

市街地の拡大と交通事故発生地点の空間分析 ～香川県を例として～

研究部 客員研究員 紀伊 雅敦

1.はじめに

過去半世紀にわたるモータリゼーションは交通事故の増大と市街地拡大を同時にもたらしてきたが、両者の関係は十分理解されているとはいえない。自動車の普及によるモビリティの増大は郊外での居住やアクセスを可能とし、都市の拡大をもたらしてきた。また自動車利用を前提とした都市拡大は、自動車への依存をもたらし、走行距離を増大させている。一方、自動車走行距離の増加は事故の潜在的可能性を増加させる。このため、単純に考えると、自動車以外の交通手段がない状況で市街地が拡大する都市では交通事故が増大すると想定される。米国都市を対象とした既往研究¹⁾では、都市間比較によりスプロールと事故リスク増加の関係が統計的に示されており、こうした事故と都市拡大の関係についての想定が成立していると考えられる。しかし、少なくとも我が国では、交通事故の観点から都市の拡大を抑制する対策は講じられておらず、拡大した市街地における事故対策も特別には講じられていない。こうした状況は、対策を講じるに足るエビデンスが不十分であるためと考えられる。

本研究では、人口減少下で都市の拡大が進む香川県を対象として、人口変化、都市拡大と事故発生の関係を空間統計的に分析し、市街化と事故リスクの関係と、事故リスクを高める市街地の特徴を把握することが目的である。特に、香川県では土地利用規制である区域区分を2004年に全県で廃止して以降、市街地が大きく拡大しており、加えて、人口当たりの事故発生件数、交通事故死者数が常に全国の上位にあるなど、交通事故対策が強く求められていることから、市街化と事故の関係の分析に適した地域と考えられる。

以下、2章では交通事故と都市形状の関係に関する既往研究を整理し、3章では対象地域である香川県の交通事故および土地利用の特徴を示す。4章では交通事故への市街地拡大の影響の統計モデルを作成し、5章ではそれを用いたリスクの空間分析を行う。6章では分析結果に基づく都市政策・交通政策への示唆を考察する。7章は結論である。

2.既往研究

都市形態と交通事故リスクの関係についてはいくつかの研究が見られる。我が国でモータリゼーションが本格化し始めた1970年代には、都道府県の交通事故統計を用いた脇田²⁾による研究が見られる。1950～60年代の統計を用い、道路面積当たりの交通事故の発生件数から、大都市部で事故の発生密度が高いことを示した上で、その経年変化から、交通渋滞に伴う大都市部の事故の軽傷化と、周辺県での自動車交通の増大と高速化による重大事故の郊外化を論じている。ただし、この研究はモータリゼーション初期の状況を捉えたものであり、また、都道府県レベルの統計に基づいていることから、都市の郊外化と交通事故の関係についての議論は経験的である。

近年になると、都市構造データと交通事故空間データの蓄積により、両者の関係を統計的に検証した研究が見られる。Dumbaugh and Li³⁾は2003年から2007年のSan Antonio-Bexar Countyを対象に沿道状況と交通事故の関係を統計的に分析しており、その結果、交通事故に対して幹線道路沿道型商業地と郊

外大型店が主要な影響要因であることを明らかにしている。一方、徒歩によるアクセスが可能な商店街の存在は事故の削減要因であるとしている。

Marshall and Garrick⁴⁾はカリフォルニアの24都市を対象に、1997年から2007年の交通事故発生状況と街路ネットワークの特徴の関係を分析しており、交差点数が多いエリアほど交通事故が多いが、死亡事故は少ないことを定量的に示している。なお、交差点密度は都市中心部ほど多いことから、都市中心部では事故が多いものの、死亡事故など重大事故は郊外部で多いことが示唆される。

Ewing et al.¹⁾は米国の994のMetropolitan countiesを対象に2008年から2011年の交通事故と2010年の地域特性の関係を構造方程式モデルを用いて分析している。その結果、死亡事故に関しては、世帯所得、白人比率、燃料価格と共に、都市のコンパクト性に事故を抑制する効果があることを示している。一方で、死亡事故以外の事故については、コンパクト性には事故を増加させる影響があるとしている。すなわち、密度の高い都市では交通が集中することから事故件数は多くなる一方で、速度が抑制され重大事故が少なくなっている可能性が示唆される。

また、北野⁵⁾は土地利用の特徴が歩行者事故に与える影響を統計的に分析し、地方部ではコンビニの数の影響度が高いこと、商業地面積の大きさと建物用地面積の事故への影響度が高いことなどを示している。

IATSSによる香川県を対象とした交通事故発生要因の一連の研究⁶⁻⁸⁾では、アンケート調査による事故原因帰属に関する人的要因の調査とともに、エリア事故リスクの評価を試みている。特に、生活道路については、市街地部で高リスクであること、死亡事故については人口密度の低さがリスク要因であること、建物用地の変化の影響が有意であり、スプロールがリスクをもたらすことを示している。

