

移動式 3 次元計測装置を用いた 街頭犯罪に対する街路空間の監視性能評価手法の開発

研究代表者

京都大学大学院工学研究科建築学専攻

瀧澤重志

1 はじめに

ひったくりなどの街頭犯罪は空間でランダムに発生するのではなく、ある特定の場所に集中しやすいことは経験的に知られていた。地理情報システム (GIS) の発達により、カーネル密度推定法による犯罪多発地区の分析¹⁾²⁾が多く行われるようになった。近年では中谷ら³⁾により時空間分析に拡張されたり、佐藤ら⁴⁾によるネットワーク空間でのカーネル密度推定法などの発展がみられる。カーネル密度推定法はウェブなどを通じて広く公開され、住民の防犯意識を高めるなどの効果を与えている。

一方で、環境デザインの分野では、防犯環境設計⁵⁾⁶⁾と呼ばれる分野があり、建築などの環境デザインを通じて未然に犯罪発生を防ごうとする様々な試みが行われている。防犯環境設計では、自然監視性の確保、接近制御、領域性の強化を基本的な環境設計の戦略としているが、これらは経験的、直感的に考えられたものであるため、定量的なアプローチによる実証分析が待たれている。特に自然監視性の確保は空間設計の見地から大変重要であり、十分な研究が必要である。例えば、公園で監視性が必要だからといって、障害となる樹木などを伐採しすぎるとするのは、環境設計の観点からはあまり望ましくはない。

自然監視性は人々が空間を見通すことのできる空間の性質であり Jacobs はこれをさらに二つに分けた⁷⁾。一つは、多々ものから開口部などを通じて外部を見通すことのできる性質 (Type 1 の監視性) であり、もう一つは、外部にいる歩行者が外部を見通すことのできる性質 (Type 2 の監視性) である。これまでに行われた監視性の多くの研究は、Type 2 の監視性の評価を行うものであった⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。一方、Desyllas ら¹²⁾や筆者ら¹³⁾¹⁴⁾は、建物の開口部や出入り口などと、ひったくり犯罪の関連を分析し、建物用途を条件とした場合の開口部の量が、犯罪発生に関わりがあることを明らかにした。

このように、自然監視性の研究は GIS や利用可能なデータの拡充により実証分析が行えるようになったが、いずれのケースにしても、利用できる建物データは、多くの場合は住宅地図などの建物の大まかな輪郭線のポリゴンデータに限られており、空間の 3 次元的な監視性を分析するのに必要な塀や植え込みなどの非建物の空間構成要素については、考慮されていないのが現状である。

しかし近年、レーザースキャナと全方位カメラを組み合わせ、道路とその周辺の 3 次元的な広がりを計測できる高精度な GPS 移動計測装置が開発され、道路メンテナンスなどへの応用が進められている。さらにそのデータを用いて道路ではな

く建物のファサードのモデリングを行う試みが始まっている¹⁵⁾¹⁶⁾。このデータを用いることで、街路の周辺の状況をより正確に測定・モデル化し、精度の高い自然監視性の評価手法に関する基礎的知見を得ようとするのが、本研究の目的である。既にレーザーデータを用いて街路の自然監視性の評価を行おうとする先駆的な試みが田中ら¹⁷⁾によって行われているが、この研究では窓のノイズ処理などの点で課題を有しており、さらに測定距離も試行の為に短く、統計的な検証を行う規模ではなかった。それに対して本研究では、既に実用化され十分な精度を有する民間の測定機器を用いて、60km という長距離に渡って街路の周辺を計測してデータを取得し、分析モデルを作るという点で、これまでにない試みであると言える。

レーザースキャナを用いた自然監視性のモデリングが本研究のメインテーマであるが、そのためには、建物や植物などを明示的に扱う環境のモデリングが重要になる。しかしそれ自体が研究段階の技術であり、この助成金での研究期間内での実現は困難なため、本研究では明示的な環境モデリングを行わずに自然監視性を評価する。この方法の限界については、結果を踏まえてまとめて議論する。また、分析方法についても、これまで広く用いられてきた多変量解析の枠組みではなく、大量のデータを分析することを主眼においてデータマイニングの枠組みで行い、大量データを前提とした分析方法を提案する。

2. 対象地域

本研究ではひたたくり犯罪を対象として分析を行う。今回は京都市伏見区を対象として調査と分析を行った。対象地域は図1のように、京都市伏見区の鉄道沿線にある。図2にその地域の詳細と犯罪発生点を示す。対象地域は、最長で東西約1.5km、南北約2kmの範囲である。近鉄奈良線、

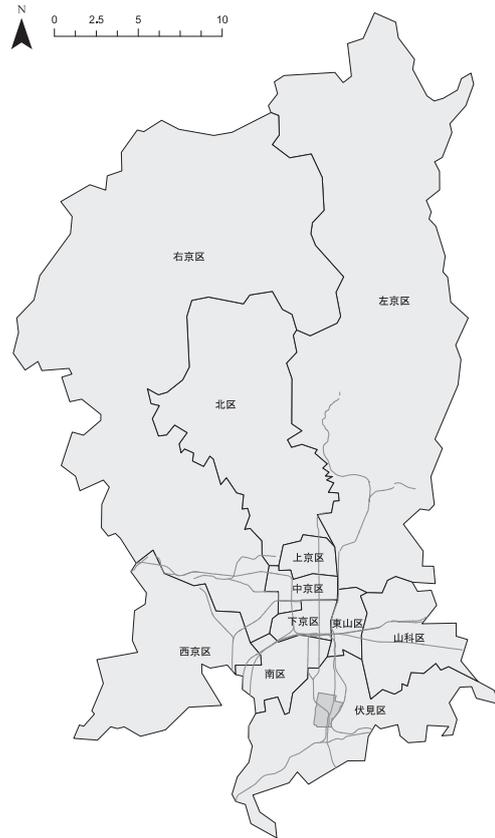


図1 京都市における対象地域の位置

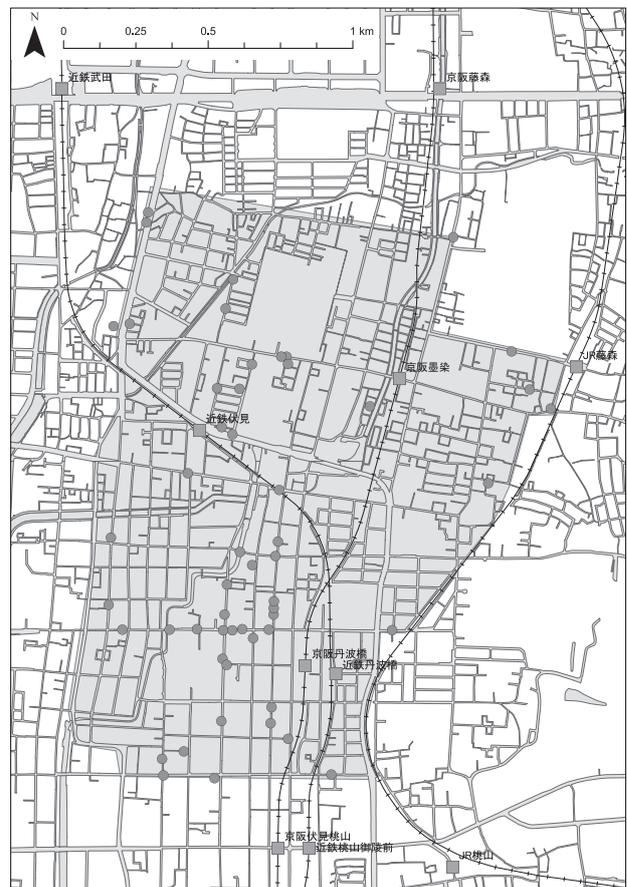


図2 対象地域の詳細とひたたくり点の分布

京阪本線，JR 奈良線が走っており，図に示すように範囲内に4つ周辺部に6つの駅がある．ひたたくりのデータは，京都府警察本部のホームページ (<http://www.pref.kyoto.jp/fukei/>)にある犯罪発生マップをダウンロードし，2008年1月から2010年12月までの画像データをGIS上で整理して，合計54のひたたくり発生点を得た．

3. 街路のレーザー測定

3.1 測定装置

本研究では三菱電気株式会社が開発した Mobile Mapping System (MMS) を用いて，街路のファサードのレーザー計測を行った．計測はGIS関西株式会社に委託した．MMSは開発から2世代が経ているが，本研究では2世代目のMMS-X220（前方計測型）の計測機器を使用した．

MMSは車両部と後処理部に分かれ，車両部にてGPS，IMU，オドメトリ，カメラ，及びレーザースキャナデータを正確な時刻を付加して収集する．また後処理部にて車両位置の測位結果を正確に算出するとともに，走行路周辺の高精度な3次元GISデータを作成する．調査で使用したMMSの計測装置を図3～6に示す．センサーは地上からおおよそ1800mmの高さに配置されている．



図3 MMSの全体



図4 MMSの計測機器



図5 MMSのオドメトリ



図6 MMSの室内の機器

表 1 MMS-X 220 のスペック (製品カタログより抜粋)

カメラ搭載台数		2 台
レーザー搭載台数		2 台
連続記録容量	データログ	最大 8 時間
	カメラ映像	最大 90,000 枚 /台
カメラ	画素数	500 万画素
	視野角	1 台あたり 水平方向 80°, 垂直方向 64°
	設定方向	CH1 : 前左向き, CH2 : 前右向き
	最速撮影枚数	10 枚 /秒
レーザースキャナー	設定方向	CH1 : 前上 (25°), CH2 : 前下 (-25°)
絶対精度※1		0.1m (rms) 以内※3
相対精度※2		0.01m (rms) 以内
自己位置精度		0.06m (rms) 以内※3
消費電力		12VDC、900W 以下※4
対応車種, 装置搭載後の車両寸法[mm]		フォルクスワーゲン GolfTouran (W1850×L4420×H2100)

※1 : 絶対精度 : 移動体測量による座標取得の正確度 (Accuracy)

