



TITLE:

地理的プロファイリング支援ソフトウェアの開発-被疑者拠点空間分析システム SAMON -

AUTHOR(S):

倉石, 宏樹; 萩野谷, 俊平; 小林, 一生; 楠見, 孝

CITATION:

倉石, 宏樹 ...[et al]. 地理的プロファイリング支援ソフトウェアの開発-被疑者拠点空間分析システム SAMON -. GIS -理論と応用 2020, 28(1): 39-48

ISSUE DATE:

2020

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/258960>

RIGHT:

© 2020 一般社団法人 地理情報システム学会; 許諾条件に基づいて掲載しています。

地理的プロファイリング支援ソフトウェアの開発 – 被疑者拠点空間分析システム SAMON –

倉石宏樹*・萩野谷俊平**・小林一生***・楠見孝****

Development of Geographic Profiling Software - Spatial Analysis Methods of Offender's Nodes: SAMON -

Hiroki KURAISHI*, Shumpei HAGINOYA**, Kazuo KOBAYASHI***, Takashi KUSUMI****

Abstract: Existing geographic profiling software that performs the widely tested probability distance strategies has issues when implemented in criminal investigation in Japan. Therefore, we developed the Spatial Analysis Methods of Offender's Nodes (SAMON) software based on a free software environment, R. Given the issues involving existing software, SAMON includes the following three features: (1) prediction of an offender's home base using different distance decay functions constructed from Japanese burglars' Journey-to-Crime distances; (2) validation of prediction accuracy in the solved case; and (3) calibration of the distance decay functions using a sample of solved cases in a type and region that the user is interested in. We expect that SAMON will improve the availability of probability distance strategies and its accuracy in the Japanese context.

Keywords: 地理的プロファイリング (geographic profiling), ソフトウェア (software), R (R), 確率距離法 (probability distance strategy)

1. 背景と目的

犯罪者プロファイリングとは、犯罪捜査で獲得された情報を、可能性の高い被疑者に関する描写へ統合していく過程である (Kocsis, 2003)。全国の都道府県警察においては、犯罪情報分析の一環として犯罪者プロファイリングによる捜査支援が実施されている。犯罪者プロファイリングは複数の分析手法のまとめりであり、事件リンク分析、被疑者像推定、地理的プロファイリング等の手続きが含まれている。

地理的プロファイリングは、一連の連続犯罪が行われた位置情報を用いて、被疑者が居住している可能性の最も高いエリアを導き出すものである (Rossmo, 2005)。地理的プロファイリングには複雑な計算過程を含む推定手法があり、その実施や推定結果の視覚化あるいは地理的プロファイリングに関

する研究のためのソフトウェアがいくつか開発されてきた。Rich and Shively (2004) は米国司法省からの要望で、地理的プロファイリング支援ソフトウェアの導入を検討する法執行機関の意思決定に資するため、カナダのKim Rossmoによって開発されたRigel、米国のNed Levineらによって開発されたCrimeStat、英国のDavid Canterによって開発されたDragnetの3つのソフトウェアを題材に、地理的プロファイリング支援ソフトウェアをどのように評価するかの指針を提案した。この調査では推定精度・ユーザからのフィードバック・特徴比較による各ソフトウェアの評価方法が提案されたが、Rossmo (2005) は地理的プロファイリング支援ソフトウェアの理論的前提を述べたうえでRich and Shively (2004) が用いた評価方法が不適切である点を指摘した。その2か月後にLevine (2005) は適切な評価方法の必要性

* 学生会員 滋賀県警察本部科学捜査研究所 (Forensic Science Laboratory, Shiga prefectural police H.Q.)
〒520-0106 滋賀県大津市唐崎一丁目34番3号 Email:kuraishi.hiroki.73n@kyoto-u.jp

** 非会員 ニューヨーク大学上海校 (New York University, Shanghai)

*** 非会員 広島県警察本部科学捜査研究所 (Forensic Science Laboratory, Hiroshima prefectural police H.Q.)

**** 非会員 京都大学 (Kyoto University)

に加えて地理的プロファイリングが前提にしている背景理論の検証の不十分さを指摘している。その後これらのシステムを用いた研究が行われており（たとえばDragnetに関しては、Canter and Hammond, 2007; Hammond, 2014; Lino et al., 2018; Sarangi and Youngs, 2006, CrimeStatに関しては、Crosby and Fox, 2017; Kent et al., 2006; Laukkanen and Santtila, 2006）、地理的プロファイリング支援ソフトウェアの開発によって拠点推定の研究が大きく活性化されたといえる。

これまでに開発されてきたソフトウェアは、いずれも複雑な計算過程を持つ推定手法を実施することができるが、いくつかの点で違いがある（表1参照、最新版とは異なる可能性がある）。

