

## 犯罪発生の時空間 3 次元地図

— ひったくり犯罪の時空間集積の可視化 —

中谷友樹\* 矢野桂司\*

### **Spatio-temporal Three-Dimensional Mapping of Crime Events: Visualising Spatio-temporal Clusters of Snatch-and-run Offences**

Tomoki NAKAYA\* and Keiji YANO\*

#### **Abstract**

To detect spatio-temporal pattern of crime clusters/hotspots, the possibilities of three-dimensional mapping methodologies for crime event data are explored using two approaches: three dimensional kernel-density mapping using a volume rendering technique and visualisation of cylindrical significant clusters that can be detected by space-time scan statistics. Both approaches are intended to visualise spatio-temporal domains with high densities of crime in a three-dimensional space composed of two geographical dimensions and one time dimension. The proposed three-dimensional mapping methodologies are evaluated through application to a dataset of snatch-and-run offences in Kyoto City during the period 2003-2004. The results are summarized as follows:

(a) Three-dimensional crime mapping enables effective visualisation of the geographical extents and duration of crime hotspots simultaneously. This method is particularly useful to identify geographical diffusion and movements of crime clusters/hotspots compared to traditional dynamic analyses of crime mapping using cross-sectional maps with arbitrary time intervals.

(b) In practice, the roles of three-dimensional kernel mapping and space-time scan statistics should be complementary. Space-time scan statistics provide clear-cut domains of crime clusters/hotspots that can be used for secondary analyses, such as evaluation of socio-environmental and temporal characteristics focusing on detected domains. However, we should note that the method assumes cylindrical geometrical-constraints of space-time domains. Three-dimensional kernel density mapping provides fuzzy domains with high densities of crime and a useful basis to assess the validity of the assumption of spatial scan statistics and to investigate detailed space-time sequences of crime clusters/hotspots.

(c) Empirical analyses of the snatch-and-run offence dataset in Kyoto City revealed constant clusters/hotspots during the study period in central Kyoto and around Kyoto Station as well as transient clusters/hotspots around several railway stations in the suburbs. Temporal differences of transient clusters show geographical movements of hotspots from the north to the south via the west. We also identified that outbreaks of snatch-and-run offences alternated between a pair of cluster areas. These results suggesting so-called displacement phenomena indicate the need to monitor crime events and effects of crime-preventive actions in a widespread space-time context.

---

\* 立命館大学文学部・歴史都市防災研究センター兼任

\* College of Letters and Research Center for Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage, Ritsumeikan University

**Key words** : 3D visualisation, kernel density, volume rendering, space-time scan statistics, displacement, crime mapping, Kyoto

キーワード : 3次元視覚化, カーネル密度, ボリュームレンダリング, 時空間スキャン統計量, 転移, 犯罪地図, 京都

## I. 序 論

### 1) 犯罪の時空間的集積

空間的な犯罪発生地点にみられる分布上の規則性, とりわけ犯罪が特定の狭い空間に集中して発生する空間的集積性の存在は, 近代的な都市空間の病理を理解しようとする立場からも (Shaw and McKay, 1942; 田中, 1984; Paulson and Robinson, 2004, 53-79), 警察活動の効果的な意思決定支援を果たそうとする実務的な立場からも (原田・島田, 2000; Goldsmith *et al.*, 2000; 若林, 2000; Chainey and Ratcliffe, 2005), 繰り返しその重要性が指摘されてきた。空間的集積性を確認し, 問題解決のツールとして犯罪地図を用いるアプローチは, 犯罪をいわば社会的な病とみなすことで, その集団的かつ地理的な挙動から流行要因の推定・流行対策をはかる空間疫学 *spatial epidemiology* (中谷ほか, 2004; 丹後ほか, 2007) の1形態とみなすこともできる。事実, 犯罪地図研究は, 疾病地図研究と多くの分析的視点や解析技術上の共通点を持ち, 空間疫学の領域で開発された統計学的手段がしばしば犯罪地図研究に応用され, とともにGISの発展に伴って著しくその有効性を高めてきた (Chainey and Ratcliffe, 2005)。

同時に, 犯罪が特定の時空間で生起する点に着目すれば, 犯罪の発生には, 特定の時間と空間に集中する時空間的な集積性が認められる。もし時空間的な集積が1日や1週間のような特定のサイクルで周期的に現れるデイリーリズム, ウィークリーリズムのような現象を確認できれば, 防犯活動などへの警察資源の効果的な時間的空間的配分に役立てることができる。他方で, 犯罪の空間的集積が地理的に拡大する拡散 *diffusion* や, 警察/防犯活動組織の活動によって犯罪に関する空

間的集積の地理的位置が移動する転移 *displacement* のような非周期的な分布変化は, 広域的な視点にたった犯罪抑止戦略の立案や施策評価を促すことになる (Paulson and Robinson, 2004, 150-172)。犯罪発生の時空間的集積は多分に状況依存的なもの (原田ほか, 2001) であり, 様々な防犯施策とも関連しながら刻々と変化する。こうした犯罪発生分布の動的な変化を評価する方法論は, 犯罪地図研究の中でも, 多くの関心を集めてきた (Cohen and Tita, 1999; Ratcliff, 2000; 原田ほか, 2001; Bowers and Johnson, 2003)。

### 2) 2次元の犯罪地図から3次元の犯罪地図へ

犯罪地図の方法は主として3種類に区分できる。第1に記録されている単位ごとにデータを地図に表現する方法であり, 発生地点をシンボル表示する点分布図が代表的である。第2に, 点分布データを連続面に変換することで, 分布の特徴をより明確にして読み取ろうとするデータの空間的平滑化あるいは密度推定法があり, これにはカーネル密度変換が多用されてきた (原田ほか, 2001; Chainey and Ratcliffe, 2005)。第3の方法は, ローカルな空間統計量を計算してその結果を図示するもので, 標準偏差楕円, 各種の空間的クラスタリング技法, ローカルな空間的自己相関指標 (LISA: Local Indicator of Spatial Association) などが代表的である (Chainey and Ratcliffe, 2005)。いずれも犯罪の2次元的な分布データを前提とし, 結果は地図として提示される点で, 2次元の地理情報を扱う標準的なGISと親和性の高い方法論である。

こうした地図分析を, 時間次元を考慮した動的な分析に拡張する最も単純な方法は, 異なる2時点の結果を比較することである。この方法はとりわけ, 議論すべき時期が明確に区別できる場合に有用である。例えば, Ceccato and Haining (2004)

は、デンマークとスウェーデン国境にかけられた橋梁建設が犯罪発生動向に及ぼした影響を検討するため、橋梁建設の前後2時期を対象として、平滑化されたコロプレスマップと空間スキャン統計量を利用した犯罪地図の比較を行っている。同様にして、特定の地域でとられた犯罪対策が、犯罪の転移を引き起こしたのかどうかを検証する分析的な枠組みは、問題となった犯罪対策が実行される前と後の2時点と比較する検定デザインによって構築できる (Bowers and Johnson, 2003)。

しかし、こうした比較すべき時間を所与のものとする方法は、時間次元での集計期間をどのように設定すべきかを不問に付してしまい、結果として動的な変化を不十分にしか理解できない危険性をはらんでいる。動的な変化を多時点で比較する重要性は、Shimada (2004) によって例示されている。ローカルモラン統計量を用いた空き巣 (ピッキング) の犯罪発生地区は、各時期において明確な空間的集積がみられつつも、それらの地理的位置は各時点で異なっていた。しかし、多時点の比較においても、時空間的な犯罪集積の位置と持続期間を理解する上で、どの程度の時間断面を設定すべきかの判断は明らかではない。

