definitions and standard conditions, fourth ed. 2000.
 - 18) ISO Standard 4387. International Organization for Standardization. Cigarettes-determination of total and nicotine free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine, third ed. 2000.
 - 19) ISO Standard 10315. International Organization for Standardization. Determination of nicotine in smoke condensates-gas chromatographic method, second ed. 2000.
 - 20) Method T-115. Health Canada. Determination of “Tar”, nicotine and carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. 1999.
 - 21) WHO. Standard operating procedure for intense smoking of cigarettes: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official

- method (Standard operating procedure 01). Geneva, World Health Organization, 2012.
- 22) 稲葉洋平, 内山茂久, 櫻田尚樹. 国産たばこ製品の有害性の評価. 日本小児禁煙研究会雑誌. 2013;3:31-9.
 - 23) Endo O, Matsumoto M, Inaba Y, Sugita K, Nakajima D, Goto S, et al. Nicotine, Tar, and Mutagenicity of Mainstream Smoke Generated by Machine Smoking with International Organization for Standardization and Health Canada Intense Regimens of Major Japanese Cigarette Brands. *J Health Sci.* 2009;55:421-7.
 - 24) 稲葉洋平, 大久保忠利, 内山茂久, 櫻田尚樹. 国産たばこ銘柄のたばこ葉に含有されるニコチン, たばこ特異的ニトロソアミンと変異原性測定. *日本衛生学雑誌* 2013;68: 46-52.
 - 25) Anderson RA, Kasperbauer MJ, Burton HR, Hamilton JL, Yoder EE. Changes in chemical composition of homogenized leaf-cured and air-cured burley tobacco stored in controlled environments, *J. Agri. Food Chem.* 1982;30:663-668.
 - 26) Burton HR, Childs GH, Anderson RA, Fleming PD. Changes in composition of burley tobacco during senescence and curing. 3. tobacco-specific nitrosamines, *J. Agri. Food Chem.* 1989;37:426-430.
 - 27) IARC. Smokeless tobacco and some tobacco-specific N-nitrosamines. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 2007;89:1-592.
 - 28) Adams JD, Brunnemann KD, Hoffman D. Chemical studies on tobacco smoke : LXXV. Rapid method for the analysis of tobacco-specific N-nitrosamines by gas-liquid chromatography with a thermal energy analyser. *J. chromatogr A.* 1983;256:347-351.
 - 29) 杉山晃一, 稲葉洋平, 大久保忠利, 内山茂久, 高木敬彦, 櫻田尚樹. 国産たばこ主流煙中たばこ特異的ニトロソアミン類の異なる捕集法を用いた測定. *日本衛生学雑誌* 2012;67:423-30.
 - 30) 厚生労働省. 平成11 - 12年度たばこ煙の成分分析について (概要) . <http://www.mhlw.go.jp/topics/tobacco/houkoku/seibun.html> (平成28年2月18日 接続)
 - 31) Rickert WS, Joza PJ, Sharifi M, Wu J, Lauterbach JH. Reductions in the tobacco specific nitrosamine (TSNA) content of tobaccos taken from commercial Canadian cigarettes and corresponding reductions in TSNA deliveries in mainstream smoke from such cigarettes. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2008;51:306-10.
 - 32) O'Connor RJ, Hurley PJ. Existing technologies to reduce specific toxicant emissions in cigarette smoke. *Tob Control.* 2008;17 Suppl 1:i39-48.
 - 33) 社団法人 日本たばこ協会. 平成26(2014)年 ター ル ・ ニ コ チ ン 含 有 量 . http://www.tioj.or.jp/data/pdf/150417_04.pdf (平成28年2月18日 接続)
 - 34) Matsumoto M, Inaba Y, Yamaguchi I, Endo O, Hammond D, Uchiyama S, Suzuki G. Smoking topography and biomarkers of exposure among Japanese smokers: associations with cigarette emissions obtained using machine smoking protocols. *Environ Health Prev Med.* 2013;18:95-103.
 - 35) Ueda K, Kawachi I, Nakamura M, Nogami H, Shirokawa N, Masui S, et al. Cigarette nicotine yields and nicotine intake among Japanese male workers. *Tob Control.* 2002;11:55-60.
 - 36) Hammond D, Fong GT, Cummings KM, Hyland A. Smoking topography, brand switching, and nicotine delivery: results from an in vivo study. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2005;14:1370-1375.
 - 37) CDC. Filter ventilation levels in selected U.S. cigarettes, 1997. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 1997;46:1043-7.
 - 38) U.S. FDA and Drug Administration. Preliminary Scientific Evaluation of the Possible Public Health Effects of Menthol Versus Nonmenthol Cigarettes. 2013. <http://www.fda.gov/downloads/ScienceResearch/SpecialTopics/PeerReviewofScientificInformationandAssessments/UCM361598.pdf> (2014年2