※2 : 相対精度 : 移動体測量による座標取得の安定度 (Precision)

※3 : 良好な GPS 受信を前提とした場合。rms : root mean square (二乗平均値)

※4 : 最大搭載時の消費電力

表 1 に, MMS-X 220 のスペックを示す。

3.2 レーザー計測の実施

2010 年 8 月 11,12,18,19,20,21,24 日の日中に委託先の企業により計測を行った。図 7 に示した約 60km の長さの街路を計測した。対向車線のある車幅が広い道路では, 原則として両方向から計測を行った。一部の街路の測定がなされていないが, これは, 細街路等で車両が入り込めないといった事情があったためである。8 月 12 日には調査に立ち会った。高い精度が求められるため, 常に GPS 衛星が GPS から 4 個以上見えていないと計測ができない。計測する街路には細街路が多くて天空率が低いことに加えて, 計測日の日中に天頂に存在する衛星が少ないために, 少しの移動で計測作業が中断してしまうことがたびたびあった。しかし

最近では, 仰角が 60 度以上の天空にとどまる準天頂衛星が利用可能になったので, この問題は緩和されていると思われる。後日, 測定会社により調査点の精度評価が行われた。これは対象地域内の京都市の公共測量点を基準とした計測誤差の評価である。結果を表 2 に示す。水平方向の誤差の平均値はおおよそ 20cm でカタログスペックよりは劣るが, 本研究では問題無い精度だといえる。

納品データは, 上下のレーザースキャナの出力別に計 490 個の csv ファイルとして提供された。そのファイルサイズは合計で約 24.5GB と膨大な大きさであった。測定点の数を表 3 に示す。上部, 下部合わせておおよそ 4 億 5 千万点を超える膨大なデータが得られた。なお, 道路上に当たるために, 下部レーザーでのポイント数が上部よりもお



図7 調査範囲(網掛け)と計測対象道路(太い線分)

表2 基準点との誤差の絶対値 (単位 m)

	X	Y	水平
最大	0.503	0.367	0.509
平均	0.149	0.107	0.196
標準偏差	0.098	0.068	0.097

表3 レーザーデータの測定点数

上部レーザー	170,869,631
下部レーザー	279,877,183
合計	450,746,814

およそ1億点ほど多くなっている。経過報告書では計算負荷を下げるために、ポイントデータ間の直線距離が20cm以上となるように、それらを間引いて分析に使用していたが、空間の再現性を高



図8 計測街路の画像



図9 図8へのレーザー測定点の重ね合わせ

めるために、最終分析ではデータを間引かずにすべてのデータを用いている。

データの項目はx, y (平面直角座標系, JGD2000第6系の座標), z (海拔高度), r, g, b (RGB値), err (誤差)である。データと共に3次元のビューワー (PADMS-Solid Viewer) の提供も受けた。ビューワーによる測定結果の可視化の様子を図8, 9に示す。かなり細かくレーザーが当たっていると、右のコンクリートの団地の4階程度までレーザーが到達しているのがわかる。

4. 自然監視性の解析モデルの開発

4.1 概要

レーザースキャナの測定データから、防犯環境設計で重要な自然監視性を評価するモデルを開発中である。データは3次元の点として与えられているので体積を持たない。しかし空間の可視性を判定するには点から建築モデルを再構築したり、点に体積を与える必要がある。可視性の判定は後者の方法で可能なので、本研究では点に体積を与えるアプローチをとる。体積の与え方は、空間を被覆するグローバルなメッシュを用意し、そのメッシュにレーザの計測点が入っていれば、そのメッシュに体積を与える方法を用いる。

可視性の計測には、空間をグリッドに分割して、グリッド点同士の可視性を離散的に計測する Isovist¹⁸⁾、始点から放射状に一定角度で線分を発生させるハリネズミ型、離散化せずに線分の可視領域を厳密に計測する可視グラフ¹⁹⁾の3つがある。本研究では、空間をボクセルとして扱っているので、Isovist が適している。Isovist は元々平面の可視性を解析するために開発された方法である。これは、グリッドの拡張点をすべて線分をつないだ際に、それらの線分が空間の障害物を表す線分と交差するかしないかを判定して、平面の可視性を判定する方法である。本研究の場合は、障害物がレーザ測定点を内包した立方体で表現されることから、可視線分の衝突判定を連続的ではなく、離散的な方法で行った方が、実装が用意で計算効率も良いと考えられる。そこで、デジタルモニタでの直線描画手法として使われている Bresenham の直線描画²⁰⁾を3次元に拡張して解析に用いる。

4.2 ボクセルデータへの変換

レーザのポイントデータを $p \in P$ とする。それらは連続空間に広がっているが、そのままではボリュームを持たないので可視性を評価するには

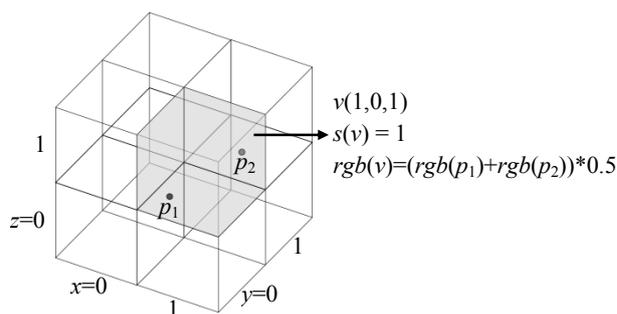


図 10 点群データのボクセル近似

難しいし、測定点は数億点も存在するので、計算効率上も何らかの形で粗視化して扱う必要がある。そこで本研究では、3次元のボクセル空間として空間を離散化する。一辺の長さが $l (= 0.15)$ (m) のボクセル $v(x, y, z) \in V$ を考え、その状態を $s(v) \in \{0, 1\}$ と表現する。状態 0 はそのボクセルの中にレーザのポイントデータが無いこと、1 はデータが一つ以上存在することを表す。さらに、ボクセルの RGB 値 $rgb(v) = (r, g, b), r, g, b \in [0.0, 1.0]$ も定義する。 $s(v) = 1$ のときは、そこに入っているポイントデータの RGB の平均値とする。 $s(v) = 0$ の場合で、それを画面表示する必要がある場合は、白色 ($r = g = b = 1.0$) とする (図 10)。

本研究では、 $l = 0.15$ として分析を行っている。ボクセルの大きさを小さくするほど、細かい部分の再現性が増すが、それを細かくしすぎるとレーザがヒットしない部分が増え、本来は平板な壁になっているのに、スポンジのようにスカスカなものとして再現されるといった恐れが生じる。また使用するメモリも増え、可視領域の計算にかかる時間が増大してしまう。空間の再現性のためには、直感的には1辺の長さ 0.05-0.1m 程度のボクセルが適していると考えられるが、使用する PC (Corei7 960, 24GB メモリ) ではメモリサイズに限界が生じたので、 $l = 0.15$ として計算を行っている。 $l = 0.15$ と $l = 0.5$ の解像度の違いを図 11, 12

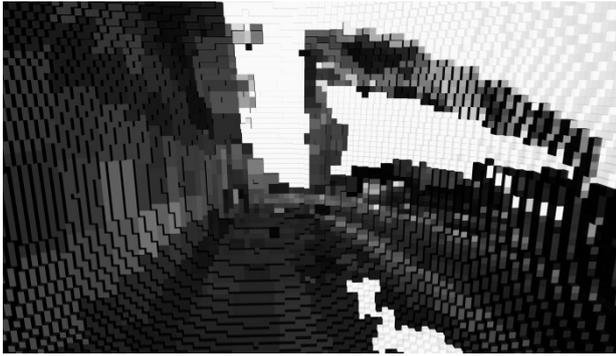


図 11 ボクセル空間の例 : $l = 0.5$ のとき

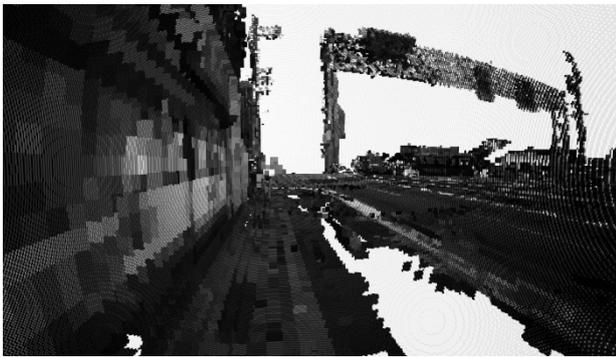


図 12 ボクセル空間の例 : $l = 0.15$ のとき

に示す。 $l = 0.15$ では道路をまたぐ標識の鉄柱や電柱が識別可能であるが、 $l = 0.5$ では完全につぶれてしまっている。

実装は C++ を用いて行ったが、素朴に 3 次元配列としてボクセルのメモリを確保すると、マシンのメモリ (24GB) をオーバーしてしまうので、3 次元の連想配列 (C++ の `unordered_map`) として、状態が 1 のボクセルのみをメモリに保存するような工夫を行っている。

4.2 可視領域の計測

Isovist の実装では、直線のピクセル演算で視線に当たるピクセルを求める。直線をピクセルとして表現するためには、整数演算のみによるブレゼンハムの直線描画アルゴリズムが一般に用いられているが、本研究ではこれを 3 次元ボクセル空間に適用できるように拡張している。

可視計算を効率化するために、視点を原点とす

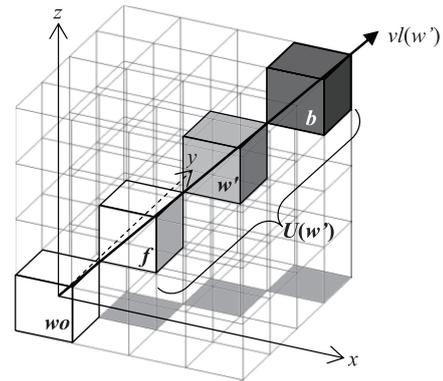


図 13 視線ボクセルの説明

Step 1: W の原点ボクセル w_0 が v と一致するように、 W を x, y, z 軸に沿って平行移動する。

Step 2: W' において、 $v(=w_0)$ から可視で障害物が存在しないボクセル集合を F 、可視で障害物が存在するボクセルの集合を M 、不可視のボクセル集合を B とし、初期値を $F = W', M = B = \emptyset$ とする。

