

令和7年12月24日

<研究課題> アルコールバイオマーカーに着目した
飲酒運転時における体内アルコール
濃度推定に関する研究
—アルコール等影響発覚免脱事案への
適用を目指して—

代表研究者	大分県警察本部刑事部科学捜査研究所	主任研究員	末房 優子
共同研究者	大分県警察本部刑事部科学捜査研究所	首席主幹研究員	成原 政治
	大分県警察本部刑事部科学捜査研究所	主任研究員	森 名生
	大分県警察本部刑事部科学捜査研究所	研究員	坂本 大輔

【抄録】

本研究は、飲酒運転後に呼気検査を拒否し強制採血までに時間を要する「逃げ得」事案において、採血時に血中エタノール濃度が検出限界以下の場合でも、直近の飲酒の有無を科学的に評価する手法の確立を目的とした。日本人健康成人を対象に単回飲酒試験を行い、エタノールの非酸化的代謝物であるエチルグルクロニド (EtG) およびエチルスルファート (EtS) の血中・尿中濃度を24時間測定し、飲酒痕跡指標としての有用性を検証した。また、事故後早期に呼気中エタノール濃度 (BrAC) の測定が可能な事案を想定し、多点測定による事故時 BrAC 推定精度の改善効果を併せて評価した。その結果、高用量飲酒群において EtG および EtS はエタノールよりも長時間検出された。BrAC 2点測定法は最小誤差を示し、従来の1点法より高精度であった。これらの知見は、逃げ得事案における飲酒事実の立証および事故時 BrAC 推定の高度化に寄与する。

1. 研究の目的

飲酒運転や交通事故において、事故時の体内アルコール濃度を正確に把握することは捜査・裁判実務において極めて重要である。特に「逃げ得」事案では、被疑者が呼気検査を拒否し、強制採血までに相当時間を要するため、採血時点では血中エタノール濃度 (BAC) がすでに検出限界以下となっていることが多い。この場合、従来の BAC 測定のみでは直近の飲酒の有無を立証することが困難であり、エタノールよりも残存期間の長い非酸化的代謝物 (エチルグルクロニド (ethyl glucuronide: EtG) およびエチルスルファート (ethyl sulfate: EtS)) を用いた飲酒事実の証明手法の確立が重要な課題となっている¹⁾。

一方で、事故後比較的早期に呼気中エタノール濃度 (BrAC) の測定が可能な事案においては、従来の単回測定による事故時 BAC 推定には個人差や測定タイミングによる誤差が大きいことが知られている²⁾。これに対し、BrAC を複数回測定する多点法は時間情報をより多く取り込めるため、事故時 BAC 推定の精度向上が期待される。

本研究では、日本人健康成人を対象とした飲

酒試験データを用い、

- (1) EtG および EtS の血中・尿中薬物動態を明らかにし、BAC 陰性時における直近の飲酒事実の証明可能性を検討すること、
 - (2) BrAC 多点測定による事故時 BAC 推定の精度を検証し、実務上有用な測定条件を明らかにすること、
 - (3) 遺伝子多型や体格指標など個人差要因の影響を解析すること、
- を目的とした。

これにより、「逃げ得」事案における飲酒の有無の判断と、事故後早期に測定できる事案における事故時 BAC 推定の精度向上という、異なる場面に対して相補的な科学的根拠を提供することを目指した。

2. 研究方法と経過

2-1 対象者および飲酒条件

日本人健康成人28名を対象として単回飲酒試験を実施した。アルコール摂取量により高用量群 (1.0 g/kg 体重のアルコール摂取, $n=16$) と低用量群 (0.2 g/kg 体重のアルコール摂取, $n=12$) に分け、焼酎を飲酒させた。血液は飲酒後0.5-10時間の計画的採血と、24時間時点

のスポット採血を行った。尿は0-3時間、3-6時間、6-10時間、10-24時間の4区分に分けて蓄尿し、さらに24時間時点でスポット尿を採取した。これらのサンプルをエタノールおよび非酸化的代謝物であるEtGおよびEtSの測定に供した。

