

表4 護衛艦における測定結果の概要

	Nicotine [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Py [ng/m^3]	BaA [ng/m^3]	BkF [ng/m^3]	BaP [ng/m^3]	dBahA [ng/m^3]	BbC [ng/m^3]	BghiP [ng/m^3]	dBaEP [ng/m^3]
①喫煙区画	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5
平均	25.04	0.49	0.42	0.11	0.27	0.09	0.13	0.59	0.41
標準偏差	18.06	0.28	0.25	0.04	0.17	0.06	0.06	0.35	0.15
変動係数	0.72	0.57	0.59	0.34	0.62	0.68	0.46	0.60	0.38
最大値	52.39	0.97	0.68	0.18	0.49	0.15	0.18	1.20	0.60
最小値	6.24	0.30	0.14	0.084	0.090	0.033	0.051	0.33	<0.51
②境界	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5
平均	0.39	0.14	(0.13)	0.06	(0.073)	(0.037)	(0.052)	(0.20)	(0.51)
標準偏差	0.06	0.07		0.05					
変動係数	0.14	0.50		0.90					
最大値	0.45	0.24		0.14					
最小値	0.39	<0.15		<0.027					
③非喫煙区画	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5
平均	0.025	0.13	(0.13)	0.04	(0.073)	(0.037)	(0.052)	(0.20)	(0.51)
標準偏差	0.02	0.08		0.03					
変動係数	0.69	0.58		0.83					
最大値	0.052	0.23		0.084					
最小値	0.025	<0.15		<0.027					

表5 潜水艦における測定結果の概要

	Nicotine [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Py [ng/m^3]	BaA [ng/m^3]	BkF [ng/m^3]	BaP [ng/m^3]	dBahA [ng/m^3]	BbC [ng/m^3]	BghiP [ng/m^3]	dBaEP [ng/m^3]
①喫煙区画	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4
平均	9.51	3.83	3.58	0.46	0.40	0.16	0.20	0.79	0.85
標準偏差	4.56	3.70	2.76	0.18	0.18	0.13	0.12	0.33	0.46
変動係数	0.48	0.97	0.77	0.40	0.45	0.83	0.60	0.42	0.55
最大値	13.64	9.13	7.44	0.64	0.62	0.35	0.34	1.08	1.39
最小値	4.41	0.51	0.88	0.23	0.19	0.04	0.07	0.44	0.25
②境界	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4
平均	0.08	1.76	0.61	0.05	(0.073)	(0.037)	(0.052)	(0.20)	(0.51)
標準偏差	0.01	1.32	0.37	0.01					
変動係数	0.15	0.75	0.62	0.22					
最大値	0.085	3.35	1.08	0.06					
最小値	0.060	0.25	0.21	0.03					
③非喫煙区画	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4	n = 4
平均	0.07	0.68	0.66	0.09	(0.073)	(0.037)	(0.052)	(0.20)	(0.51)
標準偏差	0.03	0.67	0.71	0.07					
変動係数	0.41	0.99	1.08	0.76					
最大値	0.116	1.68	1.72	0.19					
最小値	0.045	0.19	0.16	0.04					

自衛隊病院 A においては、喫煙所を屋外に設けているため、ある程度効果的な分煙ができていますが、渡り廊下に喫煙区画の若干のニコチンが流入していることが示唆された。今回の測定結果から推定される流入量は、喫煙区画のニコチン濃度の17%であり、この渡り廊下を病院職員ばかりでなく一般患者も利用していることも考え合わせると、改善の余地があると考えられる。なお、境界Ⅱは非常用扉であるため滅多に開閉されないのに対し、境界Ⅰは往來に利用されている出入口となっており、このような扉の開閉の頻度が、境界Ⅰと境界Ⅱのニコチン濃度差に反映されたものと考えられる。

一方、喫煙区画内部では喫煙に由来する BaP 汚染が示唆されるものの、境界も含め非喫煙区画への汚染はニコチンほど明瞭ではないことが判った。分煙の効果の指標として BaP が、ニコチンほど明瞭にならなかった理由は明確ではないが、BaP の汚染源は喫煙以外にも車の排気ガスや調理等があり、一般空气中に広く存在する¹¹⁾ことが考えられる。つまり、ETS としての BaP の室内環境濃度への寄与率は5%程度と低く¹²⁾、特異性に欠けたことが一因であると考えられる。さらに、今回測定した大気中の BaP 濃度は5日間の平均で0.14 ng/m³となっており、東京都環境局の報告値¹³⁾(平成16年の区部の1年平均値は0.22 ng/m³、世田谷区世田谷は0.18 ng/m³)と同程度か若干低い値であったが、大気浮遊粒子中の BaP 濃度は、日間変動や季節間変動がある¹⁴⁾ため、今回の測定値は妥当な値であると考えた。

自衛隊病院 B においては、回収吸殻が自衛隊病院 A の1/2の量だったのに対し、喫煙区画内のニコチン濃度は1/10となった。このことから、自衛隊病院 A が半閉鎖型の喫煙所であるのに対し、自衛隊病院 B は屋外階段で開放系の空間であるため、ニコチンなどの汚染空気が大気に拡散しやすいことが示唆された。また、喫煙区画と境界のニコチン濃度に有意差が認められた ($p < 0.001$) が、境界は0.33 μg/m³(喫煙区画の1/4の濃度)であった。このことから、自衛隊病院 B では、ある程度効果的な分煙ができていたものの、喫煙区画の汚染空気の25%が流入していることが示唆された。これは、既存の空間を利用し、気流などの条件をあまり考慮していないためと考えられる。このような汚染を改善するためにはさらなる調査が必要であ

るが、常に非喫煙区画から喫煙区画に向けて風が流れる場所に喫煙場所を設置したり、人工的に気流を作りその風量を調整することも分煙の効果を一助になると考えられる¹⁾。

護衛艦においては、自衛隊病院2施設よりもニコチン濃度の希釈率が高く、効果的な分煙が行われていることが示唆された。これは、艦内換気により発生する前から後ろへの気流が奏効していると考えられる。換気により強制的に随時新鮮な空気を取り入れられるために、分煙がより一層効果的になっているためと推察された。しかしながら、喫煙区画として利用されている洗面所は、多数の隊員が利用する場所であり、非喫煙者の受動喫煙の機会が増えることを考え合わせると、改善の余地があると考えられる。

また、BkF 濃度からも、ニコチンと同様に喫煙区画の喫煙による空気汚染が示唆された。一方で、護衛艦において喫煙区画以外の PAH の多くが定量下限値未満であった原因は必ずしも明らかではないが、航海中の5日間に空気捕集を行ったため、自衛隊病院で示唆された自動車排気ガス等の喫煙以外の発生源の影響を受けにくい環境にあったことも一因と考えられた。