Step 3: 以下の計算を行う。

```

for each ( $w' \in W'$ )
  if ( $w' \notin B$  and  $s(w') = 1$ ) {
     $M := M \cup \{w'\}$ 
     $F := F \setminus \{w'\}$ 
    for each ( $b \in B(w')$ )
       $B := B \cup \{b\}$ 
       $F := F \setminus \{b\}$ 
  }

```

output F, M, B

図 14 可視計算のアルゴリズム

る半径 $r(=30)$ (m)¹⁷⁾²¹⁾ の球体をボクセルで近似した視線ボクセル集合 $w \in W$ を定義する。 $r = 30$ とボクセル一つの辺の長さはボクセル空間と同じとする。原点ボクセルを w_0 とした際にそれ以外のボクセルを $w' \in W \setminus \{w_0\} = W'$ とする。 w_0 の中心から、 w' の中心を結んだ半直線



図 15 地点 A のボクセル空間

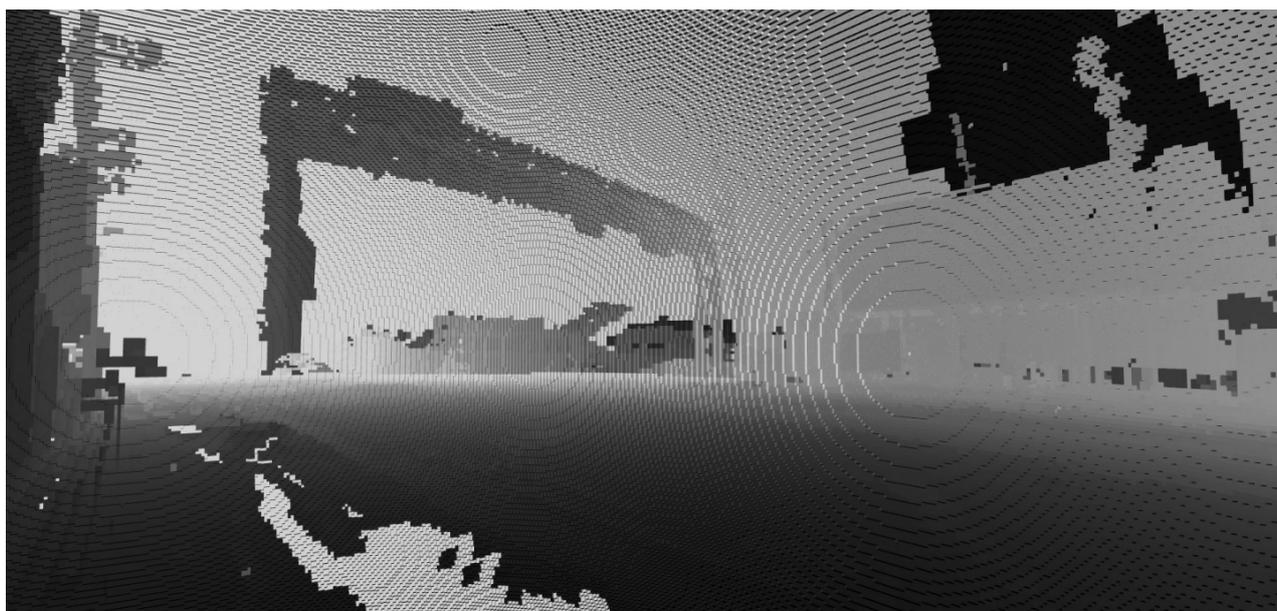


図 16 地点 A の視点からの距離（黒いほど近くにある）

を w' 方向の視線 $vl(w')$ とし、それを横切るボクセルの集合を、プレゼンハムの直線描画アルゴリズムにより抽出し、 $U(w') \subset W'$ と表す。 $U(w')$ の中で、 w_0 から見て w' の前にあるボクセルを $f \in F(w') \subset U(w')$ 、 w' の背後にある不可視なボクセルを、 $b \in B(w') \subset U(w')$ とすると、 $F(w') \cup \{w'\} \cup B(w') = U(w')$ となる (図 13)。各 w' について $B(w')$ をあらかじめ計算しメモリ

に蓄えておくことで、計算を効率的に行うことができる。ボクセル空間内の視点 $v \in V$ における可視量を、視線ボクセル集合 W を用いて図 14 のように計算する。

視点は、道路上 $h (= 1.5)$ (m) の高さに置くものとする。図 15~18 はそれぞれ、地点 A (幹線道路沿い) と地点 B (細街路) におけるボクセル空間の色分布と視点からの距離を示している。視点



図 17 地点 B のボクセル空間

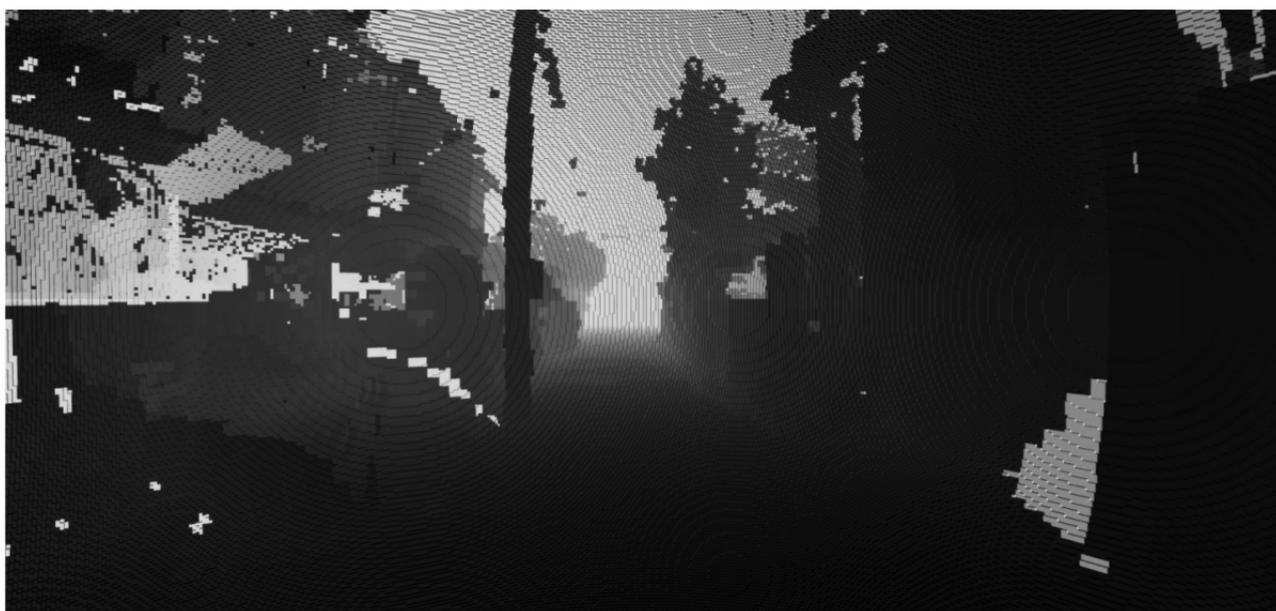


図 18 地点 B の視点からの距離（黒いほど近くにある）

は 6 章で説明するサンプリング点上にあるため、幅員が広い道路では歩道上に乗ってくる。ボクセル近似でも現場の状況をよく再現できている。

図 19, 20 は、各地点における視線ボクセルの分布である。大通りに面した地点 A の方が、視線ボクセルが広く分布しているのに対して、細街路に面した地点 B ではそれが上部に限定される傾向が強い。なお、両方とも視点下部に視線が漏れてい

るが、本来ここは道路面なので視線が漏れることはない。この理由は、計測車両は車道から計測するのに対して、サンプリング点は道路脇に置かれるため、車道からみて障害物などの影響によりレーザーが届かない場所がどうしても発生してしまうからである。本研究では、この抜けた箇所を補完することは行わず、地面の影響を除去した視線範囲でも指標を作ることで対応する。

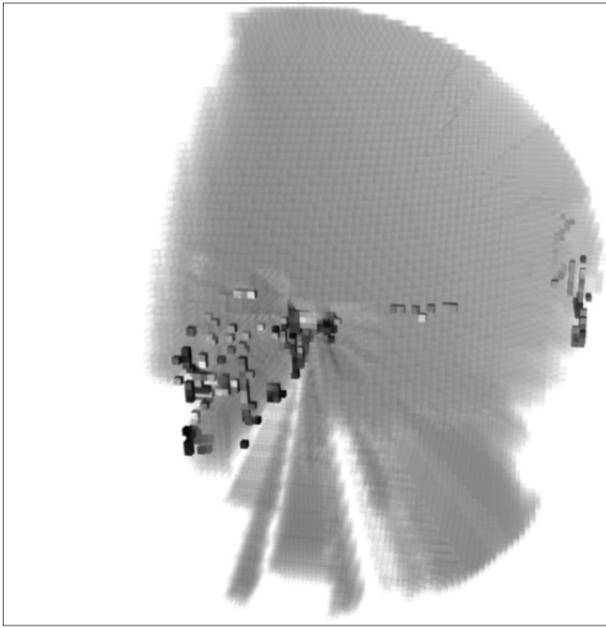


図 19 地点 A の視線ボクセルの分布



図 21 地点 A の球面ボクセル

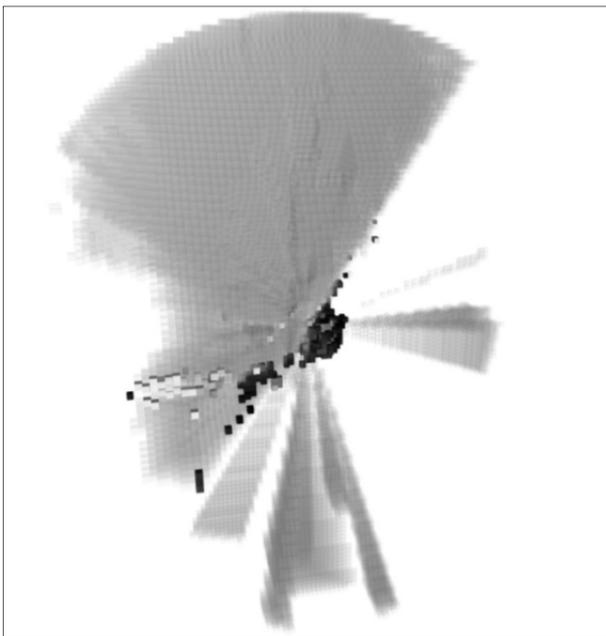


図 20 地点 B の視線ボクセルの分布



図 22 地点 A の距離球面ボクセル

4.3 球面への障害物ボクセルの投影

図 19, 20 で示したように視線ボクセルは形状が様々なため, そのままでは分析することが難しい. そこで, 視線ボクセルの球面を構成する最外縁のボクセルに, 視点から見える障害物ボクセルを射

