

令和2年度厚生労働行政推進調査事業費補助金
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
分担研究報告書

たばこ葉及びたばこ主流煙の金属類の分析

分担研究者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院
分担研究者 牛山 明 国立保健医療科学院
研究協力者 瀬戸口 流星 東京薬科大学

研究要旨

たばこには金属類が含まれていると報告されている。なかでも金属類には国際がん研究機関により、発がん性がある、または、おそらく発がん性があると分類されているカドミウム (Cd)、鉛化合物 (Pb) などが含まれる。そのため、金属類の継続的な定量はたばこ製品の実態を把握するうえで重要である。しかし、国内の分析値は報告が少なく、分析法も標準化されていない。そこで本研究は、分析法の確立とたばこ葉及び主流煙中の金属類の定量、たばこ葉から主流煙中への移行率の分析を行い国内で販売されるたばこ製品の実態把握を目的とした。

たばこ試料は、標準たばこの 3R4F、1R6F の 2 銘柄と、国産たばこ 10 銘柄、外国産たばこ 10 銘柄、リトルシガー 5 銘柄、加熱式たばこの glo、IQOS の 2 種類の計 29 種類を使用した。たばこ葉中の金属類の分析は、たばこ葉を硝酸で一晩反応させ、その後マイクロウェーブ処理により有機物を分解した後、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MSMS) で分析を行った。たばこ主流煙の捕集は自動喫煙装置を用い、ヒトの喫煙行動に近い HCl 法で行った。金属類の捕集は静電捕集装置を接続し、ガラス管に捕集を行った。その後、前処理を行い、ICP-MSMS に供した。分析対象は 9Be、24Mg、27Al、52Cr、55Mn、58Ni、60Ni、59Co、63Cu、66Zn、75As、111Cd、112Cd、208Pb とした。

たばこ葉の金属類は、全てのたばこ銘柄、測定対象成分について検出・定量が可能であった。国産たばこ主流煙中の平均値 (ng/cig) は Al:329±183、Cr:10.5±6.00、As:6.60±2.37、Cd:76.1±36.2、Pb:32.4±14.3、外国産たばこは Al:257±153、52Cr:8.44±5.56、As:5.00±2.01、Cd:71.2±44.3、Pb:31.7±9.42、リトルシガーは Al:345±133、Cr:10.6±3.47、As:6.49±2.20、Cd:95.5±33.8、Pb:34.4±7.86、加熱式たばこは Al:155±45.3、Cr:0.23±0.10、As:0.60±0.28、Cd:0.01±0.00、Pb:0.51±0.35 となった。たばこに含まれる金属類は土壌や農薬由来の為、銘柄・産地によって変化することが考えられる。加熱式たばこの健康影響は個別で見ると数値は低い為、有害化学物質数は紙巻きたばこと変わらないため、長期的な調査が必要であると考えられる。

A. 研究目的

たばこに含まれる有害化学物質

たばこに含まれる有害化学物質には、代表的なものでニコチン、ベンゾ[a]ピレン、たばこ特異的ニトロソアミン (tobacco specific nitrosamines; TSNA)、揮発性有機化合物などがある。ニコチンは強い依

存性を持っている。ベンゾ[a]ピレンと TSNA は発がん性を持つ。揮発性有機化合物にはベンゼン、1,3-ブタジエンなどの発がん性物質やトルエンなどの毒性をもつ成分が報告されている。このように有機化合物による健康影響が懸念されているが、さらに無機成分として一酸化炭素のような無

機ガス、金属類なども報告されている。ヒ素及び無機ヒ素化合物、ベリリウム、カドミウム、六価クロム化合物は IARC によって Group1 に、無機鉛化合物は IARC によって「おそらく発がん性がある」Group2A に分類されている (1)。

また、ヒ素、ベリリウム、カドミウム、六価クロム化合物は発がん性以外にも毒性を持つ。ヒ素は皮膚疾患や代謝疾患、神経疾患などを引き起こす。ベリリウムは細胞組織に対して腐食性であり、慢性ベリリウム症と呼ばれる致死性の慢性疾患を引き起こす。カドミウムは慢性毒性では腎機能障害やイタイイタイ病を引き起こした。六価クロム化合物は皮膚・呼吸器粘膜の腐食や潰瘍を引き起こす (2)。そのため、たばこ葉及びたばこ主流煙の金属類の分析は喫煙者の健康影響を評価するうえで重要である。

金属類の分析法

金属類の分析法は、原子吸光分析法、誘導結合プラズマ発光分析法 (Inductivity coupled plasma optical emission spectrometer ; ICP-OES)、誘導結合プラズマ質量分析法 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry ; ICP-MS) などがある。原子吸光度法は多元素同時定量分析ができないことや検量線の範囲が狭いという欠点があり、ICP 発光分析法は分析前処理の酸による適切な溶液化や分光干渉に注意した解析処理が困難という欠点がある。誘導結合プラズマ質量分析法は他元素同時定量が可能であること、分析前処理が簡便である。さらに、ICP-OES と比較して 2~3 桁ほど高感度であるため、超微量元素の測定が可能である。そのため、たばこ主流煙中の金属類の分析には ICP-MS が適切であると考えられる。

先行研究

これまでに、標準たばこ中の金属類の分析の報告は数例 (3) あるが、国内で販売されているたばこ銘柄の報告例は少なく、喫煙装置を使用した分析法でないといった分析精度による課題がある。また、分析法の標準化が進んでいないなどの国際的な課題もある。また、海外の先行研究ではたば

こ主流煙の金属類は静電捕集によって石英管を使用している。先行研究では、捕集後の石英管に付着した金属類を含むタールの回収に硝酸を使用している。しかし、この硝酸による回収が金属類の分析値のばらつきに影響を与えている可能性がある。次に、加熱式たばこは、加熱箇所に金属ブレードを使用している。そのため、加熱式たばこは、たばこ葉からの金属類の移行に加えて、金属ブレードからの移行も考えられる。そのため、加熱式たばこの主流煙金属類分析を行い、実態を把握することは必要である。しかしながら、加熱式たばこ装置が毎年のように更新されながら販売されているために報告値が少ない。

そこで本研究では、現在、前処理法が確立されていない紙巻たばこ及び加熱式たばこ主流煙中金属類の分析法確立を目的とした。さらに、紙巻たばこでは、国産たばこ、外国産たばこ、リトルシガー、加熱式たばこのたばこ葉及び主流煙中の金属類の分析と移行率の比較を目的とした。

B. 研究方法

3. 装置と試薬

装置

- 紙巻たばこ用自動喫煙装置 (LX20, BORGWALD KC 製)
- 加熱式たばこ用自動喫煙装置 (LM4E, BORGWALD KC 製)
- 静電捕集装置 (High Voltage Generator HV1, BORGWALD KC 製)
- エバポレーター (EYEL4 N-1200 型シリーズ, 東京理化学器械株式会社製)
- マイクロウェーブ装置 (ETHOS TOUCH CONTROL, MILESTONE 社製)
- 誘導結合プラズマ質量分析装置 (8800, Agilent Technologies 社製)

試薬

- メタノール (LC/MS 用, 和光純薬工業)
- 硝酸 (有害金属測定用, 和光純薬工業)
- 過酸化水素 (原子吸光分析用, 和光純薬工業)

- 超純水（日本ミリポア）
- ICP-MS/MS 用内部標準液（CERTIFICATE OF ANALYSIS, AccuStandard 社製）
- ICP 汎用混合液（Custom Assurance Standard, SPEX CertiPrep 社製）

2. たばこ試料

たばこ試料は、標準たばこの 3R4F、1R6F、CM8 と国産たばこ 10 銘柄（Table1）、外国産たばこ 9 銘柄（Table2）、リトルシガー5 銘柄（Table3）、加熱式たばこの IQOS と glo をそれぞれ 1 銘柄ずつ（Table4）の計 29 銘柄を使用した。またそれぞれのたばこ葉も使用した。リトルシガーとは、外観が紙巻たばこのような形状であり、1 箱 20 本入り 350 円程度で販売している葉巻きたばこである。値段が紙巻たばこと比較して 100 円以上安いために、ここ数年で急速に販売量が増加している。