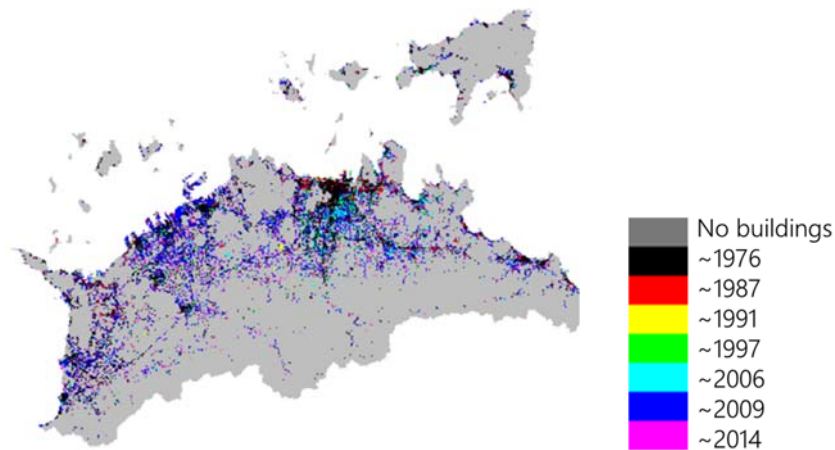
以上の日米の研究では、いずれも高密度な都市では事故リスクが高まるものの、死亡事故については低密度な都市のリスクが高いことを示している。本研究では特に都市拡大の影響に着目し、密度と土地利用変化の両者の影響を捉えられるよう、人口と建物用地を説明変数とした分析を行う。

3.対象地域の特徴

高松広域都市圏都市交通マスタープランによれば、1989年と比較して2012年の運転免許保有率は大幅に上昇しており、特に女性と高齢者の保有率の増加が著しくなっている。免許保有率の増加を反映して、自動車の分担率も同期間で46.3%から66.7%に増加しており、徒歩、自転車の分担率が大きく減少している。土地利用を見ると、1991年から2009年にかけて宅地は約2倍に増加しており、自動車利用の増加に伴い宅地の郊外展開が進んでいる。

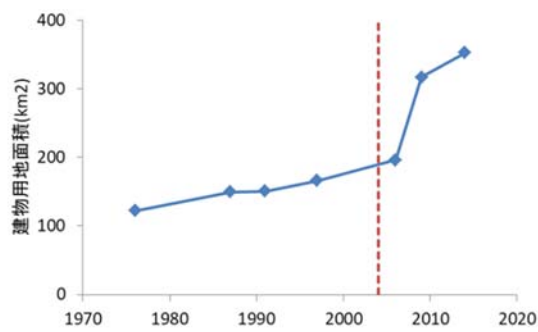
ただし、宅地の郊外展開は自動車の普及のみによるものではない。香川県では、2004年に全国で初めて、郊外開発を規制する区域区分制、いわゆる線引きを全県的に廃止した。これに伴い宅地面積が大幅に増加している。

図1は開発時期別の建物用地を示しており、特に青色で示された2006-2009年の宅地の拡大が、郊外部で顕著なことが読み取れる。また、図2に建物用地面積の推移を示しているが、やはり、2006年から2009年の間に大幅に増加していることがわかる。同図によれば、2006年以前も建物用地は増加を続けてきたが、2006年から2009年間の増加率はそれまでの増加率を大幅に上回っており、わずか3年間でそれまでの市街地の61%、121km²も建物用地面積が増加しており、線引き廃止の影響が著しかったことが読み取れる。



出典) 国土数値情報に基づき筆者作成

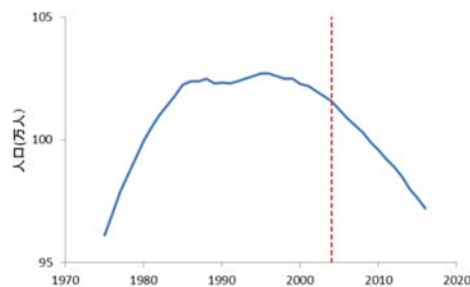
図1 開発時期別の建物用地



出典) 国土数値情報に基づき筆者作成

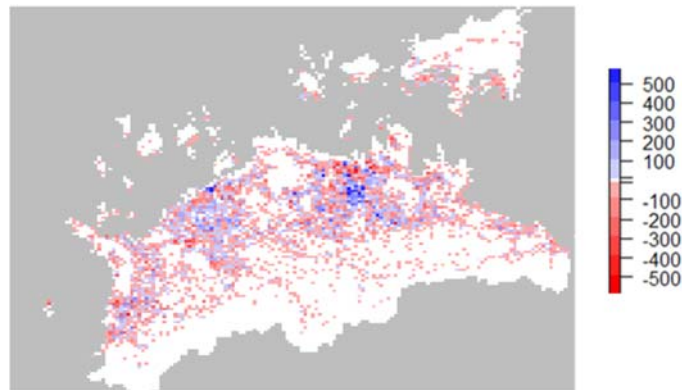
図2 香川県の建物用地面積の推移

建物用地面積は増加しているが、人口はすでに減少している。図3は香川県の人口の推移を示しているが、1998年以降すでに人口は減少に転じており、線引きを廃止した2004年以降は減少率が高まっている。人口は減少する一方で、建物用地は増加しており、宅地の人口密度は全県的に見ると大きく減少していることになる。