Brunsdon *et al.* (2007) は、インタラクティブな操作に基づいた運用が容易である現在利用可能な情報処理環境を前提として、柔軟性の高い動的地図化の方法を、犯罪発生のデイリーパターンを事例に比較検討した。時間間隔を詳細に区分するアニメーション地図や、互いに一定期間の重複を許す時間幅ごとに犯罪地図を描き並べる条件別地図 comap など、2次元の地図による表現を前提にした方法の拡張とともに、Brunsdon *et al.* (2007) は、犯罪発生密度の等値面を時空間の3次元空間上に視覚化する方法を提案した。この方法は、時間断面である2次元の地図を用いる代わりに、時間次元を3つ目の軸とする3次元空間を設定し、犯罪発生が集積する時空間的な領域 (すなわち、時空間ホットスポット) を直接的に視覚化しようとした点で、従来の2次元の犯罪発生地図とは一線を画している。しかし、等値面は3次元の犯罪地図の1方法に過ぎない。

### 3) 目的

本稿の目的は、2次元の空間と1次元の時間から構成される3次元座標空間上に犯罪発生の時空間的集積を視覚化する方法として、とくにボリュームレンダリングを用いた3次元カーネル密度分布と時空間スキャン統計量の視覚化を提示し、その有用性を評価することにある。

ボリュームレンダリングとは、本来は人体などの3次元的な物体の内部構造を視覚的に理解する方法として提案されたものであり、本稿ではこの方法を、3次元空間を利用したカーネル密度分布図の効果的な表現手段として提案する。他方、時空間スキャン統計量は、本来、疾病の高リスク領域を統計学的に厳密に検出する目的で提案された方法であり、密度分布図よりも明確に犯罪多発領域を特定できる。

これら犯罪の3次元地図に関する方法論を、京都市で2003年から2004年にかけて発生したひったくり発生の資料に適用し、犯罪の拡散・転移に関連した時空間的な犯罪ホットスポットの推移に注意を払いつつ、提案する方法論の有用性を議論する。

## II. 犯罪の時空間的地図の方法論

### 1) 時空間の3次元点分布図

ここで犯罪発生の時空間座標は3次元の点  $(x_i, y_i, t_i)$  によって定義できるものとする。ただし、発生した犯罪を個々に特定する添字を  $i$ 、犯罪発生の地理的座標を  $(x_i, y_i)$ 、犯罪の発生時点を  $t_i$  とする。

犯罪発生地点を地図に落とし、その分布をみる最も直接的な方法は点分布図である。これを直接3次元の空間に拡張したものが3次元点分布図 (3次元散布図) であり、各犯罪発生  $i$  について、その3次元空間における座標に適当なシンボルをプロットする。この3次元分布の  $x$ - $y$  平面への投影は、通常の2次元点分布図にほかならない。

### 2) 時空間3次元カーネル密度

点分布の形態的特徴を、点分布図よりもわかりやすく抽出する目的で、カーネル密度分布図が多用される。2次元のカーネル密度法は、比較的容易に2次元以上の多次元カーネル密度法に拡張

可能である (Scott, 1992)。ただし、時空間の分析においては、地理学的座標のずれ (2次元の距離) と時間的座標のずれ (1次元の距離) は異なる尺度で定義される互いに独立した次元であるため、空間の近傍を定義するカーネル関数と時間の近傍を定義するカーネル関数の積に基づく、時空間3次元カーネル密度変換を利用する (Brunsdon *et al.*, 2007)。

$$\hat{f}(x, y, t) = \frac{1}{nh_s^2 h_t} \sum_i K_s \left[ \frac{x-x_i}{h_s}, \frac{y-y_i}{h_s} \right] K_t \left[ \frac{t-t_i}{h_t} \right] \quad (1)$$

ここで、 $\hat{f}(x, y, t)$  は任意の時空間座標  $(x, y, t)$  における犯罪発生の確率密度推定値であり、 $K_s$  および  $K_t$  は地理次元、空間次元に適用するカーネル関数、 $h_s$  および  $h_t$  はそれぞれのカーネル関数のバンド幅パラメータ、 $n$  は犯罪発生地点数である。このカーネル密度変換によって、犯罪の発生率に関する確率密度が推計されるが、その結果は容易に単位面積・単位時間あたりの犯罪発生密度の連続分布に換算することもできる。

カーネル関数としてここではイパネクニコフ関数を利用した。

$$K_s(u, v) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} (1 - (u^2 + v^2)) & (u^2 + v^2) < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$K_t(w) = \begin{cases} \frac{3}{4} (1 - w^2) & w^2 < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

バンド幅  $h_s$  および  $h_t$  は、これらが大きいほど滑らかな分布密度が推計される。バンド幅の決定法には各種の方法が提起されており、統計学的な観点からは、理想的な分布としての正規分布からのサンプリングを前提とするパラメータ設定の簡易法が示されている (Silverman, 1986; Scott, 1992)。しかし、複数のホットスポットが散在する多峰性の特徴が明確な分布データには適さず、概して平滑化しすぎる傾向がある。そのため犯罪地図における利用では、 $k$  次の最近隣尺度 ( $k$  番目に近い他の点までの距離に関する統計値) など

を参考にし、問題としたい集積の空間スケールにあわせた経験的・試行錯誤的なバンド幅の決定が推奨されている (Chainey and Ratcliffe, 2005, 155-162)。

### 3) ポリウムレンダリング

カーネル密度推定の結果、時空間上の位置を示す  $(x, y, t)$  に、その位置の犯罪発生密度を示すスカラー量  $f$  を加え、3次元スカラー場が得られる。ここで、位置座標と犯罪発生密度をあわせると4次元の量  $(x, y, t, f)$  となり、 $f$  の分布は3次元の座標空間をもってしても、直接的な可視化は不可能である。

そこで Brunsdon *et al.* (2007) は  $\hat{f}(x, y, t) = l$  で定義される水準値  $l$  の等値面を  $(x, y, t)$  空間に投影する方法を提案した。これは2次元の地図における等値線に相当する。2次元空間では複数の等値線を同時に描き出し、これらを俯瞰することで、密度の分布構造を理解できる。しかし、3次元空間における等値面は、特定の3次元領域を囲む立体的な連続面として表現されるため、複数の等値面を出現させても、他方がもう一方を完全に包みこむことになり、異なる等値面を同時にみることができない。他方の面を半透明化する処理も、せいぜい2種類の等値面を比較するのが限界である。

ポリウムレンダリングは、3次元空間内のスカラー量について、等値面のように1つの水準ではなく、一定の範囲にわたる水準の分布を視覚化しようとする方法である。本来は、CT (computed tomography) による人体内部の断層撮影から生成されたボクセル・データの視覚化技術として提案された (Levoy, 1988)。ボクセルとは、3次元空間内の等間隔格子で定義する立体的なデータ単位であり、2次元画像のピクセル (画素) に対応する。

これまでポリウムレンダリングに関しては、演算の効率性向上や視覚効果の改善をめぐる数多くの拡張がなされてきたが (Kaufman and Mueller, 2005)、ここでは古典的な直接ポリウムレンダリング法を用いることにした。まず、各ボクセルについて、適当に定めた光源からの反射

に基づいた陰影色 shading とともに、スカラー量  $\hat{f}(x,y,t)$  に基づいた階級区分色と透明度を決める分類 classification を行い、当該点の表示上の色・透明度を決定する。そして、これを3次元空間内の格子に内挿しながら、適当に設定された視点方向に色・透明度に関する情報を積分し、生成する画像に含まれる各ピクセルの情報を決定する。この際に、陰影を加えることで視覚的な立体感を付与するとともに、スカラー量  $\hat{f}(x,y,t)$  の適当な領域を透過色とすることで、スカラー量  $\hat{f}(x,y,t)$  の3次元空間内での広がり（3次元空間に広がる密度分布）が視覚化される。この手法は、2次元カーネル密度分布図において、段彩図と陰影表示を組み合わせることで擬似的に立体的な表現を施す地図表現にほぼ対応する3次元の陰影つき密度分布図とみなすこともできる。