たばこ試料の調製

たばこ葉及び主流煙捕集用たばこは、ISO-3402（4）に準じ、前処理操作前に 48 時間－10 日、温度 22±2℃、湿度 60±3% で恒湿化を行った後に金属類の分析に使用した。

3. 紙巻たばこ主流煙の捕集

紙巻たばこ主流煙の捕集は、自動喫煙装置（LX20, BORGWALD KC 製）と静電捕集装置（High Voltage Generator HV1, BORGWALD KC 製）で行った。喫煙法は、ヒトの喫煙行動に近く、カナダ保健省が推奨する HCI 法（吸引量 55 mL/回）を用いた（5）。HCI 法では、フィルター部分の通気孔をテープで完全に塞いで捕集を行った。金属類の捕集には自動喫煙装置に接続した静電捕集装置を用い約 17.5 kV を維持しガラス管へ捕集を行った。試料はガラス管 1 本あたりにたばこ主流煙 3 本分を捕集し 1 試料とした。

4. 加熱式たばこ主流煙の捕集

加熱式たばこ主流煙の捕集は、自動喫煙装置（LM4E, BORGWALD KC 製）と静電捕集装置（High Voltage Generator HV1, BORGWALD KC 製）を接続して行った。喫煙法は紙巻たばこと同様に HCI 法を用いた。紙巻たばこと異なる点は、自動喫煙装置の種類、吸引回数を加熱式たばこは 12 回で固定して行うこと、ガラス管 1 本あたりにたばこ主流煙 5 本分を捕集し、そのガラス管 2 本（計たばこ主流煙 10 本分）を 1 試料とした点異なる。それ以外は紙巻たばこ主流煙と同じ条件で捕集を行った。

5. たばこ葉及びたばこ主流煙中の金属類の分析

測定対象成分は、9Be、24Mg、27Al、52Cr、55Mn、60Ni、59Co、63Cu、66Zn、75As、111Cd、208Pb とした。

たばこ葉の金属類の分析は、たばこ葉約 0.3 g をマイクロウェーブ装置専用容器に入れ、そこに硝酸 10 mL を加え、一晚反応させたものをタイムプログラムに従ってマイクロウェーブ処理を行った。次に、分解溶液を PP フラスコで 100 mL に希釈し、誘導結合プラズマ質量分析装置（8800, Agilent Technologies 社製）に供して分析を行った。

たばこ主流煙の金属類の分析は R.Steven らの手法（3）を一部改良した手法を用いた。捕集後のガラス管、自動喫煙装置専用のホルダー、自動喫煙装置と静電捕集装置を繋いでいたチューブをメタノール（LC/MS 用、和光純薬工業）約 50 mL でナス型フラスコに洗いこんだ。得られた抽出液をエバポレーター（EYEL4 N-1200 型シリーズ、東京理化学株式会社製）で約 4 mL まで濃縮を行った。濃縮した溶液をテフロン製 50 mL 形ビーカーに移し、超純水（日本ミリポア）2 mL を加え、ホットプレート上で加熱濃縮（200℃）を行いながら、5%に調製した硝酸（有害金属測定用、和光純薬工業）約 2 mL と硝酸を約 4 mL 加えた。この硝酸溶液をマイクロウェーブ

ブ装置専用容器に入れ、硝酸を加えて全量約 10 mL にした後、マイクロウェーブ処理を行った。分解溶液は、たばこ葉と同様の処理で分析を行った。

標準溶液には ICP 汎用混合液 (Custom Assurance Standard, SPEX CertiPrep 社製) の濃度を 0.5、1、2、5、10、20、50、100、1000 ng/mL に 3%硝酸で調製した溶液を使用した。また、内部標準液は ICP-MS/MS 用内部標準液

(CERTIFICATE OF ANALYSIS, AccuStandard 社製) の濃度を 50 ng/mL に 3%硝酸で調整した溶液を使用した。

C. 結果及び考察

1. たばこ葉の金属類

標準たばこ

標準たばこは、たばこ製品の分析について国際基準となる紙巻たばこであり、ニコチンなどのたばこに含まれる主要な有害化学物質の値が公開されている。市場で販売されている紙巻たばこの成分は、販売国、年代によって変動することが報告されているため、分析法の比較には適していない。そこで本研究では、標準たばこによって他の分析法との比較検討を行った。標準たばこ銘柄のたばこ葉中金属類の分析結果を Table 5 に示す。なお、測定は 1 銘柄につき 10 回行った。結果は有害性が高いと予想される金属類 (Be、Cr、Ni、As、Cd、Pb)、たばこマーカである Al に注目した。たばこ 1 本あたりの平均値の範囲 ($\mu\text{g}/\text{本}$) は、9Be が 0.01-0.02、27Al が 221-497、52Cr が 0.57-1.11、60Ni が 1.20-1.53、75As が 0.09-0.22、111Cd が 0.14-0.82、208Pb が 0.31-0.44 であった。

発がん性や毒性のある金属類は銘柄によらず数 μg と低い値となり人体に与える影響は大きくないと考えられる (2)。また、各成分は銘柄間の最低値と最高値の比較は、111Cd の約 5.9 倍が最も高く、他の成分は約 1.2-2.4 倍となった。

標準たばこ葉中金属類の先行研究との比較

Fresquez らの先行研究 (6) と標準たばこ葉中金属類の比較を行った。結果を Table 6 に示す。比較対象は 3R4F たばこ葉中に含まれる 9Be、52Cr、55Mn、59Co、60Ni、75As、111Cd、Pb である。Pb は Fresquez の研究は質量数 206、207、208 を合計したものだが、本研究は質量数 208 で分析している。標準たばこ葉の結果 ($\mu\text{g}/\text{g}$) は、9Be が先行研究は 0.019、本研究が 0.019 であった。52Cr は 1.3 に対して 1.46 であった。さらに 75As は 0.33 に対して 0.29 であった。111Cd は 1.3 に対して 1.08 であった。最後に Pb が 0.64 に対して 0.58 であった。その他、55Mn、59Co、60Ni に関しても同様の傾向がみられた。標準たばこ葉中金属類の分析に先行研究と本研究との大きな差はなく、たばこ葉中金属類の分析は本方法で可能であると考えられる。

国産たばこ

国産たばこ銘柄のたばこ葉中金属類の分析結果を Table 7 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 5 回行った。たばこ 1 本あたりの範囲 ($\mu\text{g}/\text{本}$) は、9Be:0.005-0.02、27Al:142-631、52Cr:0.31-1.22、60Ni:0.66-1.32、75As:0.07-0.25、111Cd:0.64-1.60、208Pb:0.25-0.69 であった。

国産たばこでは、Meivius 10 が多くの成分で高値をとり、わかば、echo、Meivius one が多くの成分で低値をとる結果となった。この結果から、ブランドが同じであっても、分析値に差が出ることが分かった。また、同じ成分の銘柄間の最低値と最高値との比較では、Cdのみ約 2.5 倍であったが、他成分は約 2-4.4 倍と高かった。

外国産たばこ

外国産たばこ銘柄のたばこ葉中金属類の分析結果を Table 8 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 5 回行った。測定結果 ($\mu\text{g}/\text{本}$) は、9Be:0.01-0.03、27Al:257-844、52Cr:0.55-1.33、60Ni:0.95-1.50、75As:0.08-0.33、111Cd:0.43-1.31、208Pb:0.19-0.48 で

あった。国産たばこと比較すると、外国産たばこが多く成分で高く(約 1.1-1.7 倍)だったが、Cd と Pb では外国産たばこが低く(約 0.7 倍)になった。たばこ葉中の金属類は土壌や肥料に影響されるため(7,8)、外国の土壌や肥料は複数の金属類を多く含むが、Cd と Pb については国産たばこの方が多く含まれていた。また、外国産たばこでは AMERICAN SPIRITS の 2 銘柄が多く成分で高値をとり、一方で Marlboro、PARIAMENT が低値であった。

リトルシガー

リトルシガーたばこ葉中金属類の分析結果を Table 9 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 5 回行った。分析結果(μg/本)は、9Be:0.004-0.01、27Al:157-220、52Cr:0.38-0.57、60Ni:0.51-0.74、75As:0.05-0.08、111Cd:0.40-0.98、208Pb:0.16-0.25 であった。リトルシガーの分析結果は、紙巻たばこ葉より低値であった。しかし 27Al と 52Cr の最低値に関しては、国産たばこ葉がリトルシガーより低い値となった。リトルシガーは、特定の銘柄が各成分で高値または低値をとることはなかった。これは、紙巻たばこ葉の分析結果とは異なっていた。また、銘柄間の最小値と最大値の比較は約 1.4-3 倍であった。