出典) 地域メッシュ統計に基づき筆者作成

図3 香川県の人口の推移

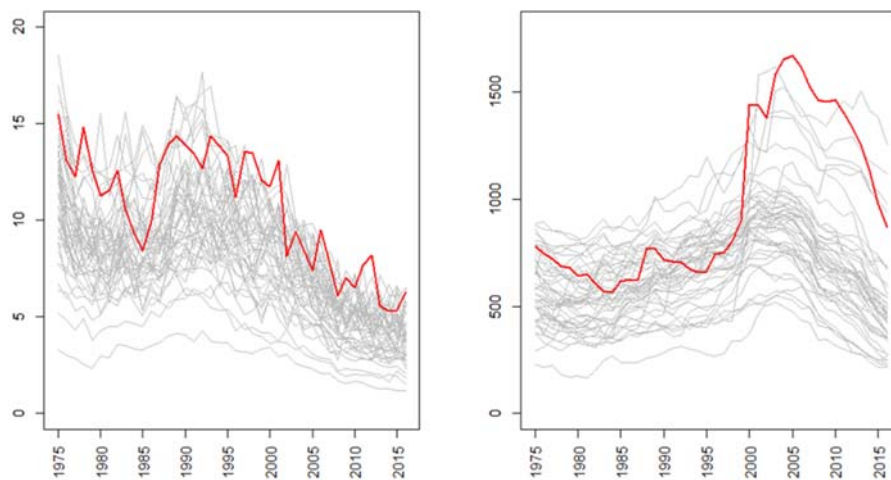


出典) 地域メッシュ統計に基づき筆者作成

図4 メッシュ人口変化 (2010年—2000年)

図4は2000年から2010年にかけての人口変化の地域分布を示している。これより、必ずしも一様に人口が減少しているわけではないことがわかる。図より、主に、市街地中心部と中山間地で人口が減少する一方、都市郊外部において人口が増加する傾向が読み取れる。

人口10万人あたりの交通事故死傷者数を見ると(図5)、香川県は死者数、負傷者数ともに常に全国の上位に位置している。

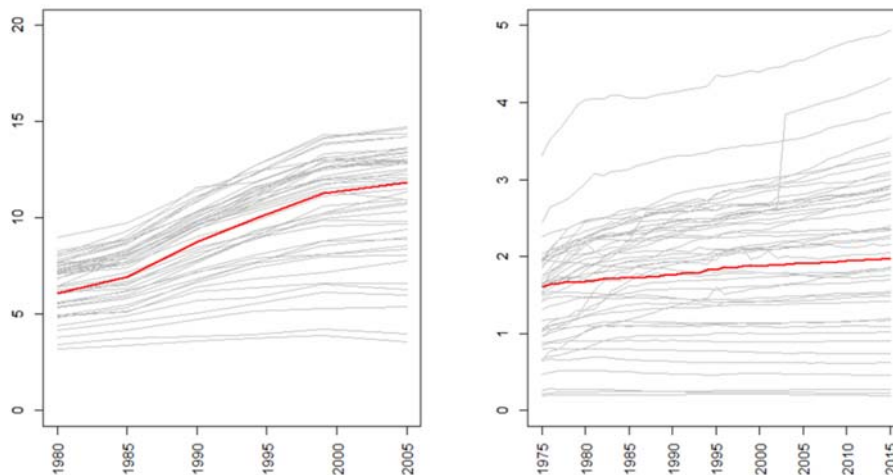


赤線：香川県，灰色：他の都道府県

出典) 社会・人口統計体系 都道府県データ

図5 人口10万人あたりの交通事故死者数(左)と負傷者数(右)

しかし、図6より、全国と比較して、香川県は人口あたりの自動車交通量が特に多いわけでもなく、また道路インフラの整備量も特別多いわけでもない。すなわち、交通の曝露量が特別に多いとも考えにくい。また、前述のIATSS香川研究によれば、事故の原因帰属に関する明確な県民性も見られないことが指摘されている。このため、事故発生の要因については、より多面的な検討が必要と考えられる。



