

# Headache Records: 局所差分プライバシーにより履歴を隠して片頭痛を予測するアプリの開発

菊池 浩明<sup>1,a)</sup> 森本 晴哉<sup>1,b)</sup> 金子 菜月希<sup>1,c)</sup> 木村 朱里<sup>1,d)</sup> 斉藤 裕樹<sup>1,e)</sup>

**概要:** 片頭痛の主な原因は、気温や気圧などの気象条件の急激な変化にあることが知られている。効果的な治療や防止のためには、頭痛発症の頻度や薬の服用量などを正確に把握することが必要である。しかしながら、これらの疾病履歴は漏洩した時の影響が深刻であり、要配慮個人情報に分類されて厳格な安全管理措置を取ることが事業者に求められている。そこで、局所差分プライバシー技術を適用し、頭痛発症に関する情報を摂動化し、個人属性と気象条件の条件における頭痛発生リスクを正確に予測するアプリ Headache Records を開発した。本稿では、アプリの設計と開発に関する技術情報を報告し、試験ユーザによる実証実験について述べる。プライバシーを保護してヘルスケア情報を二次活用する為のコンセプト実証を提供する。

**キーワード:** 局所差分プライバシー, ヘルスケア

## Headache Records: Development of smartphone app to predict migraines without sharing history via local differential privacy

HIROAKI KIKUCHI<sup>1,a)</sup> HARUYA MORIMOTO<sup>1,b)</sup> NATSUKI KANEKO<sup>1,c)</sup> AKARI KIMURA<sup>1,d)</sup>  
HIROKI SAITO<sup>1,e)</sup>

**Abstract:** It is well known that the primary cause of migraines lies in sudden changes in weather conditions such as temperature and atmospheric pressure. For effective treatment and prevention, it is essential to accurately record the frequency of headache occurrences and the amount of medication taken. However, such medical histories are highly sensitive, and their leakage could have severe consequences; therefore, service providers are required to implement strict security measures as these data are classified as special-care personal information. To address this, we applied local differential privacy techniques to perturb information on headache occurrences and developed an application, *Headache Records*, that accurately predicts the risk of headache onset under given personal attributes and weather conditions. In this paper, we report the technical details of the application's design and development and describe the results of pilot experiments with trial users. This work provides a proof of concept for reusing healthcare information while preserving privacy.

**Keywords:** Local differential privacy, healthcare

### 1. はじめに

片頭痛は日常生活に重大な影響を及ぼす神経疾患の一つであり、その発症メカニズムとしては気温や気圧といった気象条件の急激な変化が主要な要因であることが知られている。このため、片頭痛の発症を予測し、事前に対策を講じることができる仕組みへの社会的需要は高い。発症予測

<sup>1</sup> 明治大学総合数理学部  
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University

a) kikn@meiji.ac.jp

b) ev230590@meiji.ac.jp

c) ev230519@meiji.ac.jp

d) ev230511@meiji.ac.jp

e) hrksaito@meiji.ac.jp

は予防的な健康管理に資するのみならず、薬剤の服用量の最適化や生活習慣の調整にもつながることが期待される。

片頭痛予測や発症要因に関する研究は、これまでに多方面で行われている。例えば、Li らの [1] では気象条件と頭痛発症との相関を統計的に解析する試みや、Mukamal らの [3] による医療機関による診察結果と気温天候のクロスオーバー研究などが知られている。ウェアラブルデバイスを用いた生体データの計測による予兆検知の研究も進み、モバイルアプリケーションを活用した頭痛日誌の収集と予測モデルの構築も進められている [8]。しかしながら、これらの研究の多くはプライバシー保護の観点が十分に考慮されておらず、収集されたデータの利活用に対してユーザが不安を抱く可能性が指摘されている [10]。

この分野の研究においては、特にプライバシーの保護が重要な課題である。頭痛発症履歴や服薬記録といった病歴情報は、要配慮個人情報として取り扱われるべき極めてセンシティブな情報である。ユーザは自らのヘルスケア情報が事業者知られることや、意図せぬ形で二次利用されることに強い懸念を抱いており、このことが正確な予測モデルの構築に必要なデータ収集・利用を阻害する要因となっている。

そこで本研究では、局所差分プライバシー (Local Differential Privacy; LDP) [6] 技術を適用し、ユーザが報告する頭痛レベルをランダム化することで、個人のプライバシーを保護しながらも、個人属性や気象条件に基づく頭痛発症リスクを正確に推定可能なアプリケーションを開発した。本研究の新規性は、プライバシー保護と予測精度の両立を実現した点にある。