生活習慣要因把握のため、全被験者に対しAUDIT (Alcohol Use Disorders Identification Test) および喫煙習慣(1日あたりの喫煙本数・喫煙歴)を質問票で調査した。

本研究は大分大学医学部附属病院介入臨床研究審査委員会の承認(承認番号:B24-002)を受けて実施した。

2-2 エタノール, EtG および EtS 測定方法

BACはヘッドスペース-ガスクロマトグラフ質量分析装置で測定した。血液および尿を除タンパク処理したものについて、液体クロマトグラフ-タンデム質量分析装置でEtG/EtS濃度を測定し、EtG/EtSの生成動態・検出可能期間を解析した。

2-3 BrAC 測定方法および解析方法

市販のアルコール検知器(ドレーゲル社製Alcotest6000)を用いて、飲酒後の複数時点でBrACを測定した。得られたデータを用い、1点法・2点法・3点法による事故時BAC推定値を算出し、真値との比較により推定精度を評価した。評価指標にはRMSE (root mean square error), MAE (mean absolute error), バイアス, Bland-Altman解析, 決定係数 R^2 を用いた。

2-4 遺伝子多型解析

ADH1B, *ALDH2*, *UGT1A1*, *UGT2B7*, *SULT1A1*等, アルコール代謝関連遺伝子の多型をPCRおよびサンガーシーケンス法により解析し、遺伝子多型と血中・尿中EtG/EtSの生成量との関連を検討した。

2-5 研究計画の変更点

当初計画では、単回飲酒に加え「追い飲み」条件を設定し、追加飲酒がEtG/EtS動態に及ぼす影響を分析する予定であった。また、ホスファチジルエタノール(PEth)の測定も計画していた。しかし、被験者負担および測定工程の調整等を考慮し、本年度はEtG/EtSの単回摂取条件における薬物動態解析とBrAC多点測定解析を優先して実施した。追い飲み条件およびPEth測定は次年度に継続して実施予定である。

3. 研究の成果

本研究では、日本人健康成人を対象とした単回飲酒試験により、血中および尿中の非酸化的アルコール代謝物であるEtGおよびEtSの薬物動態を解析し、逃げ得事案における飲酒事実証明の有用性を検討した。また、事故後比較的早期に呼気測定が可能な事案を想定し、BrACの多点測定による事故時濃度推定精度を補助的に評価した。結果は以下のとおりである。

3-1 EtG/EtSの生成動態と検出期間

高用量群(1.0 g/kg)では、血中EtG/EtSは飲酒後速やかに上昇し、BACが減衰し0となる時間帯(6-8時間)より後の8-10時間の採血範囲においても検出された。10-24時間の血液サンプルがないため、その間の残存は評価できないものの、血中EtG/EtSがBACより長く検出される傾向は明らかであった。

一方、高用量群の全被験者の24時間スポット尿においてEtG/EtSが定量下限(LOQ)以上で検出された。したがって、強制採血が遅延してBACが陰性となった場合でも、尿中EtG/EtSにより直近の飲酒事実を裏付けられる可能性が高いことが示された。

