

ヒト皮膚から放散する微量生体ガスを情報として活用する

Utilization of trace biogases emanating from human skin surface
as health and environmental information

関根嘉香

Yoshika SEKINE

東海大学理学部化学科

Department of Chemistry, School of Science, Tokai University

キーワード：皮膚ガス(Human skin gas), 生体情報(Bio-information)、
室内空気質 (Indoor Air Quality), バイオモニタリング(Biomonitoring)、
パッシブ・フラックス・サンプラー(Passive flux sampler)

1. はじめに

化学物質による室内空気汚染の問題として、古くは開放型燃焼器具の使用に伴う一酸化炭素中毒、1990年代後半からは建築材料等から放散されるホルムアルデヒドや揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) によるシックハウス症候群、近年では住宅の浸水被害の増加に伴う高湿度環境下における微生物由来 VOCs による健康影響等が大きな関心を集めてきた¹⁾。しかし、これらの問題が改善され、室内空気が清浄になっても、あるいは清浄になってきたがゆえにクローズアップされてきた問題がある。体のにおい、すなわち「体臭」である。

ヒトの体表面から放散される微量なガスを「皮膚ガス」と呼ぶ²⁾。この皮膚ガスが空気中を拡散して、嗅覚閾値を超えた濃度で嗅覚に到達すると体臭として認識される。自分の体臭は最も身近にあるため、嗅覚が順応して自分では知覚しにくい、他者の体臭に対しては快・不快感を覚えることがある。また近年、皮膚ガスが他者にアレルギー様症状を引き起こす可能性が指摘されている³⁾。

皮膚ガスは極微量であるために測定が難しく、呼気や腸内ガス等に比べて報告例は少ない。しかし1990年代後半ごろからガスクロマトグラフィー-質量分析法 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 等を用いた皮膚ガス成分の定性分析が試みられ、ここ数年では皮膚ガスの放散量に関する定量的研究がいくつか報告されるようになり、皮膚ガス組成にはヒトの身体的・生理的状态、疾病の有無、精神的な状態のみならず、生活環境や生活行為にも関連することが明らかになってきた^{2,3)}。

本講演では、皮膚ガスの放散メカニズム、簡便な測定方法について解説し、特に皮膚ガスと室内空気質の関連について焦点を当て、皮膚ガスの生体情報としての利用可能性について述べる。

2. 皮膚ガスの放散メカニズム

皮膚ガスは、体表面から放散される揮発性の有機・無機化合物の総称である²⁾。皮膚ガスの種類は未だ全容は明らかではないが、Imperial College の Mitra ら⁴⁾ は皮膚ガス成分の非標的分析 (Untargeted analysis) に関する複数の報告についてシステマティックレビューを行い、揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) として 822 種類が存在し、その内訳はアルデヒド(18%)、カルボン酸(12%)、アルカン(12%)、脂肪族アルコール(9%)、ケトン(7%)、ベンゼンおよびその誘導体(6%)、アルケン(2%)、テルペノイド(2%)、その他であったと報告している。また無機化合物としては、アンモニア、水素、二酸化窒素 (NO₂)、硫化水素 (H₂S) などの放散が認められている。

皮膚ガスの生成機構には、内因性 (体内または皮膚表面で産生) と外因性 (体外より侵入して皮膚から放散) ものがあり、放散経路で分類すると図 1 に示すように表面反応由来、皮膚腺由来、血液由

来に大別できる^{2,3)}。皮膚表面の微生物による産生物および化学反応による生成物は、表面反応由来の皮膚ガスとなり、汗臭、皮脂臭、加齢臭などの放散経路となる。一方、体内で生成する化学物質の内、揮発性のあるものは血液由来または皮膚腺（汗腺、皮脂腺）由来の皮膚ガスとなる。また外因性の化学物質も主として血液循環の過程で放散される。以下、放散経路別にいくつかの皮膚ガスの放散メカニズムを記す。

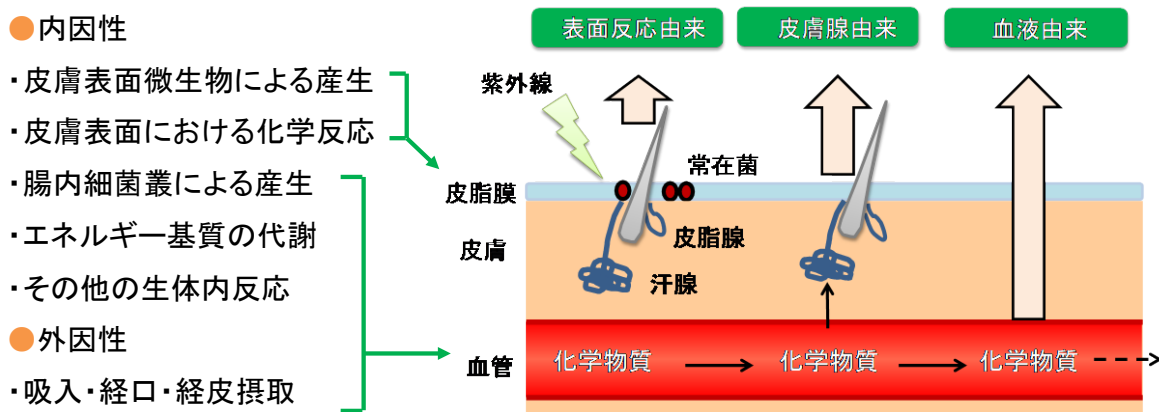


図1 皮膚ガスの主な生成機序と放散経路（模式図）

① 表面反応由来の皮膚ガス

ヒトの皮膚表面は、汗や皮脂からなる皮脂膜によって覆われており、グリセロール、脂肪酸、分枝鎖アミノ酸、乳酸などが含まれ、これらは本来無臭である。しかし、皮膚常在菌等の生物因子あるいは過酸化脂質等の化学因子によって分解され、皮膚表面から放散されることがある。

