

# GIS を用いた安城・岡崎域内の矢作川流域災害リスクに関する空間解析

蔣 湧・加藤達也

## 1. はじめに

自然災害の損失は、災害の発生頻度と被害規模により変わる。近年、地殻変動や地球温暖化による気候変動に対する世論の関心が高まり、低頻度で巨大な自然災害と高頻度で中小規模な自然災害に関する災害リスクの研究が注目されている。前者は、巨大地震や津波を代表とする自然災害を指し、甚大な被害をもたらすことで社会的なインパクトは非常に大きい。それに比べ、後者は台風、豪雨、河川の氾濫、土砂災害などを指し、周期的に災害を起こすが、被害規模と社会に与えるインパクトは前者に及ばない。しかし、近年、気候変動の影響によって、台風や豪雨の頻度と規模が増えている傾向がある。被害形態において、日本をはじめ先進国では、発展途上国と異なり、人的な直接被害によりも、社会インフラの崩壊による経済基盤と生産機能の喪失をもたらす直接的・間接的な経済損失のほうが大きい。

2011年東日本大地震以来、次の南海トラフ巨大地震を念頭にした低頻度で巨大な自然災害に関する災害リスクの研究が主流になっているなか、本研究は、歴史上頻繁に氾濫する安城市と岡崎市に挟まれる矢作川流域に着目し、様々な地域データを用いて、水害における人的、社会的、そして経済的な災害リスクを定量的に分析することを試みる。

### 1.1 研究のフレームワーク

図1は本研究のフレームワークを示す。災害因子、災害暴露と災害脆弱性が出揃ったとき、災害リスクは高まる。例えば、矢作川が氾濫した場合、川周辺の低平地は災害時の浸水エリアに変わること、災害因子となる。また、その浸水エリアに生活している人々、立地している建物、道路、施設などの被害対象を暴露することにより、災害暴露となる。災害暴露対象が災害損失を回避できる能力は災害脆弱性と呼び、脆弱であるほど、災害リスクは高くなる。脆弱性は、さらに単一要素の脆弱性とシステムの脆弱

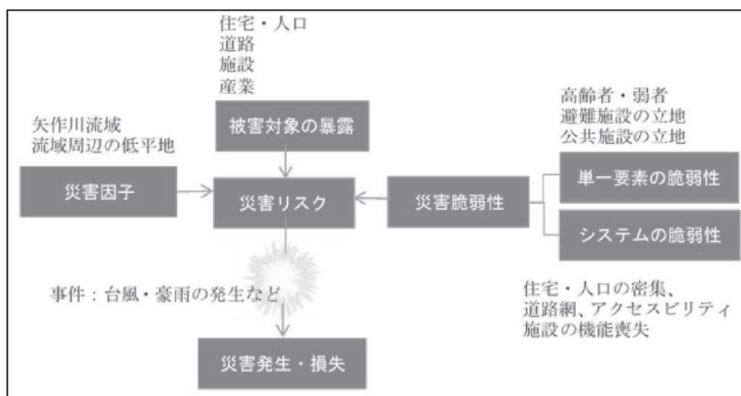


図1 災害研究のフレームワーク

性に分かれる。前者は高齢者や古い建物など対象自身の脆弱性を指し、後者は交通システムなど社会インフラの機能喪失や産業サプライチェーンの災害脆弱性を指す。本文は、こうした災害研究のフレームワークを踏まえ、災害因子、災害暴露と災害脆弱性の順で分析結果を解説する。

## 1.2 研究手法

本研究は、個票データと GIS システムを用いて、空間データベースモデル、空間ネットワークモデルと空間解析などの研究手法を取り入れた。通常の統計データではなく、個票データ（或いは individual data）を用いた点が本研究の特徴である。

個票データを使うことで、地物と地物の関連付け、例えば、住宅と浸水エリア、住宅と公共交通システム、避難所・公共施設と立地情報、企業間の取引関係と立地条件など、様々な地物の属性を関連づけた統合分析ができる。また、情報粒子の細かい個票データを用いた集計により、通常の統計データからは得られない結果を得ることができた。例えば、行政区範囲を超えた浸水エリアにおける人口、住宅、施設、企業、社会インフラの集計など、より現実に即した現象の表現と定式化が可能になり、高精度な解析結果が得られる。