赤線：香川県，灰色：他の都道府県

出典) 社会・人口統計体系 都道府県データ

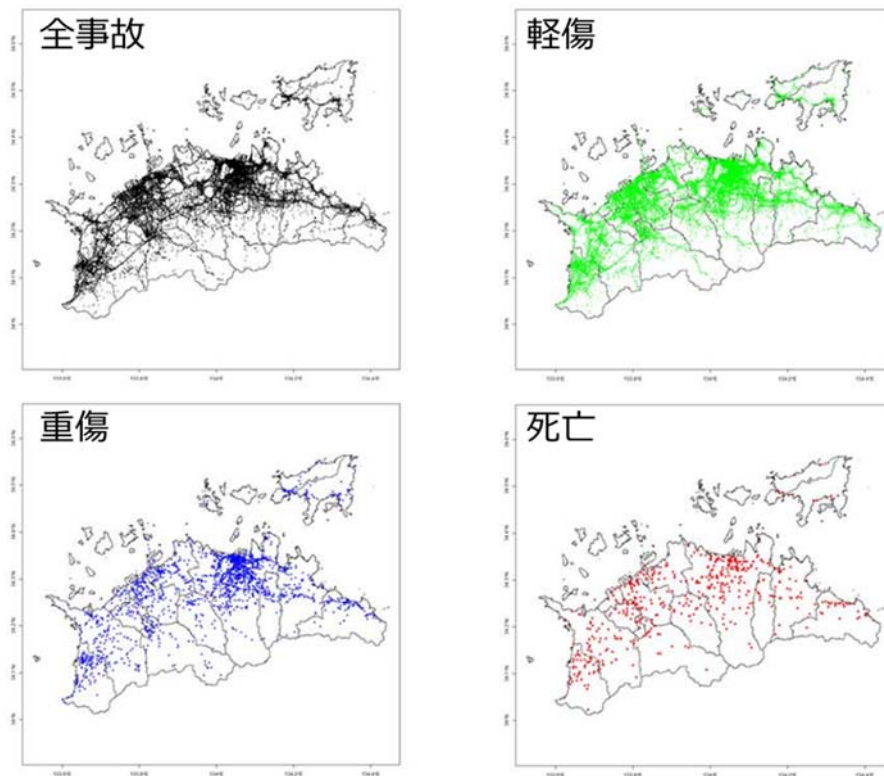
図6 一人あたり自動車走行台キロ(左)と一人あたり舗装道路延長(右)

4. 交通事故への建物用地拡大の影響

本研究では特に、人口変化と建物用地の拡大が事故の発生に与えた影響を空間統計的にとらえることを目的とする。一般に建物用地の増加は人口の増加を伴い、交通量を増加させるとともに、道路整備や建物用地の開発は交通環境を変化させ、両者が相まって事故リスクが増加する可能性があると考えられる。一方、建物用地の開発からある程度の期間がたつと、居住者はその交通環境に順応することにより事故のリスクは低下する可能性があるとも考えられる。そこで、本研究では建物用地の開発時期が事故リスクに影響するとの仮説を検証する。

分析方法はポアソン回帰モデルを用いる。すなわち、年間事故発生件数の確率分布をポアソン分布と仮定し、その期待値が人口、土地利用に関わる変数で説明されるか検証する。被説明変数である事故データは500mメッシュの年間事故件数であり2009年から2017年の各年の全事故、軽傷事故、重傷事故、死亡事故ごとに与える。また、特に歩行者・自転車を当事者に含む事故については別途分析する。なお、ここでの事故件数は交通量あたりなど基準化したものではなく、単純な件数であることに留意が必要である。説明変数は開発時期別建物用地比率、2000年メッシュ人口、2000年から2010年の人口変化量、2000年の65歳以上人口、2000年から2010年の65歳以上人口変化量、および2017年のメッシュ内道路延長である。事故データは香川県警の交通事故情報提供システムの公開情報に基づき作成した。また、人口データは地域メッシュ統計の国勢調査メッシュを用い、開発時期別建物用地比率は国土数値情報に基づき与えた。

図7は事故発生地点を示している。これより、いずれの事故も人口の多い場所ほど発生する可能性が高い傾向が読み取れるが、軽傷事故と比較して、重傷事故、死亡事故については、発生地点の集中の程度が低く、相対的に分散して発生している傾向が見られる。



出典) 香川県警 交通事故情報提供システムに基づき作成
 図7 事故発生地点の分布

以上のデータを用いたポアソン回帰分析の結果を表1に示す。表は各変数が事故発生リスクに与える影響を表しており、正であることは事故リスクを高める要因であり、負であることは事故リスクを低下させる要因である。ステップワイズ法により変数を選択しており、NAは事故リスクに影響しないと判定された要因である。これより、いずれの事故についてもパラメータの符号は同様であり、人口が多いメッシュでは事故リスクは低い。また、人口が増加するメッシュでは、死亡事故を除きリスクが高くなっている。また、60歳以上人口が高いほど、重傷事故を除き事故リスクは高く、60歳以上人口が増加するメッシュでは軽傷事故リスクが低くなっている。建物用地比率のパラメータはいずれも正であり、建物用地が多いほど事故リスクも高いことがわかるが、パラメータの大きさを見ると、軽傷事故と死亡事故では開発されてから10年未満の建物用地の影響が最も大きいことがわかる。一方、重傷事故については古い建物用地の影響が高くなっている。全事故を見ると、10年未満の建物用地の影響が最も高い。また、道路延長が長いほど事故リスクは高くなっている。