Rigelは1997年にEnvironmental Criminology Research Inc. (ECRI) と協働して、Rossmoが提唱したcriminal geographic targeting (CGT) モデルを実装した地理的プロファイリング支援のための商用ソフトウェアである。CGTモデルは、Brantingham and Brantingham (1981, 1984) が示した犯罪パターン理論等を基盤理論としたモデルで、バッファゾーン（被疑者が自分の身元が明らかになることを考慮して犯行が行われる可能性が低い拠点周辺の領域のこと（Rossmo, 2000））をもった減衰関数のみを距離減衰関数として採用している。しかし、これまでの研究ではバッファゾーンが見出されない場合も

報告されており（たとえばBlock and Bernasco, 2009; Haginoya, 2014; 萩野谷ほか, 2017; Xiao et al., 2018）、バッファゾーンを備えた関数が選択されるべき標本は吟味されなければならない、関数が1種類であることは十分な機能とは言えない。また、距離定義としてマンハッタン距離が適用される点は日本の一般的な道路環境に照らして疑問がある。さらに、Rigelは商用ソフトウェアであるうえ、導入に際しては開発者らによる研修を履修しなければならない点も特に研究への利用可能性を減じる。CrimeStatは米国司法省のホームページで無料公開されている犯罪データの空間分析のための統計パッケージ（Levine and Associates, 2013）である（<https://nij.ojp.gov/topics/articles/crimestat-spatial-statistics-program-analysis-crime-incident-locations>）。無料のソフトウェアながら多様な機能が実装されており、犯罪捜査のみならず様々な分野の研究等多くの場面で活用でき、日本の犯罪者プロファイリング分析者が高度な分析を実施する場合にも利用可能なソフトウェアである。距離減衰関数を複数実装しており、ユーザがデータを投入して自身のデータから関数のパラメータを推定することも可能である。しかし自身の行った拠点推定の精度を評価する指標は実装されておらず、背景地図が用意されていない。

Dragnetは1990年代にCanterによって開発された連続犯罪の空間分析のためのツール（Rich and

表1 地理的プロファイリングソフトウェアの比較

	本ソフトウェア	CrimeStat	Dragnet	Rigel
利用	無料	無料	開発者に依頼し購入可能	ECRI社から購入可能
背景地図	あり	なし	なし	あり
関数の初期係数	あり(東北地方の侵入窃盗事件(2004-2013)から推定)	あり(ボルティモアの犯罪データ(1993-1997)から推定)	あり	CGT algorithm (proprietary)による
距離定義	ユークリッド距離	ユークリッド距離	ユークリッド距離,マンハッタン距離	マンハッタン距離
推定精度の検証機能	誤差距離とサーチエリアを算出	なし	サーチコスト*を算出	なし
パラメータの推定	可能	可能	不可能	研究用のバージョンでのみ可能
使用時の研修	不要	不要	不要	必要

* サーチコストとは、分析対象とした領域の総面積に対するサーチエリア（犯人の拠点が含まれるセルよりも高い確率値の領域の広さ（Canter et al., 2013））の割合である。

Shively, 2004) である。Dragnetではデータから関数を設定可能であるが、負の指数のみが実装されておりRigelと同様の問題がある。また背景地図を持っておらずCrimeStatと同様の問題がある。開発者に連絡すれば購入可能であるが、分析に用いたデータの共有を求められる(Rich and Shively, 2004) ことがあり事件情報を扱う際には対応が難しい。English (2008) はこれらのソフトウェアを概観し、Rigelは配備にはあまりに高価であること、CrimeStatとDragnetは煩雑な作業があり研究や捜査への日常的な使用は難しいと指摘している。

以上のように既存のソフトウェアに見られる、バッファゾーンへの対応、地域や犯行特徴(罪種や手口等)ごとのデータへの柔軟な対応、精度指標の算出、背景地図の実装等の問題点を踏まえた上で、このソフトウェアひとつで日常的な捜査実務や研究に利用できる日本のデータを基盤とした地理的プロファイリングの支援ソフトウェア「被疑者拠点空間分析システム(Spatial Analysis Methods of Offender's Nodes; SAMON)」を開発した¹⁾(本システムでは犯罪者の移動経路を結ぶ日常生活での主要な場所を表す語として、Brantingham and Brantingham (1993) が用いたnodesという語を用いている。ほかの例ではhome baseやanchor pointなどが用いられることがある)。

2. 確率距離法

地理的プロファイリングでは、これまでに大きく分けて3種類(幾何学領域モデル、空間分布法、確率距離法)の手法が提案されてきた(萩野谷, 2016)。ここでは本稿で報告するSAMONに実装されている確率距離法について詳述する。

確率距離法は、被疑者の拠点から離れるほど犯行が行われる確率が減衰する傾向(距離減衰)を地理的プロファイリングに応用したモデルの総称である(萩野谷ほか, 2017)。この距離減衰の傾向は多くの地域や罪種で広く観察されている(たとえばCanter and Hammond, 2006; Chopin and Caneppele, 2018; Laukkanen and Santtila, 2006; Santtila et al., 2008; Sarangi and Youngs, 2006; Van Koppen and Jansen, 1998; Xiao et al., 2018など)。確率距離法で用いられる距離減衰関数は、被疑者が検挙された解決済み事件データを基に被疑者の拠点と当該被疑者によって行われた犯行地点との間の距離(犯行行程距離: journey-to-crime distance)のデータから作成される。犯行行程距離データから任意の階級に分けたヒストグラムを作成し、非線形最小二乗法により任意の関数のパラメータを推定する。推定された関数を用いて、以下のようなフローで被疑者の活動拠点が存在する可能性が高いと考えられる場所を推定する(図1)。