潜水艦においては、今回測定した施設の中でもっともニコチン濃度の希釈率が高く、効果的な分煙が行われていることが示唆された。前述の護衛艦とこの潜水艦の希釈率の差は、行動態様によって防水扉の開閉の割合がそれぞれ異なることによる密閉性の差があらわれたと推察される。

また PAH に関しては、ディーゼル自動車から排出される PAH 汚染の寄与率調査で、Py > BaP ~ BghiP の順であったとの報告がある¹⁵⁾。BaA に関しては不明であるが、Py と BaA の測定濃度が BkF や BaP より数倍大きい値であった理由は、ディーゼルエンジンの影響と推測することができる。また、BaA は IARC の発がん分類で、BaP と同じくグループ 2A (おそらく発がん性を有する)に分類されている。喫煙区画は潜水艦の動力源であるディーゼルエンジンの排気ガスの影響が大きいことを考え合わせると、潜水艦のような密閉性の高い環境では、喫煙所の設定などに改善の余地があると考えられた。

5 結論

(1) 自衛隊病院2施設と比較して、護衛艦・潜水艦

の分煙対策の方が効果的に行われていた。これらを決定する要因として、施設内における喫煙区画の設置場所や、構造、喫煙区画の密閉性、気流の影響などが示唆された。

(2) 空気中に存在する粒子状ニコチンとガス状のニコチンを、定量性よく正確に測定することで分煙効果を評価する指標として有用であることを確認した。

(3) PAHは、ニコチンと比較した場合喫煙による寄与率は大きくないものの、化石燃料の燃焼や、調理などによる発生も含めて発がん関連物質の指標と考えられる。したがって、本研究で実施したように、ニコチンと組み合わせて測定することにより分煙効果を評価する上で補助的だが重要な指標となることが示唆された。

6 謝辞

本研究にあたり、調査に賛同いただき、ご協力下さいました護衛艦、潜水艦、自衛隊病院の指揮官の皆様、隊員の皆様及び空気捕集を実施していただいた担当者の皆様、貴重な助言をしていただいた株ダイヤ分析センターの杉田和俊博士に深謝いたします。最後になりましたが、このような部外研修の機会を与えていただきました海上自衛隊幕僚監部首衛生企画室の皆様感謝いたします。

文 献

- 1) 喫煙と健康問題に関する検討会報告書：喫煙と健康。保健同人社、東京、2002。
- 2) 片山泰之、他：八戸航空基地における禁煙推進アールの実施。防衛衛生 47：309～33、2000。
- 3) 厚生労働省：国民栄養調査 平成12年。
- 4) Hammond S. K. et al: A diffusion monitor to measure exposure to passive smoking. Environmental Science & Technology 21: 494～7. 1987.
- 5) Baek S-O et al: Characterization of trace organic compounds associated with aged and diluted sidestream tobacco smoke in a controlled atmosphere-volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons. Atmos Environ 38: 6583～6599. 2004.
- 6) Wu W. et al: Determination of Nicotine and Other Minor Alkaloids in International Cigarettes by Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Anal Chem 74: 4878～4884. 2002.
- 7) Huali Y. et al: Trace Analysis of Nicotine in Indoor Air by a SPME Method. Bull Environ Contam. Toxicol. 68: 485～489. 2002.
- 8) Song S. et al: Supercritical Fluid Extraction and Gas Chromatography/Mass Spectrometry for the Analysis of Tobacco-Specific Nitrosamines in Cigarettes. Anal Chem 71: 1303～1308. 1999.
- 9) 厚生労働省：分煙効果判定基準策定検討会報告書。(http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/06/h0607-3.html).
- 10) 田辺謙、他：カラム濃縮—高速液体クロマトグラフィー—分光蛍光法による極微量空気浮遊粒子中のPAHの分析。大気汚染学会誌 22: 334～9. 1987.
- 11) 松下秀鶴：大気中発がん物質のレビュー 多環芳香族炭化水素 多環芳香族炭化水素の発生 (環境庁S)。大気中発がん物質のレビュー 昭和54年度 多環芳香族炭化水素 31: 31～59. 1980.
- 12) Holcomb L. C. et al: The impact of ventilation on indoor air quality: Environmental tobacco smoke as a point source. proceeding of the annual meeting. air & waste management association 8: 1～19. 1991.
- 13) 東京都環境局公式ウェブサイト「東京の環境」(http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/yugaitaiki/yugai.htm).
- 14) 後藤純雄、他：大気浮遊粉じんの変異原性の終日変動。大気汚染学会誌 17: 295～303. 1982.
- 15) 堀重雄、他：ディーゼルエンジンの各種走行条件におけるPAH排出特性について。自動車技術会学術講演会前刷集 73: 15～8. 2001.

2006年10月31日受付 2007年3月30日受理

たばこの煙の有害性と諸外国の動向

遠藤治¹⁾、鈴木元¹⁾、緒方裕光¹⁾、後藤純雄²⁾

1) 国立保健医療科学院、2) 麻布大学

はじめに

去る5月31日東京北の丸公園科学技術館サイエンスホールにおいて、2007年世界禁煙デー記念シンポジウムが開催され、代表して遠藤が標題についてお話をさせていただく機会に恵まれました。ここではその一部を再度ご紹介するとともに、若干の補足説明をさせていただきたいと思えます。

TobLabNet とは

世界保健機関（WHO）は喫煙による健康被害の拡大を憂慮し、様々な組織的活動を行っています。たばこ研究室ネットワーク（TobLabNet）もそのひとつで、「たばこ規制枠組条約（FCTC）」第9条「たばこ製品の含有物に関する規制」に基づき、主にたばこ製品の含有物及び排出物の新しい国際標準化試験法に関する調査研究を分担しています。歴史的にたばこ製品の主要な分析が専ら企

業自身の手によって行われ、規制を行う当局に報告されてきました。このことが公平性、客観性を欠く一因と憂慮されるため、たばこ企業とは独立した形での参加が義務付けられています。これまでに34カ国から参加表明がなされています(表1)が、FCTC批准国の数からすると決して満足できるものではなく、新規参加ラボの開拓が課題

