

B. 研究方法

(1) 試薬類

標準試料：ニコチンは和光純薬工業製のものを用いた。

溶媒：2-プロパノール（和光純薬工業製 SSG）、ジメチルスルホキシド（同仁化学製蛍光分析用）を用いた。

代謝活性化酵素系：エームステスト用 S9/コファクターA セット（S9 mix；オリエンタル酵母工業製）を用いた。

(2) たばこ試料

国産主要 10 銘柄を試験に供した。これらは日本たばこ産業（株）（JT）公表値に基づく 2006 年度国内販売実績上位国産 10 銘柄である。TobLabNet プロトコールに従い、同一銘柄 3 ロットのニコチン量、タール量を測定するため、各銘柄とも少なくとも東京地区 3 箇所で購入した。Table 1 に試験に供したたばこの特徴をまとめた。

(3) 喫煙装置によるたばこ煙の捕集

たばこ煙の捕集には、ISO 対応型の Borgwaldt LM1 喫煙装置（ドイツ Borgwaldt KC 社製）を用いた。たばこ試料は ISO 3402 (1999) [6] に従って調製した。総粒子状物質（TPM、別名粗タール）は専用のガラス繊維ろ紙（Cambridge filter pad、直径 44mm）に捕集した。ISO/FTC 条件による捕集は ISO 4387 (2000) [7] に準じた。カナダ保健省（HCI）条件による捕集はカナダ保健省 T-115 [4] に準じた。Table 2 に両試験条件の主な相違点をまとめた。

(4) 抽出

TPM 秤量後、2-プロパノールを用いて室温で 20 分間静かに振盪抽出を行った。

(5) ニコチン及び水分の定量

2-プロパノール抽出液中のニコチン量は ISO 10315 (2000) [8] に準じて、若干の改良を加えたガスクロマトグラフィー質量分析（GC/MS）法 [9] により分析した。GC/MS の装置及び測定条件を Table 3 に示す。2-プロパノール抽出液中の水分量は ISO 10362-1 (1999) [10] に準じて、ガスクロマトグラフィー熱伝導度検出器（GC/TCD）を用いて測定した。GC/TCD の装置及び測定条件を Table 4 に示す。

(6) 変異原性試験

各銘柄 3 ロットのうち 1 ロット（Table 1 に示した製品ロットの I）を変異原性試験に供した。DMSO に転溶した後、プレインキュベーション法 [11] により試験した。菌株はサルモネラ TA100、TA98 及び YG1024 [12] の 3 種類を用い、S9 mix による代謝活性化を行った場合と行わなかった場合の両条件下で実施した。

C. 研究結果

(1) ニコチン及びタール量測定結果

Table 5 に、TPM、ニコチン、水分及びタール量の測定結果を示す。銘柄ごとに、ISO 及び HCI 両喫煙条件下における測定結果を、測定に供した 3 ロットの平均及び標準偏差で示してある。この表から、ISO 条件による測定結果はたばこ試料のパッケージに表示されている値とほぼ一致していた。これに対して、HCI 条件による測定結果は、測定したすべての銘柄で ISO 条件による測定結果よりも高い値を示した。3 ロットの相対標準偏差（RSD）は、TPM では 1.2 %（最小）～22.4 %（最大）、ニコチンでは 1.1～15.8 %、水分では 3.3～58.3 %、タール量では 1.5～27.7 %であった。一般的に、水分の RSD は TPM やニコチン、タールのそれより高い値を示すことが報告されており [13, 14]、今回の測定結果と同程度であった。

(2) 変異原性試験結果

Fig. 1 にたばこ試料の変異原性試験結果の一例を図示する。横軸は TPM に換算した用量を、縦軸はプレート当たりの復帰突然変異コロニー数を表している。Fig. 1 から、たばこ試料の変異原性は、主に TA98 及び YG1024 に対して、S9mix 添加条件下で認められた。Table 6 には変異原性試験に供したロットのタール量及び変異原比活性を示した。変異原比活性は用量-反応曲線の直線的な部分から最小自乗法による直線回帰式を求め、その傾きからたばこ 1 本当たりの復帰突然変異コロニー数として算出した。括弧内の数値は擬陽性例（溶媒対照値の 1.5～2 倍のコロニー計数値が認められ、用量-反応関係が認められるもの）である。陰性例（コロニー計数値が溶媒対照値の 1.5 倍に満たないもの）は“neg”としてある。Table 6

に示したように、試験に供したすべての銘柄がフレームシフト型の突然変異を検出する菌株 (TA98 及び YG1024) に対して、S9 mix 添加条件下で変異原性が認められたのに対し、S9 mix 無添加条件下では殆どの試料で変異原性が認められなかった。塩基対置換型の突然変異を検出する TA100 株に対して、S9 mix 無添加条件下では被験 20 試料中 9 試料が陽性、7 試料が擬陽性、4 試料が陰性となった。また S9 mix 添加条件下では被験 20 試料中 7 試料が陽性、8 試料が擬陽性、5 試料が陰性となった。10 銘柄のうち最も高い活性を示した銘柄は H であった (YG1024+S9 で 205,000 rev./cigarette)。

D. 考察

わが国では 1905 年のたばこ事業法により、たばこの葉の加工及び販売が政府の管理下におかれてきた。1985 年に専売公社が民営化されて、日本たばこ産業株式会社 (JT) が誕生したが、政府は依然として JT 株の 1/2 を保有している。JT が販売する国産たばこにはタール量とニコチン量が表示されているが、これは財務省告示[2]に基づいて、たばこ産業グループの社団法人日本たばこ協会 (TIOJ) が測定を行っている。この財務省告示法は FTC/ISO 法に準拠したもので、この測定値が 1971 年以来パッケージラベルに表示されている [14]。

1950 年代以降、たばこ製品のデザインが変化し、フィルター付たばこの消費が大幅に増大し、大部分の国々でそれ以前に使用されていたフィルターなしのたばこは次第に需要がなくなっていった。国産初のフィルター付たばこ銘柄「ホープ」(本研究で使用した J)が発売されたのは 1957 年だが、国内でフィルター付たばこのシェアが増大し始めたのは比較的最近のことである。1960 年フィルター付たばこの国内シェアは 3%に過ぎなかったが、以降そのシェアは諸外国に比べて急激に増大し、1973 年には 96%にまで達している [15]。このような装置測定によるタール量やニコチン量が低減化された背景には、たばこ産業による製品加工、特に高性能フィルターチップや、通気孔による空気希釈、通気性のよい巻紙の使用などの変化が挙

げられている [16]。事実、Table 1 に示したように、本研究で測定対象とした 10 銘柄はいずれもフィルター付たばこであり、パッケージに表示されているニコチン量・タール量は、通気孔の数などに比例して低減化されている。また Table 5 に示したように、我々の測定結果でも、ISO 条件下では、TIOJ により測定されたパッケージ表示量とほとんど一致するものであった。これに対して、HCI 条件による測定結果は、すべての銘柄で ISO 条件よりも高い値を示した。その比 (HCI/ISO) は、ニコチン量では 1.99 (銘柄 J) ~5.11 (B)、タール量では 1.97 (J) ~14.96 (A) となり、低用量銘柄ほど HCI/ISO の比率が高い値を示している。