ジアセチルは、汗中の乳酸を原料とし、皮膚常在菌（表皮ブドウ球菌等）との表面反応によって生成し、頭部や頸部、背部など汗をかきやすい部位からの放散量が多い。ジアセチルの放散量は、年齢・性差によって異なり、30～40代の男性において比較的多く放散されることから「中年男性臭」や「ミドル脂臭」とも称される。

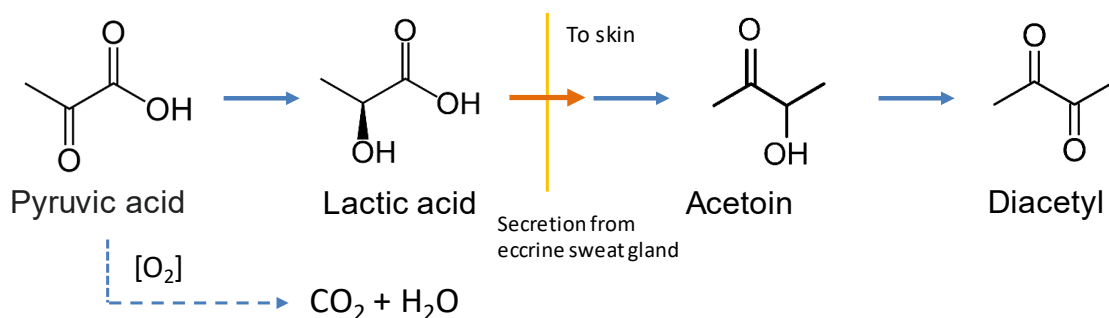


図2 ジアセチルの生成ルート

trans-2-ノネナールは、皮脂に含まれるパルミトレイン酸の酸化生成物⁵⁾であり、加齢に伴い放散量が増加することから、化粧品分野では「加齢臭」と呼ばれている。過酸化脂質もまた皮脂が原料となり、太陽の光に含まれる紫外線や体の中で生成する活性酸素によって作られる。一般に皮脂の分泌量は、10代から20代に増加した後、加齢とともに減少する。しかしながら皮脂の構成成分は加齢変化し、パルミトレイン酸が生成しやすくなること、また活性酸素の生成量が増加することが、*trans*-2-ノネナールの生成量の増加に寄与していると考えられている。皮膚からの *trans*-2-ノネナールの放散量は、

皮脂の分泌が多い頭部、項部、腋窩、胸部や背部などで多く、また皮脂の分泌には男性ホルモンが関与していることから男性の方が女性よりも多い傾向がある。

腋臭の原因物質の一つとして 3-メチル-3-スルファニルヘキサノール (3M3SH) が同定されている⁶⁾。3M3SH の前駆物質は体内で生合成され、グルタチオン (トリペプチド: Glu-Cys-Gly) の SH 基により抱合され、 γ -GTP により分解されたのち、アポクリン汗腺から分泌され、皮膚表面で抱合体が分解されることによって生じる。3M3SH はアポクリン汗腺の分泌物であるため、腋窩や外陰部などに特異的な臭気の原因となる。

② 血液由来の皮膚ガス

血液由来とは、血中の成分が揮発して直接皮膚から放散する経路のことであり、エネルギー基質 (炭水化物、タンパク質、脂質) の代謝やその他の生体内反応の過程で生成し、血流によって運ばれる揮発性成分はこの経路で放散される。したがって、皮膚ガスの放散は血管の分布や血液循環との関係が深い。例えば、アセトンは脂質の代謝生成物であり、絶食、減食、飢餓等により糖質の供給やその利用が不十分になると脂質の分解が促進され、肝臓においてケトン体 (アセト酢酸、 β -ヒドロキシ酪酸およびアセトン) が生成し血中に移行する。ケトン体の中で揮発性の高いアセトンは、血中から直接揮発して体表面から放散される⁷⁾。糖尿病はインスリンの作用不足等による高血糖を特徴とする代謝異常であり、アセトンは糖尿病のバイオマーカーになる可能性がある。

