

ベイジアンネットワークを用いた 路上犯罪発生箇所の特徴に関する研究

A Study on Spatial Features of Street Crime Outbreak Spot Using by Bayesian Network

山崎良祐¹・宗本晋作²

Ryosuke Yamasaki and Shinsaku Munemoto

¹株式会社長谷工コーポレーション (〒105-0014 東京都港区芝2-32-1)

HASEKO Corporation

²立命館大学教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Department of Architecture and Urban Design, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

The purpose of this paper is to provide the method for the construction of the probabilistic model of the evaluation for the street crime outbreak spot. We applied Bayesian networks to construct graphical models that represented the correlation between the crime outbreak and multiple spatial elements which street environment was composed. Finally, a conclusion was made regarding the way to use the probabilistic model to predict and explain the street environment where street crimes occur most often.

Keywords: street crime, spatial elements, bayesian network, probabilistic reasoning, crime occurrence map

1. はじめに

(1) 背景と目的

犯罪の発生は、取り巻く環境の影響を受ける¹⁾。特に路上犯罪は、場所の特性と犯行の容易性が犯意者の意思決定に大きく影響を及ぼすと考えられており、出口ら²⁾の研究により、大阪市におけるひったくりの発生状況が街路の空間要素と関係していることが示されている。

本研究は、路上犯罪の予防・予知につながる知見を得ることを目的として、大阪市の道頓堀付近の路上犯罪を対象に犯罪発生に影響すると考えられる空間要素を調査する。次にベイジアンネットワークを用いた分析により空間要素と犯罪発生との関係を示す有向グラフの獲得、及び空間要素の組み合わせに対する犯罪発生率を確率推論により予測し、犯罪の発生しやすい空間の特徴を捉える。

(2) 本研究の位置付け

これまでの研究において、ひったくり発生と照度の関係に関する研究(石川ら、2006)³⁾や道路幅員および道路の長さとのひったくり発生との関係に関する研究(出口ら、2011)⁴⁾など、路上犯罪と様々な空間要素を関連づける研究が行われてきた。これらの研究により犯罪の発生には様々な要因が複雑に関係している事が示されてきたが、これまでの研究は、ある限定された要素に着目した研究に留まっている。このように、より多数の要素と犯罪発生との関係を捉えることが課題となっている。一方、複数の要素と犯罪発生との関係を扱っている研究として、犯罪発生と街灯の数や道路幅員など、複数の局所的な環境特性を関連づける研究(伊藤ら、2010)⁵⁾が上げられるが、各要素単体に対する犯罪発生状況の分析に留まっており、複数の要素を同時に組み合わせたものは分析対象とされていない。

路上犯罪行為、すなわち犯意者が路上で犯行を決意或いは放棄する判断は、空間要素を変数とする不確実性を含む確率的な行為と捉えることができる。このような複数の要素を変数とする不確実性を含む確率的な行為を分析する有効な手法として、ベイジアンネットワーク⁶⁾を用いた手法が挙げられる。ベイジアンネットワークは統計的学習により複数の変数の関係を非循環有向グラフで表し、変数間の関係をそれぞれ条件付き確率で定量化するモデルである。変数間の関係が非線型・非正規的であっても、離散的な条件付確率表によって柔軟にモデル化を行うことができるため、これまで扱うことができなかった複数の空間要素と犯罪発生との関係について分析し、確率モデルを用いて直接的に表現することができる。さらに確率推論⁴⁾により、一部の説明変数を観測したときのその変数の確率分布を計算することができ、予測に有用である。