FTC 法にしても ISO 法にしても、タール及びニコチンの収量に関しては、人間の喫煙行動の科学研究に基づくものではないことが指摘されている [3]。このため、FTC/ISO 法の限界を認識して、代替的なプロトコルがカナダや米国マサチューセッツ州で開発された。カナダ法は喫煙者に毒性レベルを推測する上でより意味のある数値を提供することを目標としている。マサチューセッツ法では、FTC 法により認められたものの 2 倍のニコチン量が得られている [17]。

たばこ喫煙に関するもう一つの問題は代償的喫煙行動である。喫煙者は低ニコチンまたはニコチン抜きたばこには満足せず、そのニコチン吸入量を調整するためにその喫煙パターンを修正 (1 服の量を増やす、吸引回数を増やす、より深く吸い込む、フィルターの換気孔を塞ぐ、1 日の喫煙本数を増やすなど) することが知られている [3]。レギュラータイプの製品からライトタイプの製品に切り替える喫煙者の多くは、このような代償的喫煙行動を取り入れ、ライトタイプたばこを吸い続ける限り、このような行動を維持することとなる。本研究班で進行中の「アジア太平洋たばこ研究」においても同様の結果が得られつつある。

Table 6 に示したように、今回試験した銘柄はいずれも代謝活性化によりフレームシフト型の突然変異を誘発し、その活性は ISO 法よりも HCI 法で高い値を示した。その比 (HCI/ISO) は、TA98 に対しては 1.5 (銘柄 G) ~7.8 (A)、YG1024 株に対しては 1.4 (J) ~9.1 (A) となり、ニコチン

量・タール量と同様に、低用量銘柄ほど HCl/ISO の比率が高い値を示している。

Fig. 2 は、国産たばこ主要 10 銘柄のタール量 (A) 及び YG1024 株 S9mix 添加条件下の変異原比活性 (B) を図示したものである。Fig.2 (A) から、タール量は ISO 及び HCl 両条件ともにパッケージ表示量にしたがって増加している。一方 Fig.2 (B) に示したように、レギュラータイプの銘柄 (I 及び J) の変異原比活性は、ライトタイプの銘柄 (G 及び H) のそれに比べてむしろ低い値を示した。特に、レギュラータイプの銘柄 J (パッケージに表示されたタール量 14mg) を HCl 条件で捕集した場合の変異原比活性は、ライトタイプの銘柄 G (8mg) や H (10mg) を ISO 条件で捕集した場合より低い値を示した。さらに、銘柄 B (1mg)、C (3mg)、E (6mg)、G 及び H を HCl 条件で捕集した試料の変異原比活性は、銘柄 J を ISO 条件で捕集した試料の変異原比活性より高い値を示した。これら銘柄 (B、C、E、G 及び H) は、銘柄 J のライトタイプのシリーズである。換言すれば、低タールと記されていても、実際の喫煙者の行動様式に近いとされる HCl 条件で捕集した場合、その変異原比活性はレギュラータイプの親銘柄と比較して低いものではない。これらの結果から、“低タール”と表示されていてもヒトへの曝露量やリスクの低減には必ずしも結びついていないことが示唆された。

国産のフィルター付きたばこが諸外国のそれと大きく異なる相違点のひとつとして、チャコールフィルターの使用が挙げられる。実際、日本国内で販売されているフィルター付きたばこの殆どがチャコールフィルターを使用している。対照的に米国では、チャコールフィルター付きたばこのシェアは 1%にも満たないことが知られている[13]。今回試験に供したたばこのうち、銘柄 I と J はともにパッケージに表示されたタール量が 14mg であるが、Table 6 に示すように、それらの変異原比活性には若干の相違が認められた。銘柄 I は活性炭が入っていないプレーンフィルターであり、J はチャコールフィルターを使用している。同様の結果が、A と B (タール量は同じ 1 mg だが、プレーンフィルターとデュアルチャコールフィル

ターを使用)、F と G (タール量 8 mg だが、ネオチャコールフィルターとデュアルチャコールフィルター) においても認められた。これらの結果から、たばこ喫煙に伴い排出される化学物質の性状がフィルタータイプにより何らかの影響を受けていることが示唆された。

今回の試験結果から、たばこ主流煙に含まれる主要な変異原は、代謝活性化によりフレームシフト型の突然変異を誘発する物質(群)であることが示唆された。これらはまた、*o*-アセチルアミノ転移酵素の存在により、その活性が増強されている。このような特性を有する代表的ながん・変異原性物質として、ヘテロサイクリックアミン類が挙げられる。事実、ヘテロサイクリックアミン類とたばこ喫煙に関する報告は少なくない[1]。今回の試験結果も、これら報告を支持するものとなっている。しかしながら、今回試験に供した銘柄の中には、代謝活性化を行った場合と行わなかった場合の両条件下で、主に塩基対置換型突然変異を検出する TA100 株に対して強い変異原性を示すものも認められた。これらの結果から、たばこ煙中にはヘテロサイクリックアミン類以外にも、ニトロソアミン特にたばこ特異的ニトロアミンなど、多種多様ながん・変異原性物質が存在されることが示唆された。

また、たばこ製品には風味の付与や保存性を目的として多くの添加物が使用されており、それらの中には、単独では無害であっても、燃焼に伴い他の物質との共存により、あるいは新たな燃焼産物となって有害化する可能性が懸念されている。このような添加物は数百種類に及ぶとされているが、JT は添加物に関する情報を公開していないため、これら添加物の性質及び添加量の詳細を知ることができないのが現状である[18]。最近、フィリップモリスインターナショナルは、日本での販売用に製造された同社製品に使用されている添加物のリストをホームページ上に公開した[19]。しかしながら、平成 20 年 2 月末の時点で、その数は 120 に満たない。たばこ及びたばこ主流煙から検出されている物質数が、それぞれ 3000 種類以上及び約 4000 種とされており[20]、この膨大な数に比較して、公表された数は、たばこ及び喫煙

に関する健康情報としてはあまりに少なすぎる。したがって、JTをはじめたばこ企業には、パッケージに表示されたタール・ニコチン以外の更なる毒性情報開示が望まれる。また、2007年にはたばこ副流煙に関する新しい国際標準（ISO20773 など）[21]も公表されたことから、今後主流煙のみならず副流煙についても、その有害化学物質について検討を進めることが重要であると思われる。

E. 結論

(1) 国産主要 10 銘柄の主流煙のニコチン量、タール量を測定したところ、ニコチン及びタール量ともに HCl 条件で得られた試料の方が ISO 条件よりも高濃度であった。ISO 条件ではパッケージ表示量と同程度であった。

(2) 一方それらの変異原性は、主に TA98 及び YG1024 株 S9mix 添加条件下で認められ、いずれも HCl 条件で得られた試料の方が ISO 条件よりも数倍高い活性が得られた。最も高い活性を示した銘柄は H で、YG1024 株 S9 mix 添加条件下でたばこ 1 本当たり 205,000 の復帰突然変異コロニーを誘発した。

(3) B, C, E, G 及び H は、J を親銘柄とする低タールたばこであるが、HCl 条件で得られた試料の変異原性は、ISO 条件で捕集されたタール量の多い親銘柄の変異原性よりも高かった。これらの結果から、“低タール”と表示されているたばこであってもヒトへの曝露量やリスクの低減には必ずしも結びつかないことが示唆された。

[引用文献]