加熱式たばこ

加熱式たばこ葉の金属類の分析結果を Table 10 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 5 回行った。分析結果(μg/本)は、9Be:glo は 0.002 に対し IQOS は 0.005、27Al:37.7 に対し 175、52Cr:1.13 に対し 0.48、60Ni:0.21 に対し 0.53、75As:0.01 に対し 0.05、111Cd:0.13 に対し 0.24、208Pb:0.07 に対し 0.12 であった。glo と IQOS との比較では、IQOS の方が多くの成分で高い分析値(約 1.7-4.7 倍)となった。また、加熱式たばこは、紙巻たばこやリトルシガーと比較すると、全ての分析値が下回る結果となった。これは、たばこ 1 本あたりのたばこ葉の量が少ないことも影響していると考えられる。しか

し、まだサンプル数が少ないため、これからの継続的な分析が必要である。

国産たばこ及び外国産たばこ葉中金属類の先行研究との比較

鈴木らの研究(9)と、国産たばこ及び外国産たばこ葉中金属類の比較を行った。この研究では、国産たばこ 4 銘柄、外国産たばこ 3 銘柄を測定していた。その結果を Table 11, 12 に示す。比較対象は 63Cu、66Zn、Cd、208Pb である。Cd は本研究では 111Cd と 112Cd の両方を含める。国産たばこ葉の結果(μg/g)は、63Cu は鈴木らの研究が 11.3-13.9 であり、本研究は 15.8-35.8 となった。66Zn、Cd も 63Cu と同様に先行研究と本研究では差があった。208Pb は 0.6-1.7 に対し 0.82-2.29 となり差は他成分に比べると小さかった。

外国産たばこ葉については、63Cu は 10.6-14.4 に対し 19.0-40.4 であった。66Zn、Cd も同様に先行研究と本研究で差がみられた。しかし、208Pb は 0.6-2.2 に対し 0.64-1.59 と差が小さかった。63Cu、66Zn、Cd において差が出た原因としては、鈴木らの研究では、銘柄が異なる、たばこ葉の恒湿化がされていない、購入時期が 2008 年などの違いがあるために、分析値の差が生じた可能性が予想される。

たばこ主流煙中金属類

標準たばこ

標準たばこ銘柄のたばこ主流煙中金属類の分析結果を Table 13 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 3 回行った。分析結果(ng/本)は、9Be:<0.01-0.03、27Al:140-492、52Cr:9.78-16.2、60Ni:20.0-23.0、75As:4.63-7.12、111Cd:20.3-103、208Pb:26.3-31.0 であった。銘柄間の最小値と最大値の比較は約 1.1-5.0 倍であり、最も大きかったものは 111Cd であった。この結果は標準たばこ葉の結果と同様の傾向であった。

標準たばこ主流煙中金属類の先行研究との比較

Steven らの研究 (3) と、標準たばこ主流煙中金属類の比較を行った。その結果を Table 14 に示す。比較対象は 3R4F 中の 52Cr、55Mn、59Co、60Ni、75As、111Cd、Pb である。Pb については、Steven らの研究は質量数 204、206、207、208 を合計した分析値である。本研究では Pb は質量数 208 のみである。また、本研究は ICP-MS/MS を使用したため、Steven らの研究結果 (米国 CDC triple quad method の結果) と比較を行った。結果 (ng/本) は 52Cr: 先行研究<0.85 に対し、本研究は 11.4 となった。59Co、60Ni も同様の傾向であり、先行研究と比較すると本研究が高い値 (約 13-24 倍) となった。他成分は約 0.8-1.4 倍と近い値をとった。この結果の原因としては、Steven らの研究は 52Cr と 59Co の ICP-MS/MS 分析を NH₃ ガスで行っているが、本研究では 52Cr を He ガスで、59Co を H₂ ガスで分析することによって、測定値に違いがみられたのではないかと考えられる。また、60Ni では、ブランク値がサンプル値よりも高くなるなど、ばらつきが大きくなる場合があった。そのため、これら 3 成分 (52Cr、59Co、60Ni) については今後とも検討が必要である。

国産たばこ

国産たばこ銘柄のたばこ主流煙中金属類の分析結果を Table 15 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 3 回行った。分析結果 (ng/本) は、9Be:<0.01-0.05、27Al:76.1-640、52Cr:5.52-22.3、60Ni:<0.009-35.4、75As:3.39-8.48、111Cd:45.5-156、208Pb:19.2-186 であった。銘柄間の最小値と最大値の比較について、60Ni は定量限界値以下のものもあったが、35.4 ng/本含む銘柄もあるなど幅があった。また、たばこ葉で多くの成分が高値であった Mevius 10 は、主流煙 63Cu と 208Pb 含有量以外では低値であった。国産たばこでは、たばこ葉に金属類分析値が高い銘柄であっても、主流煙中金属類が低い銘柄があることが分かった。

外国産たばこ

外国産たばこ銘柄のたばこ主流煙中金属類の分析結果を Table 26 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 3 回行った。分析結果 (ng/本) は 9Be:<0.01-0.03、27Al:122-662、52Cr:4.68-13.8、60Ni:<0.009-34.9、75As:2.87-11.7、111Cd:31.9-106、208Pb:18.7-43.8 であった。

外国産たばこ主流煙も国産たばこ主流煙と同様に、特定の銘柄が多くの成分において高値をとる、または低値をとるという差はなかった。国産たばこ同様に、外国産たばこ葉中の金属類分析値が高い銘柄であっても、主流煙濃度が低い銘柄も確認された。また、銘柄間の最小値と最大値の比較は、国産たばこと同様の傾向であったが、208Pb のみ国産たばこが 9.7 倍、外国産たばこ 2.3 倍となり外国産たばこの銘柄間の数値の幅は狭かった。

リトルシガー

リトルシガー銘柄のたばこ主流煙中金属類の分析結果を Table 17 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 3 回行った。分析結果 (ng/本) は 9Be:<0.01-0.05、27Al:228-573、52Cr:6.59-15.3、60Ni:<0.009-27.5、75As:3.66-8.99、111Cd:66.5-148、208Pb:28.4-46.5 であった。リトルシガーは、たばこ葉については国産たばこ葉や外国産たばこ葉と比べると、リトルシガーたばこ葉に含まれる金属類は低かった。しかし、主流煙濃度は、52Cr、Ni、75As、208Pb など多くの成分が国産たばこや外国産たばこ比べてリトルシガーが同等または高い結果となった。

加熱式たばこ

加熱式たばこ主流煙中金属類の分析結果を Table 18 に示す。なお測定は 1 銘柄につき 1 回行った。分析結果 (ng/本) は、9Be:glo IQOS 共に 0.005、27Al:123 に対し 187、52Cr:0.16 に対し 0.30、60Ni:0.54 に対し 0.93、75As:0.40 に対し 0.79、111Cd:共に 0.01、208Pb:0.26 に対し 0.75 であった。加熱式たばこ主流煙の結果は、多くの成分で

IQOS が glo よりも高い値をとった。これは、加熱式たばこ葉の結果と同じ傾向であった。次に、紙巻たばこと加熱式たばこを比較すると、全ての成分において、加熱式たばこの値が低い結果となった。これは、加熱式たばこが 1 本あたりに含まれるたばこ葉の量が紙巻たばこより少ない点や、紙巻たばこと比較して加熱式たばこの加熱温度が低いことなどが原因であると考えられる。

たばこ葉からたばこ主流煙への金属類の移行率

たばこ主流煙の金属類は、たばこ葉に含まれる金属類が移行することによって定量されている。移行率とは、たばこ葉に含まれる金属類が燃焼温度によって主流煙に移行する割合を示しており、金属類ごとに変動するのかを評価した。

標準たばこ

標準たばこの移行率の結果を Table 19 に示す。分析結果 (%) は、9Be:<0.10-0.18、27Al:0.03-0.22、52Cr:1.02-2.86、60Ni:1.43-1.67、75As:3.10-4.95、111Cd:12.5-15.1、208Pb:7.03-11.8 であった。移行率の結果は、同じ成分では銘柄間に大きな差がみられなかった。しかし、成分ごとの移行率には、特徴が認められ、特に移行率が高い成分は 111Cd と 208Pb であった。