そこで本研究では、ベイジアンネットワークを用いて犯罪発生の有無と空間要素の関係を示す確率モデルを獲得し、それを用いて確率推論を行うことを試みる。

2. 空間特徴調査

(1) 調査対象の絞り込み

a) 調査対象被害

大阪府警察のHPに掲載されている「大阪府警察犯罪発生マップ」を活用する。「大阪府警察犯罪発生マップ（以下、犯罪マップ）」では、ひったくり、路上強盗、子供被害、女性被害の計4種類の犯罪において発生箇所がプロットされる地図が公開されており、2017年1月1日から今日までの路上犯罪の発生場所を確認することができる。犯罪マップにプロットされている4種類の犯罪のうち子供被害と女性被害の被害報告は、実際に危害を加えたものから不審者らしき人物の目撃情報に留まるものまで、同じプロットでも被害の幅が大きい⁷⁾。そこで本研究では、子供被害と女性被害は分析対象から外し、ひったくり及び路上強盗のみを調査対象被害とした（表1）。

b) 調査対象地域

本研究では犯罪発生状況と空間特徴の関係をより詳しく分析するため、調査対象地域を絞りミクロな視点で分析を行う。調査対象地域の選定は図1に示す通り、以下の手順で行なった。

STEP1：過去3年間における路上強盗・ひったくりの犯罪発生カーネル密度分布図から、それぞれにおいて発生密度の高い地域を選出。

STEP2：それらを併せた高密度犯罪発生地域にまず調査対象を絞り、その地域の中で、幹線道路を基準にブロック区分

表1 調査対象被害の絞り込み

被害種類	年間犯行件数 ⁽³⁾	特徴	調査対象の可否
ひったくり	101	路上で行われる犯罪で、街路の影響が大きいことが予想される。	調査対象とする
路上強盗	19	犯行が特殊で件数が少ないものの、街路の影響は大きいことが予想される。	調査対象とする
子供被害	789	犯罪の被害の大ききの幅が大きく、分析対象としては扱いにくい。	調査対象としない
女性被害	770	犯罪の被害の大ききの幅が大きく、分析対象としては扱いにくい。	調査対象としない