血中の時間推移(図1)では、EtSがEtGより早期にピークに達し、その後緩やかに減衰する特徴がみられ、非酸化代謝物ごとの動態差も確認された。

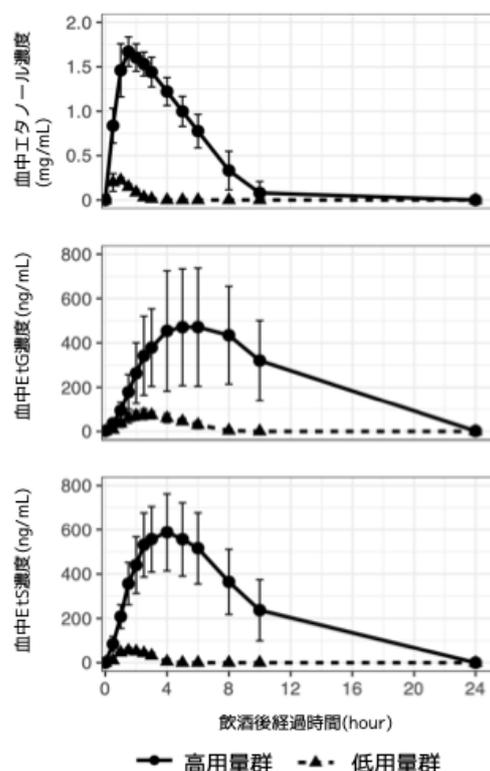


図1 血中エタノール, EtG, EtS濃度推移

3-2 個人差要因の影響

EtG/EtS 生成量に対する個人差要因の影響について、アルコール代謝関連遺伝子 (*ADH1B*, *ALDH2*, *UGT1A1*, *UGT2B7*, *SULT1A1*) の多型と生活習慣 (AUDIT スコア, 喫煙習慣) を解析した。

尿中 EtG の生成率については、Two-way ANOVA によりエタノール用量 ($p < 0.001$) および *ALDH2* 遺伝子型 ($p = 0.022$) の主効果がともに有意であった。*ALDH2**1/*2 保有者では *1/*1 と比べて EtG 生成率が高く、図 2 に示すように高用量条件で特にこの傾向が明確であった。一方、用量 × 遺伝子型の交互作用は有意ではなかった ($p = 0.093$)。

なお、本研究では *1/*2 保有者が少数 (高用量群 : $n = 2$, 低用量群 : $n = 8$) であり、検出力に制限がある点に留意する必要がある。

EtS については用量の主効果のみが有意であり、遺伝子型の影響は認められなかった。その他の遺伝子 (*ADH1B*, *UGT2B7*, *SULT1A1*, *UGT1A1*) については、EtG/EtS とともに明確な主効果や交互作用は認められなかった。

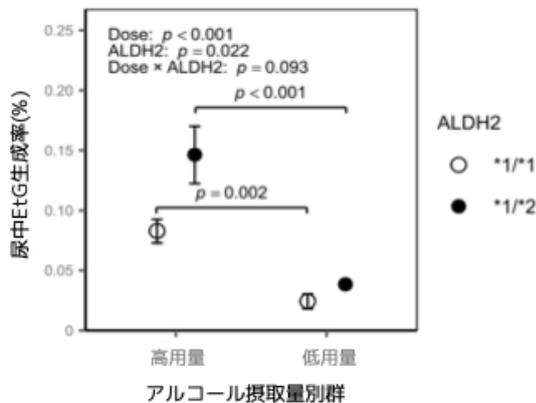


図 2 尿中 EtG 生成率に対するエタノール用量と *ALDH2* 遺伝子型の影響

生活習慣要因では、AUDIT スコアと EtS 生成率との間に弱い正の関連がみられたものの明瞭な傾向ではなく、喫煙習慣についても EtG/EtS 生成率に有意な影響は認められなかった。

3-3 BrAC 多点測定による事故時推定精度の評価

事故後比較的早期に呼気測定が可能な事案を想定し、複数時点で測定した BrAC から事故時 BrAC を逆算する手法の精度を検討した。測定タイミングと外挿推定の仕組みは図 3 に示すとおりである。また、今回の飲酒試験で得られた BrAC の時間推移を図 4 に示した。

飲酒試験で得られた高用量群の BrAC データを用いて 1 点法・2 点法・3 点法の推定精度を比較したところ、2 点法が最も高い精度を示した。なお、事故発生時刻は、BrAC が吸収相を終えて直線的な消失相に移行し、外挿推定が理論的に成立しやすい領域である飲酒開始から 3 時間後に設定した。実務上も、事故後ただちに測定できず一定の時間を経過してから初回検査が行われるケースが多く、本研究設定は現場状況に近い条件といえる。事故後 0.5 時間および 1.0 時間の 2 回測定する条件で RMSE は 0.008~0.009 と極めて良好であった。