表1 WHO TobLabNet 参加国

EURO:	ブルガリア, キプロス, チェコ, フィンランド, フランス, ドイツ, ギリシア, ハンガリー, アイルランド, オランダ, ノルウェー, ルーマニア, スコットランド, スロバキア, スロベニア, スペイン, スイス, トルコ, 英国
AFRO:	ブルキナファソ
AMRO:	ブラジル, カナダ, 米国
EMRO:	ヨルダン, レバノン, カタール, クウェート
WPRO:	日本, 中国, 韓国, シンガポール, ベトナム
SEARO:	インドネシア, インド

となっています。昨年11月、中国北京で第2回会議が開催されました。新規ラボの開拓を含む6項目について分科会が設けられています(表2)。以下北京会議での話題を中心に、国際標準化試験法(測定法)に関するこれまでの歴史的背景、現状と問題点(今後の課題)について述べたいと思います。

表2 TobLabNet 分科会

試験方法の概要作成
トレーニング
情報公開・データ累積
分析・試験
研究活動
新規ラボの開拓

測定法の歴史

表3 喫煙装置及び測定法に関する歴史背景

1881年	Bonsack: Cigarette-Machine patent (No. 238640)
1904年	煙草専売法
1936年	Bradford社 標準喫煙装置
1949年	専売公社化
1956年	CORESTA設立(本部パリ)
1964年	米国公衆衛生総監報告「喫煙と健康」
1966年	FTC法の確立
1967年	専売公社タール・ニコチン量の公表開始
1984年	たばこ事業法
1985年	日本たばこ産業株式会社(JT)
1989年	大蔵省測定法告示
1991年	ISO法(≒FTC法)
1999年	カナダ法(最大喫煙条件)、マサチューセッツ法(平均的喫煙条件)
2005年	WHOたばこ研究室ネットワーク(TobLabNet)

表3に標準化試験法を中心とした測定法に関連する歴史的背景をまとめてみました。喫煙装置は案外古く1881年に最初の特許が取られており、1936年には標準喫煙装置が登場します。1956年にはフランス・パリに本部を置くCORESTA(コレスタ)が誕生しています。CORESTAというのは、Cooperation Centre for Scientific Research Relative to Tobaccoの略称で、たばこ業界が中心となって設立された組織で、日本たばこ産業株式会社(JT)も幹事機関として参加しており、2004年にはJT主催の国際学会も開催されています。米国公衆衛生総監報告「喫煙と健康」(1964年)を遡ること8年前のことで、たばこ業界は喫煙の健康への悪影響について認識していたのではないかと懸念を示す根拠のひとつとされています。この米国公衆衛生総監報告が契機となり、1966年、喫煙装置を用いた米国連邦取引委員会(FTC)法が確立され、わが国でも翌1967年からタール量・ニコチン量の公表が開始されました。しかしながら、たばこ事業法に基づく省令により大蔵(現財務)大臣の定める手法として、その測定法の詳細が公表されたのは専売公社民営化(1985年)からさらに4年後の1989年のことでした。1991年国際標準化機構(ISO)によって採用されましたが、そのプロトコルはほぼFTC法に準拠しており、このため現行の国際標準化試験法をISO/FTC法と略します。

ISOのホームページから「たばこ」をキーワードに検索すると、本稿執筆時点(2007/9/28)で49件がヒットします。この中には日本ではあまり馴染みのない「きざみタバコ」などに関するものも含まれますが、日本でも一般的な紙巻たばこ(シガレット)を中心に詳細な解説がされています。残念ながら邦訳版はなく、決して安価とは言えませんが、英語版はすべて入手可能です。表4に主なものをピックアップしておきます。今年になって受動喫煙の要因となる副流煙に関するものが2件(ISO 20773及び20774)追加されました。いずれもやはりCORESTAによる手法がほぼそのまま採用されています。

現状と問題点

たばこパッケージには1本当りのタール量とニコチン量が表示されていますが、これはどのように測定されているのでしょうか？たばこの煙は、喫煙者が直接吸引する主流煙と、置きたばこなどから発生する主流煙以外の副流煙とに大別されます。副流煙は非喫煙者に対する受動喫煙の原因ともなっています。主流煙は本来喫煙者が直接吸引するものですから、このままでは測定が困難なため、前述のような喫煙装置が開発されてきました。同時にこれらたばこ煙からの化学物質発生量は、喫煙条件によって異なるため、標準的な喫煙条件が提唱されてきました。これは吸煙容量(1回の吸煙で吸入するたばこ煙の容積)を35ml、吸煙時間2秒、吸煙周期(吸煙から次の吸煙までの間隔)1回60秒とするものです。しかし、この条件設定自体が喫煙実態を正確に表していないという報告もあり、例えばこの問題に関して先進的なカナダは独自の喫煙条件(吸煙容量55ml、吸煙時間2秒、吸煙周期30秒)を提唱しています。また近年健康志向から低タール・低ニコチンたばこが増加してきていますが、その多くはフィルター部分に小孔を穿ち、喫煙時にこれを通じた空気の流入による希釈効果を期待したもので、この通気孔が手指や唇によって閉塞された場合には希釈効果は期待できません。むしろ有害物質の種類や発生量を変化させている可能性もあり、従来品に比べて本当にリスクが軽減されるのか疑問視されています。この問題についてもISO/FTC法では一切手を加えず通気孔を開放したままであるのに対し、カナダ法では100%閉鎖した条件で測定することになっています。さらに米国マサチューセッツ州の条例では両者の中間ともいふべき「平均的」喫煙条件(吸煙容量45ml、吸煙時間2秒、吸煙周期30秒、通気孔半分閉鎖)が採用されています。表5にこれら代表的な3種類の喫煙条件の相違をまとめておきました。WHOは健康影響の観点から最もシビアな条件であるカナダ法を採用することを推奨しています。TobLabNetでは、この問題に関する実証データを得るために、共通のたばこ試料を用いて繰り返

し実験を行い測定手法の比較を行う国際共同研究(ラウンドロビン研究)を開始しました。第1回目として2種類の研究用たばこ(ウルトラ・ライトタイプの1R5F及びフル・フレイバータイプのCM4)についてISO/FTC及びカナダ両条件を用いてタール、ニコチン、一酸化炭素(頭文字からTNCOと略されます)の測定が行われました。測定結果の詳細な解析は現在米国CDCで行われていますが、速報版によればいずれもカナダ条件の方が測定値は高く、変動も少ないことが報告されています。

