動画像の手法を用いた携帯電話人口統計の異常検知の試み
平成３０年北海道胆振東部地震および令和６年能登半島地震を事例に

小野塚仁海*

Anomaly Detection in Mobile Location Statistics Applying Motion Image Technique
Case Studies of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake and the 2024 Noto Earthquake

Masami Onozuka*

Abstract: This study explores the application of Cubic Higher-Order Local Auto-Correlation (CHLAC), a video analysis technique, to detect anomalies in mobile location statistics during disasters. The structural similarities between spatiotemporal population distribution and moving images allowed CHLAC to be applied to mobile phone location statistics with only slight modifications. The method was tested on data from the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake and the 2024 Noto Earthquake. While clear anomalies were detected in the former case, results were less effective in the latter. The mask pattern in CHLAC was suited for detecting motion in moving images, so it was thought that the feature space could not adequately represent events with spatial extents. Findings suggest the possibility of applying methodologies from other fields with structurally similarity to enhance analytical techniques for mobile location statistics.

Keywords: 携帯電話人口統計（Mobile location statistics），立体高次局所自己相関（Cubic Higher-Order Local Auto-Correlation），異常検知（Anomaly detection），平成３０年北海道胆振東部地震（2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake），令和６年能登半島地震（2024 Noto Earthquake）

１．はじめに
１．１　研究の背景
携帯電話人口統計は，スマートフォンの位置情報等を収集，集計し，高い時空間解像度で人口分布を把握するものである．これらのデータは，従来の人口統計データと比較して時間解像度が非常に高いうえ，災害などの事後に，さかのぼってデータの取得が可能であるため，防災研究に有用であると考えられている．そのため近年，災害時に見られる特徴的な人口分布変化の検出を通じて，異常な群衆の検出や災害の特徴の把握を試みる研究が行われている．一方で，携帯電話人口統計に現れる災害の影響について分析するための手法は，いまだ発展途上であり，これらのデータの特性を踏まえ，適用可能な手法が探索されている．

例えば，奥村（2015）では，携帯電話人口統計を，各メッシュについて多数の時刻の人口データを持つ多変量データとして捉え，これに因子分析を行うことで，災害による影響の空間パターンや時間経過を明らかにしている．また，宇田川（2021）では，各メッシュにおける人口の経時変化を時系列データとして扱い，時系列モデルを適用することで，災害リスク範囲内における人口動態の把握を試みている．これらのように，携帯電話人口統計の活用のため，様々な手法の適用が行われている．しかし，従来適用されてきた手法は，各統計区のデータを個別のものとして捉えるものであり，位置情報の紐づく地理空間情報であることを生かしたものは少ない．地理空間ビッグデータである携帯電話人口統計の特性を生かした活用のためには，データの地理空間的な構造を考慮できる手法を導入する必要があると考えられる．

携帯電話人口統計への新たな分析手法の導入のためには，従来の手法を地理空間的な構造に対応するよう拡張することの他，データや対象とする事象の構造に共通性のある分野から手法を導入することが考えられる．そこで本研究は，データの構造に携帯電話人口統計との共通性がある「動画像」の手法を応用することで，災害時の人口時空間分布に見られる異常を検出することを目的とする．

１．２　研究の方法
本研究では，携帯電話人口統計と動画像について，その構造に共通性があることを示した上で，動画像の物体・動作の異常検出手法である「立体高次局所自己相関（CHLAC）」を実際の災害事例のデータに適用し，課題を整理する．重ねて，同様の手法を別の災害事例のデータに適用し，その結果を踏まえ手法の有効性について検討する．

*　学生会員　北海道立総合研究機構（Hokkaido Research Organization）
〒078-8801　北海道旭川市緑が丘東１条３丁目 1-20　Tel：0166-73-4268

２．動画像の手法の携帯電話人口統計への適用

２．１　動画像と携帯電話人口統計の共通性

動画像は，その表示領域を，画像記録の最小単位であるピクセルを縦横に並べることで構成し，これらの値がフレームごとに変化することで表現されている．各ピクセルには，グレースケールの場合１つ，カラーの場合３つの数値が格納される．一方、携帯電話人口統計は多くの場合，基準地域メッシュや分割地域メッシュ単位で集計され，時刻や時間帯，日別の滞在人口等が提供される．性別や年齢，居住市町村等の属性ごとに集計されたものが提供される場合もある．このことから，動画像と携帯電話人口統計は，対象となる面的な領域を方形に区切り，各領域について１ないし複数の数値が格納され，時間軸に沿って各値が変化していく構造を持っているという点で構造的な共通性があると言える．そのため，動画像の分析手法を携帯電話人口統計に適用することが可能であると考えられる．