同様に、当事者に歩行者と自転車を含む事故のみを対象とした分析結果を表2に示す。これを見ると、全事故と軽傷事故のリスクに対する人口の影響のみ、全当事者の場合と符号が異なっている。すなわち、人口が多いほど、歩行者・自転車が関与する事故のリスクは高まる結果となっている。繰り返しになるが、ここでの事故リスクは件数であり、人口が多いほど歩行者数や自転車利用者数が多いと考えるならば、それらの関与する事故のリスクが高まるのは当然と考えられる。一方で、死亡事故に関してはパラメータは負であり、人口が多いほど、死亡事故リスクは低くなると推計される。

表1 ポアソン回帰分析の結果(全当事者)

		全事故		軽傷		重傷		死亡	
		パラメータ	t-値	パラメータ	t-値	パラメータ	t-値	パラメータ	t-値
定数項		-1.86	-199.18	-1.95	-200.49	-5.12	-102.85	-6.14	-66.87
人口(2000年, 10 ⁴ 人)		-0.547	-3.70	-0.490	-3.22	NA	NA	-5.55	-2.67
人口変化(2000-2010, 10 ⁴ 人)		0.554	23.76	0.550	22.86	0.436	3.19	NA	NA
60歳以上人口(2000, 10 ⁴ 人)		7.61	10.47	7.42	9.89	NA	NA	29.7	2.96
60歳以上変化(2000-10, 10 ⁴ 人)		-19.5	-17.58	-19.5	-16.97	NA	NA	NA	NA
開発時期 別建物用 地比率	30年以上	3.41	133.24	3.43	129.79	3.43	32.48	1.94	5.33
	20-30年	3.70	89.01	3.72	86.37	3.26	13.18	2.89	5.09
	10-20年	1.87	32.22	1.89	31.46	2.48	7.58	NA	NA
	10年未満	4.14	213.16	4.19	208.59	2.82	22.22	2.98	11.77
道路延長		0.19	80.73	0.19	77.88	0.18	12.84	0.19	6.81
主要道路延長		0.05	8.57	0.05	8.15	0.12	3.14	NA	NA
サンプル数		63513							

表2 ポアソン回帰分析の結果(当事者に徒歩・自転車を含む事故)

		全事故		軽傷		重傷		死亡	
		パラメータ	t-値	パラメータ	t-値	パラメータ	t-値	パラメータ	t-値
定数項		-3.74	-165.55	-3.85	-162.61	-6.43	-70.78	-6.98	-52.70
人口(2000年, 10 ⁴ 人)		1.20	4.35	1.29	4.55	NA	NA	-5.09	-2.03
人口変化(2000-2010, 10 ⁴ 人)		6.51	14.85	6.65	14.77	3.97	1.97	NA	NA
60歳以上人口(2000, 10 ⁴ 人)		14.7	10.99	15.0	10.93	7.68	1.77	23.1	1.92
60歳以上変化(2000-10, 10 ⁴ 人)		-9.29	-4.24	-9.32	-4.12	NA	NA	NA	NA
開発時期 別建物用 地比率	30年以上	3.77	71.21	3.79	68.92	4.09	18.18	2.83	6.38
	20-30年	3.84	43.75	3.85	42.37	4.04	11.33	2.91	3.90
	10-20年	1.78	14.38	1.73	13.44	3.12	6.41	NA	NA
	10年未満	4.17	94.61	4.24	92.85	3.30	16.32	3.34	10.03
道路延長		0.18	35.88	0.18	34.87	0.16	6.96	0.20	5.41
主要道路延長		0.03	2.09	0.02	1.62	0.17	3.00	NA	NA
サンプル数		63513							

以上まとめると、全当事者を見ると、人口が多いほどリスクは低下するが、建物用地面積が広いほどリスクは高まり、特に新しい建物用地ではよりリスクが高い傾向がある。すなわち、人口密度が低いまま新たな建物用地が広がるスプロール化が事故リスクを高めていると考えられる。

5.建物用地拡大による交通事故リスク

上述のポアソン回帰モデルを用いて建物用地拡大による交通事故リスクの変化を推計した。ここで、ポアソン回帰モデルは開発時期別の建物用地比率を変数として用いており、2009年と2017年の当該変数を入力し推計される事故リスクの差分を、建物用地拡大による事故リスクの変化として算定している。なお、人口は固定的に入力しているため、その変化は考慮していない。その結果を図8に示す。