たばこ煙中には夥しい種類の化学物質が含まれており、その中には発がん性など健康に悪影響を及ぼすものも少なくありません。TNCOは最低限の指標と考えられており、TobLabNetでは引き続き有害化学物質についてラウンドロビン研究や製品の国際比較を実施する予定になっています。たばこ由来の有害化学物質については、TobLabNet同様WHOたばこフリーイニシアティブが事務局となっている「たばこ規制専門家パネル(TobReg)」が暫定リスト(表6)を提出しており、TobLabNetでもこのリストを対象とすることになっています。製品の国際比較を実施する場合、各国の売れ筋10銘柄について、2種類の喫煙条件(ISO vs カナダ)を用い、製品のロット差を考慮して少なくとも3箇所で購入したサンプルを用いることが提案されています。当然分析コストが必要となるわけですが、北京会議でオランダ代表が必要経費を試算したユニークなスライドをプレゼンテーションしていました(表7)。これは1研究室あたり「1喫煙条件:3試料×20測定=60試料」として計算されたものですが、丁度「10銘柄×2種類の喫煙条件×3ロット=60試料」と同じです。オリジナルは米ドルで計算されていましたが、\$1≒¥120として日本円に換算してあります。分析費用に加えて、所要時間(時は金なり!)、メンテナンス費用、そして必要な機器とそのための初期投資額まで考慮されており、実行性を重視した率直な意見に感動すら覚えました。

表4 たばこ関連 ISO (TC126~抜粋)

ISO 4387	シガレットルーチン分析用喫煙機を用いた粗タール及びニコチンと水を含まないタールの測定 (2000)
ISO 8243	シガレット-サンプリング (2006)
ISO 8454	シガレット-たばこの煙の蒸気相中の一酸化炭素の定量-NDIR法 (2007)
ISO 10185	タバコ及びタバコ製品-用語集 (2004)
ISO 10315	シガレット-煙凝縮物中のニコチンの定量-ガスクロマトグラフィー法 (2000)
ISO 10362-1	シガレット-煙凝縮物中の水分の定量-第1部:ガスクロマトグラフ法 (1999)
ISO 10362-2	シガレット-煙凝縮物中の水分の定量-第2部:カールフィッシャー法 (1994)
ISO 18145	環境たばこ煙-空気中の気相ニコチン及び3-EP (3-ethenylpyridine)の定量-ガスクロマトグラフィ法 (2003)
ISO 20773	シガレット-副流煙内の無ニコチン乾燥粒状物質及びニコチンの測定-魚尾状煙突を備えた定常分析線形喫煙器を用いる方法 (2007)
ISO 20774	シガレット-副流煙内の一酸化炭素の測定-魚尾状煙突を備えた定常分析線形喫煙器を用いる方法 (2007)

詳細はISOホームページ <http://www.webstore.jsa.or.jp/webstore/ISO/FlowControl.jsp> 参照

表5 いろいろな喫煙条件

	ISO/FTC	マサチューセッツ	カナダ
吸煙量 (ml)	35	45	55
吸煙時間 (秒)	2	2	2
間隔 (秒)	60	30	30
通気孔	開放	半分閉鎖	全部閉鎖

表6 たばこ煙に含まれる有害物質 (TobReg 2003 暫定リスト)

タール
ニコチン/遊離ニコチン
一酸化炭素
ニコチン量に対する無ニコチン乾燥粒子状物質の比率
多環芳香族炭化水素 (PAH) : ベンゾ[a]ピレン など
揮発性物質: アクロレイン, ベンゼン, 1,3-ブタジエン, ホルムアルデヒド, アセトアルデヒド
たばこ特異的ニトロソアミン (TSNA) : NNN, NNK, NAT, NAB
重金属類: ヒ素, カドミウム, クロム, 鉛, 水銀, ニッケル, セレン
ガス状物質: 窒素酸化物, シアン化水素

表7 60 サンプルの分析費用試算

測定対象	総額 (万円)	分析費用 (万円)	所要時間 (時間)	維持費用 (万円)	必要機器	初期投資 (万円)
TSNAs	100	50	24	50	GC-TEA	700
PAHs	35	20	10	15	HPLC-蛍光	500
芳香族アミン	115	90	48	25	GC	850
遊離ニコチン	50	45	24	5	GC	850
フェノール類	18	12	6	6	HPLC-蛍光	500
アルデヒド類	55	40	20	15	HPLC-UV	450
重金属類	56	50	24	6	ICP 発光	1,200

1 研究室1 喫煙条件: 3 試料×20 測定=60 試料 として計算

閑話休題。北京会議では、今後の研究活動の重点課題として、①通気孔の問題、②有害成分としてたばこ特異的ニトロソアミンや揮発性物質、③中毒物質として粒子層のニコチンだけでなく揮発性の遊離ニコチンも対象とすることなどが取り上げられました。また、ヒトへの健康影響という観点から、測定法の中にバイオアッセイ手法を組み入れることや、尿中代謝物などバイオマーカーを用いた曝露評価を組み入れた疫学調査の重要性が議論されています。特に世界のたばこ消費の70%を占めるといわれるアジア地域における調査研究は重視されており、その一環として、現在国立保健医療科学院では「アジア太平洋たばこ研究」(カナダ・ウォータールー大学、米国 CDC との共同研究)などを実施しています。

TobLabNet 自体設立から日が浅く我々が参加してから間もないので、たばこ問題の先進国カナダやオランダなどと比較してしまうと落胆することもあります。たばこ対策に有用なエビデンス

を目指して今後も努力していきたいと考えています。

謝辞

2007年世界禁煙デー記念シンポジウムにおける講演ならびに本稿執筆の機会をいただいた関係各位に感謝申し上げます。また、本稿でご紹介した研究の一部は厚生労働科学研究費補助金(第3次対がん総合戦略研究事業)で行われたものです。

参考資料

Proceedings of 2nd Meeting of the WHO Tobacco Laboratory Network (Nov. 20-22, 2006, Beijing)
 Monograph Advancing Knowledge on Regulating Tobacco Products (WHO, 2001)
 The Scientific Basis of Tobacco Product Regulation, WHO Technical Report Series 945 (WHO, 2007)

喫煙装置を用いて捕集されたたばこ煙中の水分分析

○松本真理子¹⁾, 杉田和俊²⁾, 中島大介³⁾, 後藤純雄⁴⁾,
小谷野道子¹⁾, 遠藤治¹⁾, 鈴木元 (非会員)¹⁾

1) 国立保健医療科学院, 2) ダイヤ分析センター, 3) 国立環境研究所, 4) 麻布大学

はじめに

たばこ煙は室内の主要な汚染源である。たばこ煙の成分分析は、ISO 等で規定された喫煙装置による国際標準法が用いられてきたが、実際の喫煙者は ISO 法による喫煙条件よりも深刻な状況で喫煙していることが報告されている。このため、近年 WHO はヒトへの健康影響の観点から新しい国際標準を検討しつつある。