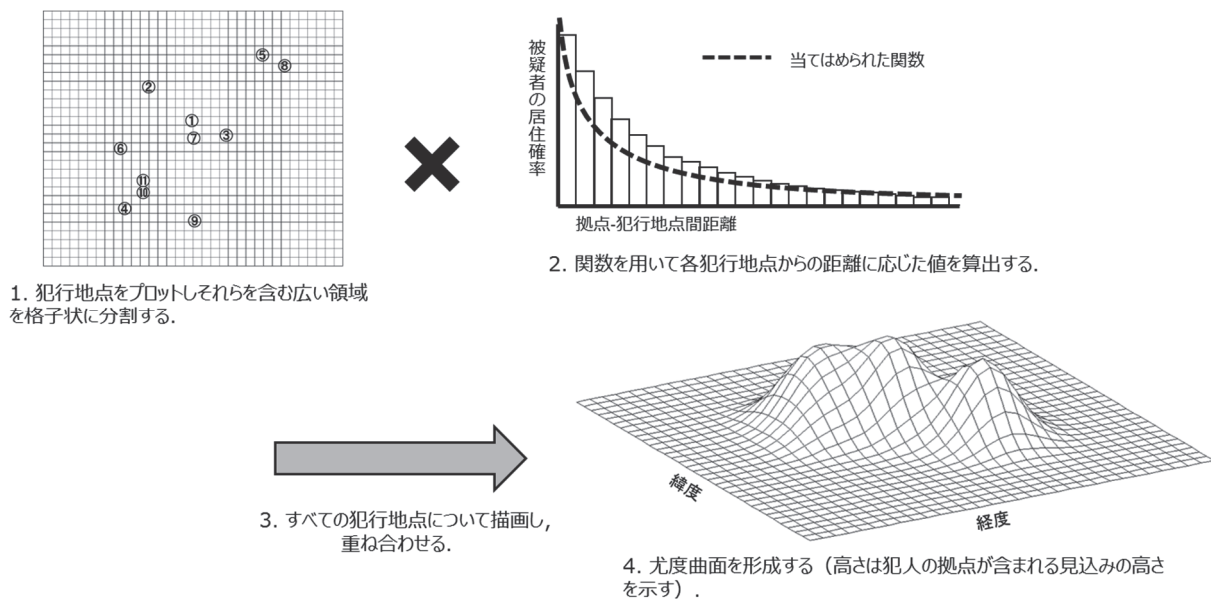


図1 確率距離法の概略図

1. 関心のある分析対象事件群を含む領域を設定し、任意の大きさのセルに分割する。
2. 各犯行地点を基点にして、任意の距離減衰関数に基づいて領域内のすべてのセルに対して値を算出する。
3. すべての犯行地点について上記2を行い、各セルに与えられた値を合算する。
4. 得られた合計値に基づいて、設定した領域内の尤度曲面 (likelihood surface (Levine and Associates, 2013)) を作成する。

得られた曲面の中で値が高い領域ほど被疑者の活動拠点が含まれる可能性が高いと考えることができる。

確率距離法の精度はこれまで多くの研究で検証されてきた (Canter et al., 2013; Canter and Hammond, 2006, 2007; Kent et al., 2006; Paulsen, 2006a, 2006b; Snook et al., 2005; Taylor et al., 2008; Tonkin et al., 2010)。萩野谷ほか (2017) は、日本の犯罪情報を用いて確率距離法と空間分布法の精度を比較し、確率距離法が最も優れた精度であったことを示し、日本においても確率距離法を用いることが実務において有用であることを明らかにした。

3. 被疑者拠点空間分析システム：SAMON

3. 1. 基本構成

本稿で報告する SAMON は、以下の機能を実装している。

拠点推定：同一犯による連続事件の地点情報から確率距離法による被疑者の活動拠点の推定を行う。

推定精度検証：被疑者が検挙された際に、実施済みの分析の推定精度を検証する。

関数作成：ユーザが関心のある地域や犯行特徴ごとに収集した被疑者群の犯行行程距離のデータから距離減衰関数のパラメータを推定し、以降の拠点推定に利用できるようにする。

これらの機能の算出過程や GUI は R (R Core Team, 2018) で行われており、ブラウザ上で動作する GUI は R の shiny パッケージ (Chang et al., 2019)、OpenStreetMap (OSM; <https://www.openstreetmap.org/>) を利用した背景地図の動作は leaflet パッケージ

(Cheng et al., 2018) によって行われている。ソフトウェア内で計算される地点間距離はすべて geosphere パッケージ (Hijmans, 2017) の distGeo 関数によって算出した。