影して分析する (図 21). 投影方法は, 各障害物ボクセルを通る $m \in M$ の視線ボクセル $b \in B(m)$ における球面上のボクセル b を m とすることで実現できる. さらに, 視点から各 m までの距離も同様の方法で球面上に投影する (図 22). もし球面まで障害物が無い場合はその距離は r とする. それぞれの球面上のボクセルを, 球面ボクセル, 距離球面ボクセルと呼ぶことにする.

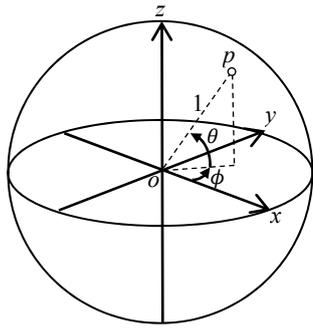


図 23 球面統計で使用するパラメータ

4.4 方向統計²²⁾の援用

球や円などの周期的な座標空間において、点などの空間分布を計測する場合は、通常のユークリッド空間で定義される距離ではうまく距離が計測できない。そこで、これらの空間上での様々な統計を行う方向統計学と呼ばれる分野があつて、日本でも近年注目を集めている。その中で本研究では、視界球面の特徴を分析するために方向統計学の一つである球面統計の概念を援用する。

図 23 に示した、長さ 1 を半径とする単位球面を考え、極座標 (θ, ϕ) によって、球面上の点位置 p が表現されるものとする。今、複数の点 $p_i = (\theta_i, \phi_i) \in P$ が球面上にあるとする。点 p_i を 3 次元のユークリッド空間 (x_i, y_i, z_i) での座標に変換すると、

$$x_i = \sin \theta_i \cos \phi_i$$

$$y_i = \sin \theta_i \sin \phi_i$$

$$z_i = \cos \theta_i$$

となる。各点の単位ベクトル op_i の和をそれぞれの座標軸毎にとると、

$$S_x = \sum_{p_i \in P} x_i, \quad S_y = \sum_{p_i \in P} y_i, \quad S_z = \sum_{p_i \in P} z_i$$

となる。次に、球面上の点分布から得られる合成ベクトルの平均方向と平均長さを求める。まず、単位ベクトルの合成ベクトルの長さは次式で求め

られる。

$$R = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

R が取り得る範囲は $[0, |P|]$ であり、 $|P|$ で割ることで、合成ベクトルの平均長さが求められる。

$$\bar{R} = R/|P|$$

\bar{R} は最大値として 1 をとるが、その場合は点がある一点に集中しているということを意味する。逆に、 \bar{R} が最小値の 0 をとる場合は、通常は点が球面上に均等に分散していることを意味するが、それだけでなく、球を均等に 2 分するような平面と球面の交差した円周上に均等に分布する特殊な場合も含まれる。 \bar{R} は基本的に分布の度合いを示す指標であり、理解しやすいように通常の分散と同様に、以下の球分散に変換して用いる。これは平均距離と逆の関係になる。

$$V = 1 - \bar{R}$$

また、平均ベクトルの方向を 3 次元座標で表すと、

$$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = (S_x/R, S_y/R, S_z/R)$$

となるので、これを極座標に変換することで、平均ベクトルの方向

$$\bar{\theta} = \arccos(\bar{z}), \quad \bar{\phi} = \arctan(\bar{y}/\bar{x})$$

が得られる。

4.5 自然監視性の指標

球面統計はある大きさの球面上の点分布の統計量のため、視点から障害物までの距離が異なる場合、それを同時に考慮するのが難しい。そこで、視線からの距離を何段階かに分割して指標を作る。さらに、球面に投影した場合、視線の下部は殆ど

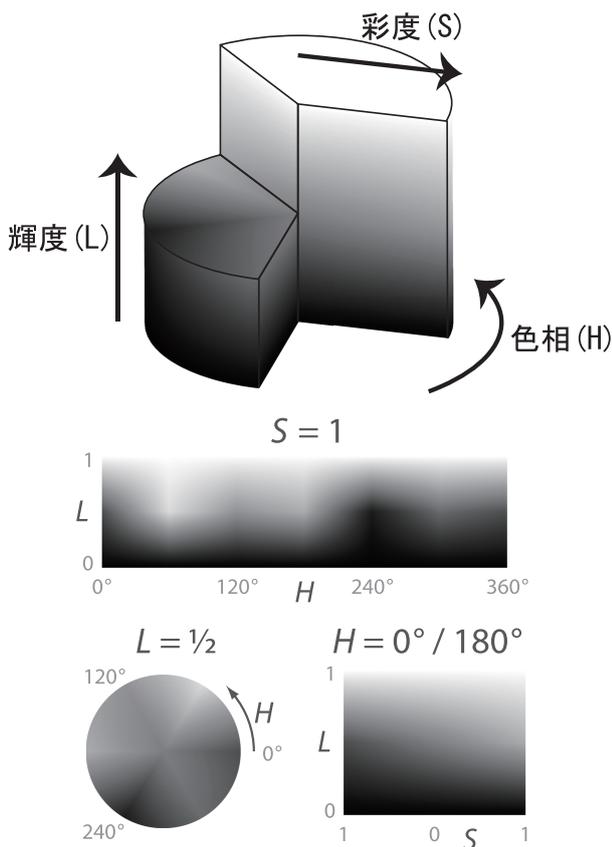


図 24 HLS の説明

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hsl-hsv_models.svg を改変

地面であることや、人間の中心視野が 20 度であることを考慮して、球面ボクセルだけでなく、視点の水平線から上部 10 度、下部を視点以下 1m となる範囲に限定した部分球面ボクセルの統計量の 2 種類を計算する。

また、障害物ボクセルの色分布も変数として扱うが、RGB では人間の感覚を反映しにくいので HLS に変換する。HLS では色相 (H)、輝度 (L)、彩度 (S) により色彩を特徴付ける (図 24)。なお色相は円環で表されるが、方向統計によりその平均円方向を求め、さらにそれを赤、緑、青の 3 種類に分類して用いる。

以上の準備により、表 4 に示す自然監視性に関連する指標を定義する。なお半径は $r' \in \{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$ m とする。

表 4 使用する変数

変数名	説明
length	ボクセル空間内の全視線ベクトルの平均長さ(m)
[vis/obs]_[all/part]_r'_count	半径 r' までの [vis=可視/obs=障害物] ボクセルを [all=球面/part=部分球面] ボクセルへ投影した際の、ボクセル数
vis_[all/part]_r'_aphi_sin	半径 r' において可視なボクセルを [球面/部分球面] ボクセルへ投影した際の、平均水平方向の sin 値
vis_[all/part]_r'_asita_sin	// 平均垂直方向の sin 値
vis_[all/part]_r'_V	// 球分散
obs_[all/part]_r'_hc	半径 r' までに存在する可視の障害物ボクセルを [球面/部分球面] ボクセルへ投影した、平均色相カテゴリ
obs_[all/part]_r'_l	// 平均輝度
obs_[all/part]_r'_s	// 平均彩度
obs_[all/part]_r'_Vh	// 色相の円分散

5. その他の属性

自然監視性についての指標を整備する一方で、ひたくり犯罪は空間のマイクロな因子だけで決定されるわけではなく、人通り、人口、土地利用といったよりマクロな因子も関連していることが、既往研究¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾によりわかっている。そこで表 5 に犯罪データ・レーザーデータ以外で使用するデ

表 5 犯罪データ・レーザデータ以外で使用するデータ

#	名称(対象地域, データ年など)	出典
1	数値地図 2500 (空間データ基盤) (近畿-I, 2004 年)	国土地理院
2	数値地図 5000 (土地利用) (近畿 圏 2001 年)	国土地理院
3	平成 17 年国勢調査 小地域統計 (京都府)	総務省

ータを示し, それを用いる指標を以下のように定義する.

5.1 推定歩行者数

街頭犯罪, 特にひったくりは路上で発生するために, 街路上の歩行者を推定することが必要である. しかし, 本研究が対象とする細街路が中心となるスケールの歩行者数の推定は難しく, 調査するにもコストがかかる規模である. 伏見区においては, 駅やバス停から自宅への帰宅途中が最もひったくりに合い易い移動形態であることが既報²³⁾でわかっている. 特にこの地域は京都市内に隣接した住宅地域であり, 大阪市内へ通勤する住民も多いので, 駅から自宅への人の流れが主要な人の流れとなっていると考えられる. そこで, 対象地域内とその近隣の駅から発生する歩行者を, ランダムウォークにより推定することにする.