国産たばこと外国産たばこ

国産たばこの移行率の結果を Table 19 に示す。9Be、27Al、75As、208Pb は標準たばこと同様の傾向であった。しかし、52Cr: 0.56-5.48、60Ni:<0.001-27.4、111Cd:3.16-20.2 は同じ成分でも銘柄間での差が大きかった。52Cr に関しては、Peace の主流煙結果が他の銘柄よりも高かった。60Ni において Peace が高い理由は、Peace のたばこ葉に含まれる 60Ni が他の銘柄に比べて低いために移行率が高くなっていた。Cd はわかばや echo など特定の銘柄で主流煙中の値が高く、その結果、移行率も高くなった。

次に外国産たばこの移行率の結果を Table 19

に示す。移行率は国産たばこと同様の傾向であった。一方で、60Ni は差があった。この原因は、主流煙中の分析で、検出限界以下の銘柄が出たことに起因していた。Ni の主流煙結果に関しては分析値の範囲が他の成分と比べて広がったため、今後、分析精度を向上させる工夫が必要であると考えられた。

リトルシガー

リトルシガーの移行率の結果を Table 19 に示す。分析結果 (%) は、9Be:<0.20-0.70、27Al:0.11-0.34、52Cr:1.60-3.40、60Ni:<0.001-3.98、75As:6.90-11.8、111Cd:15.1-20.6、208Pb:17.0-23.4 であった。リトルシガーたばこの移行率の結果は、52Cr、75As、208Pb などが国産たばこや外国産たばこに比べて高い値となった。これは、リトルシガーたばこ葉中の金属類は紙巻たばこに比べて低い値となったが、主流煙中の金属類は紙巻たばこと差がなかったため、移行率は高くなったと考えられる。

加熱式たばこ

加熱式たばこの移行率の結果を Table 19 に示す。分析結果 (%) は、9Be:glo が 0.20、IQOS が 0.09、27Al:0.33 に対し 0.11%、52Cr:0.12 に対し 0.06、60Ni:0.25 に対し 0.18、75As:2.94 に対し 1.54、111Cd:0.007%に対し 0.004、208Pb:0.36 に対し 0.63 であった。

たばこ葉、主流煙の分析では IQOS の方が glo よりも高い結果となったが、移行率では glo が高い成分も出る結果となった。燃焼温度は IQOS の方が高いため、移行率も IQOS の方が高くなると仮説していたが異なる結果となった。現在、加熱式たばこの製品数は、PULZE、Ploom S、glo pro 及び glo hyper など増えているため、分析結果を積み重ねたのちに評価を進めていく。

D. 結論

報告例の少なかった、たばこ葉及びたばこ主流

煙中金属類の分析法を確立し、国内で販売されているたばこ銘柄において分析を行った。たばこ葉及びたばこ主流煙には有害な金属類が含まれていることが分かった。しかし、金属類は生活排水では数十 µg/L 以下であること、と規制されている。また、経気道的に摂取あるいは吸収されると全て吸収されるわけではなく、半分以下の吸収となる。そのためたばこ主流煙中の金属類の影響は、現段階では人体に影響を与えるほどではないと予想される (2)。これらの金属類は土壌や肥料由来と考えられるため (7,8)、たばこを栽培する場所や肥料を変えることによりたばこ葉及びたばこ主流煙中に含まれる金属類は変化すると考えられる。そのため製造番号による違いなどの調査も望まれる。また、測定銘柄数もまだ少ないため、これからより多くの分析数を扱い、継続的な調査が必要であると考えられる。

E. 参考文献

- (1) IARC : Agents Classified by the IARC Monographs , Volumes 1 – 127. 2013.
- (2) 別府正敏ほか,最新衛生薬学.第3版,東京,廣川書店,2015,605p
- (3) Pappas RS, Gray N, Gonzalez-Jimenez N, Fresquez M, Watson CH. Triple Quad-ICP-MS Measurement of Toxic Metals in Mainstream Cigarette Smoke from Spectrum Research Cigarettes. J Anal Toxicol. 2016 Jan-Feb;40(1):43-8. doi: 10.1093/jat/bkv109. Epub 2015 Sep 10. PMID: 26359486.
- (4) ISO 3402. Tobacco and tobacco products -- Atmosphere for conditioning and testing. 1999.
- (5) T-115. Determination of tar, nicotine and carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. Health Canada, 1999.
- (6) Fresquez MR, Pappas RS, Watson CH. Establishment of toxic metal reference range in tobacco from US cigarettes. J Anal Toxicol. 2013 Jun;37(5):298-304. doi: 10.1093/jat/bkt021. Epub

2013 Apr 2. PMID: 23548667; PMCID: PMC4547355.

- (7) Adamu CA, Bell PF, Mulchi C, Chaney R. Residual metal concentrations in soils and leaf accumulations in tobacco a decade following farmland application of municipal sludge. Environ Pollut. 1989;56:113-26. doi: 10.1016/0269-7491(89)90170-x. PMID: 15092482.
- (8) Bell PF, Mulchi CL, Chaney RL. Microelement levels in Maryland air-cured tobacco. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1992;23:1617-1628.
- (9) 鈴木 康弘, 鈴木 真一, ICP-MS によるたばこ及びたばこ吸殻中微量元素の分析と法科学的異同識別への応用. 分析化学 2012;61:911-916.

F. 研究発表

1. 論文発表

Uchiyama S, Noguchi M, Sato A, Ishitsuka M, Inaba Y, Kunugita N. Chem Res Toxicol. Determination of Thermal Decomposition Products Generated from E-cigarettes. 2020, 33, 2, 576–583.

稲葉洋平, 牛山明. 加熱式たばこ製品の有害性. 保健医療科学. 2020;69:144–152.

戸次加奈江、稲葉洋平、牛山明. 喫煙による室内汚染 —三次喫煙という新たな課題. 保健医療科学. 2020;69:138–143.

2. 学会発表

稲葉洋平, 内山茂久, 牛山明. 加熱式たばこ主流煙の有害化学物質量は加熱温度の影響を受ける. フォーラム 2019 衛生薬学・環境トキシコロジー. 2020.9.4-5 ; 講演要旨集による誌上発表並びに Web 開催. 同講演要旨集. p.221.

稲葉洋平. 特別シンポジウム「新型タバコの科学

と社会インパクト」 新型タバコの成分分析の最新情報 第 79 回日本癌学会学術総会. 2020.10.1-3. ハイブリット開催 (広島、Web) オンライン要旨集.

稲葉洋平、内山茂久、戸次加奈江、牛山明. 国内で販売されるメンソールたばこ銘柄の主流煙の有害化学物質の分析 第 79 回日本公衆衛生学会総会. 2020.10.20-22 ; Web 開催. 同講演抄録集. p.349.

小山真緒、坂元宏成、佐藤綾菜、内山茂久、櫻田尚樹、稲葉洋平、牛山明. 化学物質個人曝露量に与える室内濃度の影響 第 79 回日本公衆衛生学会総会. 2020.10.20-22 ; Web 開催. 同講演抄録集. p.483.

稲葉洋平. 「シンポジウム 2 今こそ新型タバコを考える」新型たばこ (加熱式たばこ・電子たばこ) の特徴と成分分析について 第 14 回日本禁煙学会学術総会. 2020.11.13-14. ハイブリット開催 (郡山、Web 開催).

坂元宏成、内山茂久、佐藤綾菜、稲葉洋平、牛山明. 有害化学物質の室内濃度と個人曝露濃度 2020 年室内環境学会学術大会. 2020.12.3-4. 郡山市と Web 開催. 同講演要旨集. P55-56.

稲葉洋平、内山茂久、牛山明. 紙巻たばこ主流煙に含まれる芳香族アミン類の分析 第 57 回 全国衛生化学技術協議会年会. 2020. 11.9-10. 紙上・Web 開催. 同講演集. P260-261.

戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 加熱式たばこから発生するフラン類及びピリジン類の分析 第 57 回 全国衛生化学技術協議会年会. 2020.11.9-10. 紙上・Web 開催. 同講演集. P252-253.