SAMON は、その機能に関するほとんどをローカルストレージで保持するソフトウェアやソースを用いて動作させるが、背景地図の利用については上記のとおりインターネットに接続して取得した OSM を利用する。また、国土地理院が作成・公開している背景地図を実装したオフライン版の作成を進めている。

3. 2. 拠点推定機能

拠点推定機能では、2. 確率距離法の項で示したフローに従って、確率距離法による拠点推定を実施することができる。投入するデータは任意の地点に関する緯度経度情報であり、2 地点以上のデータがあれば実施できる。地点データは csv 形式で読み込ませるか、GUI に描画されている地図上をクリックすることで直接入力することができる。分析領域は投入された地点データの南北の最大距離と東西の最大距離のうち長いほうの距離を、犯行地点を含む最小の長方形の 4 辺に加算した領域とした²⁾。

領域をメッシュ状にセル化する (フロー 1) 際のセルの大きさは、1 辺の長さを 50m, 100m, 250m, 500m から選択できる。セルの大きさは分析領域の特性や捜査方針に照らして任意に選択できるが、細かくすると演算処理が増大し PC の処理能力によっては演算が完了しない可能性がある。

これまでの研究では、以下で述べる負の指数や対数正規分布など、様々な関数が犯罪者の対象選択行動における距離減衰傾向を表現する関数として用いられている。SAMON の確率距離法で採用している距離減衰関数は、以下の 8 つの関数である。これらの関数は、y 軸から単調に減少するものや第 1 象限に頂点を持つものなどが含まれており、地域や犯行特徴の変化に伴うバッファゾーンや犯行行程距離の違いに対応できるようになっている。

一部の関数は萩野谷ほか (2017) が東北地方の連続侵入窃盗犯データ (窃盗犯 333 名, 事件数 6402 件) を用いて作成した関数を参考にパラメータの初期値

が設定されている（()内に記載）。

●直線

$$f(d_{ij}) = A + Bd_{ij}$$

$$(A = 0.029937, B = -0.00035868)$$

●負の指数

$$f(d_{ij}) = Ae^{-Bd_{ij}}$$

$$(A = 0.429, B = 0.59623)$$

●対数

$$f(d_{ij}) = A + B \log(d_{ij})$$

$$(A = 0.10481, B = -0.025438)$$

●逆数

$$f(d_{ij}) = A + \frac{B}{d_{ij}}$$

●正規分布

$$f(d_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(d_{ij}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

●係数付き正規分布

$$f(d_{ij}) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(d_{ij}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

●対数正規分布

$$f(d_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma d_{ij}} e^{-\frac{(\log d_{ij}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$(\mu = 0.89262, \sigma = 1.9526)$$

●係数付き対数正規分布

$$f(d_{ij}) = A \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma d_{ij}} e^{-\frac{(\log d_{ij}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$(A = 1.1495, \mu = 1.1997, \sigma = 2.1123)$$

ここで、 d_{ij} は犯行地点*i*から任意のセルの中心*j*までの距離、 μ は犯行行程距離の平均、 σ は犯行行程距離の標準偏差である。逆数、正規分布及び係数付き正規分布は、萩野谷ほか(2017)のサンプルではそれらの関数と適合せずパラメータ推定で解が収束しなかったため初期値を持たない。これらの関数を拠

点推定で使用するには、3.4項で後述する関数作成機能において各パラメータを推定し保存する必要がある³⁾。

選択した関数による推定の算出結果は地図上にグラデーションで表示される(図2、地点はデモデータである)。表現された結果はpng形式とシェープファイル形式で保存できる。

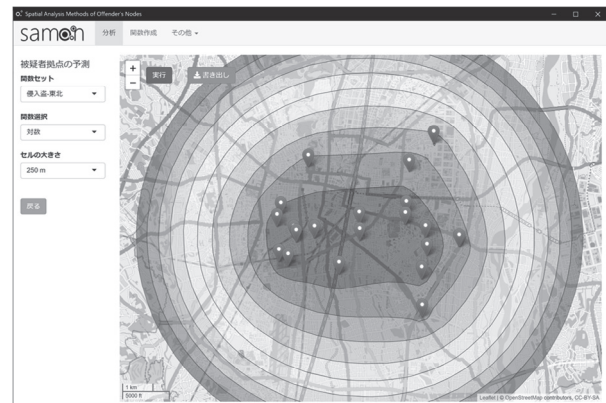


図2 拠点推定結果画面

3. 3. 推定精度検証機能

推定精度検証機能は、事件解決後に、検挙された被疑者の拠点を地図上で直接入力した上で再分析することで、検挙前に実施した推定の精度を、誤差距離(error distance)とサーチエリア(search area)の2つの指標を算出して検証することができる。