#### 4) 時空間スキャン統計量

カーネル密度推定と並んで多用されるホットスポットの検出方法は、ローカルな集積（クラスター）の統計学的な検出技法を適用して結果を図示するものである。その古典的なものには、対象地域内に互いに領域が一部重複する円領域を多数設け、網羅的に円領域内の犯罪発生率を検討することで、犯罪多発地区のスクリーニングをはかる STAC (Monmonier, 1997) がある。STAC の分析の手続きは疾病のクラスターに関する自動検出研究の嚆矢となった Openshaw *et al.* (1987) による GAM (Geographical Analysis Machine) と類似している (若林, 2000)。

STAC や GAM は、ホットスポット/疾病の空間クラスターの位置と広がりを検出するために、互いに重複する膨大な数の円領域について、適当に設定された閾値以上の犯罪/疾病の発生率ないし閾値以下の有意性検定の  $p$  値を抜き出す。この閾値処理を統計学的な判断に委ねた場合、互いに独立でない検定を多数回繰り返すため、複雑な多重検定の問題が発生してしまう。これに対し、空間スキャン統計量は、STAC や GAM と同様に多数の円領域を対象とした空間クラスターの検出をはかりながらも、空間的集積の「異常さ」が最も際立った円領域に着目することにより、多重検

定を回避した検定を可能とした (Kulldorff, 1997; 中谷ほか, 2004; 丹後ほか, 2007)。

空間スキャン統計量は、2次元の分布データについてサイズが可変的な円領域の窓で対象地域全体を走査 Scan し、有意な空間的集積を認めうる円領域を空間クラスターとして検出する。さらに、Kulldorff *et al.* (1998a) は、走査する円領域を、時空間における円筒領域に拡張した時空間スキャン統計量を提案した。円筒領域は、3次元の時空間領域における  $x$ - $y$  断面を円とし、時間軸方向に垂直に伸びる連続領域として定義される。クラスターの地理的中心の座標を  $(x_c, y_c)$ 、クラスターの地理的半径を  $r$ 、クラスターの期間を  $[t_s, t_e]$  とすると、その円筒領域は、次のような時空間領域と対応する。

$$\{(x,y,t) \mid (x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 \leq r^2, t_s \leq t \leq t_e\} \quad (4)$$

時空間スキャン統計量では、問題とする円筒領域内部と外部の罹患率の差を問題とする。犯罪発生空間分析においては、単位面積×単位時間あたりの犯罪発生数（犯罪発生密度）を罹患率に相当する値とみなすことが可能である。分析の単位地区・単位時間あたりの犯罪発生数が十分に少なければ、犯罪発生数をポアソン分布に基づいてモデル化できる。

可能な円筒領域の1つを  $z$ 、 $z$  以外の領域を  $\bar{z}$  とし、それぞれの犯罪発生密度を  $r(z)$ 、領域  $\bar{z}$  の犯罪発生密度が  $r(\bar{z})$  とすると、検定すべき問題は、 $r(z) \neq r(\bar{z})$  となるようなクラスター領域  $z$  が存在するか否かである。

領域  $z$  の発生密度が  $r(z)$ 、領域  $\bar{z}$  の発生密度が  $r(\bar{z})$  であるポアソン分布モデルの最大尤度を  $L1$ 、帰無仮説  $r(z) = r(\bar{z})$  に対応するモデルの最大尤度を  $L0$  とすると、各円筒領域で尤度比  $L1(z)/L0(z)$  が大きいほど、仮説  $r(z) \neq r(\bar{z})$  がもっともらしいと言える。

ここで、対象とする3次元空間内に定義可能なすべての円筒領域の中で、上記の尤度比が最大となる値をもって、検定統計量  $\lambda$  を次のように定義する。

$$\begin{aligned} \lambda &= \sup_z \frac{L1(z)}{L0(z)} \\ &= \sup_z \frac{\hat{r}(z)^{d(z)} \hat{r}(\bar{z})^{d(\bar{z})}}{\hat{r}(G)^{d(G)}} I(\hat{r}(z), \hat{r}(\bar{z})) \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 $\hat{r}(G)$  は対象地域全体での犯罪発生密度、 $d(z), d(\bar{z}), d(G)$  はそれぞれ領域  $z$ 、領域  $\bar{z}$  以外、全対象地域内に含まれる犯罪発生数である。また、 $I$  は検定の種類に応じた指標変数 indicator variable であり、高リスクの空間クラスターのみを検出したい場合は、以下のように定義する。

$$I(\hat{r}(z), \hat{r}(\bar{z})) = \begin{cases} 1 & \hat{r}(z) > \hat{r}(\bar{z}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

この統計量  $\lambda$  が従う分布は解析的に得られないが、モンテカルロ・シミュレーションを利用して、近似的に検定の限界値を求めることができる。ただし、クラスターの候補として検定結果を求める（円筒領域の地理的範囲である）円領域を、それと重複する他の円領域群のどれよりも大きい尤度比をもつ円領域に限定することで、検出されるクラスターの地理的範囲が重複しないようにする。

時空間スキャン統計量により検出された、有意に高密度な犯罪発生が認められる領域（クラスター）は、円筒領域として3次元空間内に描画可能である。しかし、2次元における空間スキャン統計量を利用した疾病の空間クラスター（中谷ほか, 2004; 丹後ほか, 2007）や犯罪多発地区（Kaminski *et al.*, 2000; Ceccato and Haining, 2004）の図示は数多く試みられているものの、時空間スキャン統計を利用した3次元的なクラスターの視覚化は管見の限りこれまで試みられたことはない。

### III. ひったくり犯罪の時空間的地図分析

#### 1) 研究資料

本節では、2003年1月から2004年12月にかけて京都市内において発生したひったくり犯罪の発生地点情報を基に、その時空間的分布の集積性

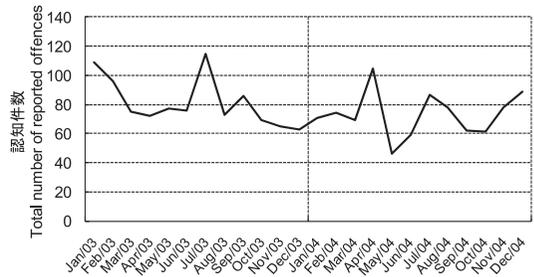


図1 京都市都市計画区域内におけるひったくり犯罪発生数の推移（2003～2004年）。

Fig. 1 Trend of the total number of snatch-and-run offences in the entire city planning area of Kyoto City, 2003-2004.

に着目した3次元的可視化分析を行う。本研究で利用したひったくり犯罪の各発生情報には、発生地点の経緯度座標とともに発生時の年月の記録が含まれている。発生時点の時間分解能は警察の記録ではより詳細に特定されているが、本分析では月単位の時間スケールを用い、それに対応する京都市全体を俯瞰する空間スケールでの時空間的集積の推移を対象とした。

分析に利用した地理的範囲は、京都市の都市計画区域を含む分割（2分の1）地域メッシュ（4次メッシュ）で構成されるものとした。分割（2分の1）地域メッシュは、標準地域メッシュ体系に基づき、およそ500m四方の矩形領域として定義された地理的単位であり（総務省統計局, 2007）、以下これを500mメッシュと呼ぶことにする。対象期間にこの範囲で発生が認知されたひったくり犯罪のすべてを分析対象とし、その発生総数  $n$  は1855件であった。対象期間中の平均月別発生数は77.3件であり、多少の変動を伴うが、対象期間中、対象地域全体の発生規模はおおむね同水準で推移した（図1）。

全期間の発生情報を基にした2次元のカーネル密度分布図 ( $h_s = 500$  m) をみると（図2）、主要駅を中心とした半径500m～1000m程度のスケールで、ひったくり犯罪の発生密度が局所的に高まる空間的集積（ホットスポット）の存在がみてとれる。次に、こうした空間的集積の時期的な推移を、時空間の3次元空間における犯罪