まず, 対象地域内外の範囲を道路の中心線を $rwp (= 30)$ m ずつに分解し, 分解された線分の頂点とその集合を $rv \in RV$ と表す. 考慮する駅は表 6 に示した 10 駅 ST とし, その中の一駅を $st \in ST$ と表す. 各駅からネットワーク上の最短距離で $rwdmax (= 0.8)$ km の範囲内をその駅からの歩行者の歩行範囲とする. 歩行者エージェントを st 上におき, そこから接続された他の頂点をランダムに移動し, 到達範囲外の頂点に出るか,

表 6 関連する駅の日あたりの乗車人数

駅	乗車人数 (2009 年)
JR 桃山	650
JR 藤森	1,000
近鉄伏見	1,177
京阪墨染	1,554
京阪伏見桃山	2,092
近鉄桃山御陵前	2,453
京阪藤森	2,835
近鉄竹田	8,771
京阪丹波橋	9,950
近鉄丹波橋	10,008

平成 21 年京都府統計書より

<http://www.pref.kyoto.jp/tokei/yearly/tokeisyotokeisyotop.html>

到達範囲内で行き止まりの頂点につくまでランダムウォークを繰り返す. この操作を 1 試行とし, それを $rwtmax = 100,000$ 回繰り返す. ここで, $rw_t_st(rv)$ を, 1 試行中における駅 st から出発した歩行者エージェントが頂点 rv を通過した累積回数とし, その全試行の平均を駅 st からの推定歩行者数 $rw_st(rv)$ と表す. さらに, 各駅の $rw_st(rv)$ をその駅の一日の乗客数 (表 6) で重み付けした和

$$rw_全駅(rv) = \sum_{st \in ST} ps(st) \cdot rw_st(rv).$$

を, 全駅からの推定歩行者数とする.

このようにして, 各場所における説明属性, rw_st と $rw_全駅$ を定義する. 図 25 は, 全駅からの推定歩行者数の分布を示す. 京阪と近鉄の丹波橋駅周辺の推定歩行者数が多い.



図 25 全駅からの推定歩行者数の分布



図 26 人口密度

5.2 その他の属性

その他の属性として、国勢調査小地域統計からは、小地域を単位とする、人口総数、人口（男）、人口（女）、世帯総数、人口密度（図 26）、世帯密度、女性比を準備した。また土地利用データからは、道路以外の土地利用 {空地、工業用地、一般低層住宅地、密集低層住宅地、中高層住宅地、商業・業務用地、公園・緑地、公共施設用地、河川・湖沼、その他} を準備した。

推定歩行者数を含めてこれらの属性の値は、後述するサンプリング点それぞれの直近の計測点の値を使用するものとする。図 27 にサンプリング点での道路を除く土地利用を示す。この地域は基本的に低層住宅の多い地域であることが示されている。なお、自然監視性を合わせた指標の数は合計で 153 個である。

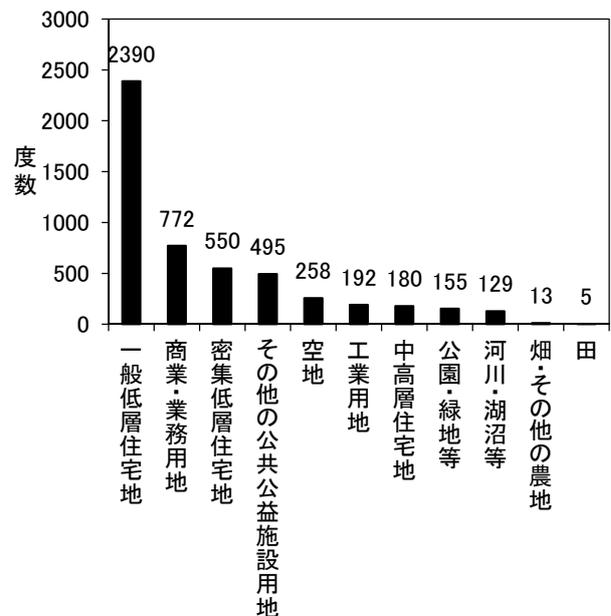


図 27 サンプリング点における道路を除く土地利用の度数分布

6. 分析

6.1 サンプルング点の設定

本研究では空間の可視性を評価するために、点をサンプルングの単位とした。図 28 のように、道路の境界から 1m だけ内側に沿って歩行者動線を想定した線分を生成し、その線分上 10m 毎にサンプルング点を発生させた。さらに、狭小道路などでサンプルング点が 4m 以内に密集しているところでは、GIS のコマンドによりそれらを間引き、少ない代表点で置き換える操作を行った。その結果、5,139 点のサンプルング点を生成した。図 29 にサンプルング点を高度で色分けした図を示す。東側が山側で高度が高くなっており、ひたつくりの件数も少なくなっている。

次に、それらのサンプルング点に対して、ひたつくり犯罪の発生、非発生をそれぞれ P、N としたクラスラベルを付与する。ここでは既報に従い、各ひたつくり点から可視でかつ 40m 以内¹¹⁾のサンプルング点を犯罪発生点とみなしてラベル P を、それ以外を非発生点としてラベル N を与える(図 30)。このとき、分析に応じて 2 通りの方法でラベルを与える。一つは犯罪発生点に含まれているサンプルング点のクラスラベルを単純に P とし、それいがいを N とするものである。これは時節の平均分析法で用いられる。この場合は、ラベル P のサンプルングポイントの数は 377、ラベル N のそれは 4,762 点となった。

もう一つは、複数の犯罪発生点に含まれているサンプルングポイント(図 30 の P')のクラスラベルを P とすると同時に、そのレコードを、犯罪発生点に含まれている数だけその都度データベースにコピーするものである。この処理は、犯罪多発地点とみなせる地点のデータを重み付けするという意味がある。この方法によるデータは、CAEP による判別分析で用いられる。この場合、ラベル

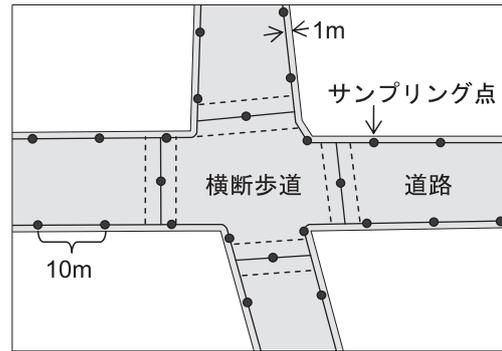


図 28 サンプルング点の設定

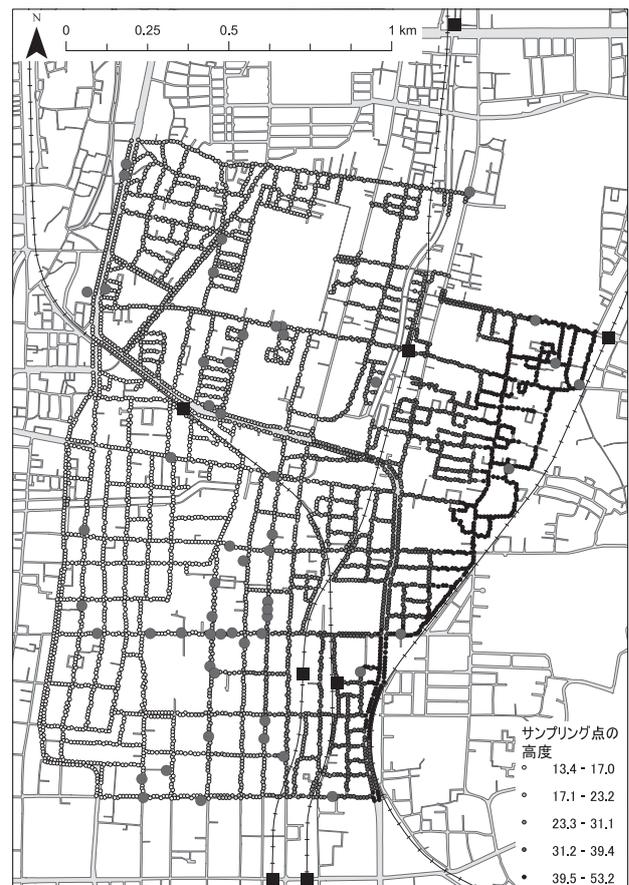


図 29 サンプルング点と高度

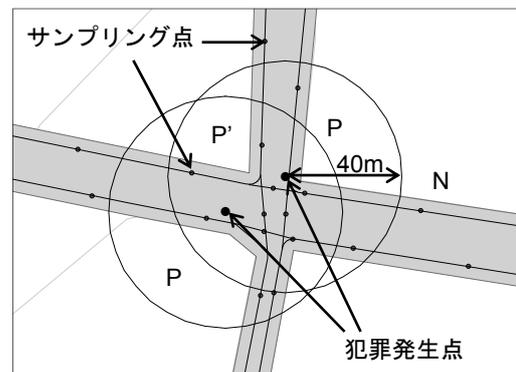


図 30 犯罪発生点とサンプルング点の関係

ル P のサンプリングポイントの数は 423, ラベル N は変わらず 4,762 点で, 合計 5,185 点となった.

いずれの場合でも, 犯罪発生点そのもののデータは分析に用いなかった. その理由は犯罪発生点の中にはレーザーが届かない地点のものがいくつかあり, それらを同じ枠組みで分析するのは困難であったからである.

6.2 平均分析

まずは基礎分析として, ラベル P, N の二つのグループにデータを分割し, 有意水準 5% で各変数の平均値の差の検定を行った. 有意差が見られた変数を表 7 に示す.

クラス P の方が平均値が高い説明変数は,

- ① vis_part_[5~30]m_count (半径 5~30m までの可視ボクセルを部分球面へ投影した際のボクセル数)
 - ② vis_part_[5~20]m_V (半径 5~20m において可視なボクセルを部分球面ボクセルへ投影した際の, 球分散)
 - ③ obs_all_[5~30]m_l, obs_all_[5~30]m_s (半径 5~30m までに存在する可視の障害物ボクセルを球面ボクセルへ投影した, 平均輝度もしくは平均彩度)
 - ④ obs_part_[20~30]m_l, obs_part_[25~30]m_s (半径 20~30m までに存在する可視の障害物ボクセルを部分球面ボクセルへ投影した, 平均輝度もしくは平均彩度)
 - ⑤ rw_京阪丹波橋, rw_近鉄伏見, rw_近鉄竹田, rw_人口密度, rw_世帯密度
- である.