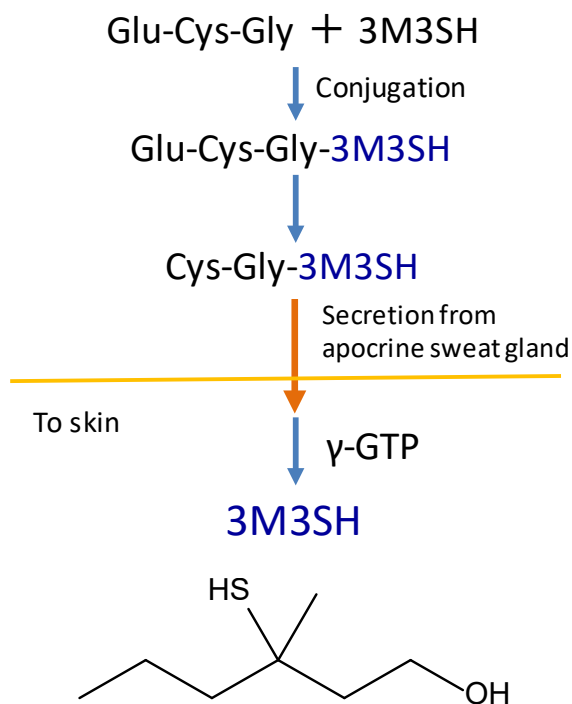


図3 3-メチル-3-スルファニルヘキサノール (3M3SH) の生成ルート

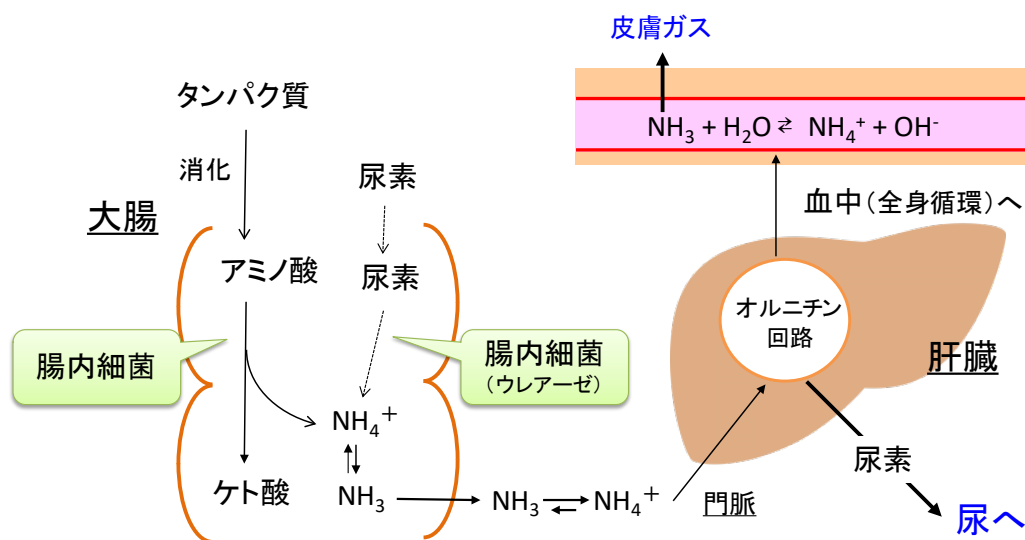


図4 大腸におけるアンモニアの産生と血液循環を介した皮膚からの放散

また、腸内細菌叢も皮膚ガス放散量に関与することがわかってきた。食事に含まれるタンパク質やアミノ酸は、腸管内でアンモニアに分解され、門脈を通じて肝臓に送られる。アンモニアはヒトに対する毒性が高いため、肝臓のオルニチン回路 (尿素回路) において大部分は尿素に変換され、この尿

素は腎臓を通じて尿中に排出される。ただし、尿素に変換されなかったアンモニアは血中に移行する。血中に移行したアンモニアは、血液中から揮発して直接皮膚から放散、あるいは汗腺を經由して発汗に伴い放散されて、皮膚ガスになる。アンモニアは、アンモニウムイオンとの電離平衡の関係にあり、腸管を通過できるのはアンモニア分子のみである。



腸内のビフィズス菌数および占有割合が増加すると、皮膚アンモニアの放散量が減少することが知られており、これはビフィズス菌が産生する乳酸や短鎖脂肪酸（酢酸、プロピオン酸、酪酸など）がアンモニアを中和し、腸管からの通過を抑制したためであると考えられている⁸⁾。

室内空気中にはトルエンやキシレンなどの人工化学物質が微量に存在する。これらの化学物質は、呼吸に伴い取り込まれた後、肺から血液に移行し、血液循環の過程で皮膚から放散される。

③ 皮膚腺由来の皮膚ガス

皮膚腺由来は、皮膚ガスが汗腺（エクリン汗腺、アポクリン汗腺）や脂腺等の皮膚腺を通じて放散する経路のことであり、皮膚からの放散量は発汗や皮脂の分泌に伴って増加する。汗の原料は血漿であることから、血中の成分が汗腺を經由して放散することもある。例えば、酢酸は弱塩基性の血液の中では酢酸イオンとして存在するため揮発せず、呼気から排出されることが無いため、不揮発性の酸と呼ばれている。しかし血中の酢酸が汗に移行すると、皮膚表面は通常弱酸性（～pH5）であるために、電離平衡が移動し、揮発性の酢酸分子となって揮発する。酢酸は発汗に伴い放散量が増加するため、発汗のバイオマーカーとして利用可能である⁹⁾。

表1に主な皮膚ガスの生成機構（要因）と放散経路を示す。皮膚ガスによっては複数の生成機構および放散経路を有するものがあり、アンモニアは、タンパク質代謝の他にも筋肉におけるATP利用、心理的ストレス負荷などに伴って発生し¹⁰⁾、さらに体表面の部位によって血液由来および皮膚腺（汗腺）由来の寄与割合が異なると考えられている。

表1 主な皮膚ガスの生成機構・放散経路

皮膚ガス	生成機構(要因)	放散経路
アンモニア	タンパク質代謝、筋肉疲労、心理的ストレス	血液、汗腺
アセトン	脂質代謝	血液
γ-デカラクトン、γ-ウンデカラクトン	脂肪酸分解(β酸化)	血液
エチルアルコール、アセトアルデヒド	飲酒⇒酵素による分解	血液、汗腺
ジアリルジスルフィド、アリルメチルスルフィド	ニンニク摂取⇒アリシン分解	血液
水素、メタン、エタン、エチレン、インドール、スカトール	腸内細菌	血液
2-ノネナール、ペラルゴン酸、オクタナール	皮脂の酸化	表面反応
ジアセチル、イソ吉草酸、3-メチル-2-ヘキセン酸	汗中成分の反応	表面反応
ニコチン、3-エチニルピリジン	喫煙	血液
トルエン、キシレン、2-エチル-1-ヘキサノール	化学物質曝露	血液
フェニトロチオンおよびその代謝生成物	農薬曝露	血液
酢酸エチル、カルボン、リモネン	化粧品使用	血液