地図を通して検討する。

## 2) ひったくり犯罪の時空間的視覚化

各ひったくり犯罪の発生情報を、水平方向の2軸を地理座標、垂直方向の軸を時間座標とした3次元空間にプロットした3次元点分布図には、犯罪発生「雲」が描き出される(図3)。2次元の点分布図においても、シンボルの重複の問題などから、点分布の形態を理解するのに点分布図が必ずしも適してはいない点は繰り返し指摘されてきた(中谷ほか, 2004)。さらに3次元点分布図では、点が3次元の座標空間中に「浮いている」状態で表現されてしまい、その地理的位置・時間的位置を特定しづらくなる。そのため、3次元点分布図の単独での利用は、犯罪の時空間的集積を効果的に表現しえない。

図4はひったくり犯罪の時空間カーネル密度( $h_s = 1000\text{ m}$ ,  $h_t = 2\text{ months}$ )を、等値面とボリュームレンダリングによって3次元密度分布図として示した例である。どちらもひったくり犯罪が常に多発する地理的領域である「柱」と、一時的にひったくり犯罪が高密度に発生したことを示す「島」を描き出しているが、ボリュームレンダリングは、犯罪発生の低密度領域と高密度領域を同時に俯瞰できる点でより優れている。例えば、ボリュームレンダリングによって描かれた京都市の中心部の「柱」の内部には、ひったくり犯罪発生密度の違いを示す色の変化が示されており、当該犯罪の恒常的なホットスポットにおける、犯罪発生の時間的な変動がみてとれる。ただし、カーネル密度推定では、犯罪発生のみられない領域でも密度推定値を求めてしまうことがあり、集積の領域を過大に推定してしまう危険性をもつ(Chainey and Ratcliff, 2005, 161)。この問題点は、2次元のカーネル分布図の場合と同様、ボリュームレンダリングによる密度分布図に、3次元の点分布図を重ね、実際の発生地点と密度推定値の関係を確認することで回避できる。なお、3次元点分布図および密度分布図(図3, 図4)の作成には、Voxler 1.1 (Golden Software, Inc.)を利用した。

ポアソン分布を利用した時空間スキャン統計の

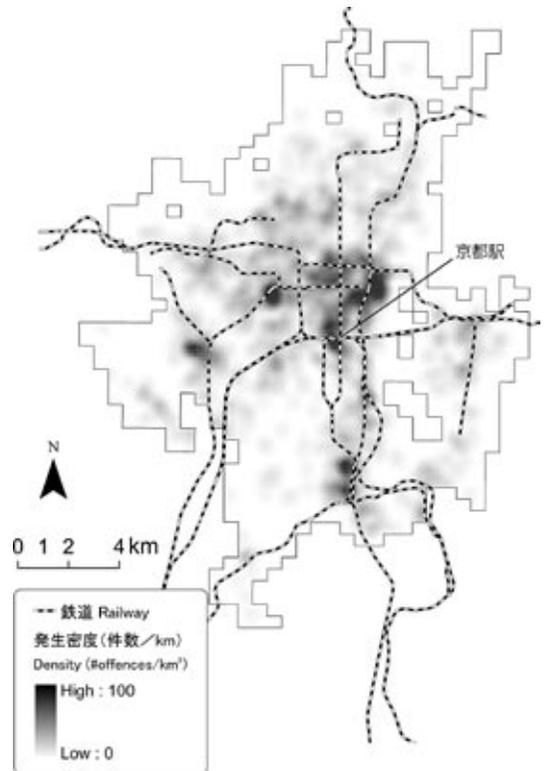


図2 京都市都市計画区域内におけるひったくり犯罪発生カーネル密度分布図(2003～2004年)。

Fig. 2 Kernel density map of snatch-and-run offences in the city planning area of Kyoto City, 2003-2004.

分析には、点分布を適当な時空間単位に集計したデータが必要であり、ここでは500 mメッシュ×1ヶ月を単位とするデータセットを作成し利用した。また、検討するクラスターサイズ(集積の地理的領域である円の半径)の上限を、犯罪発生の2次元分布およびボリュームレンダリングの結果を参考に1 kmに設定し、時空間スキャン統計量による解析を実施した。なお、時空間スキャン統計量は定義から明らかなように極値(尤度比が最大となる円筒領域)に基づいた統計量であり、最も集積が疑わしい(ランダムな状態から逸脱していると判定される可能性が最も高い)空間クラスターの尤度比のみを正確に検定する。そ

のため、多数のクラスターが存在する場合には、検定基準が厳しすぎる状況が生じる。本分析では可視的な探索的解析に重点をおくこともあり、10%水準で有意とされた計14の時空間クラスターを抽出した。表1に、これら時空間スキャ

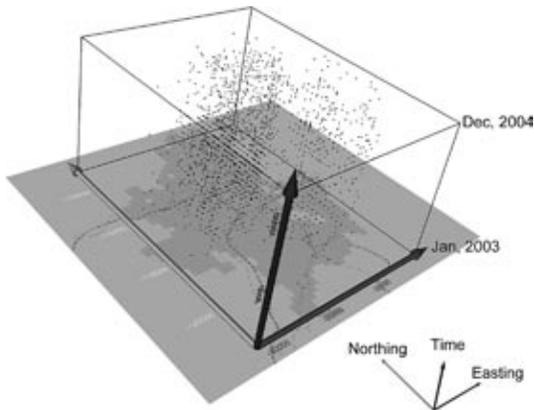


図3 ひったくり犯罪の3次元点分布図。

Fig. 3 Three-dimensional dot map of snatch-and-run offences.

ン統計量で検出された各クラスターの名称と、各クラスターの地理的領域ごとに、月別ひったくり発生件数の推移を、図5にクラスターの地理的位置と名称の対応を示した。また、時空間スキャン統計量によって有意と確認された円筒領域を、3次元時空間に図示したものが図6である。時空間スキャン統計量の計算には、SaTScan5 (Kull-dorff *et al.*, 1998b; 中谷, 2006) を利用した。

ひったくり犯罪が有意に高密度で発生している時空間円筒領域は、ボリュームレンダリングによって視覚的に確認できる3次元密度分布とよく対応している。例えば、円筒で示される時空間クラスターが全対象期間にわたる高さをもつ場合、常に犯罪発生が有意に高密度である恒常的ホットスポットであることを意味しているが、これはボリュームレンダリングによって確認できるひったくり犯罪が高密度に発生する時空間の「柱」の位置とよく対応している。そのため、時空間スキャン統計量が課している「時空間集積領域を円筒領域とする」形態的な制約は、対象データの場合、おおむね適当なもの判断できる。

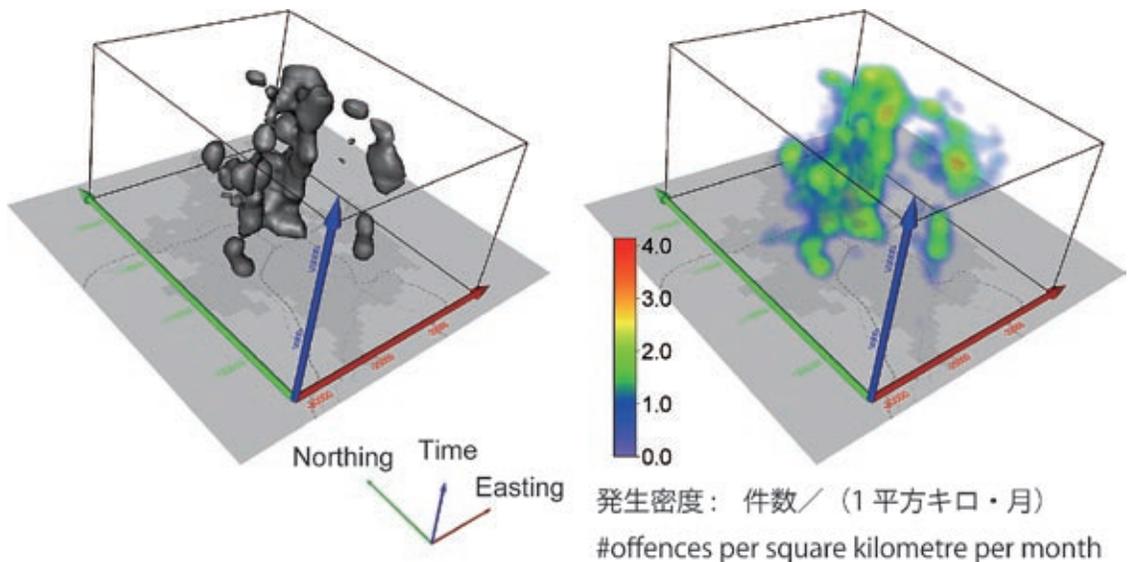


図4 ひったくり犯罪の3次元カーネル密度分布図。

(a) 等値面 ( $l = 1.5$ )、(b) ボリュームレンダリング。

Fig. 4 Three-dimensional kernel density map of snatch-and-run offences.