喫煙装置を用いてたばこ煙中のタール分を測定する場合、捕集された粒子状物質(粗タール)からニコチンと水分を差し引いたものがタール量となる。よって、タール量を正確に求めるためには、水分の分析が重要となる。

本研究では、たばこ煙の水分測定における分析精度や、試料の保存方法の影響などについて検討した。また、国産の主要 10 銘柄のタバコを用いて、ISO 法とカナダ保健省の推奨するカナダ法の喫煙プロトコルを用いて、それぞれ水分、ニコチン、タール量の違いについても比較した。

実験方法

たばこ煙は、ISO に準拠した自動喫煙装置 (Borgwaldt 社 RM-1) を用い、ISO 及びカナダ両条件で発生させた。主流煙の粒子状物質は Cambridge ガラス繊維フィルター (44 mmφ, Borgwaldt Technik GmbH) 上に捕集した。水分分析は、内部標準であるエタノールを含んだ 20 mL のイソプロピルアルコール (IPA、和光純薬工業、精密分析用) で試料を振とう抽出し、GC-TCD 分析に供した。GC-TCD の装置及び分析条件を表 1 に示す。ニコチンの分析は、内部標準であるイソキノリンを含む IPA で希釈して GC-MS 分析に供

した。GC-MS の装置及び分析条件を表 2 に示す。

表 1. GC-TCD 装置及び分析条件

GC-TCD	Shimadzu GC-2014
カラム	Porapak Q (I.D. 3.0 mm, 長さ 2 m, 80~100メッシュ, ステンレス)
キャリアガス	He 30 ml/min
カラム温度	170 °C
注入口温度	250 °C
検出器温度	250 °C
注入量	2 µl

表 2. GC-MS 装置及び分析条件

GC	HEWLETT PACKARD HP 6890
MS	Agilent 5975 inert/N
カラム	DB-17 (J&W Scientific, 30 m×0.25 mm I.D.×0.25 µm)
キャリアガス	He 1.0 ml/min
昇温条件	50 °C (2分保持) → (15 °C/分) → 200 °C → (5 °C/分) → 280 °C (5分保持)
注入口温度	250 °C
イオン源温度	230 °C
トランスファーライン温度	280 °C
イオン化法	EI mode
イオン化電圧	70 eV
質量分析計モード	選択イオンモード (SIM mode)
測定質量 (m/z)	ニコチン: 84, 161 イソキノリン: 129
注入量	1 µl

結果及び考察

1) 市販ディスペンサーの改良

たばこ試料に限らず、多試料を同時分析に供する場合、抽出溶媒の分注にディスペンサーを用いると操作性が良く、精度の高い連続した分注が可能となる。しかし、市販のディスペンサーは、ピストンを上下させることで、空気中の水分が混入する可能性があり、水分分析に影響を及ぼすことが懸念される。そこで、ディスペンサーの空気入口に、乾燥剤 (シリカゲル) を詰めたカラムを取り付けられる

ように改良し、乾燥剤の有無による水分量の影響について調べた。両条件下で20 mL分注抽出をそれぞれ50回行い、その水分量を分析した。その結果、乾燥剤が無い場合は徐々に水分量が増加し、乾燥剤を用いた場合と比較して、抽出15回目で約1.5倍、20回目以降は2倍以上高い水分濃度を示すことがわかり、乾燥剤の効果が認められた。したがって、以降の実験は、乾燥剤カラムを取り付けた改良ディスプレイを用いて行った。

2) 抽出溶媒中の水分量に及ぼす保存温度の影響

図1に抽出溶媒中の水分量に及ぼす保存温度の影響を示す。抽出溶媒をGC分析用のバイアルに分注した後、異なる温度(常温、4℃、-20℃)で保存し、1週間後の水分量の変化を調べた。図1から抽出直後は 156.5 ± 3.7 mg/Lであったのが、1週間後には、常温では 224.5 ± 32.5 mg/L、4℃では 226.5 ± 6.2 mg/L、-20℃では 150.8 ± 31.6 mg/Lとなり、高い温度で保存した方が、水分量が増える傾向にあった。この原因は必ずしも明らかではないが、水分分析ではサロゲートとしてエタノールを加えており、保存温度が高い場合、揮発性が高いエタノールの方が先に揮発してしまうために結果として水分濃度が上昇したのではないかと推察された。一方、保存温度が低い場合、保存場所とした冷凍庫内が乾燥していたために水分の揮発が生じ、水分量が減少したのではないかと考えられた。

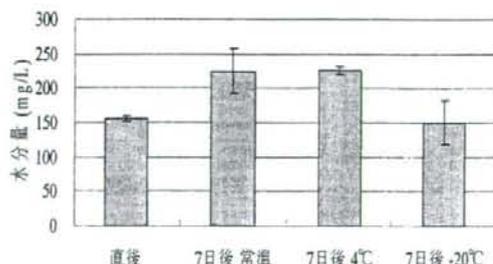


図1. 抽出溶媒中の水分量に及ぼす保存温度の影響

3) 抽出試料中の水分量に及ぼす保存日数の影響

図2に抽出試料中の水分量に及ぼす常温での保存日数の影響を示す。図2から、抽出直後の分析値(たばこ1本当たりの水分量=mg/cig.)は 2.52 ± 0.04 であったのに対し、24時間後には 2.45 ± 0.04 、2日後には 2.16 ± 0.03 、1週間後には 2.04 ± 0.02 となり、日数が経つにつれて水分量が減少する傾向が認められた。したがって、水分分析は、試料抽出直後、最大でも24時間以内に行うことが望ましいことが示唆された。

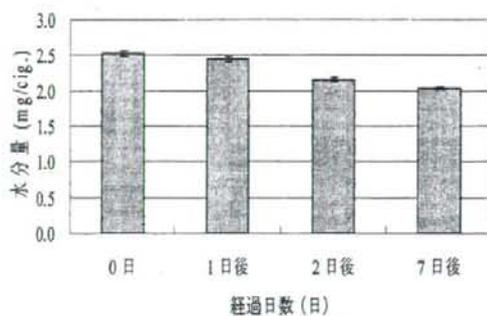


図2. 抽出試料中の水分量に及ぼす保存日数の影響

4) ISO及びカナダ法によるタバコ煙試料中の水分分析

ISO及びカナダ両法による喫煙条件を用いて、国産の主要10銘柄のタバコについて分析した。その結果、水分含量はいずれの銘柄においても、ISO法よりもカナダ法で高い値を示した。また、ニコチンとタールについても、同様に、カナダ法で高い値を示した。詳細については、現在検討中である。