## 1.3 使用データと研究プロセス

表1は、本研究に使用した主なデータを示す。データは ArcGIS で提供

表 1 使用した主なデータの一覧

| 名称                    | 提供元        | 用途            |
|-----------------------|------------|---------------|
| 浸水エリアデータ              | 国土数値情報     | 浸水深さと浸水範囲     |
| 建物データ 2015            | ゼンリン社      | 建物、住宅ベースの人口推計 |
| ArcGIS Geo Suite 2017 | ESRI Japan | 道路、公共交通、公共施設  |
| 道路網                   | ESRI Japan | アクセスビリティの解析   |
| 工業統計メッシュデータ           | 経済産業省      | 産業損失の推計       |
| トヨタグループの実態            | アイアールシー社   | 産業サプライチェーンの分析 |
| 国勢調査データ               | 総務省        | 按分計算に使用       |

されるジオデータベース（GDB）に格納される。研究のプロセスとしては、まずデータ構造の設計，データベースと GIS の環境構築などを含めたシステム構築の段階を経て，次のデータ解析と情報可視化の段階に進む。GDB を持つリレーションシップモデル，トポロジーモデルとネットワーク分析モデルを利用し，地物間の属性と位相の関連付けをベースにした定量的かつ空間的な解析を行った。

## 2. 災害因子

本研究での災害因子としては，安城市と岡崎市における矢作川流域周辺に広がる浸水想定エリアに限定する。安城市は人口総数 186,812 人，世帯数 73,226，面積 86.05km<sup>2</sup>（平成 28 年 11 月時点）の都市で，岡崎市は人口総数 384,430 人，世帯数 156,987，面積 387.20km<sup>2</sup>（平成 28 年 11 月時点）の都市である。図 2 と表 2 は，それぞれ浸水想定エリアの分布と浸水深さごとの面積集計を表す。

使用する浸水深さの目安は，国土交通省が公表した浸水深と建物被害の目安<sup>1)</sup>を採用した（表 3）。浸水想定エリアの面積は全域の 16% にあたる 74 km<sup>2</sup> となる。そのうち，水深 1 m 以

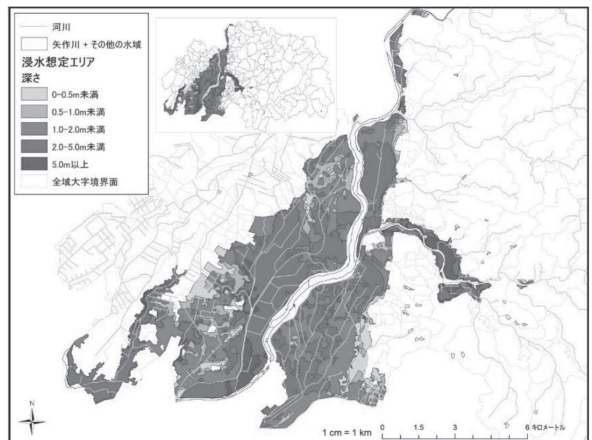


図 2 安城市と岡崎市の浸水想定エリア

表2 浸水想定エリア

|   | 浸水の深さ                         | 0.5 m<br>未満 | 0.5～1.0<br>m 未満 | 1.0～2.0<br>m 未満 | 2.0～5.0<br>m 未満 | 5.0 m<br>以上 | 合計   |
|---|-------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|------|
| 安城市<br>(86 km <sup>2</sup> )                    | 浸水想定エリア<br>(km <sup>2</sup> ) | 2           | 3               | 9               | 13              | 2           | 29   |
|   | 浸水想定エリアに<br>対する割合             | 3%          | 4%              | 12%             | 18%             | 2%          | 39%  |
|   | 安城市における浸水<br>想定エリアの割合         | 2%          | 3%              | 10%             | 15%             | 2%          | 33%  |
| 岡崎市<br>(387 km <sup>2</sup> )                   | 浸水想定エリア<br>(km <sup>2</sup> ) | 9           | 6               | 15              | 13              | 1           | 45   |
|   | 浸水想定エリアに<br>対する割合             | 12%         | 9%              | 21%             | 18%             | 2%          | 61%  |
|   | 岡崎市における浸水<br>想定エリアの割合         | 2%          | 2%              | 4%              | 3%              | 0%          | 12%  |
| 全域<br>安城市<br>+<br>岡崎市<br>(473 km <sup>2</sup> ) | 浸水想定エリア<br>(km <sup>2</sup> ) | 11          | 9               | 24              | 26              | 3           | 74   |
|   | 浸水想定エリアに<br>対する割合             | 14%         | 13%             | 33%             | 36%             | 4%          | 100% |
|   | 両市における浸水<br>想定エリアの割合          | 2%          | 2%              | 5%              | 6%              | 1%          | 16%  |