本論文では、開発したアプリケーション Headache Diary の設計と実装に関する技術的詳細を報告するとともに、少数の試験ユーザを対象とした実証実験の結果について述べる。これにより、プライバシーを確保しつつヘルスケア情報を二次的に活用するための有効なコンセプト実証を提示する。

## 2. 準備

### 2.1 LDP

アルゴリズム  $\Psi: D \rightarrow \hat{D}$  が  $\epsilon$ -LDP であるのは、全ての  $x_1, x_2 \in D$  について、

$$\forall T \in \hat{D}, Pr[\Psi(x_1) = T] \leq e^\epsilon Pr[\Psi(x_2) = T].$$

であるとき、かつ、その時に限る。

LDP を満たす頻度オラクル (FO) として、Generalized Randomized Response (GRR) [6] を考える。

#### 2.1.1 GRR

入力を離散値  $x \in D$ ,  $d = |D|$  とする。GRR では、確率質量関数

表 1: 被験者集合

属性	統計量
性別	男性 14, 女性 21
年齢	18–60
身長	150 – 184 [cm]
体重	43.0 – 76.00 [kg]

$$Pr[\Psi_{GRR}(x) = y] = \begin{cases} p = \frac{e^\epsilon}{e^\epsilon + d - 1} & \text{if } y = x, \\ q = \frac{1}{e^\epsilon + d - 1} & \text{if } y \neq x, \end{cases}$$

に従って、 $y \in \tilde{D}$  に摂動化する。

$x$  の頻度は、 $\frac{c(x) - nq}{p - q}$  で推定できる。ここで、 $c(x)$  は摂動化された値の  $x$  の頻度である。

## 2.2 先行研究

Li らは [1]、多くの片頭痛が天候の変化を引き金として認識しており、特に気温と気圧との間に有意な関連が見られたことを明らかにした。その一方、湿度と頭痛の相関は確認できなかった。

Ozeki らは [2]、頭痛治療薬ロキソプロフェンの販売状況と天候の関係を調査した。気象庁から提供される気象データとドラッグストアチェーンでのロキソプロフェンの売上高を収集した調査したところ、ロキソプロフェンの売上割合は平均気圧が下がると増加。購入頻度と降水量、平均湿度、最低湿度との間の相関を明らかにした。

Mukamal らは [3] にて、7 年間である診療科診察された 7054 名の患者を対象としたクロスオーバー研究を実施した。その結果、周囲温度が高くなり気圧が下がると、救急科の評価が必要な頭痛のリスクが一時的に増加ことを明らかにしている。

## 3. 提案方式

GRR を用いて頭痛レベルと投薬情報を摂動化してからサーバに送信するアプリを開発した。図 1 にアプリの実行画面を示す。

## 4. 評価

2025 年 8 月 1 日より 8 日間、表 1 に内訳を示す 35 名で本アプリ (android 版, ブラウザ版) で被験者実験を行った。

### 4.1 実験結果

本研究では、開発したアプリケーション Headache Diary を少数の試験ユーザに配布し、約数週間にわたって使用させることで、局所差分プライバシー (LDP) を適用したデータ収集の有効性を検証した。収集したデータには、ユーザが報告した頭痛レベル、服薬状況、およびアプリから参照した気象情報 (気圧, 気温, 湿度など) が含まれる。