●誤差距離：拠点推定で算出された曲面の中で最も高い値になったセルの中心と被疑者の拠点の間の直線距離である。

●サーチエリア：拠点推定で算出された曲面の中で、推定された値が高いセルから順に探索していったとき、被疑者の拠点が含まれるセルに到達するまでに探索する領域の広さ(Canter et al., 2013)である。

たとえば図3のように各セルに対して値が推定され被疑者の拠点が0.5のセル内に含まれていた場合、最高値を推定されたセルから被疑者のセルまでの距離(図中の→)が誤差距離である。拠点のセルより高い値が推定されている0.6~0.8の値のセルの面積と拠点と同値の0.5の値のセルの面積の1/2の和がサーチエリアである。

0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0

図3 推定結果と精度指標の模式図

3. 4. 関数作成機能

犯罪者の対象選択行動はおおむね距離減衰の傾向を持つと考えられるが、犯罪者の移動性 (mobility) は犯行領域の地域性や犯行特徴と関連して大きく異なることが古くから指摘されている⁴⁾(たとえば Levine, 2005; White, 1932)。そのため地理的プロファイリングの実施を支援するソフトウェアには、ユーザが関心のある地域・犯行特徴の事件群に適した距離減衰関数を作成する機能が必要になる。関数作成機能はそのようなユーザの関心のある地域・犯行特徴ごとの距離減衰関数を作成するための機能である。この機能によってさまざまな地域・犯行特徴ごとの犯行行程距離の違いを考慮した拠点推定を柔軟に実施することができる。

関数作成機能に投入するデータは、被疑者の拠点と犯行地点の緯度・経度である。適切な推定を行うためには十分な数の被疑者及び関連する事件数を集める必要がある。csv形式でA列から offender (被疑者の分類), Num(被疑者ごとの事件番号), lon(経度), lat(緯度)の4つのカラムで構成される。被疑者の拠点の緯度経度はNum列にHを入力して指定する。

投入したデータから各被疑者の犯行行程距離を算出しヒストグラムを形成する。ヒストグラムの階級の幅は50m, 100m, 250m, 500mから任意に選択できる。ヒストグラムの各階級の高さはユーザの用いるサンプルサイズの違いを考慮して、サンプルから

得られた各階級に含まれる例数(度数)ではなく密度((例数/サンプルサイズ)/階級幅によって算出された数。ヒストグラムの総面積が1になる)とした。作成したヒストグラムに対して8つの距離減衰関数を当てはめ、非線形最小二乗法によるパラメータ推定を行う⁵⁾。

図4に示したように、推定結果は画面上部にヒストグラム(直観的なわかりやすさのため、左側の第一縦軸には相対度数を示し、右側の第二縦軸に密度を示した)と推定された関数が描画されるとともに、画面下部に各関数の推定されたパラメータが一覧で表示される。一覧のA,B,mu,sigmaは上記3.2項で示した各関数のパラメータに対応している。また各関数の適合度(赤池情報量規準:AIC, 補正赤池情報量規準:AICc, ベイズ情報量規準:BIC, 適合度指標の選択はSpieß and Neumeyer, 2010によった)が併記される。推定された各関数のパラメータは、以降の拠点推定機能で選択・使用できるよう任意の名前を付けて保存できる。また、外れ値の閾値を任意に指定することで、投入したデータから外れ値を除外してパラメータを推定することもできる。

関数の推定に際しては十分な大きさのサンプルが必要である(Levine and Associates, 2013)と指摘されているが、どの程度で十分かは明確にされていない。たとえばLevine and Associates (2013)では最もデータの少ない罪種で137件, Emeno and Bennell (2013)では15名の被疑者による53件のデータが関数作成に用いられている。使用に際してはできるだけ大きなサンプルを用いることが望ましいと考えられる。

推定された関数のうちどの関数を選択するかについては、算出された適合度指標からどの関数がサンプルによりよく一致した関数か確認することができる。また、図4に示したとおりサンプルのヒストグラムと関数が描画されるためどのように一致しているかはしていないのかを確認し選択に役立てることができる。