3. 皮膚ガスの簡便な測定法

皮膚ガスの測定は、対象物質が微量であり、かつ皮膚表面に存在していることから、サンプリングが特に困難であった。皮膚ガスは非侵襲的・非観血的な生体サンプルであり、捕集方法はなるべく簡便であることが望ましい。そこで演者らは、いつでも・どこでも・誰でも簡単に扱うことができ、被験者にとってストレスフリーな受動的捕集器具としてパッシブ・フラックス・サンプラー (Passive flux sampler, PFS) を開発した^{11,12)}。

PFS はガスの分子拡散原理を利用した小形デバイスであり、容器状の本体部、捕集材および止め具で構成されている。使用時に電力供給は不要である。筆者らは現在まで、測定対象物質の種類に応じて4種類 (アルデヒド・ケトン類用、アンモニア・アミン類用、VOCs 用および低級脂肪酸用) のPFSを開発している。図5にはVOCs測定用PFS (ジーエルサイエンス社製 MonoTrap®SG DCC18) の構造を示す。本体部はスクリュ瓶のキャップを使用しており、捕集時にスクリュ瓶を開栓し、本体部 (キャップ) の開口部側を皮膚表面に載せ、サージカルテープ等を用いて固定する。この時、皮膚表面とPFS内部に生じるヘッドスペース内をVOCsが分子拡散して捕集材に捕捉される。一定時間静置した後、本体部をスクリュ瓶に再び取り付けて密閉し、分析まで保管する。捕捉されたVOCsを溶媒抽出または加熱脱離後、GC-MSにより捕集量 W (ng) を分析し、捕集時間 t (h) および捕集面積 S (cm²) から、皮膚からの放散フラックス E (ng cm⁻² h⁻¹) を求める。

$$E = W / (S t) \quad \dots \textcircled{2}$$

捕集時間は測定対象の分析感度を考慮して設定しなければならないが、加熱脱離-GC-MS法でVOCsを分析する場合は30分~1時間である。PFSは郵送や宅配便でも送付可能であり、被験者が分析機関に赴く必要はない。ただし、PFSのコンタミネーション防止には細心の注意が必要である。



図5 VOCs測定用パッシブ・フラックス・サンプラーによる皮膚ガス捕集・分析

PFS法を用いるメリットとして、次の4点が挙げられる。

- 1) 非侵襲性：被験者の負担が軽減され、非医療従事者でも利用できる
- 2) 簡便性：小型・軽量・電力不要、いつでもどこでも実施できる
- 3) 定量性：放散フラックスを定量できる
- 4) 生産性：多検体・多成分同時測定、連続測定が可能

さらに、PFSは皮膚表面と捕集材間の距離 (拡散距離) を容易に変えることができ、捕集量の拡散距離依存性の有無から放散経路の考察も可能である。さらに捕集前の皮膚表面の洗浄の有無による捕集量の比較も放散経路の推定に有用である。例えば、捕集量の拡散距離依存性が無く、捕集前の水洗の影響が無い場合、その皮膚ガスは血液由来である可能性が考えられる。

4. 室内空気質が及ぼす影響：バイオモニタリングへの応用

演者らは皮膚ガス組成に及ぼす生活行為の影響を検討する中で、紙巻きたばこの能動喫煙者だけでなく、環境タバコ煙に曝露した受動喫煙者の皮膚からもニコチン、3-エテニルピリジン（ニコチンの熱分解物）、トルエン等が放散されることを見出した¹³⁾。これは吸入した化学物質の一部は、肺から血液に移行し、血液循環の過程で皮膚から放散することを示唆するものであり、皮膚は外部刺激に対する保護臓器であると同時に、化学物質の排泄臓器の役割も有すると考えられた。一方、室内空気中にも種々の VOCs が存在し、在室者は吸入摂取している可能背がある。そこで、室内環境中の VOCs に着目し、室内空気中濃度と皮膚ガス放散に関して検討した。

健常被験者 1 名（男性、24 歳）を対象に、朝 6:00 から翌日 5:00 まで、1 時間毎に皮膚から放散する VOCs および室内空気中 VOCs の測定を同時に行った（計 24 回）。PFS による皮膚ガスの捕集は左前腕部で行い、室内空気中 VOCs は PFS をパンプ・サンプラーとして使用して捕集した。被験者に対しては、特に行動制限は設けず、朝食、昼食および夕食を摂取した。また移動時には自家用車を使用したため、被験者は自宅、大学または車内のいずれかの室内空間に滞在した。試験の結果、皮膚および室内空気中から共通して 15 成分（炭化水素類 5 成分、アルデヒド類 4 成分、ケトン類 3 種、低級脂肪酸・エステル類 3 成分）が検出された。図 6 にはアセトアルデヒドおよびトルエンの結果を例示する。アセトアルデヒドは炭水化物やアルコールの代謝物であり、検出された他の多くの成分と同様に、皮膚ガス放散フラックスと室内空気中濃度の間には、特段の関連性は見られなかった。