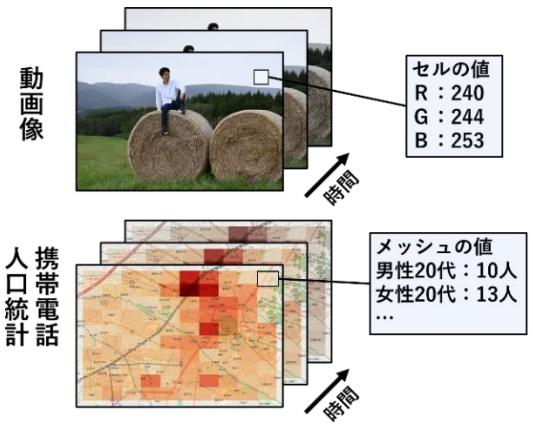


図１　動画像と携帯電話人口統計の共通性

２．２　CHLAC について

立体高次局所自己相関（CHLAC）は，２次元の画像データにおける物体検出や異常検知に用いられる高次局所自己相関（HLAC）の考え方を，３次元の動画像に拡張したものである．この手法は，動画内の各フレームの特徴量計算が容易であり，また汎用性が非常に高いと考えられている（太田 2012）．そこで本研究では，この CHLAC を携帯電話人口統計に適用することで，災害等による異常の検知を試みる．

HLAC は，２値化した画像データについて，マスクパターンと呼ばれる３セル×３セル（9 ピクセル）以上の大きさの多数のパターンとそれぞれ一致する箇所を数え上げることで，画像を特徴空間に埋め込み，クラス分類や異常検知を行う手法である．

HLAC におけるマスクパターンには，パターンの中央のセルに加え，隣接する８個のセルのうち１個か２個のセルを埋めたものが用いられる（図２）．この際，平行移動すると一致するマスクパターンは統合される．例えば，中央と右上のセルによるマスクパターンと，中央と左下のセルによるマスクパターンは等価であるため，どちらか片方のみが用いられる．その結果，HLAC では典型的には 25 個のマスクパターンが用いられる．

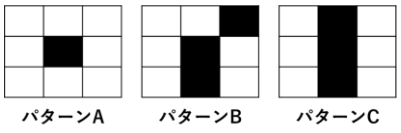


図２　HLAC で用いられるマスクパターンの例

CHLAC では HLAC と同様に，２値化した動画像データに対して，３セル×３セル×３セル（27 ボクセル）のマスクパターン（図３）を用い，動画像の各フレームを特徴空間に埋め込む．中央のセルと隣接するセルが 26 個となるため，パターン数も大幅に増え，251 個のマスクパターンが用いられる．２値化の方法としては，フレーム差分が用いられる．CHLAC を用いることで，動作の種類や動作する物体の差違を検出することができる．

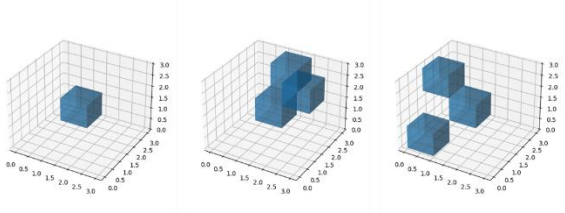


図３　CHLAC で用いるマスクパターンの例

２．３　CHLAC の携帯電話人口統計への適用

データの構造の共通性から，動画像の手法はほとんど変更をせず携帯電話人口統計に適用することが可能である．しかし，携帯電話人口統計の特徴や研究の特性を考慮し，本研究では「二値化の方法」と「異常度の算出」，「集計の単位」に以下の変更を加えた．

二値化の方法

通常の CHLAC では前後のフレームにおける明度等の値の差（フレーム差分）に一定の閾値を設け，２値化を行っている．携帯電話人口統計に適用した場合，前の時刻との人口差に閾値を設け２値化を行うことになる．この場合，人口密度の違いによって，閾値を容易に超えるメッシュと，閾値を超える変化が非常にまれにであるメッシュが現れ，限られたメッシュの動向のみで特徴量が計算されることになってしまう．そのため本研究では，メッシュごとに値を正規化し，偏差平方が σ^2 以上であるとき１，それ以外の場合に０とする２値化を行った．

集計の単位

携帯電話人口統計には，都市の通勤・通学等に由来する１日単位での人口変動が含まれている．CHLAC で通常行われるように各時刻の人口分布について特徴量，異常度等を計算する場合，１日単位の変化による影響が強く

現れるおそれがある. その影響を除くため, 本研究では, 特徴量の算出にあたって，単一の時刻ではなく１日を単位とした.