(a) Isosurface ( $l = 1.5 / \text{km}^2 \text{ month}$ )、(b) Volume rendering.

表 1 時空間スキャン統計量により検出されたクラスター地区別ひたくり犯罪発生数。  
時空間スキャン統計による犯罪集積期間は網掛けによって示した。

Table 1 Monthly reported number of snatch-and-run offences for each cluster areas detected by space-time scan statistics.  
Grey cells indicate the detected duration of anomalous high crime occurrences.

Year	Month	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
		四 条 - 祇 園 Shijo-Gion	京 都 駅 Kyoto-Station	西 院 Sain	桃 山 Momoyama	桂 Katsura	二 条 Nijo	西 陣 Nishijin	稲 荷 Inari	太 秦 Uzumasa	白 梅 町 Hakubaicho	出 町 柳 Demachi-Yanagi	伏 見 Fushimi	木 幡 Kohata	西 大 路 Nishi-ji
2004	Dec	7	5	5	2	3	2	0	2	0	5	1	8	0	0
	Nov	6	6	4	3	0	4	1	7	0	4	0	1	0	0
	Oct	10	9	2	3	1	3	3	1	0	1	0	2	0	0
	Sep	7	4	3	2	2	3	0	0	0	1	2	3	0	1
	Aug	9	11	2	5	1	7	0	2	1	2	1	4	2	2
	Jul	8	5	5	6	4	5	2	0	1	1	0	4	3	1
	Jun	8	5	3	4	1	0	1	2	1	1	0	1	1	1
	May	5	4	2	1	5	2	1	0	0	2	0	0	1	2
	Apr	6	5	10	4	5	7	0	3	2	1	2	6	4	1
	Mar	2	4	3	0	5	0	3	2	7	2	0	2	0	2
	Feb	8	3	0	0	6	4	1	1	4	1	1	0	1	2
	Jan	6	6	7	0	4	1	0	0	4	1	2	0	1	0
2003	Dec	2	5	5	3	2	2	1	0	2	1	0	1	0	3
	Nov	8	6	6	2	2	4	2	1	2	3	2	0	0	0
	Oct	3	3	6	5	2	3	1	0	1	4	4	3	1	1
	Sep	13	7	2	2	2	5	4	1	0	2	2	1	0	1
	Aug	8	4	2	0	1	3	1	0	0	4	2	0	1	0
	Jul	10	7	6	6	2	7	6	0	1	10	3	1	1	1
	Jun	11	5	0	4	4	4	7	0	1	3	4	1	0	0
	May	7	1	5	1	4	2	3	0	0	4	0	3	1	0
	Apr	6	1	8	2	6	2	4	0	0	3	1	3	0	0
	Mar	8	13	4	2	3	5	1	0	1	0	4	1	2	0
	Feb	11	7	3	2	6	4	6	0	1	4	0	1	0	0
	Jan	10	10	6	0	7	6	2	0	2	3	0	3	0	1
認知件数 Total number of reported offences		179	136	99	59	78	85	50	22	31	63	31	49	19	19
P 値 P value		< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.046	0.063	0.067

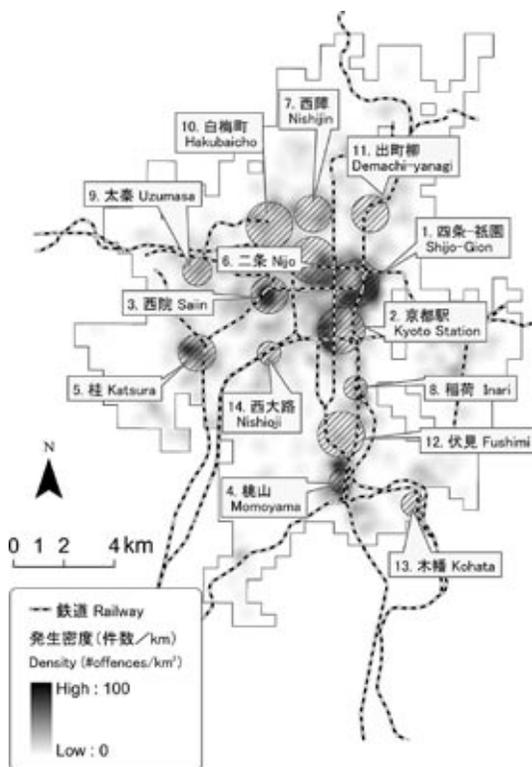


図5 時空間スキャン統計量によるひたくり犯罪のクラスターの地理的分布。

Fig. 5 Geographical locations of clusters of snatch-and-run offences detected by space-time scan statistics.

### 3) ひたくり犯罪集積の時空間的な特性

3次元カーネル密度分布図と時空間スキャン統計量による有意なクラスター位置をみると、京都駅および京都市中心部の商業地区には恒常的なひたくり犯罪の集積地（ホットスポット）が地理的に連続して存在しているのに対し、これらを取り囲む周辺部には犯罪の多発する時期が限定されたホットスポットを複数確認できる。

時空間スキャン統計量の結果（図5、図6、表1）をみると、中心商業地区の北側に位置するクラスター群（「7. 西陣」「10. 白梅町」「11. 出町柳」）は、2003年中に多発時期は終了している。これに対し、西部の「9. 太秦」「14. 西大路」クラスター群は、2004年からひたくり犯罪の集積が認め

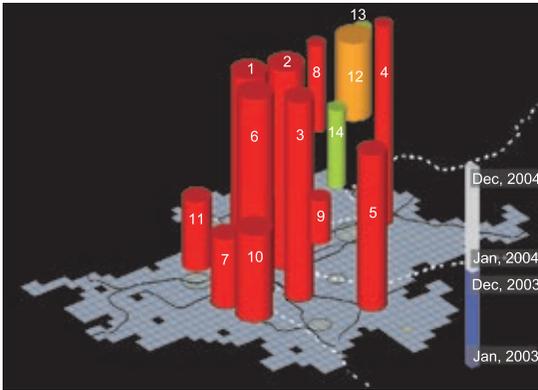
られ、「5. 桂」クラスターとともに、2004年の後半には有意な多発時期が終了する。さらに南部に目を転じると「8. 稲荷」「12. 伏見」「13. 木幡」クラスター群の多発期間の開始時期はより遅く、主に2004年月中旬以降に高密度なひたくり犯罪の集積が生じている。

原田ほか（2001）は、ひたくり犯罪の増加と対応した犯罪集積地の拡散を確認しているが、本事例では全体としてのひたくり犯罪の量的な増加はみられず、Shimada（2004）の空き巣被害の事例のように、犯罪集積地の地理的な移動が明瞭である。すなわち、ひたくり犯罪の地理的集積地は、中心部を取り囲む周辺部で、北部→西部→南部の順に多発時期のずれが認められる。