稲葉洋平、内山茂久、戸次加奈江、牛山明. 加熱式たばこ副流煙 (エアロゾル) 分析法の開発 第 91 回日本衛生学会学術総会. 2021.3.6-8. オンライン開催.

澤麻理恵、牛山明、稲葉洋平、服部研之、石井一行. 発生エアロゾル吸入後の生理応答からみた加熱式たばこの動物ばく露用喫煙装置の有用性 第 91 回日本衛生学会学術総会. 2021.3.6-8. オンライン開催.

稲葉洋平、内山茂久、戸次加奈江、牛山明. リトルシガーから発生する化学物質の分析 日本薬学会 第 141 年会. 2021.3.26-29. ハイブリット開催.

郡司夏実、稲葉洋平、内山茂久、戸張裕子、堀祐輔、牛山明. LC/MS/MS を用いたたばこ主流煙に含まれる芳香族アミン類の分析 日本薬学会 第 141 年会. 2021.3.26-29. ハイブリット開催.

瀬戸口竜星、稲葉洋平、内山茂久、戸張裕子、堀祐輔、牛山明. たばこ葉及びたばこ主流煙に含まれる金属類の分析 日本薬学会 第 141 年会. 2021.3.26-29. ハイブリット開催.

3.その他

稲葉洋平. 加熱式タバコの有害性 中学保健ニュース (第 1784 号付録、2020 年 5 月 18 日発行)、高校保健ニュース (第 689 号付録、2020 年 5 月 18 日発行) 少年写真新聞社.

稲葉洋平. 加熱式タバコ・紙巻きタバコの害ほけん通信 中学保健ニュース (第 1784 号付録、2020 年 5 月 18 日発行)、高校保健ニュース (第 689 号付録、2020 年 5 月 18 日発行) 少年写真新聞社.

稲葉洋平. 紙面掲載 たばこニコチン加熱式も注

意を「一部紙巻に匹敵」読売新聞（関西版）2020
年11月15日 社会面31ページ

G. 知的財産権の出願・登録状況
特になし

Table1 国産たばこ銘柄

	タール(mg/本)	ニコチン(mg/本)
Mevius One	1	0.1
Mevius 10	10	0.8
Seven Stars	14	1.2
CABIN	8	0.7
CASTER	5	0.4
HOPE	14	1.1
わかば	19	1.4
echo	15	1.0
Peace	21	1.9
The Peace	10	1.0

Table 2 外国産たばこ銘柄

	タール(mg/本)	ニコチン(mg/本)
LARK MILDS	9	0.7
PARIAMENT	9	0.7
Marlboro	12	0.9
KOOL NATURAL	8	0.8
KENT	1	0.1
LUCKY STRIKE	11	1
WEST DEEP BLUE	8	0.6
AMERICAN SPIRITS GOLD	6	0.8
AMERICAN SPIRITS TURQUOISE	12	1.5

Table 3 リトルシガー銘柄（葉巻たばこ）

銘柄
FORTE LIGHT
FORTE ORIGINAL
CAMEL
わかば
echo

Table 4 加熱式たばこ

種類	銘柄
glo pro	KENT bright tobacco
IQOS3	Marlboro REGULAR

Table 5 標準たばこ葉中金属類の分析結果

Concentration (µg/本)																	
⁹ Be			²⁴ Mg			²⁷ Al			⁵² Cr			⁵⁵ Mn			⁶⁰ Ni		
Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1R6F	0.01	± 0.001	2902	± 94.8	277	± 13.8	0.70	± 0.09	85.5	± 15.0	1.20	± 0.14					
3R4F	0.01	± 0.002	5029	± 238	497	± 52.9	1.11	± 0.10	127	± 9.28	1.45	± 0.10					
CM8	0.02	± 0.001	4815	± 269	221	± 21.4	0.57	± 0.05	143	± 21.9	1.53	± 0.19					
Concentration (µg/本)																	
⁵⁹ Co			⁶³ Cu			⁶⁶ Zn			⁷⁵ As			¹¹¹ Cd			²⁰⁸ Pb		
Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1R6F	0.27	± 0.03	4.76	± 0.12	25.3	± 2.88	0.17	± 0.02	0.60	± 0.05	0.26	± 0.02					
3R4F	0.37	± 0.03	5.93	± 0.42	24.7	± 0.70	0.22	± 0.03	0.82	± 0.04	0.44	± 0.03					
CM8	0.65	± 0.04	9.93	± 0.95	22.7	± 0.78	0.09	± 0.01	0.14	± 0.01	0.33	± 0.09					

Table 6 標準たばこ葉中金属類の先行研究との比較

金属類	Concentration ($\mu\text{g/g}$)			
	先行研究		本研究	
^9Be	0.019	± 0.002	0.019	± 0.003
^{52}Cr	1.3	± 0.3	1.46	± 0.13
^{55}Mn	202	± 10.0	167	± 12.2
^{59}Co	0.56	± 0.04	0.48	± 0.04
^{60}Ni	2.2	± 0.2	1.91	± 0.13
^{75}As	0.33	± 0.05	0.29	± 0.03
^{111}Cd	1.3	± 0.1	1.08	± 0.05
Pb	0.64	± 0.05	0.58	± 0.03

Table 7 国産たばこ葉金属中の分析結果

測定銘柄	Concentration(µg/本)											
	⁹ Be		²⁴ Mg		²⁷ Al		⁵² Cr		⁵⁵ Mn		⁶⁰ Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Mevius One	0.01 ± 0.002	3137 ± 138	197 ± 5.84	0.51 ± 0.09	126 ± 5.49	0.81 ± 0.08						
Mevius 10	0.03 ± 0.002	11770 ± 1261	631 ± 89.8	1.22 ± 0.18	257 ± 24.2	0.77 ± 0.19						
Seven Stars	0.01 ± 0.001	3756 ± 302	218 ± 9.49	0.51 ± 0.10	118 ± 9.76	0.80 ± 0.14						
CABIN	0.02 ± 0.001	6096 ± 208	340 ± 22.7	0.82 ± 0.09	142 ± 13.9	1.11 ± 0.09						
CASTER	0.01 ± 0.002	6804 ± 683	228 ± 14.6	0.60 ± 0.06	124 ± 7.46	0.80 ± 0.13						
HOPE	0.02 ± 0.003	6966 ± 239	315 ± 34.7	1.03 ± 0.14	110 ± 9.29	1.25 ± 0.26						
わかば	0.01 ± 0.002	2793 ± 238	142 ± 13.9	0.36 ± 0.05	101 ± 14.7	0.66 ± 0.08						
echo	0.01 ± 0.001	3092 ± 276	155 ± 18.5	0.40 ± 0.07	92.4 ± 8.42	0.68 ± 0.09						
Peace	0.02 ± 0.002	7973 ± 332	319 ± 32.2	0.41 ± 0.04	137 ± 7.79	0.13 ± 0.01						
The Peace	0.01 ± 0.002	3330 ± 139	226 ± 21.2	0.31 ± 0.02	99.3 ± 5.55	0.39 ± 0.02						

測定銘柄	Concentration(µg/本)											
	59Co		63Cu		66Zn		75As		111Cd		208Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Mevius One	0.35 ± 0.03	6.16 ± 0.45	24.0 ± 0.78	0.10 ± 0.01	0.71 ± 0.03	0.28 ± 0.01						
Mevius 10	0.66 ± 0.10	10.7 ± 0.90	54.1 ± 11.2	0.25 ± 0.03	1.60 ± 0.11	0.69 ± 0.05						
Seven Stars	0.34 ± 0.03	5.20 ± 0.38	25.3 ± 3.01	0.12 ± 0.02	0.90 ± 0.06	0.40 ± 0.05						
CABIN	0.40 ± 0.04	7.44 ± 0.56	30.0 ± 3.26	0.16 ± 0.02	0.77 ± 0.06	0.39 ± 0.02						
CASTER	0.28 ± 0.02	8.00 ± 0.68	33.9 ± 1.77	0.11 ± 0.01	1.01 ± 0.06	0.35 ± 0.04						
HOPE	0.30 ± 0.04	8.22 ± 0.74	31.9 ± 1.97	0.22 ± 0.09	1.10 ± 0.03	0.69 ± 0.05						
わかば	0.31 ± 0.05	5.29 ± 0.15	18.2 ± 0.87	0.07 ± 0.00	0.64 ± 0.05	0.25 ± 0.02						
echo	0.29 ± 0.03	4.73 ± 0.36	22.3 ± 2.35	0.07 ± 0.01	0.84 ± 0.09	0.33 ± 0.03						
Peace	0.35 ± 0.05	9.37 ± 1.46	38.0 ± 3.17	0.19 ± 0.02	1.11 ± 0.07	0.55 ± 0.06						
The Peace	0.27 ± 0.04	6.33 ± 0.50	22.7 ± 1.06	0.13 ± 0.03	0.77 ± 0.07	0.36 ± 0.06						