- 1) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2004) VOLUME 83 Tobacco Smoke and Involuntary Smoking, WHO IARC, Lyon, France
- 2) たばこ煙中に含まれるタール量及びニコチン量の測定方法(1989) 大蔵省告示第 174 号 (最終改正 2003 年 11 月 13 日、財務省告示第 667 号)
- 3) WHO (2001) Final report: Advancing knowledge on regulating tobacco products, Oslo Norway, 9-10 Feb 2003. Geneva: World Health Organization
- 4) Health Canada (1999) Determination of “Tar”, Nicotine and Carbon Monoxide in Mainstream Tobacco Smoke. Official method T-115, pp.1-7. Available at http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/tobac-tabac/legislation/reg/indust/method/_side-second/nicotine_e.html.
- 5) WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet). Available at http://www.who.int/tobacco/global_interaction/toblabnet/en/index.html.
- 6) ISO 3402 (1999) Tobacco and Tobacco Products – Atmosphere for Conditioning and Testing. 4th ed., International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- 7) ISO 4387 (2000) Cigarettes – Determination of Total and Nicotine-Free Dry Particulate Matter Using a Routine Analytical Smoking Machine. 3rd ed., International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- 8) ISO 10315 (2000) Cigarettes – determination of Nicotine in Smoke Condensates – Gas-chromatographic method. 2nd ed., International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- 9) 松本真理子、杉田和俊、小谷野道子、遠藤治、後藤純雄、鈴木元 (2006) ニコチン分析に用いる GC/MS カラムの比較検討. 平成 18 年度室内環境学会総会・研究発表会講演集 (室内環境学会誌) 9, 48-49
- 10) ISO 10362-1 (1999) Cigarettes – determination of Water in Smoke Condensates – Part 1: Gas-chromatographic method. 2nd ed., International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- 11) Maron D M, Ames B N (1983) Revised Methods for the Salmonella Mutagenicity Test, Mutation Res., 113, 173-215
- 12) 能美健彦(1993) ニトロアレーン、芳香族アミンに高感受性を示すサルモネラ菌株の開発、環境変異原研究, 15, 1-11
- 13) 未発表データ。引用文献 14 に一部記載
- 14) Tobacco Free Japan ニッポンの「たばこ政策」への提言 (望月友美子監修) (2004)
- 15) 大蔵省(1976) 財政金融統計月報 No.287 専売事業特集
- 16) Hoffman D, Djordjevic M V, Brunnemann K D (1996) Changes in cigarette design and composition over time and how they influence the yields of smoke constituents. In: Shopland D R, Donald R, National Cancer Institute (US) Smoking and Tobacco Control Program, editors.

The FTC cigarette test method for determining tar, nicotine, and carbon monoxide yields of U.S. cigarettes. Smoking and tobacco control monograph 7. Bethesda, MD: US Department of Health and Human Services, Public Health Services, National Institute of Health, National Cancer Institute, pp.15-37

- 17) American Cancer Society (2003) Prevention and early detection. Available at http://www.cancer.org/docroot/PED/ped_0.asp
- 18) 厚生省(1998) 21世紀のたばこ対策検討会討議のまとめ http://www.health-net.or.jp/tobacco/21c_tobacco/tobacco_index.html
- 19) Website of Philip Morris International. Available at http://www.philipmorrisinternational.com/JP/pages/jpn/stories/f022_ingred_jp.asp
- 20) Roberts D L (1988) Natural tobacco flavor. Recent adv. Tob. Sci., 14, 49-81
- 21) ISO 20773 (2007) Cigarettes – Determination of Nicotine-Free Dry Particulate Matter and Nicotine in Sidestream Smoke – Method Using a Routine Analytical Linear Smoking Machine Equipped with a Fishtail Chimney. 1st ed., International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 藤田博子、米倉明、遠藤治、鈴木元. 海上自衛隊における分煙効果に関する研究—自衛隊関連施設でのニコチンおよび多環芳香族炭化水素の測定—. 防衛衛生, 54: 123-132 (2007).
- 2) 遠藤治、鈴木元、緒方裕光、後藤純雄. たばこの煙の有害性と諸外国の動向. 日本禁煙医師連盟通信, 16 : 1-4 (2007).
- 3) Endo O, Matsumoto M, Inaba Y, Sugita K, Nakajima D, Goto S, Ogata H, Suzuki G. Chemical toxicants in mainstream smoke of major cigarettes in Japan with smoking machine – Nicotine, Tar and its mutagenicity – Tobacco Control (in preparation)

2. 学会発表

- 1) 遠藤治. たばこの煙の有害性と諸外国の動向.

2007 年世界禁煙デー記念シンポジウム (2007)

- 2) Endo O, Matsumoto M, Sugita K, Nakajima D, Goto S, Ogata H, Suzuki G. Mutagenicity of Mainstream Smoke Condensate of Major Cigarettes in Japan with Smoking Machine: Abstracts of 1st Asian Conference on Environmental Mutagens / 36th Annual Meeting of the Japanese Environmental Mutagen Society, 74 (2007).
- 3) 松本真理子、杉田和俊、中島大介、後藤純雄、小谷野道子、遠藤治、鈴木元. 喫煙装置を用いて捕集されたたばこ煙中の水分分析. 室内環境学会誌, 10: 74-75 (2007).
- 4) 杉田和俊、小谷野道子、松本真理子、中島大介、後藤純雄、緒方裕光、遠藤治、鈴木元. 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. 室内環境学会誌, 10: 86-87 (2007).

G. 知的財産権の出願・登録状況
なし

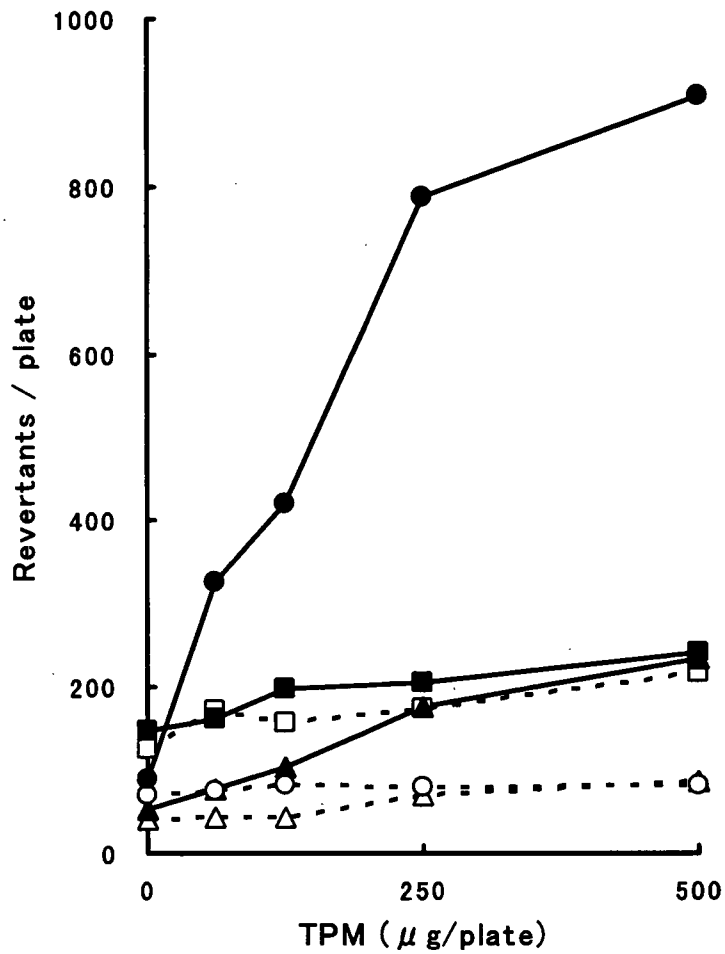


Fig. 1 A dose-response curve of a cigarette mainstream smoke with smoking machine

Assay was conducted by a preincubation method using Salmonella TA100, TA98 and YG1024 strains under the conditions of both with and without rat liver S9 mix.