逆に, クラス N の方が平均値が高い説明変数は,

- ⑥ length (視線の平均長さ)
- ⑦ vis_part_5m_asita_sin (半径 5m において可視なボクセルを部分球面ボクセルへ投影した際の, 平均水平方向の sin 値)

表 7 平均分析法により有意差が見られた変数とクラス別の平均値

変数	平均値	
	P	N
length	22.11	22.14
vis_part_5m_count	35,661	34,324
vis_part_10m_count	27,028	25,644
vis_part_15m_count	21,914	20,685
vis_part_20m_count	17,979	16,790
vis_part_25m_count	14,110	13,099
vis_part_30m_count	9,892	9,127
vis_part_5m_asita_sin	0.8045	0.8395
vis_part_5m_V	0.7603	0.7434
vis_part_10m_V	0.7243	0.7071
vis_part_15m_V	0.7040	0.6860
vis_part_20m_V	0.6952	0.6773
obs_all_5m_l	0.3012	0.2686
obs_all_10m_l	0.3025	0.2717
obs_all_15m_l	0.3039	0.2736
obs_all_20m_l	0.3048	0.2745
obs_all_25m_l	0.3054	0.2751
obs_all_30m_l	0.3058	0.2755
obs_all_5m_s	0.1554	0.1481
obs_all_10m_s	0.1599	0.1525
obs_all_15m_s	0.1617	0.1541
obs_all_20m_s	0.1626	0.1550
obs_all_25m_s	0.1633	0.1556
obs_all_30m_s	0.1639	0.1561
obs_part_5m_count	11,543	12,876
obs_part_10m_count	20,176	21,555
obs_part_15m_count	25,290	26,514
obs_part_20m_count	29,225	30,409
obs_part_25m_count	33,093	34,100
obs_part_30m_count	37,311	38,071
obs_part_20m_l	0.2397	0.2259
obs_part_25m_l	0.2461	0.2305
obs_part_30m_l	0.2521	0.2351
obs_part_25m_s	0.1765	0.1716
obs_part_30m_s	0.1780	0.1723
rw_京阪丹波橋	0.2316	0.1635
rw_近鉄伏見	0.179	0.1238
rw_近鉄竹田	0.0001	0
rw_京阪墨染	0.0331	0.1358
人口密度	14,692	13,475
世帯密度	7,114	6,314
高度	21.81	24.44

⑧ obs_part_[5~30]m_count (半径 5~30m までの障害物ボクセルを部分球面ボクセルへ投影した際のボクセル数)

⑨ rw_京阪墨染, 高度
である.

順に説明すると, ①は, 通常の視界の範囲内では, すべての半径において空間の開放性が高いことを示しており, 開放性が高い方が犯罪発生との関連が高いこと示唆している. ②は, 通常の視界の範囲内で 20m までならば, 可視空間の凹凸のばらつきが大きい方が, 犯罪発生と関連性が高いことを示している. ③は, 全球面ですべての距離において, 犯罪発生点では障害物の平均輝度や平均彩度が高いことを示している. ④は, 通常の視界の範囲内では, 20m 以上のやや遠方の障害物の平均輝度や平均彩度が犯罪発生地点の方が高いことを示している. ③④の結果からいえることは, ①とも関連するが, 計測時の日差しが差し込む街路, すなわち, 幅員が広い街路の方が, 陰ができていたために, 平均輝度や平均彩度が高くなっていると考えられる. ⑤はこれらの駅からの推定歩行者数, 人口密度, 世帯密度が, 犯罪発生地点の方が高いことを示している. ⑥は, 視線ベクトルの平均長さは犯罪非発生点の方がやや長いことを示している. これは①の結果と相反するような結果であるが, その差はわずかである. ⑦は視点から半径 5m 以内と直近であれば, 犯罪非発生地点周辺では北方向へ視界が開けている傾向が強いことを示している. ⑧は①の結果と同じことを障害物ボクセルから言っている. すなわち犯罪非発生地点周辺ほど, 通常の視界の範囲内では障害物が多いことを示している. これは Type I の自然監視性が犯罪の抑止に重要であることを示唆する結果といえる. 最後に⑨は京阪墨染駅周辺や高度が高い地域では犯罪が発生しにくいことを示している.

全般的な傾向として, 犯罪発生点の方が, 見通

しはよいが視線のばらつきが大きい, 障害物の明度や彩度が高いといった特徴がみられた.

6.3 CAEP による判別分析

6.3.1 CAEP の概要

本研究では, Classification by Aggregating Emerging Patterns (CAEP)²⁴⁾ と呼ばれるデータマイニングの分野で開発された手法を用いて判別分析を行う. これは既報で使用されて実績がある方法であり, 局所的な場所にとどまる犯罪発生場所を, それ以外の大多数の場所と区別する際に, 比較的精度の高い結果を得ることができる.

CAEP は, 顕在パターン (emerging pattern: EP)²⁵⁾ を用いて判別分析を行う. EP は頻出アイテム集合の中で, クラスで分割されたデータセットにおけるサポート (データセットのデータの件数に対する頻出アイテム集合の件数) の比が, 他のデータセットのそれよりも際だって高いものをいう. サポートの比を基準とすることで, 数が比較的少ないマイナーなパターンの中から, そのデータセットに特有なパターンを抽出することができる. この特徴から CAEP が犯罪発生場所の分析に適していると考えられる.

D をデータベース全体とする. D は属性値によりいくつかのデータセットに分割されるものとする. 属性 A はあるクラスラベル C とそれ以外を総称したクラスラベル \bar{C} を有しており, それによって D は D_C と $D_{\bar{C}}$ に分割される. $t \in D_C$ を C に属する一つのレコードとし, $e \subseteq t$ を t におけるアイテム集合とする. D_C における e のサポートを以下のように定義する. ここで $|\cdot|$ は集合の要素の個数を示す.

$$\text{sup}_C(e) = \frac{|t \in D_C, e \subseteq t|}{|D_C|}.$$

データベース $D_{\bar{C}}$ における e のサポートに対する, D_C における e のサポートの比を増加率といい, 以下のように定義する.

$$growth_rate_C(e) = \begin{cases} \frac{sup_C(e)}{sup_{\bar{C}}(e)} & (sup_{\bar{C}}(e) \neq 0), \\ \infty & (sup_{\bar{C}}(e) = 0). \end{cases}$$

通常, この値が 1 を超えるアイテム集合を顕在ボタンと呼ぶ.

CAEP は, 増加率を持った EP ほど特定のクラスで出現しやすいという性質を利用する. まず, e の C における寄与度を次式で定義する.

$$\alpha_C(e) = \frac{growth_rate_C(e)}{growth_rate_C(e) + 1} \cdot sup_C(e).$$

もし, $growth_rate_C(e) = \infty$ ならば, $\alpha(e) = \infty / (\infty + 1) \cdot sup_C(e) = sup_C(e)$ と, 寄与度とサポートは等しくなる. あるインスタンス s が C に属する可能性を示す集約スコアを, 次式で定義する.

$$score(s, C) = \sum_{e \in s, e \in E(C)} \alpha_C(e).$$

上式において, $E(C)$ を, 学習データで得られた C における EP の集合とする. 集約スコアの値はデータベースのレコードの件数に左右されるので, それを次式のように標準化する.

$$norm_score(s, C) = \frac{score(s, C)}{base_score(C)}$$

上式において, $base_score(C)$ は, 各 s の $score(s, C)$ の中央値である.

最後に, $norm_score(s, C)$ と $norm_score(s, \bar{C})$ を比較して, その値が大きい方のクラスに s を分類する (図 31).

□前処理

学習データにより属性値集合の支持度と増加率を計算し, 顕在ボタンを抽出

□Step 1

s の各クラスにおける顕在ボタンの抽出と寄与度の計算

□Step 2

集約スコアの計算と比較

□Step 3

クラスの予測

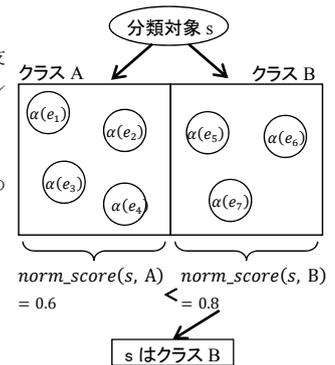


図 31 CAEP による判別のイメージ

6.3.2 分析結果

CAEP を適用するために, 6.1 で作成したデータのうち数値属性のデータを, 度数ができるだけ均等になるように区間を決めて 3 水準に離散化する. 離散化した属性は, 水準が小さいものから順に“属性名=L, M, H”と表記する.

いくつかの予備実験を行い, CAEP のパラメータである頻出アイテム集合の最小サポート = 0.038, 頻出アイテム集合の最大次元 = 4, EP の最小増加率 = 4 として, 学習データすべてを用いた場合と, 10 回の交差検証を行った場合で判別分析を行った.

表 8, 9 に, それらの結果の分類表を示す. また, 表 10 に精度評価のまとめを示す. 交差検証の方が予測精度に近い精度を示すので, これについて説明すると, 全体的な精度は 0.75 程度とまずまずの結果である. クラス N の精度は交差検証でも学習データでも殆ど変わらないが, クラス P の方は交差検証を行うと 1 割程度低下している.

