ベイズ推定を用いた地理的プロファイリング

○藤岡徳穂¹・中村和幸²・越智啓太³

(¹ 明治大学大学院先端数理科学研究科・² 明治大学総合数理学部・³ 法政大学文学部)

キーワード：地理的プロファイリング, ベイズ推定, パーティクルフィルタ

Geographic Profiling Using Bayesian Estimation

Noriho FUJIOKA¹, Kazuyuki NAKAMURA, and Keita OCHI²

(¹ Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji Univ.,

² School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji Univ., ³ Faculty of Letters, Hosei Univ.)

Key Words: geographic profiling, Bayesian estimation, particle filter

目 的

強盗事件や放火事件や一部の殺人事件に見られるように加害者と被害者の間に面識のない場合では、捜査の過程で膨大な量の情報を精査する必要があり、そのために数多くの容疑者の中から犯人を特定するという作業は困難を極める。このような事件に対応するために開発されたプロファイリングのうち、犯行地点などの地理的情報を用いて犯人の犯行拠点や次の犯行地点を推定することを目的とする手法を地理的プロファイリングという。地理的プロファイリングは単体で事件を解決するものではないが、捜査の様々な場面において捜査を支援することができると考えられている。

近年、地理的プロファイリングに対する新たなアプローチとして、確率モデルによる推定法が研究されている。これは「犯行は犯人の持つ犯行確率分布の実現値である」と考えることにより、従来決定論的になされてきたアンカーポイントの推定を行うものである。確率モデルで考えるメリットとしては、(1)得られた推定結果の解釈が容易であること、(2)モデル間の比較ができることが挙げられる。

確率モデルの1つとして、ベイズ推定を用いた地理的プロファイリングがO'Leary(2009)によって提案されている。これは犯人が犯行を重ねるたびに、その地点で犯行が実現する尤度を計算することでアンカーポイントの事後分布を更新していく、最終的にアンカーポイントとして確率の高い領域を導き出すものである。

本研究では、犯行地点から効率的にアンカーポイントの事後分布を推定する手法としてパーティクルフィルタを用いることを提案する。またO'Leary(2009)で提案されたベイズ推定を用いた地理的プロファイリングについて具体的なモデリングを行い、シミュレーションによって円仮説・疑惑領域モデルとの比較を行うことでこの方法の有効性を検証する。

方 法

O'Leary(2009)は、ベイズ推定を用いて、アンカーポイントの分布を推定することを提案した。犯行地点を x 、アンカーポイントを z とし、犯行の行いやすさの分布を犯行確率分布と呼ぶことにする。犯行地点の選択はアンカーポイントに依存すると考えられるので、犯行確率分布は $P(x|z)$ と表すことができる。このとき犯人が複数の地点 $x_1, x_2, \dots, x_n$ で犯行を行ったとすると、「すべての犯行地点が得られるにはアンカーポイントはどこであるのが尤もらしいか」を考えることでアンカーポイントの推定を行うことができる。つまり、パラメータ z を持つ分布 $P(x|z)$ からの標本として犯行地点 $x_1, \dots, x_n$ が得られたと考えるとき、犯人のアンカーポイント z の事後分布は以下になる。

$$P(z|x_1, \dots, x_n) \propto P(x_1|z) \cdots P(x_n|z)\pi(z)$$

ここで $\pi(z)$ はアンカーポイントの事前分布であり、犯行地点の選択は互いに条件付き独立であると仮定している。

また具体的な犯行確率分布について本研究ではよく知られた分布の中から分布の性質などを考慮し、(1)レイリー分布、(2)ガンマ分布を用いた。

さらに、本研究では効率的な事後分布の推定法としてパーティクルフィルタを提案する。パーティクルフィルタは逐次モンテカルロ法の一つであり、直接観測が可能なデータをもとに直接観測ができない状態を推定することができる。

結 果

今回の研究ではシミュレーションによって、円仮説・疑惑領域モデル・ベイズモデルの3つのモデルを検証した。ここで円仮説と疑惑領域モデルとベイズモデルでは推定結果の性質が異なるため、そこで(1)面積が同じときのモデルの成立率、(2)モデルの平均面積の2つの基準によってモデルの良さを評価したところ、結果は以下のようになった。

表1：面積が同じときの各モデルの成立率

地点数	モデル	平均面積	成立率
5	円仮説	49.688	0.910
	ベイズモデル	49.688	0.980
8	円仮説	70.458	0.955
	ベイズモデル	70.458	1.000
11	円仮説	92.008	1.000
	ベイズモデル	92.008	1.000

図1：各モデルの平均面積

考 察

シミュレーションによって得られたベイズモデルに関する知見は以下の通りである。

- ・ 搜索面積と成立率の関係が得られるので、面積を小さく抑えることと仮説の成立率のどちらかを重視するかを使う人間が選択することができる。
- ・ 地点ごとにアンカーポイントである確率を表すことができ捜査の優先順位づけを行うことができるため、同じ面積を搜索した場合、円仮説・疑惑領域モデルに比べモデルの成立率が高い。
- ・ 多くの場合、円仮説・疑惑領域モデルに比べて狭い範囲の搜索で真のアンカーポイントを発見することができる。
- ・ 犯行地点数が多い場合、特に有効であると言える。

本研究で得られたこれらの知見は、ベイズモデルを利用することで、これまでよりも効率的にアンカーポイントを推定することができる可能性を示すものであると考えられる。

主要な引用文献

O'Leary, M. (2009). The Mathematics of Geographic Profiling. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, 6, 253-265.

越智啓太(2008) 犯罪捜査の心理学：プロファイリングで犯人に迫る,化学同人。