Table 8 外国産たばこ葉金属中の分析結果

測定銘柄	Concentration (µg/本)											
	9Be		24Mg		27Al		52Cr		55Mn		60Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LARK MILDS	0.02 ± 0.002	0.002	3869 ± 113	113	442 ± 24.4	24.4	1.22 ± 0.14	0.14	113 ± 10.5	10.5	1.49 ± 0.23	0.23
PARIAMENT Marlboro	0.01 ± 0.003	0.003	2700 ± 103	103	330 ± 19.5	19.5	0.86 ± 0.06	0.06	94.0 ± 8.08	8.08	1.10 ± 0.16	0.16
KOOL NATURAL KENT	0.02 ± 0.003	0.003	2986 ± 170	170	257 ± 16.4	16.4	0.55 ± 0.02	0.02	104 ± 11.4	11.4	1.31 ± 0.37	0.37
LUCKY STRIKE	0.01 ± 0.001	0.001	7626 ± 259	259	443 ± 42.4	42.4	0.73 ± 0.02	0.02	133 ± 11.5	11.5	1.15 ± 0.08	0.08
WEST DEEP BLUE	0.02 ± 0.002	0.002	4733 ± 290	290	433 ± 51.1	51.1	1.33 ± 0.34	0.34	174 ± 5.74	5.74	1.22 ± 0.22	0.22
AMERICAN SPIRITS GOLD	0.01 ± 0.001	0.001	7130 ± 148	148	457 ± 23.3	23.3	1.13 ± 0.17	0.17	109 ± 14.5	14.5	1.17 ± 0.11	0.11
AMERICAN SPIRITS TURQUOISE	0.02 ± 0.002	0.002	3923 ± 159	159	329 ± 16.6	16.6	0.64 ± 0.04	0.04	155 ± 13.2	13.2	0.95 ± 0.16	0.16
	0.02 ± 0.002	0.002	9816 ± 125	125	454 ± 73.3	73.3	0.82 ± 0.25	0.25	150 ± 13.9	13.9	1.32 ± 0.32	0.32
	0.03 ± 0.008	0.008	8821 ± 578	578	844 ± 58.1	58.1	0.82 ± 0.06	0.06	148 ± 17.9	17.9	1.50 ± 0.20	0.20

測定銘柄	Concentration (µg/本)											
	59Co		63Cu		66Zn		75As		111Cd		208Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LARK MILDS	0.49 ± 0.05	0.05	6.62 ± 0.44	0.44	19.9 ± 2.45	2.45	0.15 ± 0.04	0.04	0.44 ± 0.02	0.02	0.26 ± 0.02	0.02
PARIAMENT Marlboro	0.42 ± 0.08	0.08	5.69 ± 0.50	0.50	15.5 ± 0.47	0.47	0.10 ± 0.01	0.01	0.48 ± 0.13	0.13	0.20 ± 0.01	0.01
KOOL NATURAL KENT	0.34 ± 0.02	0.02	6.18 ± 0.19	0.19	18.5 ± 1.31	1.31	0.08 ± 0.01	0.01	0.43 ± 0.02	0.02	0.19 ± 0.01	0.01
LUCKY STRIKE	0.46 ± 0.02	0.02	10.7 ± 0.92	0.92	29.6 ± 3.27	3.27	0.14 ± 0.02	0.02	0.79 ± 0.17	0.17	0.32 ± 0.07	0.07
WEST DEEP BLUE	0.47 ± 0.04	0.04	9.20 ± 0.61	0.61	35.6 ± 1.88	1.88	0.12 ± 0.02	0.02	0.89 ± 0.05	0.05	0.36 ± 0.03	0.03
AMERICAN SPIRITS GOLD	0.36 ± 0.02	0.02	9.99 ± 0.32	0.32	26.8 ± 0.52	0.52	0.15 ± 0.03	0.03	0.71 ± 0.08	0.08	0.31 ± 0.01	0.01
AMERICAN SPIRITS TURQUOISE	0.37 ± 0.02	0.02	6.25 ± 0.63	0.63	26.7 ± 1.95	1.95	0.14 ± 0.01	0.01	0.80 ± 0.15	0.15	0.39 ± 0.05	0.05
	0.32 ± 0.05	0.05	11.2 ± 0.34	0.34	51.1 ± 3.16	3.16	0.33 ± 0.04	0.04	1.31 ± 0.10	0.10	0.48 ± 0.04	0.04
	0.60 ± 0.06	0.06	12.1 ± 1.81	1.81	26.6 ± 3.66	3.66	0.14 ± 0.02	0.02	0.61 ± 0.04	0.04	0.26 ± 0.02	0.02

Table 9 リトルシガーたばこ葉中金属類の分析結果

測定銘柄	Concentration (µg/本)																	
	9Be			24Mg			27Al			52Cr			55Mn			60Ni		
	Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD	
FORTE LIGHT	0.005 ±	0.001		2108 ±	73.0		157 ±	10.6		0.38 ±	0.02		75.4 ±	5.67		0.73 ±	0.06	
FORTE ORIGINAL	0.006 ±	0.001		2043 ±	74.0		167 ±	18.9		0.41 ±	0.08		77.2 ±	3.48		0.74 ±	0.08	
CAMEL	0.010 ±	0.001		2824 ±	95.3		219 ±	21.1		0.41 ±	0.06		110 ±	8.00		0.69 ±	0.07	
わかば	0.012 ±	0.001		4481 ±	199		214 ±	15.1		0.57 ±	0.06		154 ±	8.86		0.73 ±	0.18	
echo	0.007 ±	0.0004		2351 ±	98.4		146 ±	6.83		0.38 ±	0.05		77.9 ±	6.37		0.51 ±	0.05	
	Concentration (µg/本)																	
測定銘柄	59Co			63Cu			66Zn			75As			111Cd			208Pb		
	Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD	
FORTE LIGHT	0.22 ±	0.01		3.87 ±	0.18		14.6 ±	0.96		0.08 ±	0.00		0.48 ±	0.03		0.17 ±	0.01	
FORTE ORIGINAL	0.21 ±	0.01		3.68 ±	0.30		14.5 ±	0.68		0.07 ±	0.01		0.40 ±	0.02		0.16 ±	0.02	
CAMEL	0.30 ±	0.03		5.20 ±	0.24		15.7 ±	0.13		0.06 ±	0.01		0.41 ±	0.03		0.16 ±	0.02	
わかば	0.34 ±	0.03		7.27 ±	0.46		33.7 ±	3.90		0.08 ±	0.01		0.98 ±	0.11		0.25 ±	0.02	
echo	0.21 ±	0.02		4.19 ±	0.24		12.6 ±	0.96		0.05 ±	0.00		0.54 ±	0.06		0.16 ±	0.02	

Table 10 加熱式たばこ葉中金属類の分析

測定銘柄	Concentration (µg/本)											
	9Be		24Mg		27Al		52Cr		55Mn		60Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
glo pro	0.002 ± 0.001		1108 ± 37.4		37.7 ± 1.50		0.13 ± 0.01		38.9 ± 0.62		0.21 ± 0.02	
IQOS	0.01 ± 0.001		1467 ± 44.7		175 ± 8.00		0.48 ± 0.03		41.6 ± 0.67		0.53 ± 0.05	
測定銘柄	Concentration (µg/本)											
	59Co		63Cu		66Zn		75As		111Cd		208Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
glo pro	0.09 ± 0.003		1.35 ± 0.04		4.66 ± 0.10		0.01 ± 0.001		0.13 ± 0.003		0.07 ± 0.002	
IQOS	0.24 ± 0.01		2.29 ± 0.04		9.14 ± 0.73		0.05 ± 0.001		0.24 ± 0.001		0.12 ± 0.01	