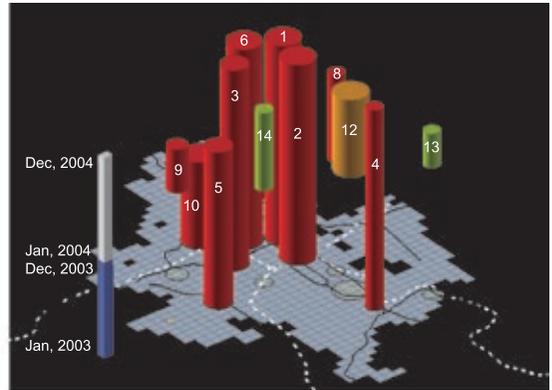
異なる犯罪集積地間の関係を評価するいま1つの方法は、各ホットスポット領域での犯罪発生動向の対応関係をみることである。その1つの例として、時空間スキャン統計量によって検出された各クラスターの地理領域内における犯罪発生数推移の順位相関係数（スピアマンの $\rho$ ）を求め、有意性検定の結果を図示した（図7）。

順位相関係数が正に有意であれば、2つのクラスター間で時期別のひたくり犯罪発生動向は同期していることを意味する。主に中心部にある、恒常的な犯罪多発がみられるクラスター間では、このような正の相関関係が認められ、ひたくり犯罪の発生動向を同じくするひとまとまりのホットスポット群を形成している。

最も明確な負の相関関係は、「4. 桃山」と「5. 桂」クラスター間に認められ（ $\rho = -0.433$ ,  $p$ 値 = 0.034）、この関係は時空間スキャン統計量の円筒領域の比較ではよくわからない。図8は、ボリュームレンダリングによる犯罪発生の時空間カーネル密度図に、「4. 桃山」と「5. 桂」クラスターを横切る時空間断面を加えたものである。この時空間断面には犯罪発生密度の等値線が示されており、2つのクラスターの地理的中心を通る直線上の各位置について、犯罪発生密度の時間変化が読み取れる。この図をみると、「4. 桃山」と「5. 桂」クラスターの間で、ひたくり犯罪が多発する時期が交互に入れ替わる現象が明瞭に確認でき



(a)



(b)

図 6 時空間スキャン統計量によるひったくり犯罪の 3 次元クラスター分布。

(a) 京都市の北西方向からの視点による画像, (b) 京都市の南西方向からの視点による画像。

円筒は有意な犯罪の時空間クラスターであり, 赤は 1% 水準で有意, 橙は 5% 水準で有意, 緑は 10% 水準で有意である。円筒に付された番号は図 5 のクラスター番号と対応する。

Fig. 6 Three-dimensional cluster distributions of snatch-and-run offences by space-time scan statistics.

(a) View from north-west Kyoto City, (b) View from south-west Kyoto City.

Cylinders represent the detected space-time crime clusters that are significant at the 1% (red), 5% (orange) and 10% (green). Numbers of cylinders correspond to the cluster ID shown in Fig. 5.

る。

#### 4) ひったくり犯罪の移動現象の考察

犯罪学では, しばしば, 犯罪に対する警察活動や地域的な住民による取り組みと対応して犯罪の発生場所が移動してしまう問題を犯罪の地理的「転移」現象として問題とし, 局地的な犯罪抑止の意義を穿つ可能性の 1 つとしてとりあげる (Paulson and Robinson, 2004, 150-172)。

対象期間中に長期的に実施され, 警察が把握していたひったくり犯罪の対策強化施策は, 次のように整理できる (京都府警犯罪情勢分析室への聞き取りに基づく)。

- (i) 2003 年中のひったくり抑止対策強化地域
  - ・ 阪急桂駅周辺において多発時間帯 (18:00 ~ 0:00) に署員が重点的警戒活動を実施 (年中)
  - ・ 西京区桂東学区自治連合会 (約 2,300 世帯) が 10 月以降「朝までつけよう, 門灯点灯運動」を実施
  - ・ 左京区下鴨芝本町地域において夕方に署員が重点的警戒活動を実施 (年中)

- (ii) 平成 16 年中のひったくり抑止対策強化地域

- ・ 西陣警察署管内において多発時間帯 (18:00 ~ 20:00) に署員が重点的警戒活動を実施 (年中)
- ・ 下鴨警察署管内において多発時間帯 (13:00 ~ 17:00) に署員が重点的警戒活動を実施 (年中)

北部の犯罪集積が消えたのに対応して, 西部・南部でのひったくりが多発した状況をふまえると, 「7. 西陣」「10. 白梅町」クラスターおよび「11. 出町柳」クラスタの範囲とそれぞれ対応する西陣地区や下鴨地区でのひったくり抑止施策が, ホットスポットの地理的な転移を引き起こした可能性が高いとわかる。

ただし, ひったくり犯罪を含めた犯罪抑止活動には行政, 住民組織にわたって様々な短期的事例が存在し, その全体像の把握は難しい。そのため, どのような活動が最も効果的に犯罪発生を抑止・減少に貢献したのかを評価する場合, 時空間集積の変化から遡って過去に実施された施策を検

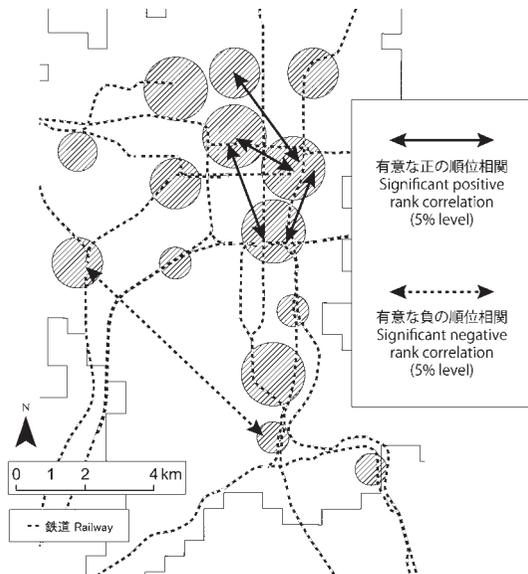


図 7 クラスタ地区間におけるひたくり犯罪発生動向の順位相関関係.

Fig. 7 Rank correlation of transients of snatch-and-run offences between cluster areas.

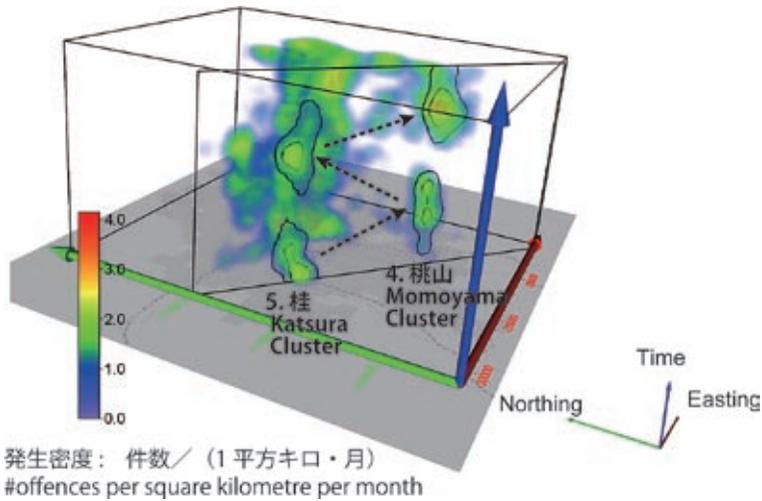


図 8 3次元カーネル密度分布図にみる交互に入れ替わるひたくり犯罪の時空間集積.

Fig. 8 Alternated clustering of snatch-and-run offences between a pair of areas identified on a three-dimensional kernel density map.