異常度の算出

通常のCHLACを用いた異常検出やクラス分類では,「平常時」や「特定の動作」が含まれる動画像を学習データとし，これらから抽出された特徴量をもとに部分空間を計算し，さらにこれらの部分空間と，読み込まれた各フレームの特徴量の距離を計算している.

携帯電話人口統計においても,「平常時」や「平日/休日」などのデータを学習データとして部分空間を計算することが考えられるが，本研究では用いることができるデータの量に限りがあるため，発災前後を含めたデータセットの全体を用いて部分空間を計算した．また，部分空間から，各日における特徴ベクトルまでの距離を，ある日における人口時空間分布の異常度とした.

表１　本研究で用いた手法と一般的な手法の差違

	一般的な手法	本研究
使用するデータ	動画像	携帯電話人口統計
二値化の方法	フレーム差分	メッシュごとに算出した平均値からの偏差
集計の単位	１フレームごと	１日ごと（24 フレーム）
異常度の算出	部分空間法「通常動作」等の学習データから得られる部分空間からの距離	部分空間法データセット全体から得られる部分空間からの距離

３．平成３０年北海道胆振東部地震を事例とした異常検出の試行

３．１　用いたデータ

前章で行った CHLAC の携帯電話人口統計への適用をもとに, 平成 30 年北海道胆振東部地震発災前後における札幌市中心部の携帯電話人口統計データから，発災前後に見られた人口分布異常の検出を試行する.

データはモバイル空間統計を使用する．胆振東部地震の事例では，表２の内容について，札幌の中心市街部の東西約 20 ㎞，南北約 10 ㎞の範囲を対象，500ｍメッシュ単位で人口分布データを取得した．なお，同様のデータを用いた小野塚･橋本(2023)では, 発災当日 (9 月 6 日) および翌日の人口時空間分布が，期間中の他の日付とは大きく異なっていたことが示されている.

表２　取得したデータの内容

属性	内容
メッシュ	500m メッシュ 800 か所
期間	2018 年 8 月 20 日から 9 月 14 日（26 日間）
時間解像度	1 時間

３．２　計算結果

前記のデータに対して CHLAC を用いた異常度算出を適用した結果を図４に示す.

発災当日および翌日の異常度が突出して高く，本事例においては CHLAC を用いることで異常な人口時空間分布が現れたタイミングを検出することができたと考えられる.

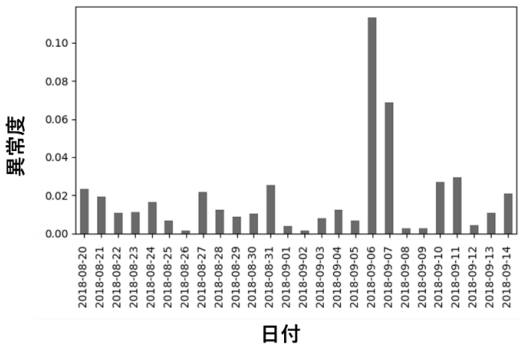


図４　CHLAC を用いた胆振東部地震発災前後の札幌における人口分布の異常検出

表３　データセット全体に対する各マスクパターンの出現数

パターン番号	出現数
1	635
14	324
213	369
その他	2166
合計	3494

パターン番号は Kobayashi& Otsu(2009)による

一方，データセット全体における各マスクパターンの出現数（表３）に着目すると，出現頻度上位３つのパターンで全体の 44%を占めていることがわかる．これらのパターンは，中心のセルのみのパターン（パターン番号１), および中心のセルと時間的に前後に隣接するセルのみからなるパターン（同 14,213）であり，人口分布の異常の空間的広がりをとらえたものではない.