喫煙装置を用いて捕集されたたばこ煙中多環芳香族炭化水素の分析

○杉田和俊¹⁾, 小谷野道子²⁾, 松本真理子²⁾, 中島大介³⁾,
後藤純雄⁴⁾, 緒方裕光²⁾, 遠藤 治²⁾, 鈴木元(非会員)²⁾

1)ダイヤ分析センター, 2)国立保健医療科学院, 3)国立環境研究所, 4)麻布大学

はじめに

たばこの煙は室内の主要な汚染源の一つであり、ニトロソアミンをはじめとする様々な発がん関連物質を含んでいる。近年、喫煙については健康増進法(平成 15 年 5 月)により、受動喫煙の防止が努力義務化され、受動喫煙の防止をはじめとする喫煙対策が進められている。また、市販のたばこでは低タール・低ニコチンの銘柄が数多く販売されている。市販のたばこ煙の成分分析には、ISO 等で規定された喫煙装置による国際標準法が用いられてきた。しかし、実際の喫煙者は ISO 法による喫煙条件よりも深刻な状況で喫煙していることが報告されている。そこで、WHO ではヒトへの健康影響の観点から新しい国際標準を検討しつつある。現行法と新しい方法では喫煙条件が異なる為、発生する有害成分の種類や量が異なることが考えられる。本研究では国産たばこ主要 10 銘柄のうち 4 銘柄を用いて、ISO 法とカナダ保健省の推奨するカナダ法に規定された喫煙条件により燃焼させた時に発生する主流煙を採取し、試料に含まれる発がん関連物質の一つである多環芳香族炭化水素(PAH)類の測定を行い、喫煙条件による比較を行った。

方法

国産たばこの中で消費量が多く、同系列で幅広くタール量及びニコチン量が分布している数銘柄を選び、試験に供した。喫煙条件は ISO 法¹⁾及びカナダ法²⁾にしたがった。すなわち、日本における主要銘柄数種類を試料とし、喫煙装置(Borgwaldt 社製 RM-1)を用いてたばこを燃焼させ、その主流煙をガラス繊維ろ紙に採取した。主流煙の捕集にはガラス繊維ろ紙(44mmφ, Borgwaldt Technik 社製)を用いた。喫煙条件としては、ISO 法(A 法)では 1 服につき 2 秒間で 35mL 吸引、1 分ごとに 1 服させ、フィルターの手前 3mm まで喫煙させた。カナダ法(B 法)では 1 服につき 2 秒間で 55mL 吸引、30 秒ごとに 1 服させ、フィルターの手前 3mm まで喫煙させた。ガラス

繊維ろ紙からの PAH 類の抽出には 2-プロパノール(和光純薬工業、精密分析用)20mL を用いて振とう抽出を行った。得られた粗抽出液のうち 1mL を PAH 分析用試料とし、シリカゲルカートリッジ(Sep Pack Plus Silica, Supelco 社製)により精製を行った。溶媒を留去した後、*m*8-ナフタレン及び *d*12-ベンゾ[*a*]ピレンを内標準として添加し、GC/MS 測定試料とした。GC/MS 測定は選択イオン検出法(SIM 法)を用い、内標準法により定量を行った。

GC/MS 測定条件を以下に示す。

GC/MS: Hewlett Packard 社製 6890/5973N

イオン化法: EI 法

分離カラム: DB17ms (J&W 社製)

(内径 0.25mm、長さ 30m、膜厚 0.25 μm)

注入口温度: 300°C

オープン温度: 50°C(2 分保持)-20°C/分-180°C
-10°C/分-300°C(20 分保持)

結果と考察

1)GC/MS による PAH 類の測定: PAH 類 21 成分を対象に測定を行った。粗抽出液に着色が認められたため、シリカゲルカートリッジを用いた前処理を行い、着色成分を除去した。前処理過程を考慮すると、定量可能であったのは 4 環類、5 環類及び 6 環類の一部の 9 成分であった。測定結果(No.10 の試料の例)を図-1 に示す。図-1 は横軸には測定対象成分を、縦軸には 1 本当たりの対象成分量を、また ISO 法(A 法)とカナダ法(B 法)で併記して示した。4 環類の濃度は 5 環類に比べ高い傾向があり、この傾向は試験に供した銘柄すべてで認められた。また、各成分の濃度は、IARC (Volume 83)⁹⁾で報告されている濃度とほぼ同じレベルであることが認められた。定量可能であった対象化合物すべてにおいて、カナダ法で得られた試料に含まれる PAH 類濃度は ISO 法に比べ高く、ニコチンやタールについても同様の傾向が報告されている(平成 19 年度室内環境学会研究発表会)。ISO 法では喫煙

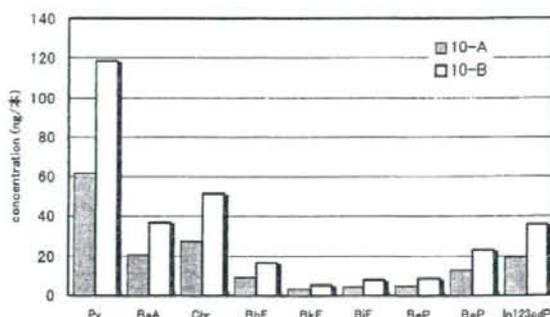


図-1 No.10におけるPAH類の分析結果

実態を正確に表していないとの報告もあるため、人への健康影響に配慮し、より厳しい条件であるカナダ法を採用することが望ましいことが示唆された。

2) 銘柄と喫煙条件の比較：各銘柄を2パターンの喫煙条件で燃焼させた時の主流煙に含まれるPAH類のうち、代表的と考えられるBaP濃度について銘柄と喫煙条件により比較を行った。その結果を図-2に示す。図-2には銘柄ごとに2条件で得られた試料中のBaP濃度、及び各たばこに含まれるタール量及びニコチン量(表示値)を合わせて示した。各銘柄ともISO法で得られた試料よりカナダ法で得られた試料の方が1本あたりのBaP量は高濃度であった。また、タール量やニコチン量が多い試料ではBaP濃度が高いことが認められた。ニコチン量(表示値)とBaP濃度の関係を図-3に示す。横軸はパッケージに示されているニコチン量を、縦軸はたばこ1本当たりのBaP濃度を示している。ISO法(○)においてもカナダ法(●)においても得られたBaP濃度はニコチン含有量と高い相関関係が得られ、相関係数(R²)はそれぞれ0.9545と0.9912であった。以上のことから、タール分の多い銘柄のたばこ主流煙は多環芳香族炭化水素のような有害成分を比較的多く含んでいることが考えられ、人の健康への影響が大きいことが示唆された。また、燃焼状態が異なると生成される有害成分の量が大きく変化するため、実際の喫煙状態に合った条件での評価が望まれる。