図 32 に学習データによるサンプリング点の分類結果を示す. 黒丸はデータのクラスが P で予測結果も P, 白丸はデータのクラスが N で予測も N となっていることを示す. 対して, 菱形と四角は予測が失敗しているサンプリング点である. 全体的には犯罪発生点の予測はうまくいっているが, 東側の高度の高いところは外している. また, 丹

表 8 分類表 (学習データ)

		予測		
		P	N	未分類
データ	P	324	99	0
	N	1,183	3,579	0

表 9 分類表 (10 回交差検証)

		予測		
		P	N	未分類
データ	P	283	140	0
	N	1,184	3,578	0

表 10 精度のまとめ

	全体精度	TPrate	TNrate
学習データ	0.753	0.766	0.752
10 回交差検証	0.745	0.670	0.751

波橋駅周辺の犯罪発生が集中する地域の非発生地域をクラス P と誤判別している例が目立つ。既往研究でも、犯罪多発地区近隣の非発生地域を正しく分類することは難しかったので、本研究でも同様の傾向となった。総じていうと、マクロなレベルでの指標はともかく、今回提案したレーザースキャナの説明変数だけではまだ説明力が不足していると予想される。

確認のために、各クラスでの寄与度が高い上位 20 位の EP をそれぞれ表 11, 12 に示す。ちなみに抽出された EP は、クラス P で 256,280 個、クラス N で 248,206 個であった。まず、クラス P の EP では、高度が中程度、京阪丹波橋からの歩行者が多いといった、マクロ属性が多く現れ、自然監視性の指標としては、obs_part_25m_hc=r という、視点から比較的離れた場所にある障害物の色彩のカテゴリが赤という属性のみが現れている。

対してクラス N の EP では、高度が高い、JR 桃

山駅や藤森駅からの人の流れが少ないといったマクロ属性の他に、obs_all_[5~30]m_hc=r という自然監視性の属性が含まれているのが目立つ。しかしこの属性はクラス P でも類似した属性があることと、各変数を独立して扱う平均分析では検出されなかった為に、どちらのクラスで有効なのかは不明である。

そこで、各クラスの EP を構成する各属性にその EP の寄与度を加算することをすべての EP について行い、その和が上位 20 位までの属性をそれぞれ表 13, 14 に示す。クラス P では、高度が中程度、京阪丹波橋からの歩行者が多い、通常の視界の範囲で 30m 以内の距離にある障害物の彩度が高い、全球面ボクセルでの障害物の輝度が高い、全駅からの推定歩行者数が多いといった属性が上位となった。

一方クラス N では、高度が高い、京阪丹波橋、近鉄竹田、京阪藤森からの推定歩行者が少ない、通常の視界における 30m までの距離にある障害物の色のカテゴリが赤である、といった属性が上位に来ており、色彩カテゴリはクラス N で作用しているようである。そもそも色彩カテゴリを説明属性に入れた理由は、街路樹や植え込みなどを識別する為であったが、今回はそれらが影響を与えているような結果は得られなかった。

いずれの場合でも高度の差が圧倒的な説明力を有しており、次いで駅からの歩行者の流れ、そしてミクロな空間的な属性（可視領域の広さに関連するもの）という順で説明がある程度可能である。ちなみに土地利用に関しては、今回はあまり説明力を有していない結果となった。

最後に、それぞれのクラスでの標準化集約スコアが最も高い地点のパノラマ画像を図 33, 34 に示す。それらの地点の場所は図 32 に示してある。

図 33 は、1 階が商店で 2 階が住宅という、昔ながらの店舗併用住宅が立ち並んでいることを示し

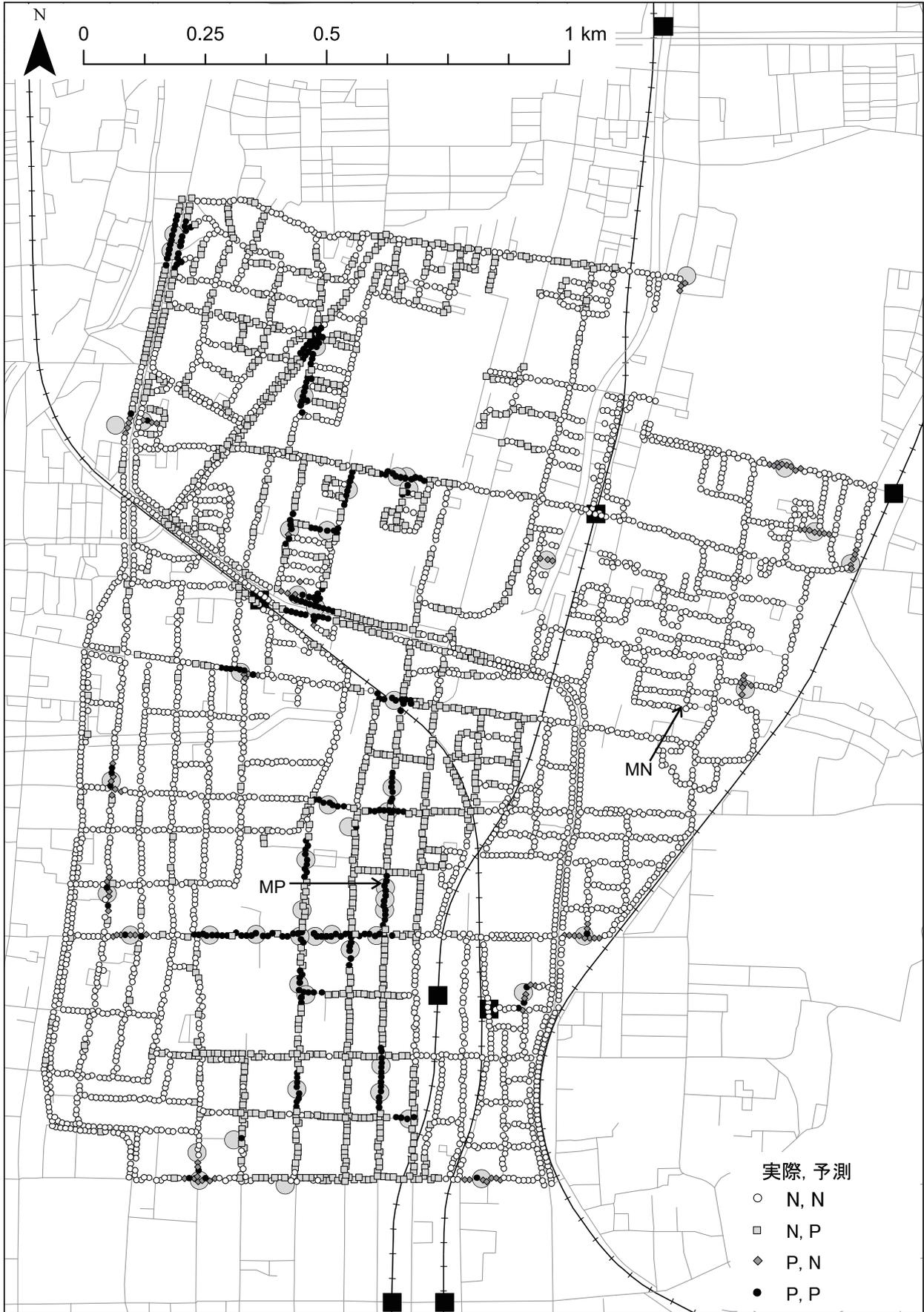


図 32 サンプルング点の学習データによる分類結果

表 11 クラス P の寄与度が上位 20 位までの EP

#	寄与度	EP
1	5.450	高度=M rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L rw_京阪墨染=L
2	5.435	高度=M rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L rw_全駅=H
3	5.435	高度=M rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L
4	5.435	高度=M rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L rw_近鉄竹田=L
5	5.435	高度=M rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
6	5.435	高度=M rw_京阪藤森=L rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L
7	5.359	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L
8	5.355	高度=M obs_part_30m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L
9	5.317	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_京阪墨染=L
10	5.315	高度=M obs_part_20m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_JR 桃山=L
11	5.310	高度=M obs_part_30m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_京阪墨染=L
12	5.303	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_JR 藤森=L
13	5.303	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_全駅=H
14	5.303	高度=M obs_part_25m_hc=r obs_part_30m_hc=r rw_京阪丹波橋=H
15	5.303	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪丹波橋=H
16	5.303	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_近鉄竹田=L
17	5.303	高度=M obs_part_25m_hc=r rw_京阪藤森=L rw_京阪丹波橋=H
18	5.274	高度=M obs_part_20m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_京阪墨染=L
19	5.259	高度=M obs_part_20m_hc=r rw_京阪丹波橋=H rw_全駅=H
20	5.259	高度=M obs_part_20m_hc=r rw_京阪丹波橋=H

表 12 クラス N の寄与度が上位 20 位までの EP

#	寄与度	EP
1	4.030	高度=H obs_all_30m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
2	4.028	高度=H obs_all_20m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
3	4.019	高度=H obs_all_25m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
4	4.000	高度=H obs_all_15m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
5	3.977	高度=H obs_all_10m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
6	3.969	高度=H obs_all_5m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
7	3.704	高度=H rw_京阪藤森=L rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
8	3.692	高度=H rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
9	3.692	高度=H rw_近鉄桃山御陵前=L rw_近鉄竹田=L rw_JR 藤森=L
10	3.692	高度=H rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
11	3.686	高度=H rw_京阪伏見桃=L rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
12	3.408	高度=H obs_part_5m_hc=r rw_JR 桃山=L rw_JR 藤森=L
13	3.405	高度=H obs_all_30m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
14	3.394	高度=H obs_all_25m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
15	3.371	高度=H obs_all_20m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
16	3.368	高度=H obs_part_30m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
17	3.366	高度=H obs_all_5m_hc=r rw_京阪伏見桃=L rw_JR 藤森=L
18	3.342	高度=H obs_all_15m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
19	3.319	高度=H obs_all_10m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L
20	3.265	高度=H obs_part_25m_hc=r rw_近鉄桃山御陵前=L rw_JR 藤森=L