- TA100-S9 △ TA98-S9 ○ YG1024-S9
- TA100+S9 ▲ TA98+S9 ● YG1024+S9

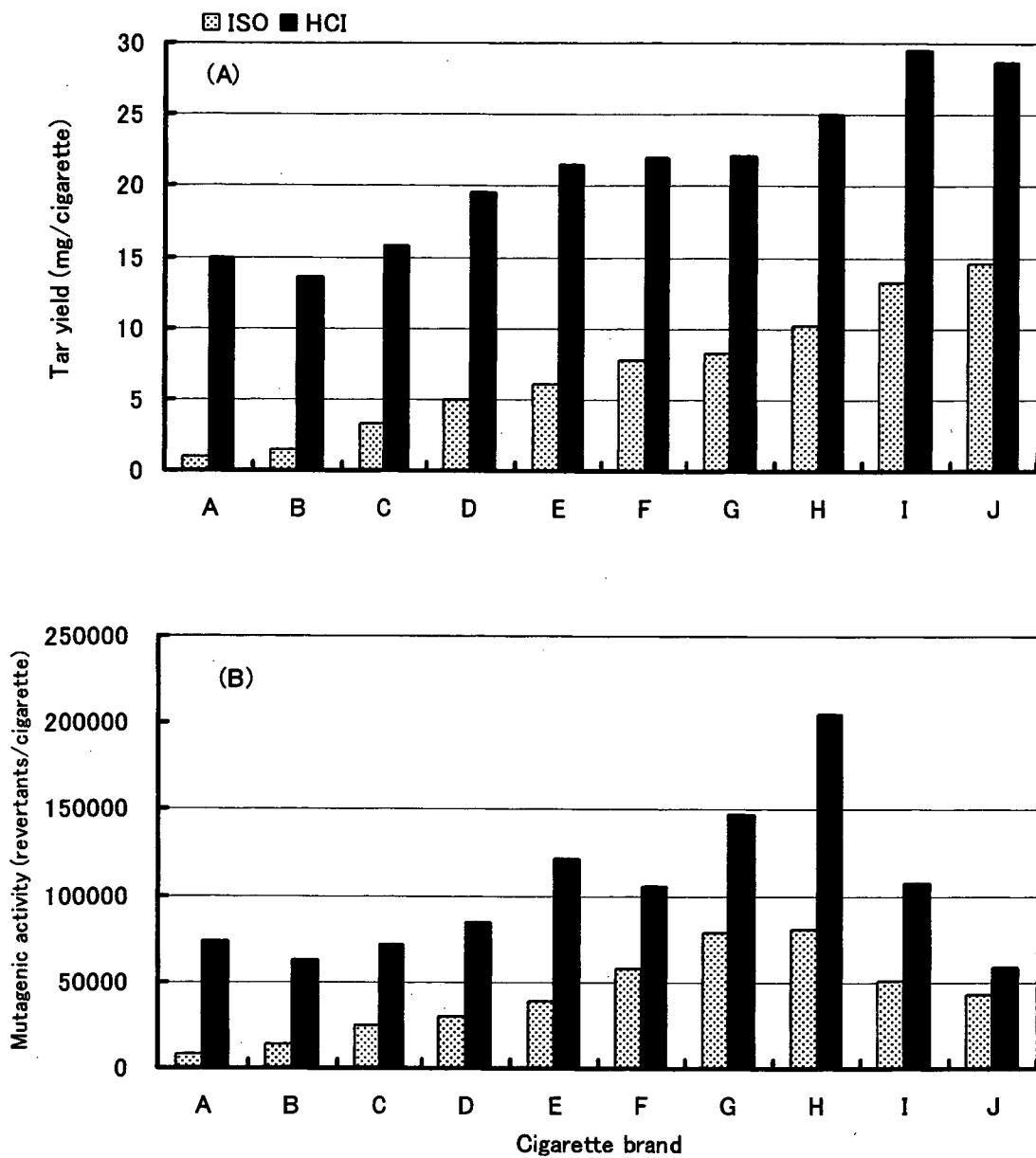


Fig. 2 Tar yield (A) and mutagenic activity (B) of major cigarettes in Japan

The dotted bar represents results with ISO regimen and the closed bar represents those with HCl regimen. Tar means nicotine-free dry particulate matter (NFDPM). Mutagenicity test was conducted by preincubation procedure using Salmonella YG1024 strains with S9 mix.

Table 1 Cigarette samples tested

Brand name	Tar (mg/cig)	Nicotine (mg/cig)	Filter type ^a	Vent. Hole	Market Share (%)	Product lots
A PIANISSIMO One	1	0.1	P	2	1.6	I 01767019, II 01727027, III 01767P04
B MILD SEVEN ONE	1	0.1	DC	4	3.8	b I 35057P03, II 08237P16, III 35017P04
C MILD SEVEN EXTRA LIGHTS	3	0.3	DC	2	3.5	I 30817020, II 30817028, III 30747022
D Caster MILD	5	0.4	NC	2	2.9	I 01517022, II 29247P04, III 30847005
E MILD SEVEN SUPER LIGHTS	6	0.5	DC	2	7.7	I 01547016, II 01547008, III 01547012
F CABIN MILD	8	0.6	NC	1	1.9	I 37517P02, II 37537P02, III 37537P06
G MILD SEVEN LIGHTS	8	0.7	DC	1	7.3	I 30717026, II 01557P05, III 01567P04
H MILD SEVEN ORIGINAL	10	0.8	DC	1	6.0	I 29277023, II 01517006, III 01547028
I HOPE	14	1.1	P	0	1.4	I 371327027, II 371217P12, III 371227P09
J Seven Stars	14	1.2	DC	0	6.8	b I 37577026, II 37577P04, III 37587P15

a) P: plain, DC: dual charcoal, NC: neo charcoal

b) shares include box type package

Table 2 ISO and HCI sampling regimen

	ISO	HCI
Puff Volume	35mL	55mL
Puff Duration	2 sec	2 sec
Puff Frequency	60 sec	30 sec
Vent Blocking	0%	100%
Intake volume	280-350mL	440-605mL

Table 3 Analysis condition of GC-TCD

GC-TCD	Shimadzu GC-2014
Column	Porapak Q (2.0 m × I.D. 3.0 mm, 80~100 mesh, stainless) 170 °C
Carrier gas	Pure He gas (>99.999%), 30 ml/min
Injector	250 °C
Detector	250 °C
Injection volume	2 μl

Table 4 Analysis condition of GC-MS

GC	HEWLETT PACKARD HP 6890
MS	Agilent 5975 inert/N
Column	DB-17 (J&W Scientific, 30 m × 0.25 mm I.D. × 0.25 mm, 50 °C (2 min hold) → (15 °C/min) → 200 °C → (5 °C/min) → 280 °C (5 min hold)
Carrier gas	Pure He gas (99.999%), 1.0 ml/min
Injector	250 °C (splitless)
Ion source	230 °C
Interface to MS	280 °C
Ionization method	Electron Ionization (EI)
Ionization voltage	70 eV
MS acq. mode	SIM mode
Target ion (m/z)	Nicotine: 84, 161 Isoquinoline: 129
Injection volume	1 μl