4. おわりに

本稿では、これまで容易に実施することが困難だった確率距離法による拠点推定を扱うことができ

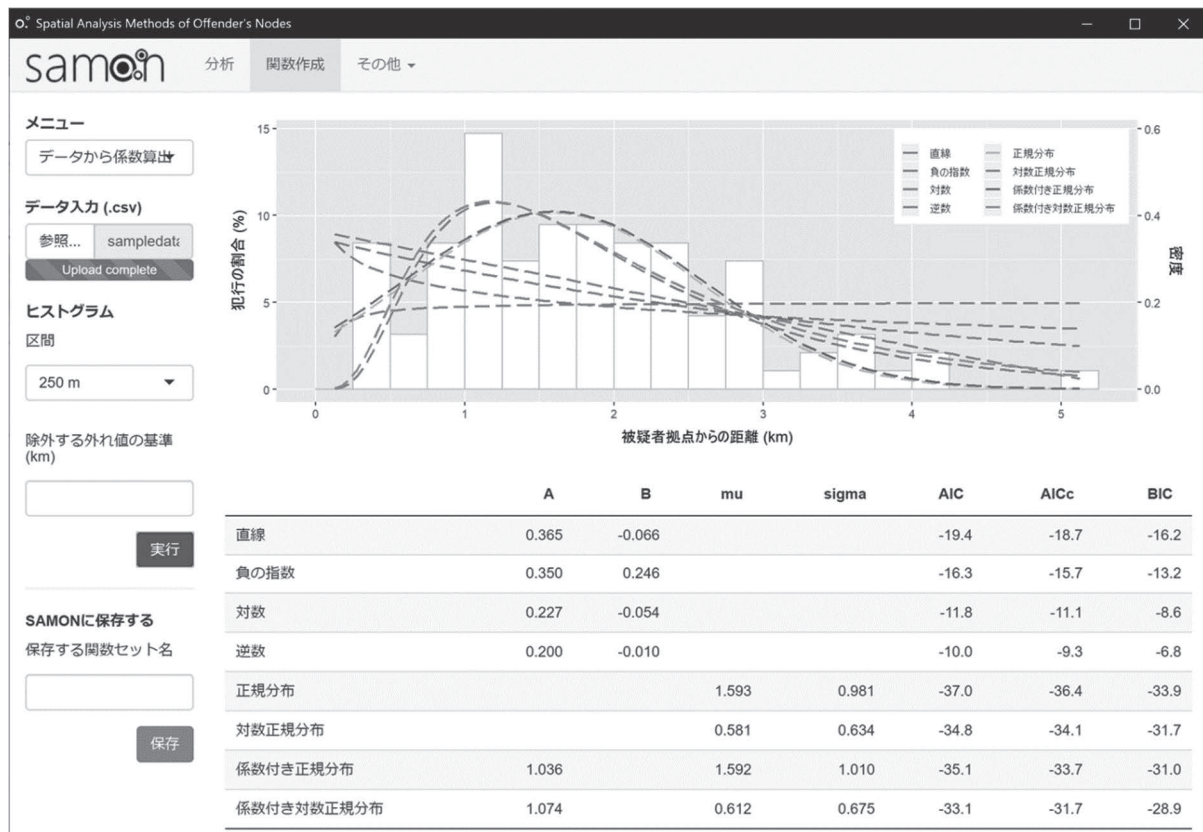


図4 各距離減衰関数のパラメータ推定結果

るソフトウェアSAMONの開発に関する報告を行った。

既存のソフトウェアの課題を踏まえて、SAMONでは距離減衰関数として多数の種類を用意することでバッファゾーンの違いに対応できるようにした。また、ユーザが関心のある地域や犯行特徴のデータから距離減衰関数を作成できる機能によってさまざまなニーズに柔軟に対応できるようにした。さらに、拠点推定の精度を検証するための指標として誤差距離とサーチエリアの算出を可能にすることでRich and Shively (2004) が推奨したソフトウェアの評価方法を実装し、背景地図を実装することで利用可能性を拡大した。既存ソフトウェアに見られたこれらの課題を克服したうえで日本の連続窃盗事件データを基盤に作成された関数パラメータや関数作成機能の実装により、このソフトウェアひとつで確率距離法に用いる関数の作成・実際の事件の推定と結果の地図表示・解決後の推定精度の検証を実施することができるようになった。また、Rを用いたことでユーザが本ソフトウェア内のプログラムを自由に変更す

ることも可能である点もこれまでのソフトウェアにはない利点である。確率距離法による推定の汎用化による精度の向上や拠点推定手法の研究への活用が期待される。本報告では日本語表記のGUIを示したが、英語/スペイン語表記のGUIも準備中である。

一方で、現状のSAMONでは対応できない課題もある。たとえば、確率距離法を含めこれまでに提案されてきた地理的プロファイリングの拠点推定手法は、被疑者の活動拠点と各犯行地点が全く違う領域にあるような場合(通勤犯行型: commuters)に対応できる手法ではない(Rossmo, 2005)。通勤犯行型の被疑者の活動拠点を適切に推定できる手法は提案されていないものの、ソフトウェアに投入された連続事件群の地点分布から、通勤犯行型である見込みが高いかを指摘することは可能であるかもしれない。将来この機能の実装によって、通勤犯行型に不適切な推定を実施することを防ぐことができると考えられる。

加えて、現在の確率距離法が用いる情報は犯行行程距離のみであるが、実空間内には犯罪者の行動と

関連しうる様々な環境要因（たとえば、世帯数、河川、幹線道路など）がある（Clare et al., 2009）。近年の研究では、こうした情報を考慮した推定を行うことで、拠点推定の精度が向上する可能性が指摘されている（たとえば、花山ほか, 2019; Hanayama et al., 2018; Kent and Leitner, 2012）。したがって、今後は環境要因を加味した推定が可能なソフトウェアへの発展も重要と考えられる。

さらに、花山ほか（2019）の検討では、比較的犯行分布が広い被疑者についてはルート距離を用いた拠点推定の精度が高いことが示されている。今後はソフトウェアにルート情報を備えた背景地図を実装し、ルート距離に基づく距離減衰関数の作成と、その関数を用いたより精度の高い拠点推定を実施できるようにする必要があると考えられる。