一方、1 点法では個人差の影響を受けやすく、外れ例が散見され、推定誤差も大きかった。3 点法は安定した推定を示したものの、2 点法に比べて精度の大幅な向上はみられず、上乘せ効果は限定的であった。これにより、従来の単回測定よりも多点測定が事故時アルコール濃度推定の精度向上に寄与することが示唆された。

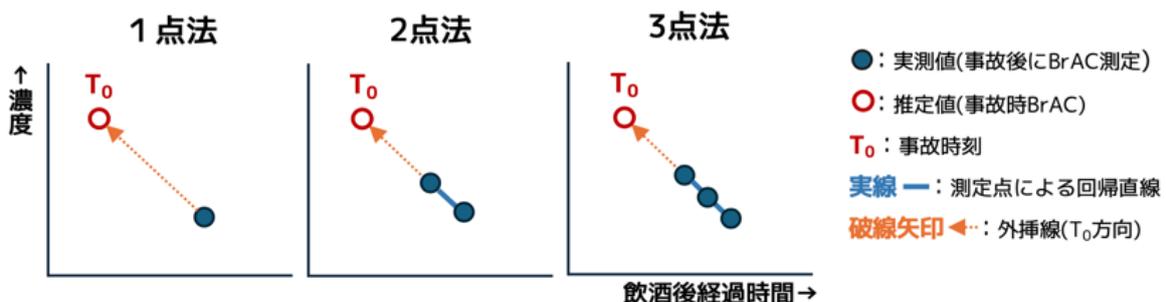


図 3 BrAC 多点測定法 (1 点法・2 点法・3 点法) の概念図

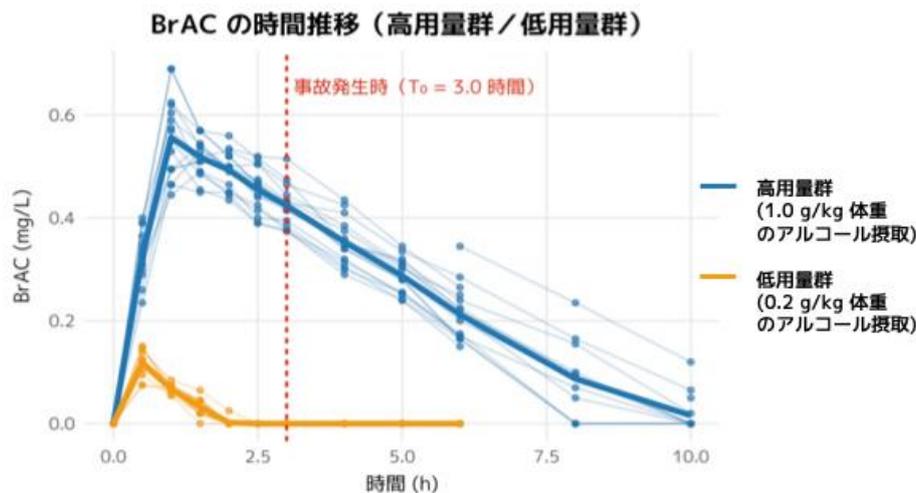


図4 BrAC の時間推移

4. 今後の課題

本研究では、単回飲酒条件に基づき EtG/EtS の動態および BrAC 多点測定 の推定精度を明らかにしたが、今後さらに解決すべき課題が残されている。まず、実務上重要となる「追い飲み (追加飲酒)」が EtG/EtS や BrAC に与える影響について、本年度は被験者負担等の理由から検討できなかったため、次年度以降に体系的に評価する必要がある。また、予定していた PEth 測定を実施できなかったことから、EtG/EtS と組み合わせた複合指標としての有用性の検証が今後の課題である。さらに、本研究の血液採取は 0～10 時間並びに 24 時間後時点に限定されており、10～24 時間における血中 EtG/EtS の動態は不明であるため、逃げ得事案を想定した後期の残存性評価が求められる。加えて、*ALDH2* *1/*2 遺伝子型の参加者数が少数であったため、遺伝要因の影響をより確実に評価するには対象者数の拡大が必要である。