Table 5 Nicotine, water and particulate matter yields of 10 major cigarettes in Japan

Cigarette	Regimen	Chemical yields (mg / cigarette)							
		TPM		Nicotine		Water		NFDPM (Tar)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
A	ISO	1.62	0.11	0.20	0.01	0.43	0.06	1.00	0.08
	HCI	21.02	0.95	0.89	0.01	5.17	0.64	14.96	0.85
B	ISO	1.96	0.44	0.19	0.03	0.36	0.21	1.41	0.39
	HCI	20.26	1.91	0.97	0.07	5.70	1.30	13.60	0.61
C	ISO	4.25	0.80	0.32	0.02	0.67	0.06	3.26	0.77
	HCI	25.18	1.48	1.28	0.19	8.13	0.65	15.78	1.75
D	ISO	6.56	0.93	0.47	0.06	1.13	0.31	4.98	0.56
	HCI	30.93	0.36	1.29	0.07	10.08	0.33	19.56	0.56
E	ISO	7.75	0.61	0.53	0.05	1.13	0.15	6.07	0.47
	HCI	33.38	0.90	1.40	0.08	10.52	0.57	21.44	1.37
F	ISO	10.32	0.16	0.63	0.03	1.93	0.15	7.77	0.12
	HCI	34.19	1.29	1.46	0.08	10.77	0.48	21.94	0.99
G	ISO	10.55	0.16	0.66	0.05	1.63	0.06	8.26	0.12
	HCI	35.46	1.05	1.52	0.09	11.84	0.70	22.10	1.25
H	ISO	12.61	0.77	0.78	0.12	1.57	0.12	10.26	0.55
	HCI	39.51	2.12	1.81	0.17	12.60	1.66	25.07	0.90
I	ISO	18.29	1.91	0.95	0.06	4.11	0.64	13.23	1.23
	HCI	47.51	4.58	2.04	0.04	15.97	0.95	29.50	4.04
J	ISO	18.70	1.59	1.11	0.13	3.14	0.69	14.55	0.84
	HCI	45.31	1.23	2.21	0.20	14.40	0.78	28.70	0.83

TPM: total particulate matter, also known as crude smoke condensate

NFDPM: nicotine-free dry particulate matter, sometime referred to as "tar", defining as TPM after deduction of its water and nicotine contents

Table 6 Mutagenic activity of 10 major cigarettes in Japan

Cigarette	Regimen	Tar (mg/cig)	Mutagenic activity (revertants / cigarette)					
			TA100		TA98		YG1024	
			-S9	+S9	-S9	+S9	-S9	+S9
A	ISO	0.9	neg	neg	neg	1690	neg	8140
	HCI	15.4	4320	3970	neg	13200	1300	74000
B	ISO	1.5	neg	neg	neg	2040	neg	14100
	HCI	13.6	3030	neg	1590	12200	neg	62700
C	ISO	3.9	(1520)	neg	(680)	4790	neg	24900
	HCI	17.1	(4180)	neg	(2090)	13600	neg	71600
D	ISO	5.5	(4900)	(1760)	neg	4820	neg	29600
	HCI	19.9	15200	11100	neg	18000	neg	85100
E	ISO	6.3	9060	(3590)	neg	9210	neg	38500
	HCI	22.8	26600	9420	neg	23700	neg	122000
F	ISO	8.3	(1620)	3190	neg	5650	(750)	57300
	HCI	20.2	(5560)	7220	neg	14200	(2020)	106000
G	ISO	8.1	11200	5370	neg	13300	neg	78600
	HCI	24.4	24900	(6860)	neg	20300	neg	147000
H	ISO	10.5	(5100)	(3860)	neg	10800	neg	80900
	HCI	25.9	20000	17600	neg	31200	neg	205000
I	ISO	14.2	(3450)	(3250)	neg	7450	(1340)	50500
	HCI	32.8	neg	(9080)	neg	11700	(3270)	108000
J	ISO	14.8	neg	(6110)	neg	7710	neg	43200
	HCI	30.3	29100	(5170)	neg	17000	neg	58500

neg: negative, numbers in parenthesis indicate pseudopositive

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）
分担研究報告書

喫煙装置を用いて捕集されたたばこ主流煙中多環芳香族炭化水素の分析

分担研究者 後藤純雄 麻布大学（国立環境研究所）

研究要旨

WHOたばこ規制枠組み条約に基づく TobLabNet 研究活動の一環として、国産主要 10 銘柄の主流煙中多環芳香族炭化水素（PAH）の GC/MS 測定法について検討した。シリカゲル固相処理を行うことにより発がんに関連性の高い 4 環以上の PAH11 成分の測定が可能であった。得られた手法を用いて、ISO 法及び HCl 法で得られたたばこ主流煙中に含まれる PAH 量を測定したところ、①ISO 法より HCl 法で得られた試料に含まれる PAH 濃度が高いこと、②基本データでニコチン量やタール量が多い銘柄ほど主流煙中に含まれる PAH 濃度も高くなることが認められた。これらの結果から、タール分の多い銘柄のたばこ喫煙は、人の健康への影響が大きいことが示唆された。また、主流煙中のニコチン量はフィルター部の穴の数にも影響されることも考えられたが、喫煙状態(条件)にも大きく影響されることが認められた。

A. 研究目的

たばこの煙は、室内空気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が含まれている。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事項とされ、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・低ニコチン化が進められ、健康影響の低減化を表現した商品が多くなっている。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。たばこに関する研究で先進的なカナダでは、ISO 法よりも厳しい条件で実際の喫煙状態に近い測定を行っている。本研究では国産たばこ主要 10 銘柄を用いて、ISO 法とカナダ保健省の推奨する方法(HCl 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群である多環芳香族炭化水素(PAH)類を測定し比較検討した。

B. 研究方法

(1) 試薬類

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 10 銘柄を選び、試験に供した。選んだものは、ピアニッシモワン、マイルドセブンワン、マイルドセブンエクストラライト、キャスターマイルド、マイルドセブンスーパーライト、キャビンマイルド、マイルドセブンライト、マイルドセブンオリジナル、ホープ及びセブンスターの 10 銘柄である。タール量やニコチン量などの基本データを表-1 に示す。

主流煙の捕集にはガラス繊維ろ紙(44mmφ, Borgwaldt Technik 社製)を用いた。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)を用いた。PAH 測定用試料の精製にはシリカゲルカートリッジ(Sep Pack Plus Silica, Supelco 社製)を用いた。

GC/MS 測定用 PAH 類の標準物質として、Naphthalene (国産化学), 2-methylnaphthalene (2MeNA: 和光純薬), 1-methylnaphthalene(1MeNA: AccStandard), Biphenyl (東京化成), Acenaphthylene (和光純薬), Acenaphthene (和光純薬), Fluorene (東京化成), Phenanthrene (東京化成), Anthracene (和光

純薬), Fluoranthene (和光純薬), Pyrene (東京化成), Benz[a]anthracene (BaA : 和光純薬), Chrysene (和光純薬), Benz[b]fluoranthene (BbF : 和光純薬), Benz[j]fluoranthene (BjF : 和光純薬), Benz[k]fluoranthene (BkF : Aldrich Chem Co), Benz[e]pyrene (BeP : Aldrich Chem Co), Benz[a]pyrene (BaP : 東京化成), Indeno[123-cd]pyrene (IndCDP : Aldrich Chem Co), Dibenz[a,h]anthracene (dBahA : 和光純薬), Benzo[ghi]perylene (BghiP : Aldrich Chem Co), 以上 21 成分を用いた。また、PAH の定量には d8-Naphthalene (和光純薬), d10-Chrysene (和光純薬)及び d12- Benz[a]pyrene (和光純薬)をそれぞれ内部標準として用いた。