表3 浸水深の目安

| 浸水深       | 浸水程度の目安          |
|-----------|------------------|
| 0～0.5 m   | 床下浸水 (大人の膝までつかる) |
| 0.5～1.0 m | 床上浸水 (大人の腰までつかる) |
| 1.0～2.0 m | 1階の軒下まで浸水する      |
| 2.0～5.0 m | 2階の軒下まで浸水する      |
| 5.0 m～    | 2階の屋根以上が浸水する     |

上の浸水想定エリアは全域の12%にのぼり、浸水の深さに注目すべきである。安城の浸水想定エリアは市の東南部に集中し、その面積は市全域面積の約33%にのぼるが、岡崎市の浸水想定エリアは市全域面積の約12%程度にとどまる。

次に、浸水エリアと行政区の関係を調べる。全域378町のうち、190の町が浸水想定エリアに含まれている。図3では、浸水面積の大きい順に浸水想定町の並べ、そのトップ28町の浸水面積を表す。トップ28町の合計

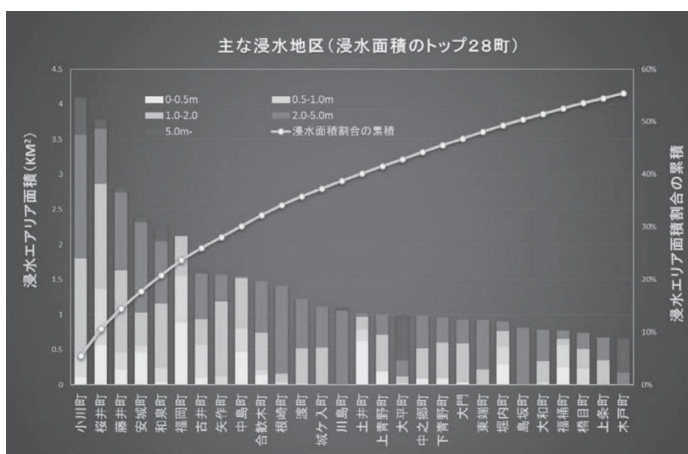


図3 主な浸水地区の集計

浸水想定エリアは全体の浸水想定エリアの56%に達し、被害はこの28町を含む地域に集中することが窺える。

### 3. 災害暴露

#### 3.1 住宅と人口

人的な災害暴露は、3つの段階に分けて推計を行う。まず、浸水想定エリアに含まれる住宅建物を検出し、住宅暴露の規模を推計する。次に、国勢調査データを用いた住宅ベースの人口を推計し（文献 [10] に参照）、浸水想定エリア内の人口を集計する。最後に、浸水の深さと建物階数の情報を利用し、災害時実際に床下浸水をする世帯数と人口数を算出する。

図4は浸水想定エリアと住宅（ここでは住宅中心点）の分布を示し、生活空間と浸水想定エリアが重なっていることが俯瞰できる。図5は、建物の階数と想定浸水深さに焦点を絞り、浸水ごとの人口暴露の推計を試み、表4、表5と表6はこれらの集計結果である。

浸水想定エリアには約3万5千棟以上の住宅が含まれ、全域住宅建物の約32%となる（表4）。そのエリアには、約18万の人口、6万5千の世帯が存在し、その規模は全域の人口と世帯の約33%となる（表5）。更に、表2と表5を合わせると、全域の約33%の人口は、全域面積の約16%の浸水想定エリアに居住していることが判る。こうした多数の住民が狭い浸水想定