注

- 1) 本論文で紹介したソフトウェアの試用版は https://sh19.shinyapps.io/SAMON_Jan2020demo_ja/ で触れることができるが事件に関するデータや捜査に関する情報は含まれていない。またweb上の試用版であるため最新のバージョンとは異なる可能性がある。
- 2) この分析領域であれば萩野谷ほか（2017）で用いている各被疑者の犯行地点と拠点を領域内に含むことができた。
- 3) セルの代表値と犯行地が一致する場合それらの間の距離が0となるが、逆数や対数では d_{ij} に0を代入できない。また両者が極端に接近してしまった場合に関数の形状によっては著しく大きな値が算出される可能性があるため、便宜上両者の距離が10m以下のものはすべて10mとした。一般的な正規分布及び対数正規分布は係数(A)が付かないが、先行研究においては係数を付けて用いられている（たとえばLevine and Associates（2013）では係数が付くほか、対数正規分布においては d_{ij} が二乗される）。SAMONでは先行研究で用いられた係数付きの正規分布及び対数正規分布に加えて、係数のない一般的な両関数を実装している。

- 4) 関数の初期パラメータに関して、地域や罪種による調整に大きな効果がないことを示す研究もあるため（たとえばEmeno and Bennell（2013））一概に問題があるとは言えないが、分析対象とする地域や犯行特徴に符合したデータから適切な関数を推定することが望ましい（Levine and Associates, 2013）。
- 5) 対数正規分布のパラメータ推定において対数化したデータの平均値と標準偏差を推定の初期値として用いるが、距離0（犯行地点と被疑者の拠点が同地点）のデータは対数化することができないため、便宜上1mの値を付与している。

参考文献

- 萩野谷俊平（2016）犯罪者プロファイリング研究－住居対象侵入窃盗事件の分析－ 北大路書房
- 萩野谷俊平・倉石宏樹・花山愛子・小林正和・細川豊治・杉本貴史（2017）地理的プロファイリングの精度比較 心理学研究, **88**, 123-131.
- 花山愛子・萩野谷俊平・倉石宏樹（2019）地理的プロファイリングにおける距離の測定方法の違いによる拠点推定精度の比較 法科学技術学会誌, **24** (2), 107-114.
- Block, R., and Bernasco, W. (2009) Finding a serial burglar's home using distance decay and conditional origin-destination patterns: A test of empirical Bayes journey-to-crime estimation in The Hague. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, **6**, 187-211.
- Brantingham, P. L., and Brantingham, P.J. (1981) Notes on the geometry on crime. In Brantingham, P. J. and Brantingham, P. L. eds. *Environmental criminology*, Beverly Hills: Sage, 27-54.
- Brantingham, P. L., and Brantingham, P.J. (1984) *Patterns in crime*. New York: Macmillan.
- Brantingham, P. L., and Brantingham, P.J. (1993) Nodes, paths and edges: Considerations on the complexity of crime and the physical environment. *Journal of Environmental Psychology*, **13**, 3-28.
- Canter, D., Coffey, T., Huntley, M., and Missen, C. (2000)