(2) 装置

自動喫煙装置には Borgwaldt 社製 LM-1 形を用いた。

PAH 測定には Agilent 社製 GC/MS、GC6890-MSD5975C を用いた。

(3) 主流煙の捕集

喫煙条件はISO法¹⁾及びHCl法²⁾の 2 通りの方法に従って実施した。自動喫煙装置を用いて被検たばこを燃焼させ、その主流煙をガラス繊維ろ紙に採取した。即ち、ISO法では 1 服につき 2 秒間で 35 mL 吸引、1 分ごとに 1 服させ、フィルターの手前 3 mm まで喫煙させた。また、ろ紙 1 枚につき 5 本分の主流煙を捕集した。一方、HCl法では 1 服につき 2 秒間で 55 mL 吸引、30 秒ごとに 1 服させ、フィルターの手前 3 mm まで喫煙させた。なお、HCl法では、たばこのフィルター部にある穴を塞いでおり、ISO法では穴を塞がずに捕集した。1 枚のろ紙には 3 本分の主流煙を捕集した。主流煙を捕集したガラス繊維ろ紙はアルミホイルに包み、抽出まで -30℃ で冷蔵保存した。

(4) PAH 分析

PAH 類の抽出は、ガラス繊維ろ紙に 2-プロパノール 20 mL を加えて振盪抽出を行った。得られた粗抽出液のうち 1 mL を PAH 分析用試料とし、これをシリカゲルカートリッジを用いて精製した。N₂ 気流下で溶媒を留去した後、d8-Naphthalene, d10-Chrysene 及び d12- Benz[a]pyrene を内部標準として添加し、GC/MS 測定に供した。GC/MS 測定は

選択イオン検出法(SIM法)を用い、内部標準法により定量を行った。

C. 研究結果

(1) GC/MS による PAH 類の測定

たばこ主流煙の粗抽出液は茶褐色に着色していたため、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。また、実試料の測定に先立ち、たばこ煙抽出液 (n=5) に混合溶液 (各 PAH 21 化合物 20 ng) を添加し、シリカゲルカートリッジ処理における PAH の回収率を求めた。その結果を表-2 に示す。Biphenyl ではほとんど回収されず、環数が 2 環あるいは 3 環の一部の PAH では非常に低い回収率となり、そのばらつきも大きかった。一方、発がんに関連性の高い 4 環以上の PAH では回収率はほぼ 80% 以上となり、変動係数も約 10% 程度の良好な結果が得られた。この前処理過程を行なった場合、定量可能と考えられるのは Pyrene(4 環)から、BghiP(6 環)までの 11 成分であった。

(2) PAH 類の GC/MS と HPLC-蛍光検出器の比較

たばこ煙中の PAH 類の分析について、昨年度の分担研究では HPLC-蛍光検出法を用いた。本年度は分離能を考慮し多成分の PAH 測定を目標に GC/MS 法の検討を行った。そこで、たばこ煙中の PAH について GC/MS 法と HPLC 法による測定値の比較を行った。その結果を表-3 及び図-1a~図-1c に示す。なお、本検討には Pyrene, BaA 及び BaP の 3 成分について、3 銘柄、13 試料 (喫煙条件は ISO 法 4 試料、HCl 法 9 試料) とした。図-1 には GC/MS 測定値と HPLC 測定値の関係を示してある。その結果、Pyrene(図-1a)及び BaA (図-1b) ではほぼ同等の測定値が得られたが、BaP (図-1c) では GC/MS 法が HPLC-法よりも若干低い値を示す傾向があった。

(3) GC/MS による 11 種の PAH の測定結果

主流煙中 PAH 類の測定結果を表-4 に示す。表-4 から、各銘柄とも主流煙 1 本あたりの PAH 量は ISO 法で得られた試料より HCl 法で得られたものが大変に高い濃度を示した。また、各成分の濃度は、IARC (Volume 83)³⁾ で報告されている濃度とほぼ同じレベルであった。今回測定した 11 種の PAH

の存在比率を図-2に示す。図-2は横軸にはたばこ銘柄と喫煙条件(ISO法とHCl法)を示してある。また、図-2から、PAHの存在比率は喫煙条件の違いではあまり変わらないことやPyrene, BaA及びChryseneが主成分であることが判った。

基本データのタール量やニコチン量が多い試料ではPAH濃度が高い状況であったため、そのニコチン量と今回測定したPAH濃度との関係を図-3に示した。図-3から、ニコチン量と総PAH濃度はどちらの喫煙条件でも良い相関が認められた(ISO法： $R^2 = 0.845$ 、HCl法： $R^2 = 0.682$)。

D. 考察

(1) GC/MSによる主流煙中 PAH 類の測定

主流煙中に含まれる PAH 類の GC/MS による測定について検討した。たばこ煙試料は妨害物質が非常に多く、シリカゲルカードリッジなどによる前処理が必要であった。表-2の添加回収試験から、3環以下の PAH 類では回収が低くなり、シリカゲルカートリッジ処理濃縮操作による損失が考えられた。また、測定可能と判断された成分は Pyrene 等 4 環以上の 11 成分であった。今回検討した GC/MS 法は HPLC 法ともほぼ良好な相関関係を示すことが認められた。以上のことから、たばこ煙中で発がんに関連性の高い4環以上の PAH 化合物の多成分一斉分析が GC/MS 法でも可能であることが認められた。

(2) ISO 法と HCl 法の比較

表-4にたばこ 10 銘柄の ISO 法及び HCl 法で得られた試料の測定結果を示す。ISO 法に比べ実際の喫煙条件に近い HCl 法で PAH 濃度は高い濃度となったが、どちらの条件においても、図-2に示すように Pyrene, BaA 及び Chrysene などの主成分存在比率はあまり変わらなかった。また、得られた総 PAH 濃度とニコチン濃度 (基本データ) の関係を図-3に示した。図-3より、ニコチン量が多いたばこの銘柄ほど高濃度の PAH が主流煙中に含まれていることも認められた。HCl 法で高い総 PAH 量を示した原因のひとつとして、HCl 法ではフィルター部の穴を塞いだ形で試験しており、主流煙の希釈が ISO 法の場合よりも低くなったことが考えられた。更に、HCl 法では、たばこ燃焼部

の空気供給量が増えており、燃焼部での温度も ISO 法の場合よりも高くなっていったものと考えられる。従って、フィルター部の穴を塞いだ様な HCl 方式による喫煙は、当該物質の曝露リスクを大幅に上昇されるものと思われた。

E. 結論

たばこ主流煙中 PAH の GC/MS 測定法について検討したところ、シリカゲル固相処理を行うことにより発がんに関連性の高い4環以上の PAH11 成分の測定が可能であった。検討した手法を用いて、ISO 法及び HCl 法で得られたたばこ主流煙中に含まれる PAH 量を測定したところ、①ISO 法より HCl 法で得られた試料に含まれる PAH 濃度が高いこと、②基本データでニコチン量やタール量が多い銘柄ほど主流煙中に含まれる PAH 濃度も高くなることが認められた。以上のことから、タール分の多い銘柄のたばこ喫煙は、人の健康への影響が大きいことが示唆された。また、主流煙中のニコチン量はフィルター部の穴の数にも影響されることも考えられたが、喫煙状態(条件)にも大きく影響されることが認められた。したがって、実際の喫煙状態やたばこ銘柄等を把握し、実状に合った試料採集や分析条件での評価が必要であると考えられる。