これより、高松市郊外部では事故リスクが減少し、丸亀市から善通寺市に掛けての西部エリアで事故リスクが高くなっていることがわかる。高松市郊外部では区画整理により開発された市街地が成熟し、10年以上経つことで事故リスクが減少した一方で、西部エリアでは新たな市街地開発が事故リスクを増加させていると考えられる。

そこで、上記エリアをフィルタリングにより事故リスク減少エリアと増加エリアに区分し(図9)、それらの地域での事故の発生状況をITARDAデータを用いて集計する。

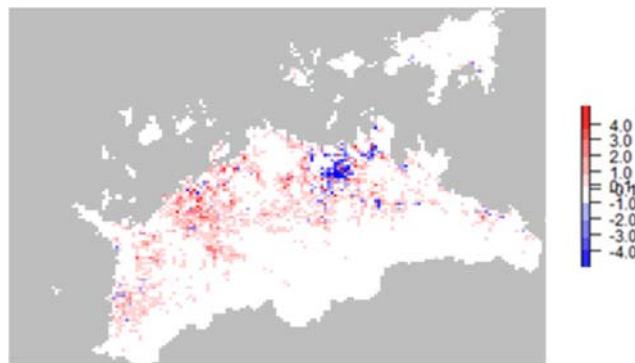


図8 建物用地拡大による交通事故リスクの変化(全事故:2017-2009年の差分)

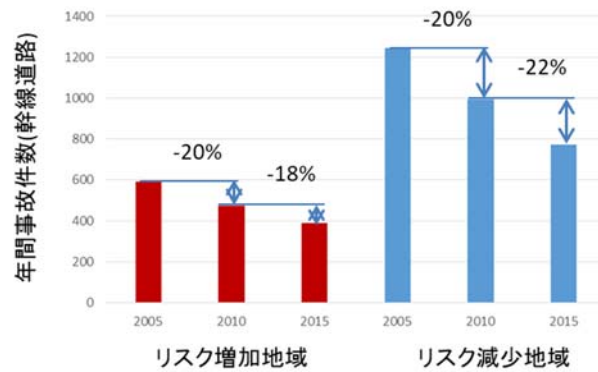


図9 事故リスク増加エリアと減少エリア

両地域における2005年、2010年、2015年の幹線道路における事故発生件数を図10に示す。これより、いずれの地域でも年間事故件数は減少傾向にある。また、両地域で2005年から2010年に掛けての減少率は変わらないが、2010年から2015年に掛けての減少率はリスク減少地域の方が大きくなっている。すなわち、ポアソン回帰モデルから推測されたように、市街地の成熟に伴い、事故のリスクが低下した可能性がある。一方、リスク増加地域では、新たな建物用地開発が行われており、交通環境の変化や居住者の変化により事故リスクが高まっている可能性が考えられる。

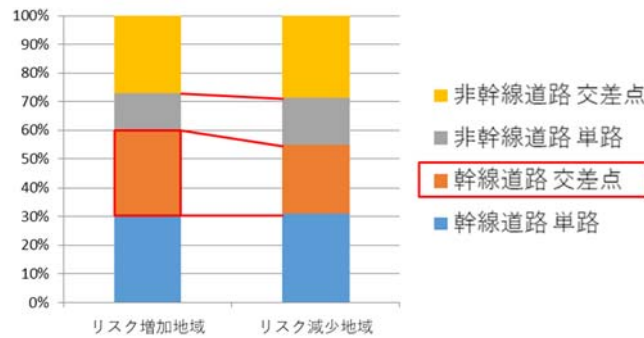
次に、両地域の事故発生地点を比較すると(図11)、リスク増加地域では幹線道路交差点の割合が高い