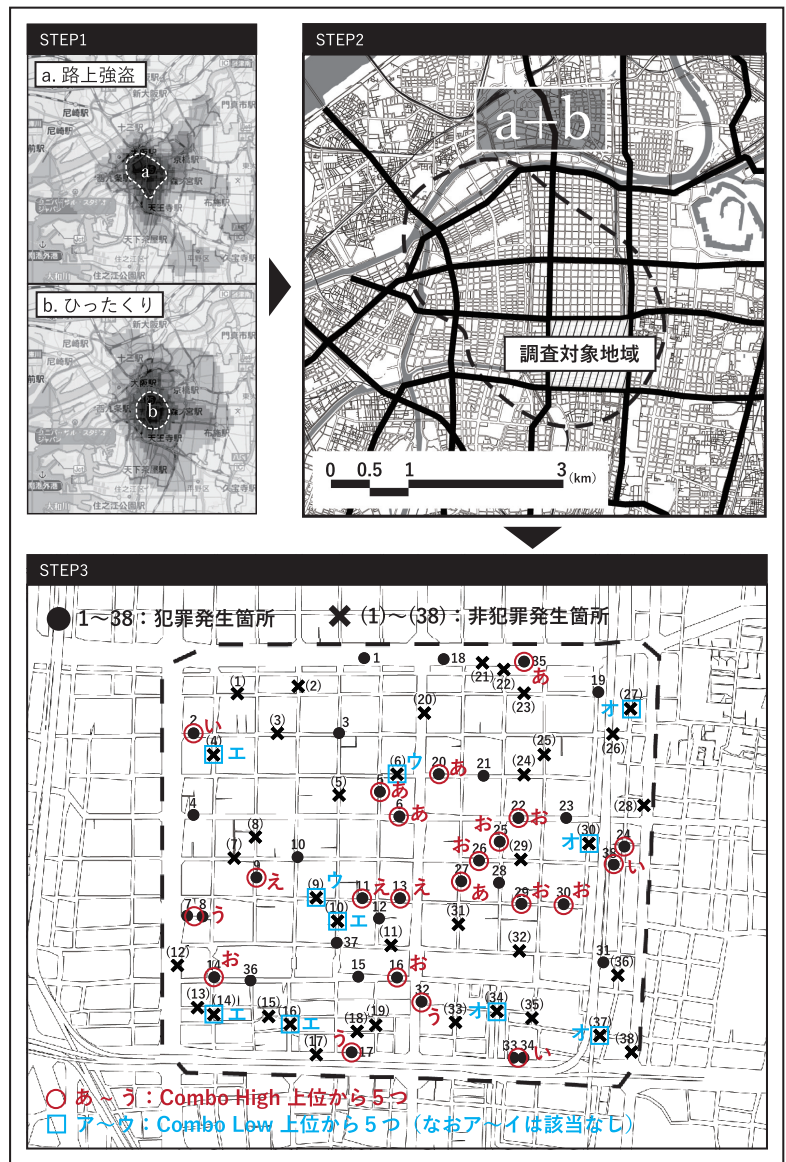


図1 調査対象地域の絞り込み及びプロット

し、最も犯罪発生件数の多いブロックを本研究の調査対象地域とした。

STEP3：以上より調査対象とした地域において、2017/1/1~2021/1/1までにおいて発生した、ひったくり及び路上強盗の発生箇所を犯罪発生箇所としてプロット⁽⁴⁾した。さらに、同じ数だけ非犯罪発生箇所を無作為にプロットした⁽⁵⁾。

この地域は大阪市中央区の東心斎橋および島之内付近の地域であり、道頓堀を中心とした市街地である。

(2) 空間特徴調査

プロットされた箇所に対し、図2の範囲を調査対象範囲とした。また、調査対象とする空間要素の選定は次の手順を踏んだ。

まず、図3の示すように、構成する空間要素を、水平面、垂直面、構築物、その他に分類し、それぞれにおける要素を表2にまとめた。次に、予備調査から犯罪発生と関係が見られなかった要素を除外し、各調査項目の分類を犯罪発生の有無の傾向に対応するよう分類した。

以上で設定した調査項目および分類について、各空間要素ごとの犯罪発生率の調査を行い、結果を表3にまとめた。各空間要素ごとに犯罪発生率が高くなる傾向が見られたのは、「道路が広い箇所」、「駐車場等の空き地が面している箇所」、「ネオン看板や街灯などの灯りが程々に多い箇所」であった。

3. ベイジアンネットワーク分析

(1) ベイジアンネットワークによる分析の方法

得られた調査結果にベイジアンネットワークを適用し、犯罪発生と複数の空間要素との関係を示す有効グラフを獲得する。まず、略記号を順に代入し、入力データ行列を作成した。横軸1列分が調査箇所一箇所に対する各調査項目の内容になり、全体76行10列となった。表4に一部を示す。以上の様に準備した入力データ行列からベイジアンネットワークを用いて、犯罪発生と空間要素の関係を示す確率モデルを獲得した⁽⁶⁾ (図4)。

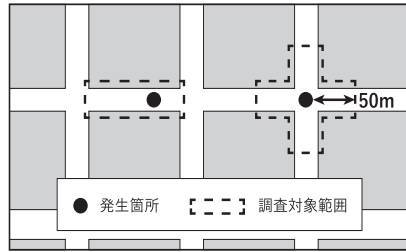


図2 調査対象範囲



図3 空間を構成する要素

表2 調査対象とする空間要素の選定

空間要素		犯罪発生との関係
水平面の空間要素	道路幅員	関係が見られた
	道路長さ	関係が見られなかった
	歩道の設置	関係が見られた
垂直面の空間要素	隣接建物高さ	関係が見られた
	隣接建物窓面積	関係が見られた
構築物の空間要素	街灯の設置状況	関係が見られた
	ネオン看板の設置状況	関係が見られた
	自販機の設置状況	関係が見られた
その他特異な空間要素	コンビニ等の接面有無	関係が見られた
	駐車場等の空き地接面の有無	関係が見られた