分析の結果、第一に、LDP によりランダム化されたデータを用いた場合でも、真の分布に基づく統計量との差

(a) 個人情報登録

(b) ホーム画面

(c) 頭痛レベル入力

図 1: HeadacheRecords 実行例

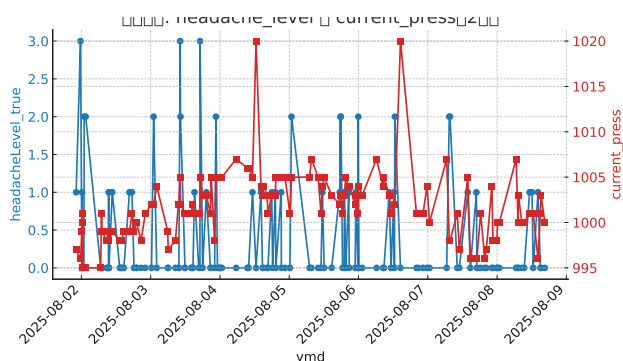


図 2: 気圧と頭痛レベルの変化

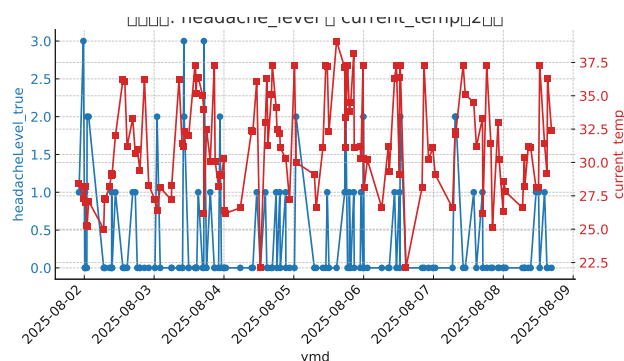


図 3: 気温と頭痛レベルの変化

は許容範囲に収まり、推定値は統計的に妥当な精度を維持していることが確認された。特に、気圧の低下や気温の変化と頭痛レベルの上昇との間に有意な相関が認められ、既存研究の知見と整合する傾向が観測された。第二に、ユーザごとのデータを集約した結果、LDP 適用下でも、気象条件に応じた頭痛発症リスクを予測可能であることが示された。

さらに、ユーザアンケートに基づく主観的評価においても、本アプリの利用は概ね肯定的に受け止められ、特に「使いやすさ」「直感的な操作性」に関して高い評価を得た。一方で、一部のユーザからは、操作時に混乱する場面があるとの指摘もあり、UI 改善の余地が示唆された。

本研究で開発した Headache Diary は、LDP によるプライバシー保護を維持しながらも、頭痛発症リスクを精度良く推定できることが確認された。これにより、ヘルスケア分野におけるプライバシー保護型データ利活用の有効性を示す一つの証拠を提供することができた。

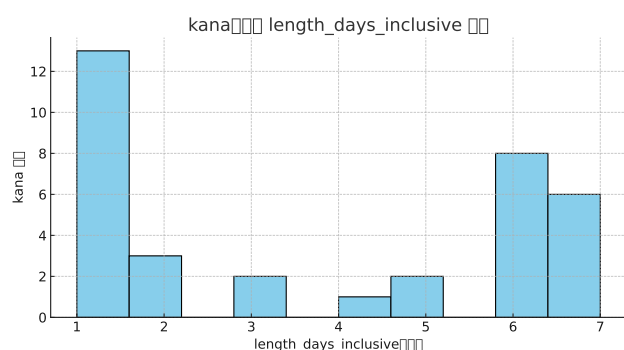


図 4: アプリ利用期間の分布

## 5. おわりに

本研究では、片頭痛発症と気象条件との関連性に着目し、プライバシーを保護しながら発症リスクを予測可能とするアプリケーション Headache Diary の設計・開発について報告した。特に、LDP 技術を用いて、ユーザが入力する頭