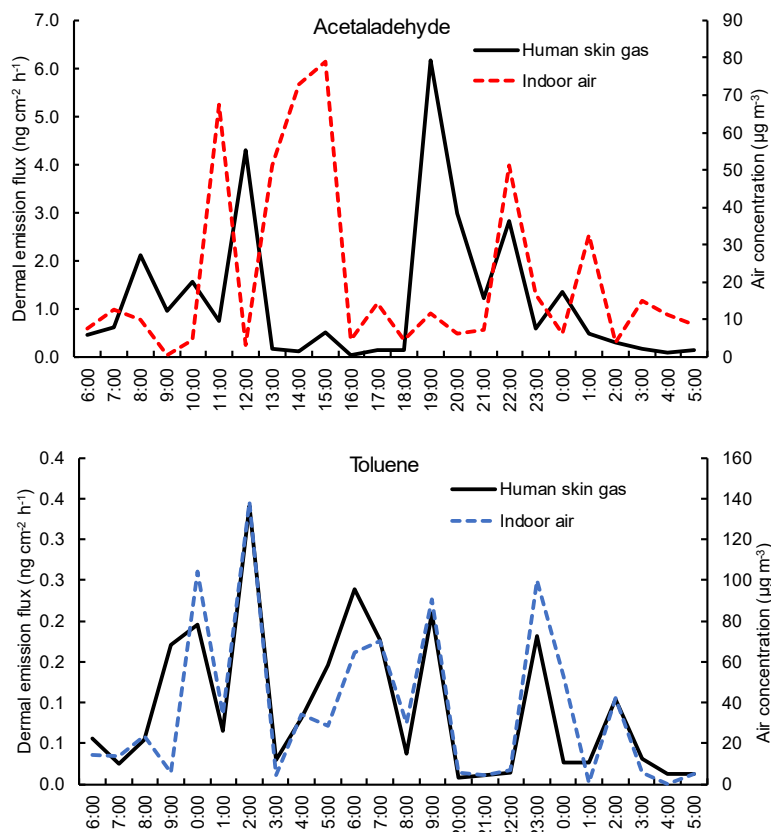


図 6 皮膚ガス放散フラックスと室内空気中濃度の関係
(上段：アセトアルデヒド、下段：トルエン)

一方、トルエンの皮膚放散フラックスの変動は、室内空気中濃度と連動しており、両者には有意な相関関係が見いだされた（Pearson, $r=0.86$ ）。同様に酢酸エチル ($r=0.86$)、スチレン ($r=0.76$)、フェノール ($r=0.83$) についても有意な相関が認められ、これらは室内空気の吸入に伴い体内に取り込まれ、肺から血液に移行し、血液循環の過程で皮膚から放散されたものと考えられた。

そこで、化学物質の吸入曝露の影響を調べるため、健常被験者 10 名を対象に化学実験室に 1 時間滞在した時の皮膚トルエン放散フラックスを測定した¹⁴⁾。この実験室では溶媒としてトルエンが使用されており、室内空気中のトルエン濃度は 1.5 mg m^{-3} であった。通常、このような有機溶剤を使用する実験室では、保護具の着用が推奨される。そこで、N95 高性能マスク（活性炭入り）の着用の有無による皮膚放散フラックスへの影響を調べた。その結果、N95 高性能マスクを着用しなかった場合、すべての被験者からトルエンが検出され、放散フラックスは $47 \pm 43 \text{ ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ となった。一方、N95 高性能マスクを着用した場合、10 名中 7 名は不検出となり、放散フラックスは有意に減少した

($p < 0.005$)。このことから、皮膚から放散されるトルエンは吸入曝露に起因するといえる。次に被験者3名を対象に、化学実験室に1時間滞在した後にトルエンを使用しない一般居室に移動してもらい、皮膚放散フラックスの経時変化を調べた。その結果、トルエンの放散フラックスは曝露中に著しく増加し、その後は徐々に減少し、その半減期は46分となった。これはトルエン曝露後の血中濃度の半減期¹⁵⁾と同等であり、皮膚トルエンが血液由来で放散することを支持する。

体内に取り込まれたトルエンの7-14%は呼気から排出され、80%は肝臓の酵素(シトクロムP450 アイソザイム)によって代謝され、グリシン抱合を受けた後、尿から馬尿酸として排出される。これまで約10%の運命が不明であったが、空気中トルエンの摂取量および皮膚放散フラックスから推定される全身放散量を比較した結果、摂取したトルエンの9.9%が皮膚から放散されると推定され¹⁴⁾、皮膚もトルエンの排出経路の一つであることが分かった(図7)。

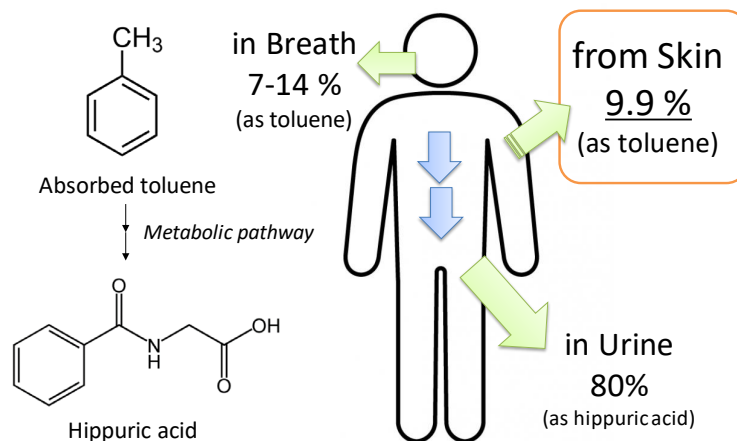


図7 吸入摂取したトルエンの質量収支の推定

現在、労働安全衛生法に基づき、トルエンを使用する作業員には尿中馬尿酸の検査が義務付けられている。本法の有用性はあらためて記す必要はないが、尿は間欠的に採取される生体試料であり、低濃度曝露では食品由来の馬尿酸の影響を受けやすいと指摘されている¹⁶⁾。一方、皮膚トルエンは連続かつ簡便に採取可能であり、作業環境のみならず生活環境の室内濃度レベルにも応答性を示す。また皮膚ガスの放散量は意図的に変えることができないため、測定方法の標準化も比較的容易である。トルエンの皮膚放散フラックスには、トルエンに対する個人の生体応答性すなわち、吸収速度や代謝速度等も反映していると考えられ、トルエン曝露に対する新たなバイオモニタリングの指標として応用できる可能性がある。