- Predicting serial killers home base using a decision-support system. *Journal Of Quantitative Criminology*, **16**(4), 457-478.
- Canter, D. and Hammond, L. (2006) A comparison of the efficacy of different decay functions in geographical profiling for a sample of US serial killers. *Investigative Psychology and Offender Profiling*, **3**, 91-103.
- Canter, D. and Hammond, L. (2007) Prioritizing burglars: Comparing the effectiveness of geographical profiling methods. *Police, Practice and Research*, **8**(4), 371-384.
- Canter, D., Hammond, L., Youngs, D., and Juszcak, P. (2013) The efficacy of ideographic models for geographical offender profiling. *Journal of Quantitative Criminology*, **29**, 423-446.
- Chang, W., Cheng, J., Allaire, J., Xie, Y., and McPherson, J. (2019) shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.3.2. <[https:// CRAN.R-project.org/package=shiny](https://CRAN.R-project.org/package=shiny)>.
- Cheng, J., Karambelkar, B., and Xie, Y. (2018) leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library. R package version 2.0.2. <[https:// CRAN.R-project.org/package=leaflet](https://CRAN.R-project.org/package=leaflet)>.
- Chopin, J., and Caneppele, S. (2018) The mobility crime triangle for sexual offenders and the role of individual and environmental factors. *Sexual Abuse*, **31**(7), 812-836.
- Clare, J., Fernandez, J. and Morgan, F. (2009) Formal evaluation of the impact of barriers and connectors on residential burglars' macro-level offending location choices. *Australian and New Zealand Journal of Criminology*, **42**, 139-158.
- Crosby, T. and Fox, W. T. (2017) Graphical profiling: Knowledge through prediction. *Journal of Global Peace and Conflict*, **5**(1), 11-24.
- Emeno, K., and Bennell, C. (2013) The effectiveness of calibrated versus default distance decay functions for geographic profiling: A preliminary examination of crime type. *Psychology Crime and Law*, **19**(3), 215-232.
- English, W. J. (2008) Geoprofile: developing and establishing the reliability of a new geographic profiling software system. Master dissertation, Department of Forensic Psychology, The Chicago School of Professional Psychology.
- Godwin, M. (1999) *Hunting Serial Predators: A Multivariate Classification Approach to Profiling Violent Behavior*. New York: CRC Press.
- Haginoya, S. (2014) Offender demographics and geographical characteristics by offender means of transportation in serial residential burglaries. *Psychology, Crime & Law*, **20**(6), 515-534.
- Hammond, L. (2014) Geographical profiling in a novel context: prioritizing the search for New Zealand sex offenders. *Psychology, Crime and Law*, **20**(4), 358-371.
- Hanayama A, Haginoya S, Kuraishi H., and Kobayashi M. (2018) The usefulness of past crime data as an attractiveness index for residential burglars. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, **15**, 257-270.
- Hijmans, R. J. (2017) geosphere: Spherical trigonometry. R package version 1.5-7. <[https:// CRAN.R-project.org/package=geosphere](https://CRAN.R-project.org/package=geosphere)>.
- Kent, J., Leitner, M., and Curtis, A. (2006) Evaluating the usefulness of functional distance measures when calibrating journey-to-crime distance decay functions. *Computers, Environment and Urban Systems*, **30**, 181-200.
- Kent, J. D., and Leitner, M. (2012) Incorporating land cover within Bayesian journey-to-crime estimation models. *International Journal of Psychological Studies*, **4**, 120-140.
- Kocsis, R. N. (2003) An empirical assessment of content in criminal psychological profiles. *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, **47**, 38-47.
- Laukkanen, M., and Santtila, P. (2006) Predicting the residential location of a serial commercial robber. *Forensic Science International*, **157**, 71-82.

- Levine, N. (2005) The evaluation of geographic profiling software: Response to Kim Rossmo's critique of the NIJ methodology. <<http://www.nedlevine.com/nedlevine5.htm>>.
- Levine, N., and Associates (2013) *CrimeStat IV: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations (version 4.0)*. Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC.
- Lino, D., Calado, B., Belchior, D., Cruz, M., and Lobato, A. (2018) Geographical offender profiling: Dragnet's applicability on a Brazilian sample. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, **15**, 149-161.
- Paulsen, D. J. (2006a) Connecting the dots: Assessing the accuracy of geographic profiling software. *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, **29**, 306-334.
- Paulsen, D. J. (2006b) Human versus machine: A comparison of the accuracy of geographic profiling methods. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, **3**, 77- 89.
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <[https:// www.R-project.org/](https://www.R-project.org/)>.
- Rich, T., and Shively, M. (2004) *A methodology for evaluating geographic profiling software*. Cambridge, MA: Abt Associates.
- Rossmo, D. K. (2000) *Geographic profiling*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Rossmo, D. K. (2005) An evaluation of NIJ's evaluation methodology for geographic profiling software. <<http://www.txstate.edu/gii/geographic-profiling/publications>>.
- Sarangi, S., and Youngs, D. (2006) Spatial patterns of Indian serial burglars with relevance to geographical profiling. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, **3**, 105-115.
- Santtila, P, Laukkanen, M., Zappalà, A., and Bosco, D. (2008) Distance travelled and offence characteristics in homicide, rape, and robbery against business. *Legal and Criminological Psychology*, **13**, 345-356.
- Snook, B., Zito, M., Bennell, C., and Taylor, P. (2005) On the complexity and accuracy of geographic profiling strategies. *Journal of Quantitative Criminology*, **21**, 1-26.
- Spieß, A. N., and Neumeyer, N. (2010) An evaluation of R^2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC pharmacology*, **10**, 6.
- Taylor, P. J., Bennell, C., and Snook, B. (2008) The bounds of cognitive heuristic performance on the geographic profiling task. *Applied Cognitive Psychology*, **23**, 410-430.
- Tonkin, M., Woodhams, J., Bond, J. W., and Loe, T. (2010) A theoretical and practical test of geographical profiling with serial vehicle theft in a U.K. context. *Behavioral Sciences and the Law*, **28**, 442-460.
- Van Koppen, P. J., and Jansen, R. W. (1998) The road to robbery. *British Journal of Criminology*, **38**(2), 230-246.
- White, R. C. (1932) The relationship of felonies to environmental factors in Indianapolis. *Social Forces*, **10**(4), 488-509.
- Xiao, L., Liu, L., Song, G., Ruiter, S., and Zhou, S. (2018) Journey-to-crime distances of residential burglars in china disentangled: Origin and destination effects. *International Journal of Geo-Information*, **7**(8), 325.
- (2019年7月1日原稿受理, 2020年3月12日採用決定, 2020年5月29日デジタルライブラリ掲載)