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)

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Tin-Tin-Win-Shwe, D. Mitsushima, D. Nakajima, S. Ahmed, S. Yamamoto, S. Tsukahara, M. Kakeyama, S. Goto, H. Fujimaki; Toluene induces rapid and reversible rise of hippocampal glutamate

- and taurine neurotransmitter levels in mice using in vivo microdialysis. *Toxicology Letters*, 168, 75-82 (2007)
- 2) 陰地義樹、武田耕三、松浦洋文、芳賀敏実、中島大介、高木敬彦、後藤純雄：空气中真菌類の分子マーカーとしてのエルゴステロールの大量注入GC-MS分析、*環境化学*, 17:47-52 (2007)
 - 3) Harunobu Nakashima, Daisuke Nakajima, Yukihiko Takagi, Sumio Goto: Volatile organic compound (VOC) analysis method and anti-VOC measures in water-based paints. *Journal of Health Science*, 53: 311-319 (2007)
 - 4) Tin-Tin-Win-Shwe, Shoji Yamamoto, Daisuke Nakajima, Akiko Furuyama, Atsushi Fukushima, Shohel Ahmed, Sumio Goto, Hideyuki Fujimaki: Modulation of neurological related allergic reaction in mice exposed to low-level toluene. *Toxicology and Applied Pharmacology* 222: 17-24 (2007)
 - 5) Sumio Goto, Xiong Junfen Daisuke Nakajima, Kazuho Inaba, Michio Ohata, Shyuji Yoshizawa, Hirofumi Yajima, Shin-ichi Sakai: A Method for Removing Copper from Carbonized Waste Wood Using an Electrical Current. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 79: 126-129 (2007)
 - 6) D. Nakajima, S. Nagame, H. Kuramochi, K. Sugita, S. Kageyama, T. Shiozaki, T. Takemura, F. Shiraishi, S. Goto: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Generation Behavior in the Process of Carbonization of Wood. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 79: 221-225 (2007)
 - 7) 中島大介、影山志保、白石不二雄、鎌田 亮、永洞真一郎、高橋 悟、大金仁一、大谷仁己、堀内孝信、渡邊雅之、濱根貴志、山根一城、原口公子、陣矢大助、門上希和夫、後藤純雄、鏑迫典久、白石寛明、鈴木規之：河川水中の遺伝毒性物質モニタリングへの発光umu試験の適用性について、*環境化学*, 17: 453-460 (2007)
 - 8) Tin-Tin-Win-Shwe, Shinji Tsukahara, Shohel Ahmed, Atsushi Fukushima, Shoji Yamamoto, Masaki Kakeyama, Daisuke Nakajima, Sumio Goto, Takahiro Kobayashi and Hidekazu Fujimaki: Athymic nude mice are insensitive to low-level toluene-induced up-regulation of memory-related gene expressions in the hippocampus, *NeuroToxicology* 28: 957-964 (2007)
 - 9) Yamamoto N, Muramoto A, Yoshinaga J, Shibata K, Endo M, Endo O, Hirabayashi M, Tanabe K, Goto S, Yoneda M, Shibata Y. Comparison of carbonaceous aerosols in Tokyo before and after implementation of diesel exhaust restriction. *Environ. Sci. & Technol.* 41:6357-6362 (2007).
 - 10) 遠藤治、鈴木元、緒方裕光、後藤純雄。たばこの煙の有害性と諸外国の動向。日本禁煙医師連盟通信, 16 : 1-4 (2007)。
 - 11) Endo O, Matsumoto M, Inaba Y, Sugita K, Nakajima D, Goto S, Ogata H, Suzuki G. Chemical toxicants in mainstream smoke of major cigarettes in Japan with smoking machine - Nicotine, Tar and its mutagenicity - Tobacco Control (in preparation)
- ## 2. 学会発表
- 1) 影山志保、中島大介、高木敬彦、遠藤治、大森清美、伏脇裕一、白石不二雄、鈴木規之、後藤純雄。大気中の粒子状及びガス状変異原の測定、第16回環境化学討論会、2007年6月、北九州
 - 2) Endo O, Matsumoto M, Sugita K, Nakajima D, Goto S, Ogata H, Suzuki G. Mutagenicity of Mainstream Smoke Condensate of Major Cigarettes in Japan with Smoking Machine: Abstracts of 1st Asian Conference on Environmental

Mutagens / 36th Annual Meeting of the
Japanese Environmental Mutagen Society,
2007 Nov., Kitakyushu

- 3) 松本真理子、杉田和俊、中島大介、後藤純雄、
小谷野道子、遠藤治、鈴木元. 喫煙装置を用
いて捕集されたたばこ煙中の水分分析. 室内
環境学会, 2007年11月, 仙台
- 4) 杉田和俊、小谷野道子、松本真理子、中島
大介、後藤純雄、緒方裕光、遠藤治、鈴木
元. 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. 室内環境学
会, 2007年11月, 仙台

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表-1 試験に用いたたばこ銘柄(国産)とその基本データ(表示値)

Cigarette Sample Tested	Tar (mg/cig.)	Nicotine (mg/cig.)	Filter Type*	Ventilation Hole (No./cig.)
A PIANISSIMO ONE	1	0.1	P	40
B MILD SEVEN ONE	1	0.1	DC	200
C MILD SEVEN EXTRA LIGHTS	3	0.3	DC	100
D CASTER MILD	5	0.4	NC	90
E MILD SEVEN SUPER LIGHTS	6	0.5	DC	100
F CABIN MILD	8	0.6	NC	50
G MILD SEVEN LIGHTS	8	0.7	DC	50
H MILD SEVEN ORIGINAL	10	0.8	DC	50
I HOPE	14	1.1	P	0
J SEVEN STARS	14	1.2	DC	0

*)P:plain DC:dual charcoal NC:neo charcoal

表-2 シリカゲルカートリッジ処理時のPAH回収率

PAHs	Recovery (ng)*	C.V. (%)	Recovery Ratio (%)
Naphthalene	1.4	929.6	6.9
2MeNA	5.2	526.1	26.1
1MeNA	11.0	83.8	55.2
Biphenyl	0.0	—	—
Acenaphthylene	11.6	186.6	58.1
Acenaphthene	11.9	13.3	59.5
Fluorene	17.0	131.1	84.8
Phenanthrene	6.8	110.7	33.9
Anthracene	4.8	178.3	24.0
Fluoranthene	15.8	12.0	78.8
Pyrene	16.2	10.1	80.9
BaA	18.2	3.1	90.9
Chrysene	17.9	3.8	89.6
BbF	19.7	2.9	98.5
BkF	17.9	2.2	89.6
BjF	18.1	2.4	90.3
BeP	21.3	5.4	106.4
BaP	18.4	2.9	91.9
IndCDP	15.9	6.0	79.6
dBahA	16.2	4.0	81.1
BghiP	17.0	3.8	85.0