Table 11 国産たばこ葉中金属類の先行研究との比較

金属類	Concentration (µg/g)									
	先行研究					本研究				
⁶³ Cu	11.3	± 1.2	~	13.9	± 4.2	15.8	± 1.20	~	35.8	± 2.99
⁶⁶ Zn	40.9	± 2.9	~	45.6	± 5.1	60.6	± 2.91	~	180	± 37.3
Cd	1.1	± 0.1	~	1.4	± 0.3	2.14	± 0.17	~	5.34	± 0.35
²⁰⁸ Pb	0.6	± 0.1	~	1.7	± 0.9	0.82	± 0.07	~	2.29	± 0.17

Table 12 外国産たばこ葉中金属類の先行研究との比較

金属類	Concentration (µg/g)									
	先行研究					本研究				
⁶³ Cu	10.6	± 1.1	~	14.4	± 2.0	19.0	± 1.67	~	40.4	± 6.03
⁶⁶ Zn	41.4	± 1.7	~	46.1	± 3.5	51.7	± 1.57	~	170	± 10.5
Cd	1.1	± 0.1	~	1.2	± 0.2	1.42	± 0.08	~	4.78	± 0.38
²⁰⁸ Pb	0.6	± 0.2	~	2.2	± 1.3	0.64	± 0.02	~	1.59	± 0.14

Table 13 標準たばこ主流煙中金属類の分析結果

測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁹ Be		²⁴ Mg		²⁷ Al		⁵² Cr		⁵⁵ Mn		⁶⁰ Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1R6F	0.01	± 0.01	177	± 93.5	253	± 68.0	9.8	± 0.70	5.82	± 4.45	20.0	± 2.09
3R4F	<0.01		115	± 25.9	140	± 20.9	11.4	± 2.53	4.51	± 2.11	20.7	± 3.69
CM8	0.03	± 0.0004	224	± 61.0	492	± 54.9	16.2	± 1.85	3.49	± 0.62	23.0	± 19.4

測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁵⁹ Co		⁶³ Cu		⁶⁶ Zn		⁷⁵ As		¹¹¹ Cd		²⁰⁸ Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1R6F	1.41	± 0.06	60.5	± 5.74	529	± 72.8	7.12	± 0.45	86.3	± 0.98	30.3	± 0.68
3R4F	2.20	± 1.13	61.9	± 7.37	431	± 47.9	6.94	± 0.46	103	± 3.50	31.0	± 1.17
CM8	1.55	± 0.18	66.2	± 26.1	1147	± 70.9	4.63	± 0.33	20.5	± 0.87	26.3	± 1.85

Table 14 標準たばこ主流煙中金属類の先行研究との比較

金属類	3R4F (reference cigarette) 単位: ng/cig	
	先行論文	本方法
⁵² Cr	<0.85	11.4 ± 2.53
⁵⁵ Mn	3.2 ± 0.3	4.51 ± 2.11
⁵⁹ Co	0.15 ± 0.05	2.20 ± 1.13
⁶⁰ Ni	0.87 ± 0.22	20.4 ± 3.61
⁷⁵ As	8.9 ± 0.7	6.94 ± 0.46
¹¹¹ Cd	135 ± 12	103 ± 3.50
Pb	34 ± 2	31.0 ± 1.17

Table 15 国産たばこ主流煙中金属類の分析結

測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁹ Be		²⁴ Mg		²⁷ Al		⁵² Cr		⁵⁵ Mn		⁶⁰ Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Mevius One	0.03	± 0.01	566	± 211	347	± 98.1	21.9	± 6.22	2.57	± 0.42	18.2	± 5.11
Mevius 10	<0.01		370	± 105	137	± 13.8	6.84	± 4.65	3.75	± 0.41	<0.009	
Seven Stars	0.05	± 0.02	1103	± 427	435	± 35.6	19.5	± 1.52	4.82	± 0.70	24.4	± 7.12
CABIN	0.00	± 0.00	338	± 22.3	76.1	± 33.4	7.28	± 5.66	5.53	± 2.33	<0.009	
CASTER	<0.01		395	± 76.2	94.3	± 26.7	10.3	± 6.59	2.23	± 0.05	15.0	± 9.8
HOPE	0.01	± 0.01	256	± 54.1	468	± 186	7.45	± 1.36	2.40	± 0.70	29.2	± 8.90
わかば	0.01	± 0.01	368	± 54.6	148	± 41.3	5.89	± 0.71	2.87	± 0.16	14.0	± 1.93
echo	0.01	± 0.01	315	± 209	308	± 123	5.52	± 0.48	3.04	± 0.59	32.6	± 15.0
Peace	0.04	± 0.02	661	± 124	640	± 10.3	22.3	± 4.90	6.63	± 1.67	35.4	± 14.0
The Peace	0.02	± 0.01	871	± 238	212	± 40.3	5.75	± 0.62	1.78	± 0.06	<0.009	
測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁵⁹ Co		⁶³ Cu		⁶⁶ Zn		⁷⁵ As		¹¹¹ Cd		²⁰⁸ Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Mevius One	0.93	± 0.42	48.2	± 7.79	350	± 128	3.39	± 0.40	45.5	± 3.78	21.4	± 0.72
Mevius 10	0.92	± 0.18	2223	± 1526	543	± 233	3.98	± 0.68	50.7	± 7.52	186	± 143
Seven Stars	1.50	± 0.35	83.3	± 27.6	798	± 457	5.62	± 0.28	52.3	± 1.84	32.5	± 33.0
CABIN	1.16	± 0.26	59.4	± 6.51	1441	± 544	5.07	± 0.15	46.1	± 1.08	29.7	± 13.2
CASTER	1.05	± 0.15	40.7	± 4.97	707	± 168	4.00	± 0.72	47.3	± 2.35	19.2	± 0.49
HOPE	1.02	± 0.12	93.1	± 56.9	864	± 116	6.44	± 1.32	126	± 11.1	62.1	± 10.4
わかば	1.45	± 0.04	61.4	± 8.66	945	± 86.5	6.16	± 0.57	130	± 6.01	42.0	± 2.40
echo	1.06	± 0.29	95.5	± 87.6	875	± 83.8	4.22	± 0.20	107	± 9.44	42.3	± 8.56
Peace	1.38	± 0.21	101	± 22.6	1396	± 354	4.08	± 0.23	156	± 10.0	26.9	± 1.21
The Peace	1.41	± 0.44	104	± 22.1	1741	± 507	8.48	± 1.99	123	± 8.75	49.8	± 50.3

Table 16 外国産たばこ主流煙中金属類の分析

測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁹ Be		²⁴ Mg		²⁷ Al		⁵² Cr		⁵⁵ Mn		⁶⁰ Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LARK MILDS	0.01	± 0.01	<6.85		222	± 72.0	6.87	± 0.82	3.67	± 1.31	<0.009	
PARIAMENT	0.01	± 0.01	139	± 116	314	± 10.1	5.75	± 1.05	3.07	± 0.06	<0.009	
Marlboro	<0.01		522	± 207	181	± 33.0	6.76	± 1.67	3.97	± 1.36	<0.009	
KOOL NATURAL	0.01	± 0.00	131	± 79.6	213	± 24.5	11.6	± 1.27	2.47	± 0.35	<0.009	
KENT	0.01	± 0.01	51.1	± 27.8	230	± 73.5	5.78	± 1.28	3.36	± 0.69	25.8	± 9.12
LUCKY STRIKE	<0.01		225	± 171	122	± 44.8	4.68	± 0.17	3.03	± 0.91	27.2	± 7.28
WEST DEEP BLUE	0.03	± 0.01	176	± 185	176	± 89.1	6.46	± 2.58	4.81	± 0.42	<0.009	
AMERICAN SPIRITS GOLD	<0.01		410	± 478	362	± 182	6.22	± 1.55	3.50	± 0.40	34.9	± 16.9
AMERICAN SPIRITS TURQUOISE	<0.01		213	± 56.0	662	± 167	13.8	± 3.18	3.03	± 0.49	24.2	± 3.30
測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁵⁹ Co		⁶³ Cu		⁶⁶ Zn		⁷⁵ As		¹¹¹ Cd		²⁰⁸ Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LARK MILDS	1.60	± 0.25	62.9	± 10.1	724	± 138	4.56	± 0.58	43.7	± 2.49	31.1	± 3.65
PARIAMENT	0.98	± 0.24	56.2	± 2.86	796	± 269	3.35	± 0.81	41.9	± 1.06	24.8	± 3.39
Marlboro	1.16	± 0.45	96.7	± 19.0	646	± 126	3.79	± 0.43	36.0	± 2.95	33.3	± 0.75
KOOL NATURAL	1.65	± 0.71	62.8	± 12.2	563	± 128	2.87	± 0.71	76.5	± 5.88	20.6	± 3.72
KENT	0.96	± 0.09	61.0	± 9.48	595	± 64.1	6.18	± 0.70	39.8	± 1.64	26.0	± 2.04
LUCKY STRIKE	1.17	± 0.47	96.7	± 19	530	± 204	3.82	± 0.62	31.9	± 3.21	29.1	± 16.00
WEST DEEP BLUE	1.17	± 0.23	85.4	± 15.8	721	± 62.9	7.77	± 1.16	91.8	± 2.77	43.8	± 2.50
AMERICAN SPIRITS GOLD	1.50	± 0.60	116	± 4.31	745	± 270	11.7	± 2.24	106	± 14.3	23.9	± 4.46
AMERICAN SPIRITS TURQUOISE	1.18	± 0.39	89.3	± 31.6	537	± 169	5.45	± 0.48	49.6	± 5.41	18.7	± 2.34