討する「後ろ向きの調査」には限界がある。実施された施策後の犯罪発生動向を広域的な犯罪発生状況とあわせてモニタリングし、時空間集積の推移を検討する「前向きの調査」が必要であろう。

他方、転移と同様に、同一の犯行者グループによる犯行場所の移動は、特定の犯罪抑止施策とは関係なく、犯行者側の意図的な空間的行動の結果としても理解できる。ひたくり犯罪が多数回繰

り返されることにより生じる、ターゲットとなる側の警戒心の高まりや重点的な警戒の実施により、ひたたくり犯罪を成功させる可能性の低下、並びに逮捕されるリスクの増加が生じると犯行者側が認識するならば、犯罪多発地区の転移は犯行者にとって合理的な行為達成行動と解釈できる。とくに「4. 桃山」と「5. 桂」クラスター間でみられた犯罪多発時期が交互に入れ替わる転移現象は、犯行する場所を交互に繰り返し利用することで、犯行場所に関する情報を効率的に利用できる点でも、合理的な行動と言えるのかもしれない。

最後に、犯罪集積の時間的特性を特徴づける地域特性として、居住者特性との関係のみておきたい。従来、犯罪の多発地域を特徴づける社会的特性・建造環境の比較がなされてきたが（島田・原田, 1999a, b）、ここではクラスターの多発期間の長さや地域特性との関係に注目する。表2は、時空間スキャン統計量によって検出されたクラスター領域に含まれる500mメッシュの居住者特性を、2000年の国勢調査地域メッシュ統計に基づいて整理したものである。各500mメッシュの居住者特性指標は、対象地域全体で標準化（平均0, 標準偏差1）してあり、各クラスターに含まれるメッシュの平均値を示してある。

総じて、検出されたクラスター内の地区は、児童の割合が低く、高齢者割合、単独世帯の割合が高いことに特徴づけられる。しかし、検出された流行多発期間が半年以下と短い「9. 太秦」（多発期間6ヶ月）と「13. 木幡」（多発期間5ヶ月）の2クラスターだけは、この傾向に反している。

この「9. 太秦」と「13. 木幡」クラスターを特徴づける「児童の多い子育て期の世帯が多く、単独世帯の割合が低い地域」では、住民の匿名性が相対的に弱く、社会的な監視を機能させることがより容易であり、こうした地域はひたたくり犯罪の長期的な持続を妨げやすくする条件を有していることが示唆される。

#### IV. 結 語

本稿では、犯罪の多発する時空間的な領域を、時空間の3次元領域内で確認する方法として、主

としてボリュームレンダリングを利用した3次元カーネル密度分布図と時空間スキャン統計の可視化を提案した。さらに、京都市内で発生したひたたくり犯罪の時空間的集積性の分析を通して、提案した方法の有用性を検討した。本稿の結論は以下の諸点に要約できる。

(a) 犯罪発生 of 動的な側面を犯罪地図に取り込む従来の方法は、適当な時間断面ごとの犯罪地図の比較によるものであった。しかし、時間と空間をともに連続的な次元として捉える犯罪の3次元地図を用いることで、時間と空間の連続性に着目して犯罪発生 of 動向を俯瞰できるようになる。この特性は、犯罪発生 of 拡散・転移現象の確認に適している。

(b) 犯罪の3次元地図として、3次元カーネル密度分布と時空間スキャン統計量は相互に補完的な役割を期待できる。時空間スキャン統計量は、より厳密な統計学的基準に基づき、犯罪の多発領域を確定できる。領域の確定は地域統計や犯罪発生動向の比較などの2次的な分析にも優れている。他方、時空間スキャン統計量では集積の形態を円筒領域に限定するため、時空間カーネル密度はこの妥当性を検証し、時空間スキャン統計量で捕捉しにくい時空間的集積のパターンを確認する上で有用である。

(c) 京都市のひたたくり犯罪を、3次元地図を通して分析したところ、京都駅および中心部にある商業地区を中心に、常に「ひたたくり」が多発する恒常的犯罪集積とともに、それを取り囲むように、一定の期間のみ犯罪集積が生じた地区が複数現れた。北部・西部・南部の順番に多発時期が推移する大局的な犯罪集積の移動とともに、2つの地区間で複数の多発期間が交互に出現する2地区間での転移現象を示唆する現象が確認された。これらの結果は、複数のホットスポットを同時に対象とした広域的な犯罪抑止対策とその効果を評価するモニタリングの必要性を示している。

ここで提案した空間統計学的手法および3次元的な時空間情報の視覚化は、犯罪集積の地理的な移動現象の確認に適しており、「ひたたくり」に限らず各種犯罪の発生動向把握や犯罪抑止対策

表 2 時空間スキャン統計により検出されたクラスター地区の居住者特性およびひびつたり多発期間。  
出典：2000 年国勢調査，z 値は絶対値が 0.4 以上の数値のみ掲載した。

Table 2 Selected indicators of residential characteristics and duration of anomalous crime occurrence by space-time scan statistics.  
Source of indicators: population census of Japan, 2000 (z values are shown only if their absolute numbers are more than 0.4).

クラスター名	総人口 (z 値)	0～14 歳 人口割合 (z 値)	15～29 歳 人口割合 (z 値)	65 歳以上 人口割合 (z 値)	単独世帯割合 (z 値)	高層住宅居住世 帯割合 (z 値)	管理・専門職業 従事者割合 (z 値)	時空間スキャン 統計量による多 発期間 (月数)
Cluster name	population (z value)	rate of population aged 0-14 (z value)	rate of population aged 15-29 (z value)	rate of population aged 65 or over (z value)	rate of single household (z value)	rate of households living in high- rise buildings (z value)	rate of professional & managerial workers (z value)	duration of anomalous crime occurrence by space-time scan statistics (month)
1. 四條一祇園 Shijo-Gion		-1.31		1.16	1.28	0.82		24
2. 京都駅 Kyoto-Station	0.49	-1.24		1.23	1.39	0.53	-0.44	24
3. 西院 Sain	1.26	-0.66	0.43		1.11	0.70	-0.46	24
4. 桃山 Momoyama	0.94				1.10	0.55	0.45	24
5. 桂 Katsura	1.01	-0.07						19
6. 二条 Nijo	1.07	-0.88		0.62	0.98	0.85		24
7. 西陣 Nishijin	1.43	-0.80	0.75	0.57	1.11	0.66		9
8. 稲荷 Inari	0.61	-1.08	1.09	0.42	1.61	-0.41	-0.66	11
9. 太秦 Uzumasa	1.75	0.49		-0.52	-0.42		-0.74	6
10. 白梅町 Hakubaicho	1.09	-0.64	0.45		0.79			11
11. 出町柳 Demachi-Yanagi	0.91	-1.17	2.07		1.92		0.93	10
12. 伏見 Fushimi	1.12				0.85			10
13. 本幡 Kohata	0.78	0.74	-0.46	-0.69	-0.85	2.24		5
14. 西大路 Nishioji	0.76				0.50	0.57		10
クラスター外の領域 Non-cluster areas	-0.16	0.10	-0.05	-0.07	-0.15	-0.06	0.02	0

の成果を評価する上で重要な情報をもたらすものと考えられる。ただし、本稿で提案している方法は、時空間内での大局的な集積を問題としており、特定の時間や曜日に特定の道路沿いで多発するといったより詳細な時間・空間スケールでの時空間分析には、さらなる方法論上の検討が必要である。また、空間疫学において急速に研究が進められている流行検知の方法論 (Kulldorff *et al.*, 2005; Lawson and Kleinman, 2005)を活かした、犯罪の時空間的な流行検知も今後の課題といえる。