5. 室内空気質に及ぼす影響：ヘルスケアへの応用

室内空気中に拡散した皮膚ガスは、ヒトの体臭や室内臭気の原因となる。しかしながら、どの皮膚ガスが臭気に寄与するかは明らかではない。そこで健常被験者24名(男性13名、女性11名、年齢18-59歳)を対象に皮膚ガス52成分の放散フラックスを測定して室内拡散濃度を推定し、さらに嗅覚閾値との比較から、どの皮膚ガスが居室の臭気源として寄与するかを推定した。皮膚ガスの拡散濃度の推定には、Near-Field Far-Fieldモデル¹⁷⁾を用い、一般住宅8畳間(内容積32m³、換気回数0.5h⁻¹)における放散源者から50cm離れた場所での拡散濃度Cを推定し、嗅覚閾値C_{OT}に対する比(Odor Quotient、OQ)を求めた³⁾。

$$OQ = C / C_{OT} \quad \dots \textcircled{3}$$

図8に結果を示す。OQ>1の場合、その皮膚ガスは臭気として感知できる可能性が示唆され、イソ吉草酸アルデヒド(汗臭)、オクタナール(皮脂臭)、酢酸(汗臭)、吉草酸(汗臭)、ジアセチル(中年男性臭とも呼ばれる汗中乳酸の分解物)、ゲオスミン(真菌・放線菌等に由来)、スカトール(便臭、腸内産生物)、メチルメルカプタンおよびエチルメルカプタン(揮発性含硫黄化合物)が室内臭気に寄与する可能性が高く、トルエン、p-ジクロロベンゼン、2-エチル-1-ヘキサノール等の外因性化学物質

はほとんど寄与しないと推定された。オクタナールは皮脂の酸化分解によって生成するフルーツ様臭気を有するアルデヒドであり、また室内空気中でも観測されることがあることから、室内空気中のヒトまたは体臭の存在を示す指標物質になると考えられる。

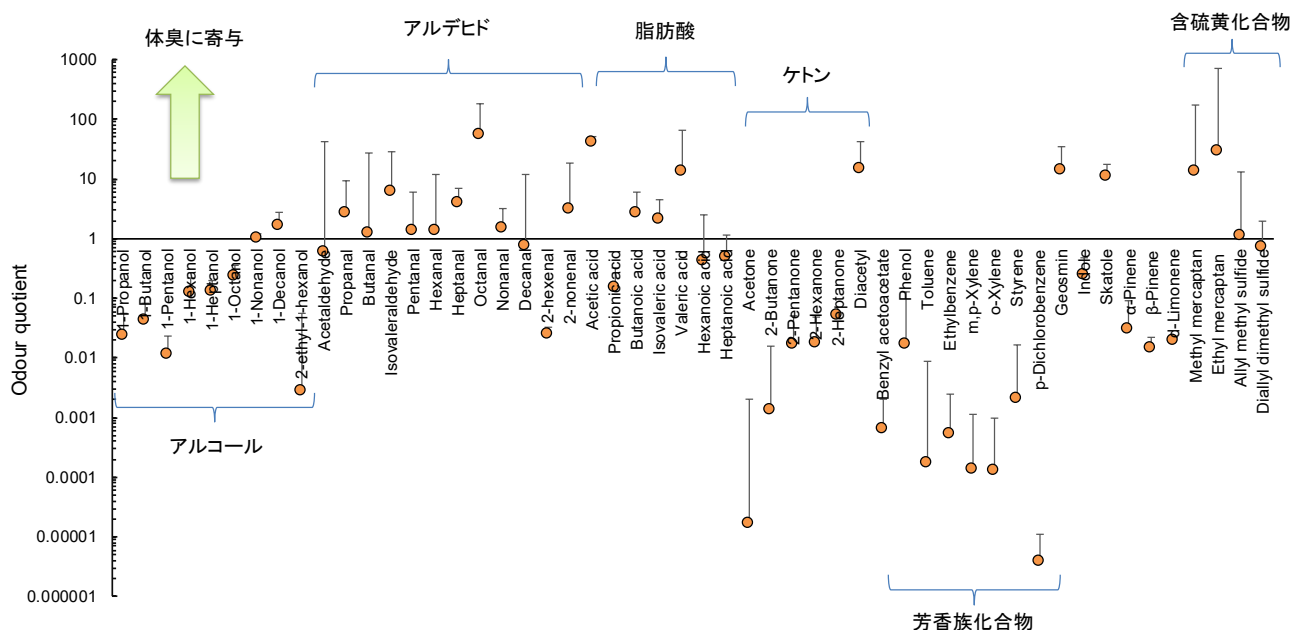
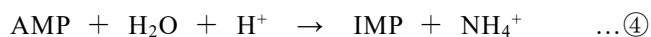


図8 健康被験者24名から放散された皮膚ガス52成分の室内拡散濃度と嗅覚閾値の比較（文献3より引用・改変）

一方、皮膚ガス組成は、疾病の有無や状態によって変化するため、疾病の予兆、疾病の状態、疾病の治癒程度を反映するバイオマーカーとしての利用可能性がある。これまでにアルコール過剰摂取による肝障害、有機リン系農薬中毒、糖尿病、難治性癌等の疾病のほか、飲酒状態、心理的ストレスを強く受けた状態、睡眠の質等の日常生活におけるヒトの状態との関連が明らかにされてきた^{2,3)}。ここでは、室内空気中の皮膚ガスを測定することにより、ヒトの心身状態を把握した例として、重度熱傷患者の創部揮発性ガスのモニタリング¹⁸⁾を紹介する。熱傷の場合、創部からの直接採取は困難である。そこで、演者らは重度熱傷患者から放散される創部揮発性ガスを同定して指標成分を選定し、数値流体解析(CFD)に基づくサンプリング地点の決定後、病室室内空気中の指標成分濃度の測定を試みた。