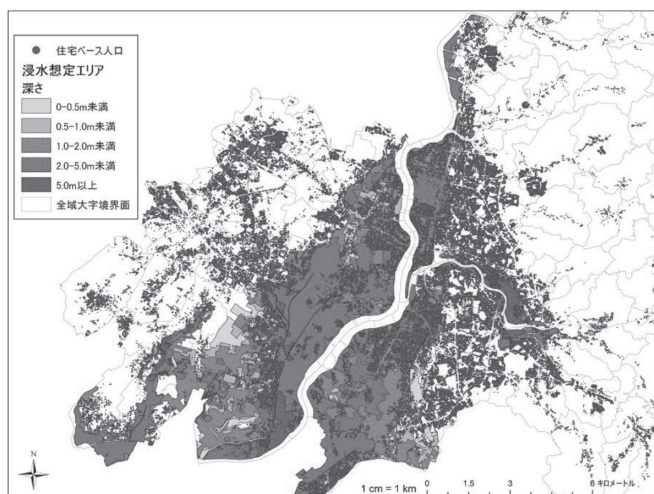


図4 浸水想定エリアと住宅ベース人口

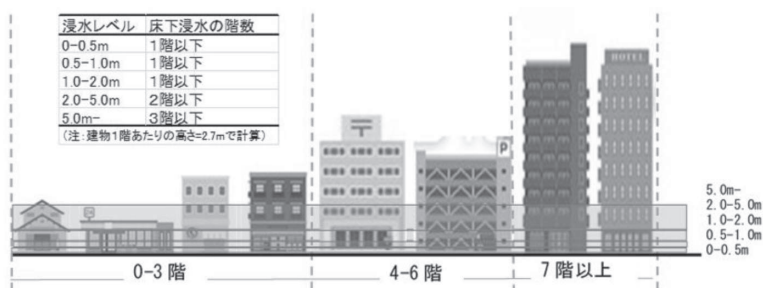


図5 浸水想定エリアと床下浸水の想定階数

エリアに密集しているのは災害の脆弱性であり、その分析は次の章に譲る。

次に、浸水深さと人口分布の関連を調べる。まず、表2によると、全域面積の16%を占める浸水想定エリアにおいて、水深1m～2m未滿(5%)と2m～5m未滿(6%)のエリアが最も広く、その中に、住宅建物棟数が21%、世帯数・人口が22%と集中している(表5)。

最後に、住宅建物の階層を考慮し、実際に床浸水の被害に遭う世帯数と人口を試算した(表6)。浸水の深さにつれ床下浸水の世帯数と人口数が増える。全体の約18%の世帯と人口は床下浸水になり、そのうちの12%は1m～5mの浸水エリアに発生される。

5m以上の深さの浸水エリアには人口が著しく減るので、このような土

表 4 浸水想定エリア内の住宅棟の統計

| 浸水レベル     | 世帯数     | 世帯数の割合 | 人口数       | 人口数の割合 |
|-----------|---------|--------|-----------|--------|
| 0～0.5 m   | 5,831   | 3%     | 17,032    | 3%     |
| 0.5～1.0 m | 5,149   | 3%     | 14,611    | 3%     |
| 1.0～2.0 m | 13,299  | 7%     | 38,560    | 7%     |
| 2.0～5.0 m | 10,515  | 5%     | 30,118    | 5%     |
| 5.0 m～    | 536     | 0%     | 1,378     | 0%     |
| 床下浸水の集計   | 35,330  | 18%    | 101,700   | 18%    |
| 浸水エリア外    | 131,195 | 67%    | 367,841   | 67%    |
| 総計        | 196,254 | 100%   | 550,228.9 | 100%   |

表 5 浸水想定エリア内の世帯・人口の統計

| (総世帯 196,253・総人口 550,228 人) | 世帯数     | 世帯数の割合 | 人口数     | 人口数の割合 |
|-----------------------------|---------|--------|---------|--------|
| 0.5 m 未満                    | 11,224  | 6%     | 31,951  | 6%     |
| 0.5～1.0 m 未満                | 11,310  | 6%     | 31,125  | 6%     |
| 1.0～2.0 m 未満                | 27,083  | 14%    | 76,109  | 14%    |
| 2.0～5.0 m 未満                | 14,768  | 8%     | 41,416  | 8%     |
| 5.0 m 以上                    | 675     | 0.3%   | 1,790   | 0.3%   |
| 浸水想定エリア内の人口・世帯合計            | 65,060  | 33%    | 182,391 | 33%    |
| 浸水想定エリア外の人口・世帯合計            | 131,193 | 67%    | 367,837 | 67%    |
| 全人口・世帯                      | 196,253 | 100%   | 550,228 | 100%   |

表 6 床下浸水の世帯・人口の統計

| 浸水レベル     | 世帯数     | 世帯数の割合 | 人口数       | 人口数の割合 |
|-----------|---------|--------|-----------|--------|
| 0～0.5 m   | 5,831   | 3%     | 17,032    | 3%     |
| 0.5～1.0 m | 5,149   | 3%     | 14,611    | 3%     |
| 1.0～2.0 m | 13,299  | 7%     | 38,560    | 7%     |
| 2.0～5.0 m | 10,515  | 5%     | 30,118    | 5%     |
| 5.0 m～    | 536     | 0%     | 1,378     | 0%     |
| 床下浸水の集計   | 35,330  | 18%    | 101,700   | 18%    |
| 浸水エリア外    | 131,195 | 67%    | 367,841   | 67%    |
| 総計        | 196,254 | 100%   | 550,228.9 | 100%   |

地に住宅を建てることは避けられていることが推測できるが、岡崎市の乙川付近に少数ではあるが住宅が密集している地区がある(図6)。そのため、この地域で豪雨などが発生すると深刻な被害を受けることが予測される。