通常の CHLAC のマスクパターンは，動作の「動き」を検出するのに適したパターンとなっているため，面的

に現れる変化を検出するためには，異なるマスクパターンを使用する必要があると考えられる．

４．令和６年能登半島地震の事例による試行

前章では，平成３０年胆振東部地震発災前後の札幌における携帯電話人口統計に CHLAC を用いた異常度算出を適用することで，発災当日・翌日に見られる人口分布の異常を検出することができた．そこで本章では，他事例にも同様の手法を用いることで異常を検出できるか，令和 6 年能登半島地震発災前後の金沢を事例に試行した．

使用したデータはモバイル空間統計によるものであり，取得した内容は表４の通りである．

表４　取得したデータの内容

属性	内容
メッシュ	500m メッシュ 100 か所
期間	2023 年 12 月 26 日から 2024 年 1 月 14 日（20 日間）
時間解像度	1 時間

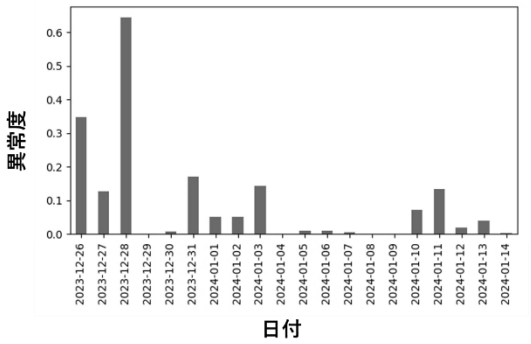


図５　CHLAC を用いた令和 6 年能登半島地震前後の金沢における人口分布の異常検出

前記のデータに対して CHLAC を用いた異常度算出を適用した結果を図５に示す．発災日や他のイベント日とは異なる 12 月 28 日の異常度が突出して高くなっていることがわかる．また，他の日付においても，異常度が高くなる日とそうでない日についての解釈が難しくなった．このことから，本事例においては CHLAC を用い異常な人口時空間分布が現れたタイミングを検出することはできなかったと考えられる．

本事例は元旦おける発災であり，対象期間が年末年始にあたることから，期間中の人口分布パターンの規則性が低くなり，災害の影響による相対的に小さくなった可能性が考えられる．また，本事例においては，各マスクパターンの出現頻度が低く（全期間を通じ，全パターン合計 191 回），今回用いた特徴量空間では，本事例の人口時空間分布の特徴を十分に捉えることができなかったことも考えられる．

５．おわりに

本研究は，動画像と携帯電話人口統計データの構造に共通性があることに着目し，動画像の手法である CHLAC を用いた異常度算出を携帯電話人口統計データに適用することで，災害による人口分布の異常を検出することを試みた．その結果，平成３０年北海道胆振東部地震の事例では，発災当日・翌日に見られる人口分布の異常を検出することができたが，令和 6 年能登半島地震の事例では検出できなかった．その背景として，各事例の特性のほか，通常の CHLAC で用いられる特徴量空間が，面的に現れる変化に十分対応できなかったことが考えられた．

本研究を通じ，携帯電話人口統計データの分析手法の発展のために，データや事象の構造に共通性のある他分野の手法を応用する可能性が示された．今後，動画像以外の携帯電話人口統計データと共通する構造を持つデータや分野を探索することで，有用な手法を導入することが考えられる．

謝辞

本研究は建議研究「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）」の課題研究「地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究」（代表者：橋本雄一，課題番号：HKD07）および JSPS 科研費（基盤研究 C）22K0104002，24K04408 における成果の一部である．

参考文献

奥村誠. (2015). 都市内災害復旧過程の時空間パターンの把握 携帯電話位置情報集計データの活用. 都市計画論文集, 50(3), 402-408.

宇田川真之. (2021). 人流データを用いた警戒期における大規模避難状況の推計~ 令和 2 年台風第 10 号襲来時の事例からの試み~. 災害情報, 19(2), 133-143.

太田雅仁，北野祐介，木村祐太，竹村裕, & 溝口博. (2012, May). 1P1-Q03 Open-RTM による CHLAC を用いた人物検出機能のモジュール化 (RT ミドルウェアとオープンシステム). In ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2012 (pp. _1P1-Q03_1). 一般社団法人 日本機械学会.

小野塚仁海，橋本雄一. (2023). 携帯電話データを用いた災害発生直後の都市における人口分布に関する地理学的研究. 地理情報システム学会講演論文集, 32.

Kobayashi, T., & Otsu, N. (2009). Three-way auto-correlation approach to motion recognition. *Pattern Recognition Letters*, *30*(3), 212-221.