のに対して、リスク減少地域では非幹線道路の単路部の割合が高くなっており、事故発生地点の傾向に違いが見られる。



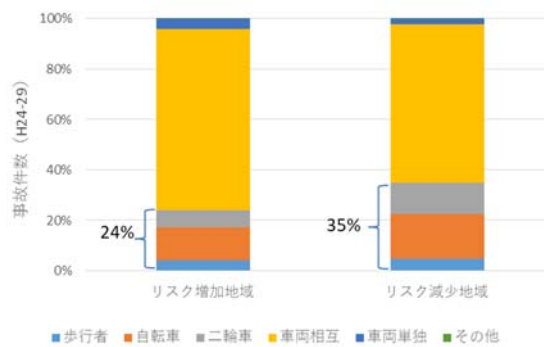
出典) 交通事故統計データに基づき作成

図10 事故リスク増加エリアと減少エリアでの事故件数の推移



出典) 交通事故統計データに基づき作成

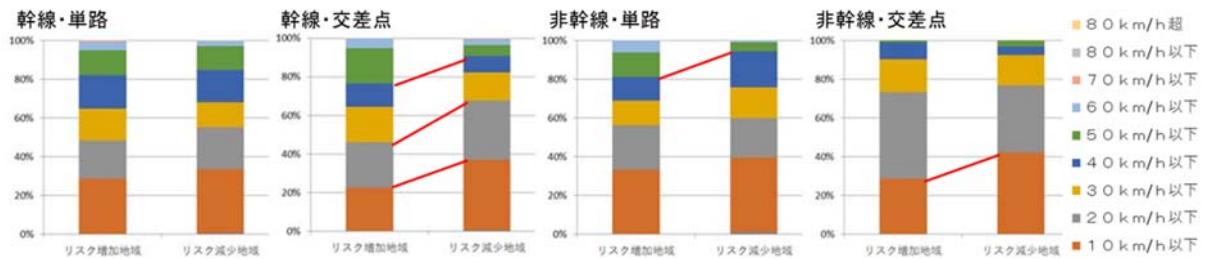
図11 事故発生地点の比較



出典) 交通事故統計データに基づき作成

図12 事故当事者の比較

次に、事故当事者(図12)を見ると、リスク増加地域と比較して、リスク減少地域では自転車、二輪車の割合が高くなっている。これは、人口密度が比較的高いことから、自転車、二輪車による短距離トリップが多いことを反映していると考えられる。



出典) 交通事故統計データに基づき作成

図13 危険認知速度



出典) 香川県警 交通事故情報提供システム

図14 事故の発生地点の状況

危険認知速度（図13）は幹線道路単路部では両地域でほとんど変わらないが、幹線道路交差点、および非幹線道路においては、リスク増加地域で高い傾向が読み取れる。このことは、事故件数で見たリスクの高さだけでは無く、より重大な事故がリスク増加地域では起こる可能性が高いことを示唆している。

また、図14に示す両地域の事故発生地点を見ると、図11で見たように、リスク減少地域では非幹線道路での事故が比較的多いのに対して、リスク増加地域では、幹線道路、および幹線道路交差点に事故が集中していることが空間的に把握できる。

6.考察

前節のポアソン回帰モデルの結果からは、人口密度が高いほど交通事故リスクは低くなる一方、建物用地比率の高さは事故リスクを高め、特に10年未満の市街地の事故リスクは高いことが示された。このことは、人口密度の低い新たなスプロール市街地は事故リスクが高いことを示唆している。前述のリスク増加地域は、まさしくスプロール的な開発が進展している地域であり、そうした建物用地開発が交通事故リスクを増大させる可能性があることが統計的に示されたといえる。一方、リスク減少地域は、高松市の郊外部であるものの、区画整理が行われたエリアであり、比較的人口密度が高くなっている。

リスク減少地域は区画整理が行われているため、交通基盤の整備状況は良好であり、見通しが良く、歩道整備率も高い。一方、リスク増加地域は農地が蚕食的に宅地化しており、交通インフラは宅地化に十分対応しておらず、歩道整備率も低い。このことは生活道路への車両の進入を抑制していると考えられ、非幹線道路での事故の割合の低さとして現れている可能性がある。その一方、幹線道路及びその交差点が周辺の宅地化に十分対応できていないことが、幹線道路交差点の事故割合の高さとなっている可

能性が考えられる。特に、図 13 で見られるように、幹線道路交差点における、リスク増加地域とリスク減少地域の危険認知速度の差は顕著であり、幹線道路交差点における、宅地化に伴う交通量の増加や見通しの変化など、交通環境の変化に、道路インフラとドライバーがともに対応できていない可能性が考えられる。以上の 2 つの地域の比較により、建物用地開発は交通環境の変化をもたらすが、その変化に交通インフラが対応できる場合には、交通事故リスクを抑制しうると考えられる。

そもそも香川県の線引き制度の廃止は、人口が減少し、郊外での新たな宅地開発がそれほど進まないと期待されることが、導入の理由の一つであった。しかしながら、人口減少局面であるにもかかわらず、図 2 に示したように大幅な建物用地面積の増大が見られ、その多くは新たな交通インフラを整備すること無く蚕食的に宅地化が進展するスプロール開発となっている。本研究で見たように、こうしたスプロール開発は事故リスクの増大要因である可能性があり、交通事故抑制の観点からも都市の開発管理が求められると考えられる。

現在、多くの市町が「コンパクト+ネットワーク」⁹⁾を実現するための各種方策に取り組んでおり、過度に自動車に依存しないまちづくりを目指している。これは、拠点エリアへ都市的サービスの供給と需要を集積させることにより、都市機能の維持を目指すものであり、また、拠点間の公共交通サービスを充実させることにより、自動車利用に制約のある交通弱者のアクセシビリティを確保しようとするものである。これにより、人口減少下においても人口密度を維持しつつ、既存市街地を維持・更新するとともに、新たな市街地の開発を抑制し、空間的にインフラ投資を集中させることで道路空間の質を向上させ、また自動車以外の代替交通手段を確保することなどを目指している。これらは、事故リスクの低減にも効果を持ちうると考えられる。