表3 調査結果

調査項目 項目名	記号	分類 記号 分類名	サンプル数			犯罪発生率	
			y	n	計	標準表示	50%基準
道路の幅員 Road Width	RW	RW1 7m~20m	14	9	23	61%	+11%
		RW2 20m以上	6	4	10	60%	+10%
		RW3 7m未満	18	25	43	42%	-8%
歩道の設置 Side Walk	SW	SW1 歩道あり	13	8	21	62%	+12%
		SW2 車道のみ	20	23	43	47%	-3%
		SW3 歩行者専用	5	7	12	42%	-8%
空き地等 Void	Vo	Vo1 2000㎡未満	7	2	9	78%	+28%
		Vo2 無し	31	33	64	48%	-2%
		Vo3 2000㎡以上	0	3	3	0%	-50%
隣接建物高さ Building Height	BH	BH1 15m以上	29	23	52	56%	+6%
		BH2 15m未満	9	15	24	38%	-13%
壁面窓面積 Window	Wi	Wi1 片面20%未満	9	7	16	56%	+6%
		Wi2 両面20%以上	29	31	60	48%	-2%
街灯密度 Street Light	SL	SL1 2本以下	5	12	17	29%	-21%
		SL2 3~6本	29	16	45	64%	+14%
		SL3 7本以上	4	10	14	29%	-21%
ネオン看板 Neon	Ne	Ne1 2~6個	12	3	15	80%	+30%
		Ne2 2個未満	13	16	29	45%	-5%
		Ne3 6個以上	13	19	32	41%	-9%
自動販売機 Vending Machine	VM	VM1 有り	30	23	53	57%	+7%
		VM2 無し	8	15	23	35%	-15%
コンビニ Convenience Store	CS	CS1 有り	4	9	13	31%	-19%
		CS2 無し	34	29	63	54%	+4%

表4 入力データ行列一部

番号	道路の幅員	歩道の設置	空き地等	街灯密度	ネオン看板	自販機	コンビニ
1	c.20m以上	b.歩道あり	a.無し	b.3~6本	c.2個未満	b.無し	b.無し
2	a.7m未満	b.歩道あり	a.無し	c.7本以上	b.2~6個	b.無し	b.無し
3	a.7m未満	b.歩道あり	a.無し	c.7本以上	b.2~6個	a.有り	b.無し
4	b.7~20m	b.歩道あり	a.無し	b.3~6本	b.2~6個	a.有り	b.無し
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
37	a.7m未満	a.車道のみ	a.無し	a.2本以下	c.2個未満	b.無し	b.無し
38	c.20m以上	b.歩道あり	a.無し	以上	a.2本以下	c.2個未満	b.無し

(2) 分析の結果と考察

a) 獲得した確率モデルについて

獲得した確率モデルの適合度は、最終的に犯罪発生の有無について正しく判別できるかを示す判別率で示す。各ノードは、空間の特徴を構成する諸要素に対応する。ノードresult（以下、Nd.result）に到る有向リンクを辿ると、どの要素が犯罪発生の有無に影響するかを把握することができる。図の示す有向リンク「Nd.BH → Nd.result」、「Nd.Vo → Nd.result」、「Nd.Wi → Nd.result」、「Nd.CS → Nd.result」、「Nd.SL → Nd.result」は、そのノードが犯罪発生に直接関係していることを示す。Nd.resultの条件付き確率から、Nd.resultに有向リンクを持つ構成要素について、任意の組み合わせが含まれる時の各確率を知ることができる。

b) 犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせについて

得られた確率モデルから、犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせ（以下、Combo High）、及び非犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせ（以下、Combo Low）、それぞれの上位5つを図4下部に示し、図1にそれぞれ該当箇所を記載した。さらに、Combo Highのうち上位3つについては、それぞれの空間の特性について考察し、表5にまとめた。

また、最も犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせは、条件付き確率「 $P(\text{result} | \text{Wi}2, \text{CS}2, \text{Vo}1, \text{BH}1, \text{SL}2) = 0.938$ 」という結果になった。これに該当する箇所は図1における「●27」の箇所であり、街路風景は図5に示すとおりである。なお、0.938という数値は、全体の犯罪発生率を50%とした時、93.8%の確率で路上犯罪が発生することを示す。

c) Key Element

Combo Highにおいて、それぞれ最も犯罪発生率に影響の大きい要素について分析した。この要素を本研究にてKey Element（以下、Key.）と名付け、表5に併せてまとめた。そのうちの例を一つ、以下で触れる。