表 13 クラス P の寄与度の和が高い上位 20 属性

#	属性	寄与度の和
1	高度=M	168,713.2
2	rw_京阪丹波橋=H	95,587.8
3	obs_part_30m_s=H	13,725.7
4	obs_all_30m_l=H	13,530.2
5	rw_全駅=H	13,199.6
6	obs_part_25m_s=H	13,185.4
7	obs_all_25m_l=H	12,669.4
8	obs_part_25m_l=H	12,350.2
9	人口密度=H	12,218
10	obs_all_20m_l=H	11,896.8
11	obs_all_10m_l=H	11,544.2
12	rw_近鉄丹波橋=H	11,510.4
13	obs_part_30m_l=H	11,432.1
14	obs_all_15m_l=H	11,421.6
15	obs_part_20m_l=H	11,350.3
16	rw_近鉄丹波橋=M	10,492.1
17	obs_part_15m_l=H	10,455.1
18	vis_all_25m_aphi_sin=L	10,394.9
19	obs_all_25m_s=H	10,224.1
20	obs_part_20m_s=H	10,062.1

表 14 クラス N の寄与度の和が高い上位 20 属性

#	属性	寄与度の和
1	高度=H	202,403.1
2	rw_京阪丹波橋=L	15,067.4
3	rw_近鉄竹田=L	14,639.0
4	rw_京阪藤森=L	14,541.2
5	obs_part_30m_hc=r	11,987.6
6	rw_JR 桃山=L	11,725.9
7	obs_part_25m_hc=r	11,238.7
8	obs_all_5m_hc=r	11,142.9
9	obs_all_20m_hc=r	11,033.6
10	obs_all_30m_hc=r	11,024.7
11	obs_all_25m_hc=r	10,932.1
12	obs_all_10m_hc=r	10,858.3
13	obs_all_15m_hc=r	10,821.6
14	rw_近鉄丹波橋=L	10,643.1
15	obs_part_10m_hc=r	10,436.4
16	obs_part_20m_hc=r	10,287.3
17	rw_京阪墨染=H	10,094.4
18	rw_近鉄伏見=L	9,973.3
19	rw_近鉄桃山御陵前=L	9,583.4
20	obs_part_15m_hc=r	9,525.3



図 33 クラス P の集約スコアが最も高い地点 MP のパノラマ画像



図 34 クラス N の集約スコアが最も高い地点 MN のパノラマ画像

ている。この地点は丹波橋駅に近く人通りが多いことが予想されるにも関わらず、シャッターなどの影響で特に夜間の自然監視性が低くなる傾向がある地域であると予想される。

図 34 は、山麓にある住宅地の街路である。戸建て住宅が並んでおり、1 階の開口部の量も比較的多いように見える。また、道がやや入り組んでおり、人通りがそもそも少ないと予想され、ひったくりが起こる可能性が少ない場所である。

以上のようにパノラマ画像を比較して違いを見いだしたが、本研究で提案した方法では開口部の情報をレーザーポイントデータから取得できない。しかし窓ガラスであればレーザーの反射が少ないために抽出できる可能性があり、今後の課題としたい。

7. まとめ

本研究では、防犯環境設計で主要な概念である街路の自然監視性を評価するために、レーザースキャナと全方位カメラを組み合わせた高精度な移

動型計測機器を用いて街路の状況を長距離に渡って測定し、得られる膨大なデータから自然監視性を評価する基礎的な手法についての提案と検証を行った。

今回はデータが得やすいひたくりを対象として、2章で対象地域である京都市伏見区の北部について説明した。3章では街路のレーザー測定について、計測機器や計測方法について説明した。4章では、ボクセルモデルに基づく自然監視性の解析モデルを開発すると共に、球面統計を用いた自然監視性の評価手法を提案した。5章では、自然監視性以外のマクロな属性について説明した。このような準備を行い、6章ではサンプリング点の準備を行った後に、平均分析法とCAEPに夜判別分析を行い、ひたくり犯罪に関連する属性を抽出し、犯罪発生に関する分類モデルを作成しその精度や、犯罪発生、非発生に特徴的なパターンを多く有する場所についての分析を行った。本研究の結論を以下に示す。

- ・街路のファサードを対象としたレーザー計測の測定技術そのものは十分実用段階に達していると考えられるが、特に街路の幅が広い場合に、歩道等周辺部に着目した場合はデータ欠損が多くなりやすい。分析の粒度にもよるが、車両を何度も走らせて測定を繰り返したり、車両以外の小型の計測装置を併用して、データ欠損をできるだけ少なくする必要がある。

- ・本研究で示したオブジェクトを明示化しないボクセルモデルでも、自然監視性の基礎的な指標となり得ることが統計的には言えそうである。特に今回は、TypeI・IIに関連する自然監視性を暗に示す属性が、平均分析法とCAEPによる判別分析の両方の分析で得られた点は成果といえる。ただし、ひたくり犯罪の発生は、高度や主要駅からの推定移動人口など、人通りの影響がやはり強いことが今回も示されたので、人通りの推定技術も精度

を向上させる必要がある。

- ・計測データは膨大であり、そのデータをどのように環境・空間モデルとしてまとめるかは、きわめて重要な問題である。本研究の枠組みでは障害物ボクセルが一体何を示しているか（どのような建物なのか、開口部なのか。植物かなど）が不明であり、色情報という抽象的な形でしか得られていない。しかしそれらの情報は自然監視性の評価に必須であるため、現在研究が進んでいるレーザーデータからのオブジェクトの同定技術の発展を強く望むと共に、レーザーデータを補完する他のタイプのデータ（パノラマ画像、住宅地図データ、航空レーザー等）を併用していくことが依然として必要になるであろう。

- ・モデリングについて細かい点を言えば、金網などの透過性がある障害物をボクセルモデルとするのは難しく、ボクセルの大きさを適応的に変更できるモデルへと改良していくことが将来的には望ましい。

謝辞

本研究は、社会安全研究財団 2010 年度研究助成（A 一般研究助成）を受けて行われました。また、計測を委託した株式会社 GIS 関西には、関連する資料を提供していただきました。ここの謝意を記します。

参考文献

- 1) K. Harries: Mapping Crime: Principle and Practice (U.S. Dept. of Justice, Office of Justice Programs, National Institute of Justice, Crime Mapping Research Center), 1999.
- 2) A. R. Gonzales, R. B. Schofield and S. V. Hart: Mapping crime: Understanding hot spots, U.S. Department of Justice, NIJ Special Report, Aug. 05. 2005.
- 3) T. Nakaya and K. Yano: Visualizing crime clusters in a space-time cube: an exploratory data-analysis approach using space-time kernel density estimation and scan statistics, Transactions in GIS 14, pp.219-377, 2010.
- 4) T. Satoh and A. Okabe: Network nearest neighbor distance methods for lines or polygons and development of a tool of the methods, Theory and Applications of GIS 14(2), pp.31-39, 2006.
- 5) R. Jeffery: Crime Prevention Through Environmental

- Design. Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1971.
- 6) O. Newman: *Defensible space I; Crime prevention through urban design*, New York, Macmillan, 1972.
 - 7) J. Jacobs: *The death and life of great American cities*, Vintage Books, 1961.
 - 8) B. Hillier: *Can Streets be Made Safe?*, Space Syntax Homepage, 2006.
http://www.spacesyntax.com/en/downloads/library/article_s.aspx
 - 9) O. Sahbaz and B. Hillier: *The Story of the Crime: Functional, Temporal and Spatial Tendencies in Street Robbery*, Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul, 022, 2007.
 - 10) A. Takizawa, F. Kawaguchi, N. Katoh, K. Mori and K. Yoshida: *Risk Discovery of Car-Related Crimes from Urban Spatial Attributes Using Emerging Patterns*, Int. J. of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, 11(5), pp.301-311, 2007.
 - 11) A. Takizawa, W. Koo and N. Katoh: *Discovering distinctive spatial patterns of snatch theft in Kyoto City with CAEP*, JAABE, 9(1), pp.103-110, 2010.
 - 12) J. Desyllas., P. Connolly and F. Hebbert: *Modeling natural surveillance*, Environment and Planning B: Planning and Design, Pion Ltd, London, 30(5), 643-655, 2003.
 - 13) 瀧澤重志 : 建物壁面等の空間的属性を考慮したひったくり犯罪の分析, 地理情報システム学会講演論文集, 19, 2010.
 - 14) A. Takizawa: *Classification and Feature Extraction of Criminal Occurrence Points using CAEP with Transductive Clustering*, STGIS2011, The University of Tokyo, Procedia Social and Behavioral Sciences 21, pp.83-92, September 14-16, 2011.
 - 15) 天野貴文, 吉川眞 : MMS データを用いた 3 次元都市モデルの構築, 地理情報システム学会講演論文集, 19, 2010.
 - 16) 天野貴文, 吉川眞, 平尾公孝 : ファサードと屋根の形状を考慮したデジタルシティの構築, 地理情報システム学会講演論文集, 20, 2011.
 - 17) 田中英人, 趙 卉菁, 柴崎亮介 : 都市空間における道路上からの自然監視性のマッピング, GIS-理論と応用, 17(1), pp.31-42, 2009.
 - 18) M. Benedikt: *To take hold of space: isovists and isovist fields*, Environment and Planning B 6, pp.47-65, 1979.
 - 19) A. Turner, M. Doxa, D. O'Sullivan and A. Penn: *From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space*, Environment and Planning B 28, pp.103-121, 2001.
 - 20) J. E. Bresenham: *Algorithm for computer control of a digital plotter*, IBM Systems Journal, 4(1), pp.25-30, January 1965.
 - 21) 吉田哲, 高田光雄, 宗本順三 : 集合住宅における視線による居住者のプライバシー被害の可能性と被害意識の関係 実験集合住宅NEXT 21 を対象として, 日本建築学会計画系論文集, 500, pp.103-110, 1997.10.
 - 22) K. V. Mardia and P. E. Jupp: *Directional Statistics*, Wiley, 1999.
 - 23) 瀧澤重志, 佐伯研, 加藤直樹 : 京都市伏見区中心部におけるひったくりの空間分析, 日本建築学会第 30 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.165-168, 2007.
 - 24) G. Dong, et al.: *CAEP: Classification by Aggregating Emerging Patterns*, Int'l Conference on Discovery Science, pp.30-42, 1999.
 - 25) G. Dong and J. Li: *Efficient mining of emerging patterns: Discovering trends and differences*. Proc. of the Fifth ACM SIGKDD, San Diego, CA, 1999.