これらの課題を解決することで、EtG/EtS による飲酒痕跡の判定精度や BrAC 多点測定による事故時推定の信頼性が向上し、飲酒運転捜査における科学的根拠の強化につながる。ひいては、本研究課題の目的である「アルコール等影響発覚免脱事案への適用」を実現するための基盤整備に資することが期待される。

5. 研究結果の公表方法

本研究の成果は国際学術誌 *Forensic Toxicology* に原著論文として公表した。また、学会発表も行った。今後は BrAC の多点測定法に関して論文を投稿予定である。

論文発表

Suefusa-Shimogori Y, Hirokazu Wakuda, Shinichi Nureki, Megumi Kai, Daisuke Sakamoto, Nao Mori, Tatsuji Fujisawa, Masaharu Narihara, Naoto Uemura. Forensic implications of ethyl glucuronide and ethyl sulfate pharmacokinetics in Japanese adults: the influence of dose, genetic polymorphisms, and habitual alcohol consumption. *Forensic Toxicology*, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11419-025-00747-y>

学会発表

1. 下郡 (末房) 優子: 「飲酒後における非酸化的エタノール代謝物の薬物動態」日本法中毒学会第 44 年会, 2025 年 6 月 28 日
2. 下郡 (末房) 優子: 「事故時アルコール濃度推定における呼気中アルコール濃度多点測定の有効性評価」日本法科学技術学会第 31 回学術集会, 2025 年 11 月 12 日

参考文献

- 1) Andresen-Streichert H, Müller A, Glahn A, Skopp G, Sterneck M. Alcohol biomarkers in clinical and forensic contexts. *Dtsch Arztebl Int.* 115: 309–315, 2018.
- 2) 長谷場健, 八木勇磨, 田邊智英, 大草幹大, 崔范来, 小野滝幸, 山本伊佐夫, 内ヶ崎西作, 大野曜吉, 呼気中アルコール濃度 2 点測定による事故時アルコール濃度推定の有用性. *法医学の実際と研究*, 55: 127-132, 2012.

以上

Estimation of Blood Alcohol Concentration in Drunk-Driving Incidents Using Alcohol Biomarkers: Toward Application in Cases of Evasion of Alcohol Impairment Detection

Primary Researcher: Yuko Suefusa
Senior Researcher, Forensic Science Laboratory, Criminal Investigation Department, Oita Prefectural Police Headquarters

Co-researchers: Masaharu Narihara
Chief Researcher, Forensic Science Laboratory, Criminal Investigation Department, Oita Prefectural Police Headquarters

Nao Mori
Senior Researcher, Forensic Science Laboratory, Criminal Investigation Department, Oita Prefectural Police Headquarters

Daisuke Sakamoto
Researcher, Forensic Science Laboratory, Criminal Investigation Department, Oita Prefectural Police Headquarters

This study aimed to establish a scientific method to determine recent alcohol intake in “evasion-of-detection” drunk-driving cases, in which drivers refuse breath alcohol testing and a considerable delay occurs before compulsory blood collection. A controlled single-dose alcohol administration study was conducted in healthy Japanese adults. Blood and urine concentrations of ethyl glucuronide (EtG) and ethyl sulfate (EtS), non-oxidative metabolites of ethanol, were measured for 24 hours to evaluate their utility as indicators of recent drinking, even when blood ethanol concentrations fall below the limit of detection at the time of sampling. In addition, assuming scenarios where early post-accident breath alcohol concentration (BrAC) measurements are available, we assessed whether multi-point BrAC sampling improves the accuracy of estimating BrAC at the time of the incident. EtG and EtS remained detectable longer than ethanol in the high-dose group, demonstrating their value as biomarkers of recent alcohol ingestion. The two-point BrAC estimation method yielded the smallest error and showed superior accuracy compared with the traditional single-point approach. These findings contribute to establishing reliable evidence of drinking in evasion cases and enhancing the precision of BrAC reconstruction at the time of traffic accidents.