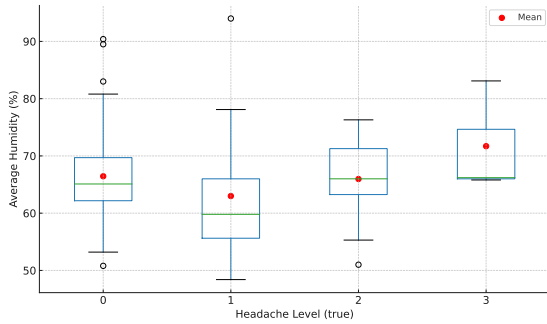


図 5: 湿度と頭痛レベルの相関

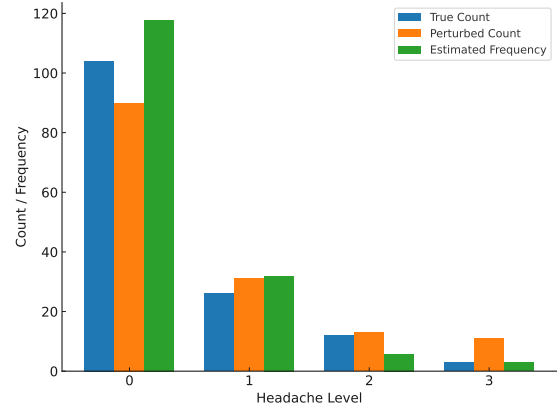


図 9: 頭痛レベルの推定頻度

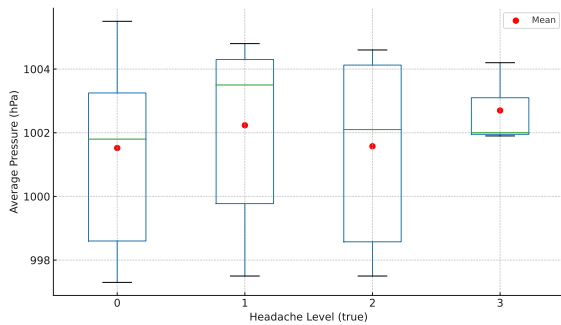


図 6: 気圧と頭痛レベルの相関

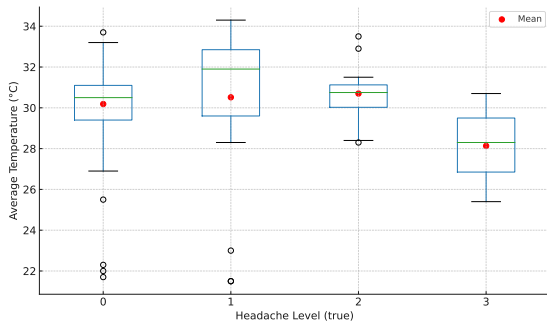


図 7: 気温と頭痛レベルの相関

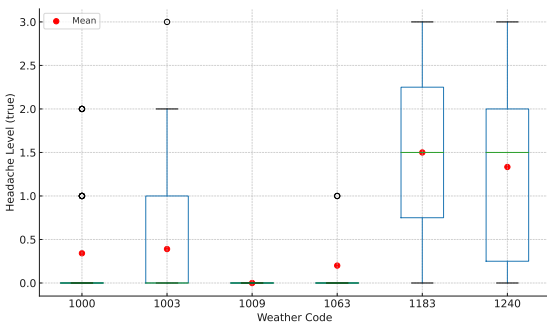


図 8: 天気と頭痛レベルの相関

表 2: ユーザビリティ調査	
質問	平均値
このアプリを頻繁に使いたいと思いますか。	3.3
このアプリは複雑すぎると感じましたか。	1.1
このアプリは使いやすいと感じましたか。	4.0
このアプリの操作にはサポートが必要だと感じましたか。	1.5
このアプリの機能はうまく統合されていると感じましたか。	4.2
このアプリには一貫性が欠けていると感じましたか。	1.4
多くの人がこのアプリをすぐに使えるようになると思いましたか。	4.4
このアプリを使うまでに多くのことを学ぶ必要があると感じましたか。	1.5
このアプリは直感的に操作できると感じましたか。	4.6
このアプリの使用中に困惑することが多かったですか。	1.4

痛レベルをランダム化する仕組みを導入し、個人の病歴情報を安全に収集・解析できる方式を提案した。

少数の試験ユーザを対象とした実証実験の結果、LDP による摂動が加えられたデータに基づいても、気圧や気温の変化と頭痛発症との統計的傾向を検出できることが確認された。さらに、発症頻度の推定精度は実用上許容可能な範囲に収まり、プライバシーを確保したままヘルスケア情報を二次的に活用できる可能性が示された。また、ユーザアンケートの結果からは、アプリの使いやすさや直感的操作性に関して概ね高い評価が得られ、提案手法の有用性が支持された。

## 参考文献

- [1] Li S, Liu Q, Ma M, Fang J, He L., “Association between weather conditions and migraine: a system-

- atic review and meta-analysis,” *J. Neurol.* 2025 Apr 17;272(5):346. doi: 10.1007/s00415-025-13078-0. PMID: 40246758, 2025.
- [2] Ozeki, K., Noda, T., Nakamura, M. et al. “Weather and headache onset: a large-scale study of headache medicine purchases,” *Int J Biometeorol* 59, 447451 <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0859-8>, 2015.
  - [3] Mukamal KJ, Wellenius GA, Suh HH, Mittleman MA, “Weather and air pollution as triggers of severe headaches,” *Neurology*. 10;72(10):922-7. doi:10.1212/01.wnl.0000344152.56020.94. 2009.
  - [4] Brooke J, “SUS-a retrospective,” *J Usability Studies*, 8, 29-40, 2013.
  - [5] S. Song, L. Xu and L. Zhu, “Efficient Defenses Against Output Poisoning Attacks on Local Differential Privacy,” in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 18, pp. 5506-5521, 2023.
  - [6] P. Kairouz, K. Bonawitz, and D. Ramage, “Discrete distribution estimation under local privacy,” in *Proc. 33rd Int. Conf. Mach. Learn.*, vol. 48, Jun. 2016, pp. 2436-2444.
  - [7] J. C. Duchi, M. I. Jordan, and M. J. Wainwright, “Minimax optimal procedures for locally private estimation,” *Journal of the American Statistical Association*, vol. 113, no. 521, pp. 1822-1831, 2018.
  - [8] ライフログテクノロジー, “カロミル プライバシーポリシー”, (2025 年 8 月参照, <https://www.calomeal.com/ppolicy.html>).
  - [9] A. Xiong, T. Wang, N. Li and S. Jha, “Towards Effective Differential Privacy Communication for Users’ Data Sharing Decision and Comprehension,” 2020 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), pp. 392-410, 2020.
  - [10] 中川 裕志, 菊池 浩明, “個人データの利用に対する許容度に関する社会調査”, コンピュータセキュリティシンポジウム 2022 論文集, 情報処理学会, pp. 1222-1229, 2022.