月9日接続)

- 39) 日本たばこ産業. たばこ添加物リスト. <https://www.jti.co.jp/cgi-bin/JT/corporate/enterprise/tobacco/responsibilities/guidelines/additive/tobacco/index.cgi> (平成28年2月18日 接続)
- 40) Tobacco Products Scientific Advisory Committee (TPSAC). Menthol cigarettes and public health: review of the scientific evidence and recommendations. Rockville MD, Food and Drug Administration, 2011.
- 41) German Cancer Research Center. Menthol Capsules in Cigarette Filters—Increasing The Attractiveness of a Harmful Product. Heidelberg, Germany: German Cancer Research Center, 2012.

1. 論文発表
なし

2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし

2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし

F. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

G. 研究発表



Fig. 1 我が国のたばこ販売の歴史

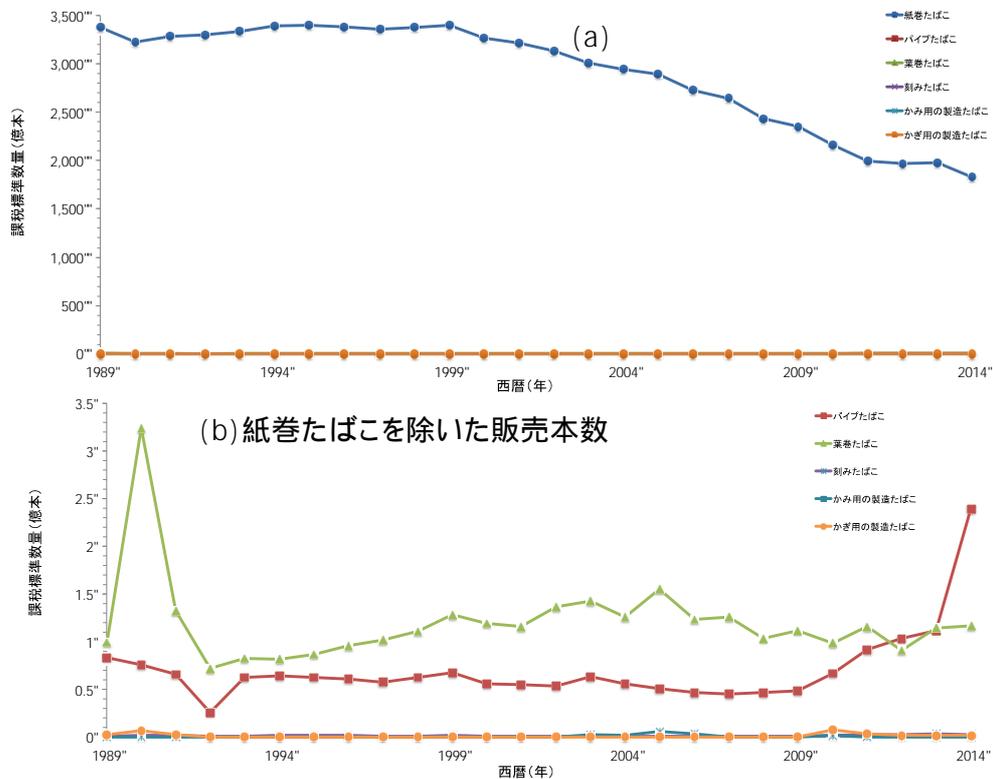


Fig. 2 たばこの課税をもとに算出した販売本数

国税庁の統計資料をもとに作成



Fig. 3 主流煙と副流煙の分類