

# 時空間ホットスポットを立体的に可視化する

## 時空間カーネル密度変換&視覚化ツール for ArcGIS Pro

### SpaceTime KDE 点分布を点密度分布へ

犯罪や疾病の発生のようなイベントは、発生した地理座標とともに発生した時間座標を持つ3次元の位置情報を持った点オブジェクトとして扱えることが多い。2次元の空間分析と同様、カーネル密度推定 (KDE) によって点分布を点密度分布に変換することで、時空間的なイベントの集团的挙動を明らかにできる。

3次元座標  $(x, y, t)$  における時空間カーネル密度推定値  $\hat{f}(x, y, t)$  は、以下のように定義できる (Epanechnikov 型カーネルを利用)。

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

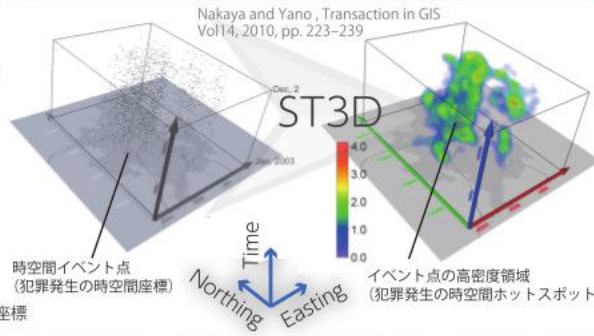
$$K_s(u, v) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} (1 - (u^2 + v^2)) & (u^2 + v^2) < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad h_s: \text{空間バンド幅}$$

$$K_t(u) = \begin{cases} \frac{3}{4} (1 - u^2) & |u| < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad h_t: \text{時間バンド幅}$$

$(x_i, y_i, t_i)$ : イベント  $i$  の時空間座標



Event points      Kernel density estimation

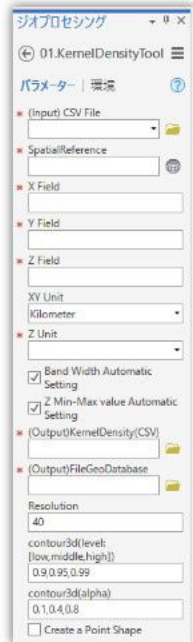


### Volume Rendering 点密度の「雲」を描く

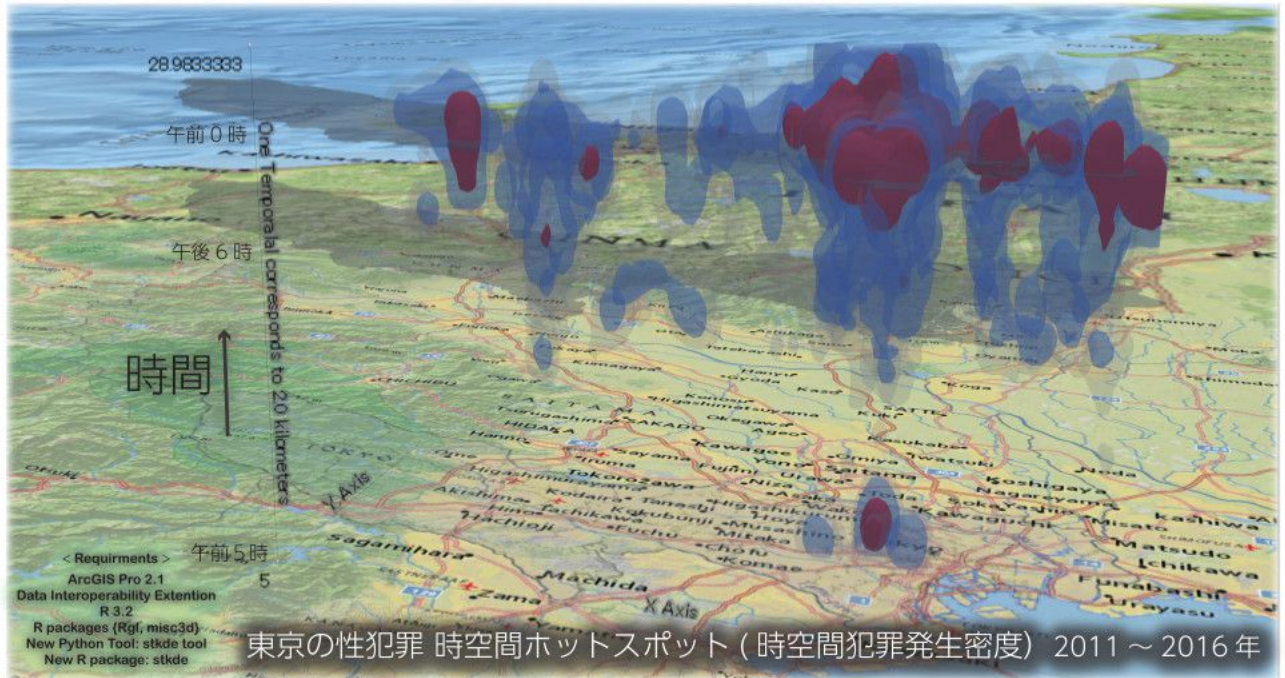
SpaceTime KDE によって得られた時空間3次元の点密度を地図化するには、通常のコプロレスマップのような手段は使えない。時空間のすべての位置に密度値があるためである。