しかし、「コンパクト+ネットワーク」に関わる現在の取り組みは、都市施設機能の拠点地域への誘導に限られており、郊外開発を抑制する取り組みは十分ではない。むしろ、スプロール開発が進む郊外宅地では交通需要の増大により道路整備の要求が高く、そうした要求に対する逐次的、後追的な道路整備は、更なるスプロールを助長している。

都市開発の誘導は長期的な視野が必要とされることから、緊急を要する交通安全対策において都市構造要因等のマクロ的な視点は従来あまり考慮されてこなかった。また、土地利用計画の策定においても交通安全への影響は十分考慮されてこなかった。道路整備や交通管理においては交通事故対策は考慮されているが、その有効性を高めるためにも、土地利用計画との連携が求められると考えられる。

7.おわりに

本研究では香川県を対象に、特に、人口変化と建物用地の拡大が事故の発生に与えた影響を、ポアソン回帰モデルを用いて、空間統計的に捉えることを試みた。その結果、人口が多いほど交通事故リスクは低下するが、建物用地面積が広いほどリスクは高まり、特に 10 年以下の新しい市街地ではよりリスクが高い傾向が示された。このことから、人口密度が低く建物用地が広がるスプロール化が事故リスクを高めていると推察された。

また、そのモデルの推計結果に基づき、事故リスクが増加するエリアと低下するエリアを抽出し、両地域の事故件数、および交通事故の特徴を整理した。その結果、2010 年から 2015 年にかけて事故リスク低下エリアでの交通事故減少率は事故リスク増加エリアよりも大きく、市街地の成熟に伴い、事故発生が抑制された可能性が示された。また、事故リスク増加地域では幹線道路交差点の割合が高いのに対し

て、リスク減少地域では非幹線道路の単路部の割合が高いこと、リスク減少地域では自転車、二輪車の割合が高いこと、危険認知速度は幹線道路単路部では両地域でほとんど変わらないが、幹線道路交差点、および非幹線道路においては、リスク増加地域で高いこと、などを明らかにした。

最後にこれらの分析結果に基づき、都市のスプロール化が交通事故リスクを高める可能性を論じ、「コンパクト+ネットワーク」施策は交通事故の抑制にも寄与しうることを、一方で、現在の取り組みは十分ではなく、土地利用計画と交通安全対策の連携が求められることを論じた。

ただし、人口、土地利用が交通事故リスクに与える影響の分析については、本研究では未だ不十分であり、更なる研究が必要である。例えば、本研究では土地利用の経過年次を考慮しているが、人口の推移は考慮できておらず、2000年の人口と2000年から2010年の変化量を用いるにとどまっている。また、事故リスクは、交通量で基準化しておらず、事故件数そのものを対象としている。更に、事故リスクに対する車両安全性や医療の高度化など、他のマクロ的要因が未考慮である。加えて、本研究の分析は交通事故と市街化の相関のみにとどまり、事故発生メカニズムは十分検証されていない。そうした研究の進展には、より長期間の交通事故の空間データの蓄積や、マイクロデータとの対応付けが必要であり、今後の課題とする。

謝辞：本研究の遂行に当たっては交通事故総合分析センター研究部研究第二課の皆様からの助言、およびデータ作成等の支援を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Ewing, R., Hamidi, S., Grace, J.B. (2016) Urban sprawl and a risk factor in motor vehicle crashes, *Urban Studies*, 53-2, 247-266.
- 2) 脇田竹光：交通事故の地理学的研究，*地理学評論*，43-4, pp.223-243, 1970.
- 3) Dumbaugh, E., and Li, W. (2010) Designing for the Safety of Pedestrians, Cyclists, and Motorists in Urban Environments, *Journal of the American Planning Association*, 77-1, 69-88.
- 4) Marshall, W.E., and Garrick, N.W. (2011) Does street network design affect traffic safety?, *Accident Analysis & Prevention*, 43-3, 769-781.
- 5) 北野朋子(2017) 土地利用の特徴と歩行者事故との関連分析，*イタルダイインフォメーション* No.120
- 6) 蓮華一己，他 (2014) 香川研究—事故発生要因の分析と対策への提言，国際交通安全学会，平成25年度研究調査プロジェクト (H2536) 報告書
- 7) 赤羽弘和，他 (2016) 香川研究—事故発生要因の分析と対策への提言，国際交通安全学会，平成27年度研究調査プロジェクト (H2754) 報告書
- 8) 赤羽弘和，蓮華一己 (2016) 香川研究—事故発生要因の分析と対策への提言—中間報告，*IATSS Review*, Vol. 41, No. 2, 59-67.
- 9) 国土交通省 都市局 都市計画課 (2017) コンパクト・プラス・ネットワークの推進について—生活利便性の維持・向上のための居住の誘導—，<http://www.mlit.go.jp/common/001170865.pdf> (アクセス日 2018年11月27日)