はじめに東海大学医学部附属病院・熱傷センターに入院した重度熱傷患者（火災または熱湯による熱傷）を対象に、熱傷創包交に用いたガーゼを回収し、ビニールバッグにガーゼおよびガス捕集用フィルターを密封収納して37℃で24時間静置し、創部揮発性ガスを捕集し、指標成分を探索した。その結果、熱傷治療後の経過に伴い、アンモニア、ジメチルアミンおよびトリメチルアミンの捕集量が増加する傾向が見られた。Takedaら¹⁹⁾は、重度熱傷患者および熱傷を負った実験動物において、血中アンモニア濃度が増加し、その原因として一時的な肝機能の低下および損傷した筋肉組織におけるアデノシン三リン酸(ATP)の消費を挙げている。エネルギー源として利用されたATPは、アデノシン一リン酸(AMP)に分解され、AMPが脱アミノ酵素の作用によりイノシン酸(IMP)に脱アミノ化される際、アンモニアが産生される。



回収ガーゼにおいてもアンモニアの捕集量が多いことから、指標成分をアンモニアに決定した。次

に病室室内空気中の測定地点を検討するため、熱傷センターの空調設備およびレイアウトを調査し、熱傷患者の体表面から放散されるアンモニアの拡散挙動を CFD 解析により推定した結果、アンモニアは患者の頭部付近を通過して天井方向に拡散する傾向があり、頭部付近で気中濃度が比較的高くなること示唆された。よって、室内空気試料のサンプリング地点は患者の頭部付近とした。図 9 に病室室内空気中アンモニア濃度の測定結果の一例を示す。被験者は、男性 40 代、火炎による熱傷、熱傷面積 50%であった。この症例では、入院後手術を 3 回実施し、患者は創閉鎖後に退院した。気中アンモニア濃度は術中・術後に上昇し、その後経過日数と共に減少し、創閉鎖後はバックグラウンドレベルになった。これはガーゼ捕集の結果と連動しており、熱傷の治癒の経過と気中アンモニア濃度に関連性が見いだされた。他の症例でも同様の傾向を示した。この例のように、揮発性バイオマーカーを用いれば、室内空気質のモニタリングにより、在室者の健康状態を客観的に把握できる可能性がある。

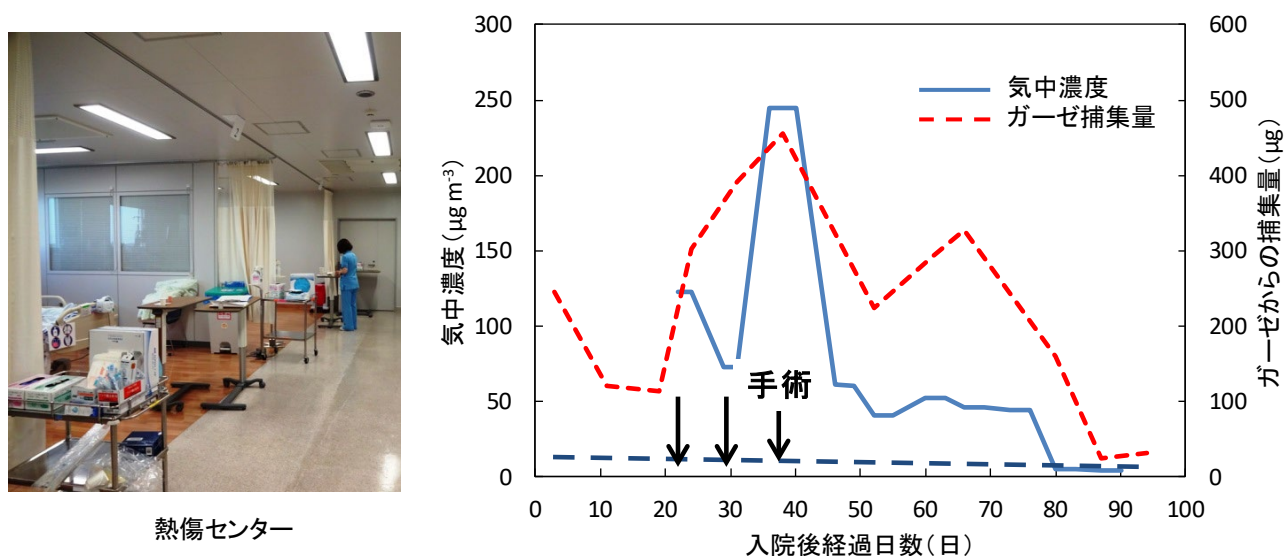


図 9 回収ガーゼからのアンモニア捕集量および室内空気中アンモニア濃度の関係（男性 40 代、火炎熱傷、創閉鎖後退院、図中点線：同病室バックグラウンド濃度）（文献 18 より引用・改変）

6. おわりに - 生体情報としての皮膚ガス

生体ガスの中でも皮膚ガスは、体表面から取得できる唯一の生体信号であり、ICT（情報通信技術）と融合したモバイル型あるいはウェアラブル型端末機器との相性も良い。これを情報として活用することが出来れば、これまでにない新しい産業の創出に寄与できる可能性がある。現在演者らは、皮膚ガスを出来るだけ簡便な方法で採取し、高感度・高選択的に分析して解析することにより、今まで知られていなかった未知の情報を引き出し、日常の健康管理から未病対策、疾病の早期発見・診断などに活用し、人や社会に貢献することを目指している。一方、その生成・放散機序に関しては不明な点が多く、これらを解明する基礎研究を通じて、体臭のメカニズム、皮膚の排泄機能、ガスの生化学反応など新たな学術領域の開拓に繋がる可能性があり、興味は尽きない。