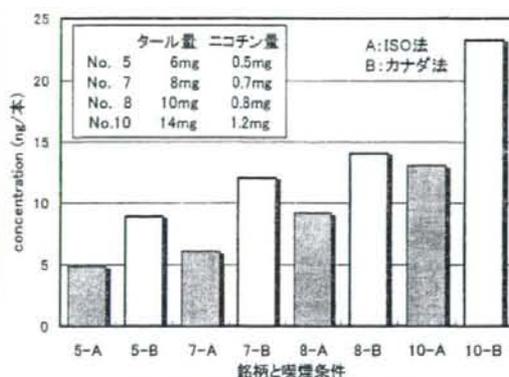


図-2 主流煙に含まれるBaP濃度の比較

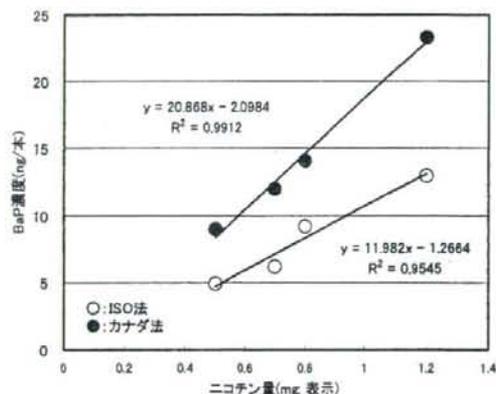


図-3 ニコチン量(表示)とBaP濃度の関係

引用文献

- 1) ISO3308 : Routine Analytical Cigarette· Smoking Machine· Definitions and Standard Conditions (2000).
- 2) Determination of "Tar", Nicotine and Carbon Monoxide in Mainstream Tobacco Smoke, Health Canada(1999)
- 3) Tobacco Smoke and Involuntary Smoking, IARC(2004)

WHO TobReg 提言の解説～Tobacco Control の論文の概要と解説

遠藤 治 (麻布大学 生命・環境科学部)

WHO は 2000 年オスロ国際会議後、たばこ製品規制に関する科学諮問委員会 (SACTob) を立ち上げ、2002～03 年にいくつかの提言がまとめられた。Study Group on Tobacco Product Regulation (TobReg) はその後を受けて、たばこ製品規制の科学的根拠を提供する一連の活動を展開している。昨 2007 年世界禁煙デー記念シンポジウムで「たばこ煙の有害性と諸外国の動向」についてご紹介し、また若干の補足説明を加えて本通信紙上でも報告した。年明けに Tobacco Control 誌に欧米の専門家 11 名の連名による詳細な「WHO TobReg 提言の解説」が掲載された。当該論文はその活動内容と経緯をまとめたもので、ここでは有害物質の測定法を中心に、WHO

が提案するたばこ製品規制の戦略と今後の課題についてご紹介したい。

人工喫煙条件の選定

歴史的にみて、たばこ煙に関する最も一般的な測定法は、米国連邦取引委員会 (FTC) 並びに国際標準化機構 (ISO) で定められた試験条件に基づく人工喫煙装置による、たばこ 1 本当たりのタール、ニコチン、及び一酸化炭素 (TNCO) 量の測定である。わが国でも、たばこ事業法に基づく大蔵 (現財務) 省令で定められたタール量・ニコチン量の測定は、この FTC/ISO に準じている。近年、このようなたばこ 1 本当たりの数値を指標としても、実際のヒトへの曝露量や相対曝露量を

推定・評価できないことが明らかとなってきた。FTC/ISO 以外の人工喫煙条件には、米国マサチューセッツ州あるいはカナダ政府が考案した条

件などがある。表1にこれら代表的な3種類の人工喫煙条件をまとめた。

表1 代表的な人工喫煙条件

	FTC/ISO	マサチューセッツ	カナダ
吸煙量 (mL)	35	45	55
吸煙時間 (秒)	2	2	2
吸煙間隔 (秒)	60	30	30
通気孔	開放	半分閉塞	全部閉塞

たばこ煙の物理化学的性状を表示するだけならば、いずれの人工喫煙条件を用いてもさほど問題はなから、**TobReg** は条件を統一することにより、規制にかかる費用を節約するとともに、国際比較が容易になると考えている。人工喫煙条件にはそれぞれ長所短所があり理想的条件はないが、規制を行う上でのフィージビリティやラボにおける実績などを考慮して、上記3条件の中ではカナダ保健省採用の厳格な喫煙条件が最も理想に近いと考えられている。その理由として、①この条件によるたばこ煙の発生量が大きいこと、有害物質の繰り返し測定を実施した場合の変動係数を小さくすることができる、②より厳格な人工喫煙パラメータを用いることで、ISO 条件より多種類の有害物質を個別に実測できる可能性が高くなる、③実際の喫煙者による喫煙特性により近い燃焼条件下で有害物質を発生させることができるので、これら厳格な喫煙条件下で実施された製品試験をより良い形で反映できる、そして④カナダ条件と ISO 標準条件を比較した場合、両者の測定結果の差が大きくなるチャコールフィルターたばこのような特徴的なデザインのたばこに対しても、カナダ条件の方が、より正確な測定が可能となる、などが列挙されている。

人工喫煙条件の限界と新しいアプローチへの期待

カナダ条件は概してたばこ1本当たりの測定値が高くなり、銘柄間の誤差も小さくなるが、たばこ1本当たりのタール量・ニコチン量による銘柄の序列は依然として変わらず、より厳格な条件を用いて測定されたとしても、たばこ1本当たりの測定値による評価だけでは、ヒトへの曝露、あるいは喫煙者が異なる銘柄を喫煙した場合の相対的曝露の推定量を与えるものにはなっていない。すなわち **TobReg** は、人工喫煙には自ずと限界があることも十分に認識しており、これを明言している。そこで、喫煙者における実際の曝露量を定量的に評価する新たなアプローチ方法として、血液や尿、唾液を用いるバイオマーカー計測が模索されている。例えば、たばこ煙の摂取量をより正確に測定する方法や、毒性をよりの確に予測する方法が期待されている。また、健康障害度の定量化や、疾病リスクのバイオマーカーについても、将来的に評価の確立が望まれる。これらは疾病リスクの相違について、疾病結果から判定す