ところで、本研究は、動的な地理学的現象の可視化をめぐる 3D GIS の応用可能性を示した研究と位置づけることもできる。3D GIS は現在、建物や地形の高さの情報取得に関する技術革新を経て、仮想現実感と結び付き、効果的な情報伝達の手段として急速に普及しつつある (矢野ほか, 2007)。その一方で、3D GIS による 3 次元的な空間分析は未発達な領域として残されている (Batty and Longley, 2003)。この 3D GIS の空間分析の対象として時空間分析を含めるならば、本稿で提案した方法は 3D GIS の分析機能として犯罪地図研究に限らずより汎用的に利用できるものと考えられる。

本稿で対象としたのは犯罪発生という時空間イベントの 3 次元的分析であるのに対して、Kwan (2004) や谷 (2006) は、Hägerstrand (1970) の時間地理学のダイアグラムに基づいて、GIS を利用した個人の時空間的軌跡 (時空間パス) を、本研究と同様に 3 次元座標空間に視覚化する環境を開発している。犯罪のような地理学的イベントは、イベントの発生を生む行為者 (犯行の実施者と被害者) の時空間的な関連に基づいて発生する現象である。関連する行為者の時空間パスとイベントの分布を重ねあわせることで、イベントが生まれる時空間的状況のさらなる理解を生む 3 次元の犯罪空間分析は、単なるイベントの分布を超えた時空間分析の方向性として今後の検討に値しよう。

## 謝 辞

本研究は、2005 年度に実施した京都府警犯罪情勢分析室との共同研究会の成果を基に、さらなる検討を加えたものである。京都府警犯罪情勢分析室副室長 (当事) の森 健治氏をはじめとする研究会メンバーの皆様に深く感謝申し上げます。本研究の実施には、科学研究費補助金若手研究 (B) <17700647> (研究代表者: 中谷友樹) を使用した。

## 文 献

- Batty, M. and Longley, P. (2003): Researching the future of GIScience. in *Advanced Spatial Analysis: The CASA Book of GIS* edited by Longley, P. and Batty, M., ESRI Press, 427-435.
- Bowers, K.J. and Johnson, S.D. (2003): Measuring the geographical displacement and diffusion of benefit effect of crime prevention activity. *Journal of Quantitative Criminology*, **19**, 275-301.
- Brunsdon, C., Corcoran, J. and Higgs, G. (2007): Visualising space and time in crime patterns: A comparison of methods. *Computers, Environment and Urban Systems*, **31**, 52-75.
- Ceccato, V. and Haining, R. (2004): Crime in border regions: The Scandinavian case of Öresund, 1998-2001. *Annals of the Association of American Geographers*, **94**, 807-826.
- Chainey, S. and Ratcliffe, J. (2005): *GIS and Crime Mapping*. John Wiley & Sons.
- Cohen, J. and Tita, G. (1999): Diffusion in homicide: Exploring a general method for detecting spatial diffusion processes. *Journal of Quantitative Criminology*, **15**, 451-494.
- Goldsmith, V., McGuire, P.G., Mollenkopf, J.H. and Ross, T.A. eds. (2000): *Analyzing Crime Patterns: Frontiers of Practice*. Sage Publications.
- Hägerstrand, T. (1970): What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, **24**, 7-21.
- 原田 豊・島田貴仁 (2000): カーネル密度推定による犯罪集中地区の検出の試み. 科学警察研究所報告犯罪少年編, **40**, 125-134.
- 原田 豊・鈴木 護・島田貴仁 (2001): 東京 23 区におけるひたつくりの密度分布の推移—カーネル密度推定による分析—. 科学警察研究所報告犯罪少年編, **41**, 39-51.
- Kaminski, R.J., Jefferis, E.S. and Chanhatisilpa, C. (2000): A spatial analysis of American police killed in the line of duty. in *Atlas of Crime: Mapping the Criminal Landscape* edited by Turnbull, L.S., Hendrix, E.H. and Dent, B.D., Oryx Press, 212-220.
- Kaufman, A. and Mueller, K. (2005): Overview of volume rendering. in *The Visualization Handbook* edited by Hansen, C.D. and Johnson, C.R., Elsevier, 127-174.

- Kulldorff, M. (1997): A spatial scan statistic. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, **26**, 1481-1496.
- Kulldorff, M., Athas, W., Feuer, E., Miller, B. and Key, C. (1998a): Evaluating cluster alarms: A space-time scan statistic and brain cancer in Los Alamos. *American Journal of Public Health*, **88**, 1377-1380.
- Kulldorff, M., Rand, K., Gherman, G., Williams, G. and DeFrancesco, D. (1998b): *SaTScan v2.1: Software for the Spatial and Space-time Scan Statistics*. National Cancer Institute, Bethesda (MD).
- Kulldorff, M., Heffernan, R., Hartman, J., Assunção, R. and Mostashari, F. (2005): A space-time permutation scan statistic for disease outbreak detection. *PLOS Medicine*, **2**, 216-224.
- Kwan, M-P. (2004): GIS methods in time-geographic research: Geocomputation and geovisualization of human activity patterns. *Geografiska Annaler B*, **86**, 205-218.
- Lawson, A.B. and Kleinman, K. (2005): *Spatial and Syndromic Surveillance for Public Health*. Wiley.
- Levoy, M. (1988): Volume rendering: Display of surfaces from volume data. *IEEE Computer Graphics & Applications*, **8**(3), 29-37.
- Monmonier, M. (1997): *Cartographies of Danger: Mapping Hazard in America*. University of Chicago Press.
- 中谷友樹 (2006): 空間クラスター検出のための GIS ツール CrimeStat, GeoDa, SaTScan. 岡部篤行・村山祐司編: GIS で空間分析. 古今書院, 183-220.
- 中谷友樹・谷村 晋・二瓶直子・堀越洋一編著 (2004): 保健医療のための GIS. 古今書院.
- Openshaw, S., Charlton, M.E., Wymer, C. and Craft, A.W. (1987): A mark 1 geographical analysis machine for the automated analysis of point data sets. *International Journal of Geographical Information Systems*, **1**, 359-377.
- Paulson, D.J. and Robinson, M.B. (2004): *Spatial Aspect of Crime: Theory and Practice*. Pearson Education.
- Ratcliffe, J.H. (2000): Detecting spatial movement of intra-region crime patterns over time. *Journal of Quantitative Criminology*, **21**, 103-123.
- Scott, D.W. (1992): *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. Wiley.
- Shaw, C.R. and McKay, H.D. (1942): *Juvenile Delinquency and Urban Areas*. University of Chicago Press.
- Shimada, T. (2004): Spatial diffusion of residential burglaries in Tokyo: Using exploratory spatial data analysis. *Behaviormetrika*, **31**, 169-181.
- 島田貴仁・原田 豊 (1999a): 大都市における犯罪と社会経済要因の関連—方法の問題点と GIS による解決—. 科学警察研究所報告犯罪少年編, **39**, 102-115.
- 島田貴仁・原田 豊 (1999b): 都市の空間構成と犯罪発生の関連—GIS による定量的分析—. 科学警察研究所報告犯罪少年編, **40**, 1-19.
- Silverman, B.W. (1986): *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman & Hall.
- 総務省統計局 (2007): 地域メッシュ統計の概要. <http://www.stat.go.jp/data/mesh/gaiyou.htm> [Cited 2007/11/1].
- 田中和子 (1984): 大阪市の犯罪発生パターン—都市構造と関連づけて—. 人文地理, **36**, 97-110.
- 丹後俊郎・横山徹爾・高橋邦彦 (2007): 空間疫学への招待. 朝倉書店.
- 谷 謙二 (2006): 地理情報分析支援システム「MANDARA」. 岡部篤行・村山祐司編: GIS で空間分析. 古今書院, 42-68.
- 若林芳樹 (2000): ニューヨーク市における最近の犯罪情勢と警察活動への GIS の応用. 総合都市研究, **71**, 147-164.
- 矢野桂司・中谷友樹・磯田 弦 編 (2007): バーチャル京都: 過去・現在・未来への旅. ナカニシヤ出版.

(2007年9月20日受付, 2008年1月15日受理)