本講演で紹介した皮膚ガス測定試験は、東海大学湘南校舎「ヒトを対象とする研究」倫理委員会、東海大学医学部臨床研究審査委員会の承認を得て実施したものである。

参考文献

- 1) 松木秀明：日本における室内環境問題の変遷，室内環境の事典，朝倉書店，pp2-3（2023）
- 2) 関根嘉香，ヒト皮膚から放散する微量生体ガスと臨床環境，臨床環境医学，25(2)，69-75(2017)
- 3) Sekine, Y., Oikawa, D. Todaka, M. Human skin gas profile of individuals with the people allergic to me

- phenomenon, *Sci. Rep.*, 13, 9471 (2023). DOI:10.1038/s41598-023-36615-1
- 4) Mitra, A., Choi, S., Boshier, P. R., Razumovskaya-Hough, A., Belluomo, I., Spanel, P. & Hanna, G. B. The human skin volatolome: a systematic review of untargeted mass spectrometry analysis, *Metabolites*, 12(9), 824 (2022). DOI: 10.3390/metabo12090824
 - 5) Haze S, Gozu Y, [et al.](#): 2-Nonenal Newly Found in Human Body Odor Tends to Increase with Aging, *J. Invest. Derm.*,116:520-524(2001). DOI:10.1046/j.0022-202x.2001.01287.x
 - 6) Baumann T., Bergmann, S., Schmidt-Rose, T., Max, H., Martin, A., Enthaler, B., Terstegen, L., Schweiger, D., Kalbacher, H., Wenck, H., Jedlitschky, G., Jovanovic, Z: Glutathione-conjugated sulfanylalkanols are substrates for ABCC11 and γ -glutamyl transferase 1: a potential new pathway for the formation of odorant precursors in the apocrine sweat gland, *Exp. Derm.*, 23(4), 247-252(2014). DOI: 10.1111/exd.12354
 - 7) Yamaki, K., Funada, T., Ohkuwa, T., Itoh, H., Tsuda, T.: Acetone concentration in gas emanating from tails of diabetic rats, *Anal. Sci.*, 28,511-514(2012).
 - 8) Sekine, Y.; Uchiyama, S.; Todaka, M.; Sakai, Y.; Sakiyama, R.; Ochi, H.; Abe, F.; Asai, S.; Umezawa, K. Prebiotic effect of lactulose on ammonia emanating from human skin surface, *J. Jpn. Assoc. Odor Environ.* 51, 338–345(2020). DOI: 10.2171/jao.51.338
 - 9) 関根嘉香, 二階堂直樹, 佐藤祥大, 戸高惣史, ヒト皮膚から放散される微量生体ガスの挙動 : 発汗バイオマーカーとしての酢酸, フレグランスジャーナル, 2018(9),19-25(2018)
 - 10) Ikeda, S., Asai S., Umezawa, K., Miyachi, H., Nakamura, A., Kaifuku, Y., Sekine, Y.: Development of a wristband-type wearable device for the colorimetric detection of ammonia emanating from the human skin surface, *Results in Chem.*, 4,100502(2022). DOI: 10.1016/j.rechem.2022.100 (2022)
 - 11) Sekine Y, Toyooka S, Watts S F.: Determination of acetaldehyde and acetone emanating from human skin using a passive flux sampler –HPLC system, *J Chromatogr B*, 859, 201-207(2007). DOI: 10.1016/j.jchromb.2007.09.033
 - 12) Kimura, K., Sekine, Y., Furukawa, S., Takahashi, M., Oikawa, D. Measurement of 2-nonenal and diacetyl emanating from human skin surface employing passive flux sampler-GCMS system, *J. Chromatogr. B*, 1028, 181-185(2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2016.06.021>
 - 13) Sekine Y, Sato S, Kimura K, Sato H, Nakai S, Yanagisawa Y.: Detection of tobacco smoke emanating from human skin surface of smokers employing passive flux sampler - GCMS system. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.*, 1092, 394-401(2018). DOI: 10.1016/j.jchromb.2018.06.038
 - 14) .Sekine, Y., Nikaido, N., Sato, S., Todaka, M., Oikawa, D.: Measurement of toluene emanating from the surface of human skin in relation to toluene inhalation, *J. Skin and Stem Cell*, 6(1), e99392 (2019). DOI: <https://doi.org/10.5812/jssc.99392>
 - 15) Löf A, Wallen M, Wigaeus Hjelm E.: Influence of paracetamol and acetylsalicylic acid on the toxicokinetics of toluene, *Pharmacol Toxicol.* 66(2):138-41(1990). DOI 10.1111/j.1600-0773.1990.tb00720.x
 - 16) Greenberg, M.M.:The central nervous system and exposure to toluene: a risk characterization, *Environ. Res.*,72(1),1-7(1997) [DOI](#)
 - 17) Ramachandran, G. Occupational Exposure Assessment for Air Contaminants, Chapter17, In. Exposure modelling, CRC press, Boca Raton, FL, U.S.A., pp286-289(2005). DOI: 10.1201/9781420032154
 - 18) Kimura, K., Sekine, Y., Umezawa, K., Furukawa, S., Takahashi, M., Aai, S., Miyachi, H., Tukamoto, T., Ozano, T. : Clinical application of ammonia emanating from severe burn patients during critical care. *J. Japan Assoc. Odor Environ.*, 47(6), 421-429 (2016) [DOI](#)
 - 19) Takeda, K.: Metabolism of ammonia in dermatological realm: especially alteration after burn or adrenalectomy, *Dermatologica et urologica*, 20 (2), 129-136 (1966)