【組み合わせWi2,CS2,Vo1,BH1,SL2】の中で、最も犯罪発生に

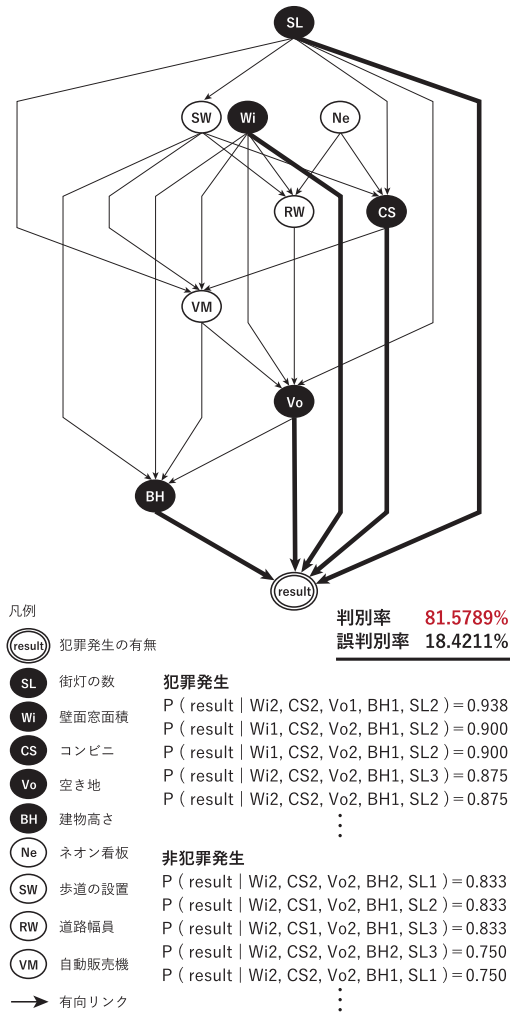


図4 獲得した確率モデル



図5 最も犯罪発生率の高い街路

表5 犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせの考察、およびKey Element

順位	犯罪発生率	空間要素の組み合わせ	考察	Key.	変化	最大変化率
1	93.80%	Wi2: 街路接面建物壁面、左右共に窓面積20%以上 CS2: 街路接面のコンビニ無し Vo1: 街路接面の2000m ² 未満の空き地有り BH1: 街路接面建物平均高さ15m以上 SL2: 街灯密度100mあたり3~6本	接面建物が高く窓面積も大きいことから、監視性が高い空間であることと、市街地付近の街路でありターゲットとされる人通りも比較的多い箇所であることが予想される。その中で、2000m ² 未満の空地という局所的に暗い空間を生む要素が含まれておるため、犯罪発生率が高い箇所となったと考察する。	Vo	Vo1: 93.8% Vo2: 44.1% Vo3: 50.0%	2.13倍
2	90.00%	Wi1: 街路接面建物壁面、左右何れか窓面積20%未満 CS2: 街路接面のコンビニ無し Vo2: 街路接面の空き地無し BH1: 街路接面建物平均高さ15m以上 SL2: 街灯密度100mあたり3~6本	接面建物が高く窓面積は小さいことから、建物で視界が不良でありながら監視性も高い空間であることが考えられる。その結果、犯罪行為をしやすい空間となったと考察する。	Wi	Wi1: 90.0% Wi2: 44.1%	2.04倍
2	90.00%	Wi1: 街路接面建物壁面、左右何れか窓面積20%未満 CS2: 街路接面のコンビニ無し Vo2: 街路接面の空き地無し BH1: 街路接面建物平均高さ15m以上 SL1: 街灯密度100mあたり3本未満	街灯密度が低く視認性が低い空間であることが推測される。さらに、隣接建物が高く窓面積は小さいことから、建物で視界が不良でありながら監視性も高い空間であることが考えられる。その結果、犯罪行為のしやすい空間となったと考察する。	Wi SL	Wi1: 90.0% Wi2: 25.0% SL1: 90.0% SL2: 90.0% SL3: 25.0%	3.60倍 3.60倍