* : 20 ng added, C.V. = coefficient of variation

表-3 GC/MS及びHPLC測定によるPAH濃度 (ng/cig.)の比較

Sampling Method*	GC/MS			HPLC		
	Pyrene	BaA	BaP	Pyrene	BaA	BaP
HCI-1	79.9	29.3	15.6	77.9	29.9	16.9
HCI-2	63.9	24.3	11.8	64.9	26.0	14.7
HCI-3	83.4	29.3	14.9	78.5	28.7	16.2
HCI-4	88.5	22.8	11.5	73.4	22.5	13.3
HCI-5	86.3	27.1	12.3	79.6	24.7	15.0
HCI-6	82.7	25.9	12.3	82.6	24.3	15.0
HCI-7	76.8	23.8	7.3	70.3	22.8	13.4
HCI-8	80.1	26.7	9.7	66.0	23.4	13.3
HCI-9	77.2	22.1	9.9	71.2	21.3	12.1
ISO-1	30.2	11.2	6.5	30.5	12.0	6.9
ISO-2	36.7	12.0	5.8	36.3	10.7	6.8
ISO-3	25.5	9.6	6.3	26.7	10.2	5.7
ISO-4	31.5	9.6	3.5	30.1	8.9	5.4

* ISO : ISO Method, HCI : CANADA Method

表-4 GC/MSによるたばこ主流煙中のPAH濃度測定結果 (ng/cig)

Cigarette Sample	Pyrene		BaA		Chrysene		BbF	
	ISO	HCI	ISO	HCI	ISO	HCI	ISO	HCI
A	9.6	63.0	3.1	17.9	3.1	22.8	ND	9.4
B	12.6	51.9	4.4	13.3	4.4	19.3	ND	2.2
C	20.2	71.4	5.3	17.7	8.1	25.0	ND	7.4
D	39.1	57.7	10.3	22.1	17.8	25.7	4.4	8.0
E	28.5	78.0	9.6	24.2	13.1	31.6	4.4	11.6
F	43.1	90.8	12.7	26.2	17.5	36.3	5.9	12.5
G	33.5	85.9	11.6	25.2	15.8	33.6	5.3	12.1
H	55.5	95.2	16.7	25.7	22.8	35.6	6.8	11.3
I	74.6	135.4	21.1	39.8	29.9	56.5	7.6	15.1
J	67.3	87.8	21.0	26.8	29.1	37.4	9.0	11.5

Cigarette Sample	BkF		BjF		BeP		BaP	
	ISO	HCI	ISO	HCI	ISO	HCI	ISO	HCI
A	ND	9.7	ND	11.5	ND	8.8	ND	11.7
B	ND	4.5	ND	5.2	ND	6.5	ND	7.5
C	ND	7.6	ND	9.2	3.6	6.7	3.7	9.2
D	4.3	7.8	5.3	9.9	5.4	9.1	5.4	13.9
E	ND	3.7	2.0	5.2	2.4	5.9	4.9	9.0
F	5.7	12.9	7.0	15.5	16.1	10.8	20.1	14.9
G	2.0	4.0	2.4	5.3	3.4	7.1	6.1	12.0
H	7.0	11.5	8.6	14.1	8.3	11.6	10.8	14.5
I	7.9	15.5	9.5	12.6	5.5	10.9	10.9	20.4
J	5.4	9.2	5.0	10.1	5.2	9.4	12.8	16.3

Cigarette Sample	IndCDP		BghiP		Σ PAHs		Ratio
	ISO	HCI	ISO	HCI	ISO	HCI	HCI/ISO
A	ND	14.2	ND	4.1	15.8	173	10.94
B	ND	3.5	ND	ND	23.5	114	4.84
C	2.3	8.1	ND	ND	44.7	162	3.63
D	8.3	15.9	3.4	1.7	104	172	1.66
E	ND	6.5	ND	ND	66.5	176	2.64
F	11.2	20.2	2.4	5.1	142	245	1.73
G	ND	14.5	ND	ND	80.1	200	2.49
H	12.9	19.0	3.0	3.4	152	242	1.59
I	14.1	26.2	3.2	6.1	184	338	1.84
J	18.2	22.3	2.5	3.9	175	235	1.34

ISO:ISO Method, HCI:CANADA Method
 ND ; not detected (detection limit : 2 ng/cig.)

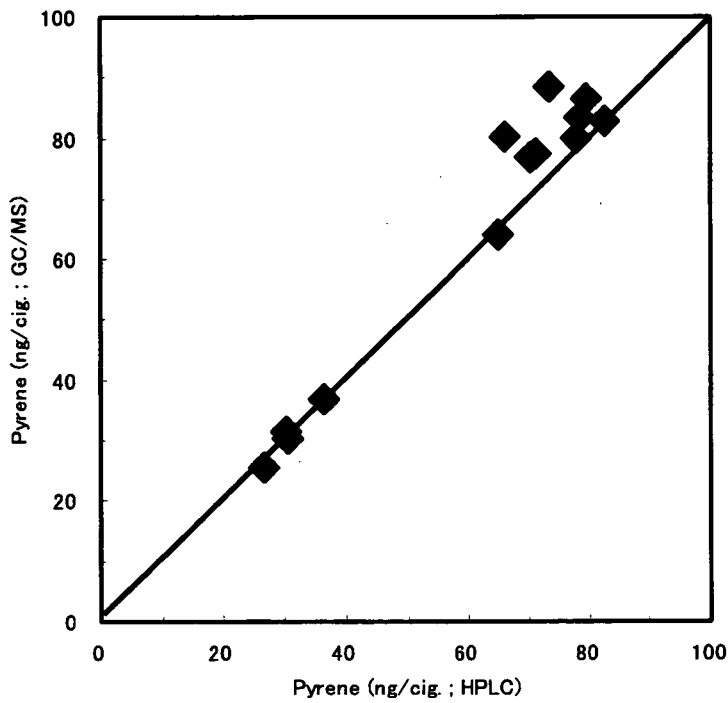


図-1a GC/MSとHPLCによるPyrene測定値の関係

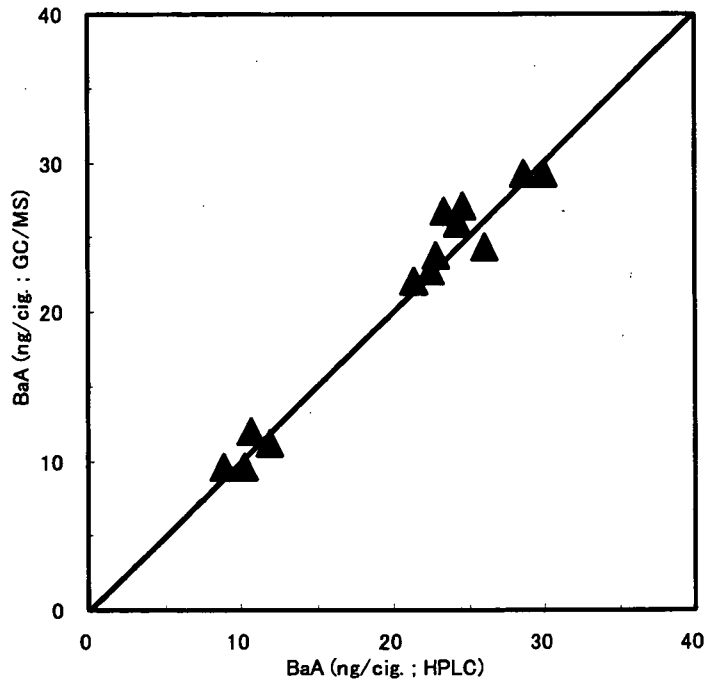


図-1b GC/MSとHPLCによるBaA測定値の関係