る現行の疫学的アプローチよりも、かなり短時間に評価できるものと期待されている。しかしながら、このようなバイオマーカーは喫煙者自身を対象とするため、個人差や、喫煙行動、喫煙しているたばこ製品の特性などに影響を受けやすいことも指摘されている。喫煙者の喫煙行動（例えば誰がその製品を喫煙し、どのように喫煙したか）による差異と、製品間の変動によるバイオマーカー測定値の誤差とを識別することは、科学的にはかなり難易度の高いチャレンジであるといえよう。**TobReg** は、バイオマーカーが製品規制の効果的な手段となりうることを普及させるためには、前述の問題点を解決する調査研究が必要不可欠であると指摘している。このため当分の間、製品規制の暫定手段として、喫煙者から得られる試料の測定よりもむしろ、製品間のデザインや、含有量、排出量の差異を測定することに限定する可能性も示唆している。一般的に、製品デザインの特徴や成分、添加物などが、たばこの毒性、製品の中毒性、喫煙習慣の開始や禁煙のしやすさに関与していると考えられている。**TobReg** はこのような仮説を支持する根拠について検討し、これら仮説が真であるとする十分な根拠を得るには、さらなる調査研究が必要であることも強調している。

有害物質の選定

TobReg は、標準化条件で測定したたばこ主流煙中の有害物質量の低減化を目標とする製品の物理化学的特性測定に基づいた規制戦略を勧告している。この勧告では、選定された有害物質に対して、ニコチン1mg当たりの当該物質量を定め、これを超過するたばこ銘柄の販売あるいは輸入を禁止すべきであるとしている。有害物質量をニコチン1mg当量で標準化するのは、たばこ1本当たりで発生する煙量に左右されることなく、確固たる測定値を求めることにより、ヒトへの曝露及びリスクの指標となるべき **TNCO** 値が誤用されることを避けるためである。

有害物質の包括的リストは3つの原典、すなわち① Philip Morris 製国際銘柄を比較した Counts et al の報告、②カナダ保健省が2004年に報告したカナダ製品のデータ、そして③オーストラリア健康・加齢局が2001年に発表したオーストラリア製品のデータが根拠となっている。リストは、物質自体の動物及びヒトへの毒性データ、

毒性強度係数を掛け合わせた成分濃度に基づく毒性指標、銘柄間の毒性の変動、たばこ煙中の有害物質を現状の方法で低減化できる可能性、そして、がんだけでなく心・肺疾患に影響を及ぼす二相の煙(ガス相及び粒子相)、様々な化学種、お

よび毒性成分の有無を考慮して、優先順位付けされている。TobRegにより優先的に低減化すべきと勧告された有害物質及び提案された規制値を表2に示す。

表2 優先的に取り組むべき有害物質及び提案された規制値

有害物質	規制値 ($\mu\text{g}/\text{mg}$, nicotine)	
	国際銘柄	カナダ銘柄
NNK	0.072	0.047
NNN	0.114	0.027
アセトアルデヒド	860	670
アクロレイン	83	97
ベンゼン	48	50
ベンゾ[a]ピレン	0.011	0.011
1,3-ブタジエン	67	53
一酸化炭素	18,400	15,400
ホルムアルデヒド	47	97

NNK: 4-(メチルニトロソアミノ)-1-(3-ピリジル)-1-ブタン

NNN: N²-ニトロソノルニコチン

ここで提案された規制値は、たばこ特異的ニトロソアミン (NNK 及び NNN) に対しては市場に流通している銘柄の中央値が採用され、その他7種類の有害物質に対しては、市場流通銘柄の中央値の125%に設定されている。これら数値は、規制対象の範囲を拡大する可能性を残し、新技術が開発されるまでの暫定的なもので、たばこ煙中の有害物質レベルを今後さらに低減化させる包括的戦略の第一段階と位置づけられている。二種類のたばこ特異的ニトロソアミンは、いずれも2007年IARCの分類で従来の2Bから1へと一気に格上げされ、WHO たばこ研究室ネットワーク (TobLabNet) でも TNCO に続く優先課題の1つとなっている。わが国でも厚生労働科学研究費補助金(第3次対がん総合戦略研究事業)の中で、私どもの研究班が TobLabNet に参加して成果を挙げつつある。

有害物質濃度の規制値を設定することが、既存銘柄よりも有害物質濃度が高い新規銘柄の参入防止を可能にする規制戦略を提供することにつながると考えられる。一方、ある種の有害物質に規制を加え、これを低減化することは必ずしもその他の未規制有害物質も同様に低減化することを保証するものではない。規制対象となった有害物質が高濃度に含まれる銘柄を市場から撤去させることで、かえって未規制の有害物質を高濃度に含む銘柄を市場に放置することもありうる。加えて、規制対象となった有害物質を低減化することを目的としたたばこデザインの変更や製造工程の改善は、それ以外の未規制有害物質濃度を増加させてしまうデメリットの可能性も示唆される。TobReg は、勧告された規制戦略が、規制実施後に規制値を超える銘柄が市場に流通することがないように、周到な準備期間を設けた上で実

施すべきとし、また規制対象となる銘柄が政府の規制基準に適合していることを宣伝したり、測定結果を銘柄間の比較広告に使用することは禁止すべきであるとしている。

以上、有害物質とその測定法を中心に、WHO TobReg 提言の解説をご紹介した。当該論文は、さらに変形たばこや PREP[注]、規制値及び試験結果に関する情報公開・意見交換なども取り上げている。紙数の関係で省略するが、当該論文はウェブサイトで見覧可能なので、

(<http://tobaccocontrol.bmj.com/cgi/content/full/17/2/132>) ぜひ全文をご覧ください。

謝辞

稿を終えるにあたり、Tobacco Control 誌掲載論文の訳語について貴重な助言をいただいた国立保健医療科学院生活環境部鈴木元部長並びに同客員研究員浅野牧茂博士に感謝申し上げます。

参考文献

- Burns DM, Dybing E, Gray N et al. Mandated lowering of toxicants in cigarette smoke: a description of the World Health Organization TobReg proposal. *Tobacco Control* 2008;17:132-141.
- 遠藤治ほか. たばこ規制枠組条約に基づく有害化学物質等の新しい国際標準化試験方法に関する研究. 平成19年度総括・分担研究報告書(厚生労働科学研究費補助金第3次対がん総合戦略研究事業). 2008:1-80.

[注] Potential Reduced Exposure Product (曝露低減期待製品)の略。燃焼ではなく加熱による製品"Eclipse"や、最近ネット上を騒がせている"電子たばこ"もこの範疇に含まれる。