表 6 要素単体に対する分析との比較

犯罪発生率の高くなる各空間要素単体の傾向	犯罪発生率の最も高くなる空間要素の組み合わせ
<ul style="list-style-type: none"> ・道路が広い箇所（幅員 7m~20m、20m 以上） ・比較的小さい駐車場が面している箇所（2000m² 未満） ・ネオン看板が程々にある（2~6 個） ・街灯が程々にある（3~6 本） 	<ul style="list-style-type: none"> ・道路が狭い箇所（幅員 7m 未満） ・比較的小さい駐車場が面している箇所（2000m² 未満） ・ネオン看板が少ない箇所（2 個未満） ・街灯が程々にある（3~6 本）

表 7 検証実験

検証例	検証実験01	検証実験02	検証実験03	検証実験04
確立推論の結果	(y)発生 = 0.8121 (n)非発生 = 0.1879	(y)発生 = 0.2500 (n)非発生 = 0.7500	(y)発生 = 0.2500 (n)非発生 = 0.7500	(y)発生 = 0.8750 (n)非発生 = 0.1250
図 1 における該当箇所	●4	×(3)	●18	×(5)
犯罪発生の一一致	一致	一致	一致	一致

影響を与える要素は、Nd.Voであった。この組み合わせの時の犯罪発生率は、調査項目VoがVo2の時44.1%、Vo3の時50.0%であり、Vo1になると93.8%にまで飛躍する。つまり、壁面窓面積が両面20%以上で、街路にコンビニ等24時間営業店舗が面していなく、隣接建物高さが15m以上で、街灯が100mあたり3~6本設置されている時、街路に駐車場等の空き地がない場合に比べ、2000m²未満の空き地がある場合、2.13倍犯罪発生率が上がると考えられる。

d) 要素単体に対する分析との比較

各空間要素ごとの調査結果とベイジアンネットワークにより得られた最も犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせとを比較した（表 6）。その結果、道幅の特徴の傾向及びネオン看板の特徴の傾向が異なる事が見受けられた。このことから、要素単体に対する分析は不十分で、複数の要素の組み合わせに着目して初めて、十分に犯罪の発生しやすい空間の特徴を捉えることができると考えられる。

(3) 分析結果の検証

最後に、犯罪発生箇所および非犯罪発生箇所の調査結果を再度用いて、獲得した確率モデルの検証実験を行った。確率モデルに各構成要素を代入することでNd.resultの確率分布を算出することができ、それにより得た分布と実際の犯罪発生の有無を照らし合わせることで確率モデルの実用性を検証する。表7に計4箇所実験結果をまとめ、図6に検証実験の例を示した。この検証により、本研究にて獲得された確率モデルが正しいことが示された。

4. 結論

(1) 本研究において把握された事項のまとめ

本研究は、路上犯罪における都市内路上の各要素を複合的に捉え、その因果関係を明らかにしたものである。以下に把握された事項を示す。

- ベイジアンネットワークを用いた分析により、これまで捉えることが困難であった犯罪発生に対する複数の空間要素の因果関係を明らかにした。獲得した確率モデルは、犯罪の発生に対して直接関係する要素と間接的に関係する要素とを有向グラフで示し、各要素の特徴をモデルに代入することで、その街路において予測される犯罪発生率を把握することができる。
- 最も犯罪の発生しやすい空間要素の組合せ、及び最も犯罪の発生しにくい空間要素の組合せを把握した。
- 犯罪発生率の高い空間要素の組み合わせにおいて、中でも犯罪の発生に大きな影響を与える空間要素を特定し、それをKey Element と呼称した。
- 確率モデルの検証実験、及び要素単体に着目した分析との比較を通し、複数の空間要素の組み合わせについて分析することの有用性を示した。