Table 17 リトルシガーの主流煙中金属類の分

測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁹ Be		²⁴ Mg		²⁷ Al		⁵² Cr		⁵⁵ Mn		⁶⁰ Ni	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
FORTE LIGHT	<0.01		211	± 112	313	± 93.0	8.43	± 1.69	4.90	± 3.60	19.1	± 18.3
FORTE ORIGINAL	<0.01		232	± 148	573	± 155	15.3	± 12.5	3.91	± 1.00	<0.009	
CAMEL	0.01	± 0.01	790	± 114	280	± 48.7	6.59	± 2.43	5.58	± 1.15	27.5	± 6.97
わかば	0.03	± 0.01	325	± 192	228	± 23.9	9.88	± 0.36	5.35	± 0.42	<0.009	
echo	0.05	± 0.00	325	± 176	330	± 158	12.8	± 4.47	6.05	± 0.54	<0.009	

測定銘柄	Concentration (ng/本)											
	⁵⁹ Co		⁶³ Cu		⁶⁶ Zn		⁷⁵ As		¹¹¹ Cd		²⁰⁸ Pb	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
FORTE LIGHT	1.38	± 0.21	165	± 44.0	1458	± 334	8.99	± 0.30	79.8	± 8.16	28.6	± 6.45
FORTE ORIGINAL	1.84	± 0.81	152	± 3.93	838	± 255	8.43	± 1.76	73.0	± 5.35	28.4	± 1.00
CAMEL	1.99	± 0.91	124	± 23.4	1339	± 266	5.51	± 0.57	66.5	± 5.33	30.4	± 2.72
わかば	1.35	± 0.08	105	± 18.2	2447	± 385	5.86	± 0.45	148	± 3.10	46.5	± 6.94
echo	2.27	± 0.11	105	± 10.1	2249	± 232	3.66	± 0.61	110	± 8.63	38.3	± 6.04

Table 18 加熱式たばこの主流煙中金属類の分

測定銘柄	Concentration (ng/本)					
	⁹ Be	²⁴ Mg	²⁷ Al	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁶⁰ Ni
glo pro	0.005	<6.85	123	0.16	0.36	0.54
IQOS	0.005	<6.85	187	0.30	<0.15	0.93

測定銘柄	Concentration (ng/本)					
	⁵⁹ Co	⁶³ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	¹¹¹ Cd	²⁰⁸ Pb
glo pro	0.02	3.19	<1.00	0.40	0.01	0.26
IQOS	0.02	11.6	<1.00	0.79	0.01	0.75

Table 19 金属類の移行率 (%) の結果

種類	銘柄	移行率											
		⁹ Be	²⁴ Mg	²⁷ Al	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁶⁰ Ni	⁵⁹ Co	⁶³ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	¹¹¹ Cd	²⁰⁸ Pb
標準たばこ	1R6F	0.10	0.01	0.09	1.39	0.01	1.67	0.52	1.27	2.09	4.21	14.4	11.8
	3R4F	<0.10	0.002	0.03	1.02	0.004	1.43	0.60	1.04	1.74	3.10	12.5	7.03
	CMS	0.18	0.00	0.22	2.86	0.002	1.50	0.24	0.67	5.05	4.95	15.1	7.93
国産たばこ	Mevius One	0.36	0.02	0.18	4.34	0.002	2.24	0.26	0.78	1.46	3.51	6.44	7.54
	Mevius 10	<0.04	0.003	0.02	0.56	0.001	<0.001	0.14	20.7	1.00	1.61	3.16	5.29
	Seven Stars	0.67	0.03	0.20	3.79	0.004	3.04	0.44	1.60	3.15	4.53	5.79	8.08
	CABIN	0.01	0.01	0.02	0.89	0.004	<0.001	0.29	0.80	4.81	3.09	6.03	7.71
	CASTER	<0.11	0.01	0.04	1.73	0.002	1.88	0.37	0.51	2.08	3.77	4.67	5.52
	HOPE	0.07	0.004	0.15	0.72	0.002	2.33	0.34	1.13	2.71	2.98	11.5	9.05
	わかば	0.16	0.01	0.10	1.65	0.003	2.12	0.47	1.16	5.20	8.63	20.2	17.1
	echo	0.20	0.01	0.20	1.39	0.003	4.80	0.36	2.02	3.92	6.16	12.7	12.7
	Peace	0.25	0.01	0.20	5.48	0.005	27.4	0.39	1.08	2.67	2.17	14.1	4.86
	The Peace	0.17	0.03	0.09	1.87	0.002	<0.002	0.53	1.64	7.68	6.73	16.0	13.9
外国産たばこ	LARK MILDS	0.05	<0.0002	0.05	0.56	0.003	<0.001	0.33	0.95	3.64	3.10	9.89	12.1
	PARIAMENT	0.07	0.01	0.10	0.67	0.003	<0.001	0.23	0.99	5.14	3.40	8.80	12.4
	Marlboro	<0.06	0.02	0.07	1.22	0.004	<0.001	0.34	1.57	3.50	4.56	8.45	17.3
	KOOL NATURAL	0.07	0.002	0.05	1.58	0.002	<0.001	0.36	0.59	1.90	2.05	9.73	6.52
	KENT	0.05	0.001	0.05	0.44	0.002	2.11	0.20	0.66	1.67	5.28	4.46	7.30
	LUCKY STRIKE	<0.08	0.003	0.03	0.42	0.003	2.32	0.33	32.7	1.97	2.50	4.48	9.52
	WEST DEEP BLUE	0.17	0.004	0.05	1.00	0.003	<0.001	0.32	1.37	2.70	5.47	11.5	11.1
	AMERICAN SPIRITS GOLD	<0.06	0.004	0.08	0.76	0.002	2.65	0.47	1.03	1.46	3.55	8.10	5.00
	AMERICAN SPIRITS TURQUOISE	<0.04	0.002	0.08	1.69	0.002	1.62	0.20	0.74	2.02	4.01	8.17	7.25
	リトルシガー	FORTE LIGHT	<0.21	0.01	0.20	2.22	0.01	2.62	0.64	4.26	10.0	11.6	16.6
FORTE ORIGINAL		<0.20	0.01	0.34	1.94	0.01	<0.001	0.88	4.13	5.78	11.8	18.2	17.3
CAMEL		0.10	0.03	0.13	1.60	0.01	3.98	0.66	2.39	8.55	8.73	16.2	18.7
わかば		0.25	0.01	0.11	1.72	0.003	<0.001	0.40	1.45	7.26	6.90	15.1	18.4
加熱式たばこ	echo	0.70	0.01	0.23	3.40	0.01	<0.001	1.07	2.51	17.9	8.08	20.6	23.4
	glo pro	0.20	<0.0006	0.33	0.12	0.001	0.25	0.02	0.24	<0.02	2.94	0.01	0.36
	IQOS	0.09	<0.0005	0.11	0.06	<0.0004	0.18	0.01	0.51	<0.01	1.54	0.004	0.63