そこで、特に注目すべき高密度の場所をハイライトするために、点分布が低密度であるほど透過度を高く設定すると、時空間の3次元領域 (時空間キューブ) の中に、高密度の場所を濃淡を伴った「雲」のように描き出すことができる。このような視覚化手段を volume rendering と呼ぶ。

左に示す3次元のシーンは、ひったくりの発生を対象とした先行研究例である。水平方向は地理的空間、垂直方向は時間である (時間が経過するほど「高い」位置になる)。ここで、犯罪発生が常に高密度で発生している恒常的ホットスポットは、あたかも「横乱雲」のように直立する「雲」として描き出されている。



Tool Dialog



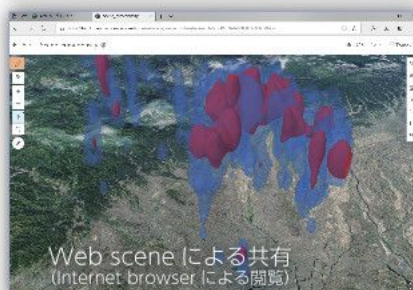
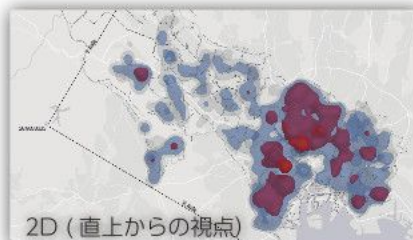
東京の性犯罪 時空間ホットスポット (時空間犯罪発生密度) 2011 ~ 2016 年

### A Tool for ArcGIS Pro GIS 環境での「雲」

SpaceTime KDE による3次元密度分布の視覚化には、これまで volume rendering の可能な専用の環境が必要であった。しかし、それは GIS データとの連携や分析に不便であった。

そこで、SpaceTime KDE 計算とともにその結果得られる時空間3次元分布図の視覚化を GIS 環境で可能とするために、ArcGIS Pro (ESRI) 用のツール開発を進めることにした。この ArcGIS Pro 用ツールでは、R 環境と連携して、3つの水準の密度等値面を作成し、これを ArcGIS Pro のシーン (3次元表示画面) に表示させる。

3次元の密度分布図の視覚的理解には、インタラクティブにユーザが視点を変更できる環境が望ましく、ArcGIS Pro 環境を利用すれば、それは容易であり、online 上での共有や他の GIS データとの重ね合わせも可能となる。



### Application 犯罪の「雲」を読む



上の図は、近年の東京都において発生した性犯罪 (強制性交・強姦) の発生密度の時空間地図である。縦軸は1日の中での時間帯になっており、一番低い「高度」は午前5時、そこから24時間分の「高度」をz軸としている。

この図には、犯罪リスクの高い「場所と時間」にあわせて濃い「雲」が描かれている (赤が最も高密度な領域、青が中程度の密度領域であり、その外側の灰色はより低密度な領域である)。夕方の時間帯と深夜の時間帯に、性犯罪は多発しており、その時間の位置を示すために、東京都の範囲の「板」を午後6時と深夜0時に対応する「高度」に配置した。

新宿のような繁華街を有する地区は最も多発領域の時間範囲が長い。その一方で、郊外部でも特に深夜の鉄道駅周辺に多発する地区がみられ、ベッドタウン的な地区にも「雲」がかかる状況を観察できる。これは、深夜、鉄道駅に降りた女性が徒歩で自宅に向かう途中に被害に遭った状況を示唆しており、当該リスクの啓発とともに、安全な帰宅を可能とする環境整備の重要性を読み取ることができる。