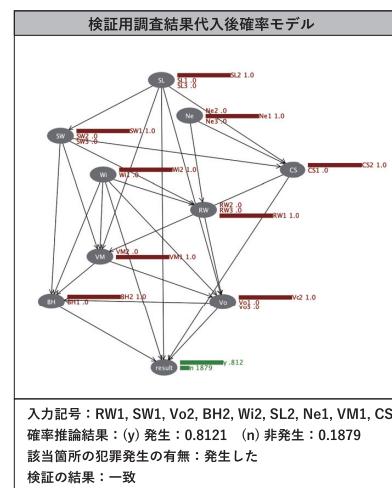


図 6 検証実験の例

(2) 本研究の提言

本研究において、犯罪の発生と取り巻く環境の関係は、一つの要素が単純に関係するようなものではなく、複数の要素が複雑に関係するものであることが明らかになった。そのため、犯罪の予防対策を行う際には広範囲に画一的な対策を施すのではなく、状況別の対策を施すことが肝要であると考えられ、それを把握する方法として本研究で用いたベイジアンネットワークによる分析は有効である。

特に、本研究で得られたKey Elementは犯罪発生の抑制に有用である。例えば、表5で示した犯罪発生率の高い組み合わせである「P (result | Wil, CS2, Vo2, BH1, SL2) = 0.875」は、Key Element である街灯密度が、100mあたり7本以上か未満かで犯罪発生率が3.60倍変化する。すなわち、この87.5%の犯罪発生率の街路に、街灯密度が100mあたり7本以上となるよう街灯を設置すれば、犯罪発生率が25.0%にまで減少させることができると考えられる。

以上のように本研究では、犯罪の予防・予知に有効な知見を得た。今後の展望としては、調査対象となる地域・犯罪種類・空間要素の拡張を進め、更なる複合的な相互関係の把握を行うことにより、都市計画及び建設計画の指針となるような知見を獲得することが期待される。

補注

- (1) ベイジアンネットワークは、一部の変数の観測結果を証拠状態として設定したときの、それ以外の変数についての確率分布を、確率伝搬法と呼ばれるアルゴリズムにより推論することができる。詳しくは6)を参照されたい。
- (2) 大阪府警察犯罪発生マップより、子供被害及び女性被害の被害報告の幅の広さを示す実例として「スーツを着た若い男にすれ違いざまに、ハンカチとティッシュを頂戴等の声をかけられた」などの報告がある。
- (3) 大阪市における2018年1月1日～2018年12月31日の発生件数。
- (4) 大阪市の統計7) 8) より、大阪市における5年あたりの建築物建替えの割合は1.25%と推測できたため、建替えによる大きな空間特徴の変化は無視できるものと判断した。
- (5) 非犯罪発生箇所のプロットは均等にすする為に、まず全ての道に順番に番号を振り8の倍数の番号にプロットするなどをした。また、偏りが出ないように、さらにブロックごとに区分するなどの工夫も行った。
- (6) 本研究ではベイジアンネットワーク構築にWeka-3-8-5-azulzulを用い、classifierアルゴリズムにBayes Net を、searchアルゴリズムにSimulated Annealingを用いた。

参考文献

- 1) 谷岡一郎：こうすれば犯罪は防げる／環境犯罪学入門，新潮選書，2004.
- 2) 出口寛子・森ゆかり・生川慶一郎・柏原士郎：路上におけるひったくり発生傾向に関する研究，日本建築学会近畿支部発表会，pp.217-220，2011.6.
- 3) 石川愛・鈴木広隆・中尾正喜：地域特性を考慮したひったくり発生件数と照度の関係に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），313-314，2006.9.
- 4) 出口寛子・生川慶一郎・森ゆかり・柏原士郎：街路の空間特性とひったくりの関係性について，日本建築学会学術講演梗概集（関東），735-736，2011.8.
- 5) 伊藤文也・糸井川栄一・梅本通孝：局所的環境特性から見た犯罪発生要因に関する研究，地域安全学会論文集，109-118，2010.11
- 6) S. Russel and P. Norving（古川康一監訳）：エージェントアプローチ人工知能，共立出版，1997.
- 7) 大阪市：平成30年住宅・土地統計調査，2019.
- 8) 大阪市：行政区別建築確認申請受理件数（平成28年～令和2年度）
- 9) Ian H.Witten & Eibe Frank: DATE MINING Practical Machine Learning Tools and Techniques, ELSEVIER, 2005.
- 10) 藤田一弥：見えないものをさぐる、それがベイズ，オーム社，2018.