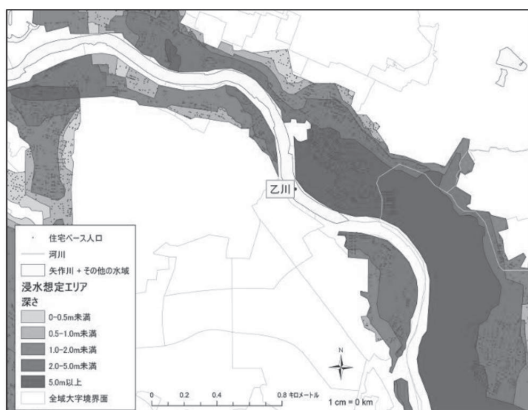


図6 乙川付近の深い(5.0m以上)浸水想定エリア

### 3.2 道路と交通システム

本研究において、道路は県道、国道と高速道路を含む主要道路に限定し、公共交通は域内の鉄道とバスを対象とする。道路、鉄道路線と駅舎は、ESRI Japan社が提供したArcGIS Geo Suite 2017のデータを使い、バス路線とバス停のデータは筆者自ら作成した。図7は、想定浸水エリア、道路と公共交通の分布を示し、その解析結果は表7にまとめた。

道路の災害暴露は、浸水想定エリアを通過する道路の長さで評価し、鉄道とバスの暴露は、浸水路線の長さや浸水駅舎、バス停の数で評価する。表7によると、道路の27%、鉄道路線の43%、バス路線の22%が浸水想定エリアを通過し、そのうち鉄道駅舎の46%とバス停の21%が浸水するため、利用不可になることが予測される。

交通システムはどこかが使用不可になると全体に大きな影響を及ぼす。例えば、平成29年1月11日にJR東海

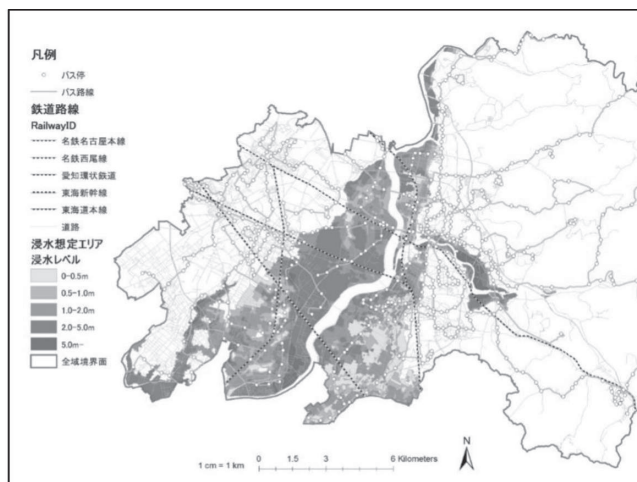


図7 浸水想定エリア内の交通システム



表 7 浸水想定エリア内の交通システムの統計

| 浸水レベル     | 道路    |     | 鉄道   |     | 鉄道駅  |     | バス路線 |     | バス停   |     |
|-----------|-------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|
|           | (km)  | (%) | (km) | (%) | (km) | (%) | (km) | (%) | (km)  | (%) |
| 0～0.5 m   | 70    | 3   | 4    | 5   | 3    | 12  | 29.1 | 4   | 53    | 4   |
| 0.5～1.0 m | 64    | 3   | 5    | 7   | 3    | 12  | 21.2 | 3   | 36    | 2   |
| 1.0～2.0 m | 193   | 10  | 10   | 13  | 6    | 23  | 60.1 | 9   | 151   | 10  |
| 2.0～5.0 m | 189   | 9   | 12   | 16  | 0    | 0   | 36.4 | 5   | 67    | 5   |
| 5.0 m～    | 20    | 1   | 1    | 2   | 0    | 0   | 0.5  | 0   | 0     | 0   |
| 浸水エリア内    | 536   | 27  | 31   | 43  | 12   | 46  | 147  | 22  | 307   | 21  |
| 浸水エリア外    | 1,471 | 73  | 40   | 57  | 14   | 54  | 522  | 78  | 1,138 | 79  |
| 合計        | 2,007 | 100 | 71   | 100 | 26   | 100 | 669  | 100 | 1,445 | 100 |

道線の岡崎駅から西岡崎駅間で鹿乗川の工事の影響で鉄道路線の一部が陥没したため、列車の大幅な運転見合わせが発生した。そのため、鉄道路線が浸水をした場合、全体に影響を与える可能性がある。バス路線なども浸水の影響により、運行ルートの変更や運休をせざるを得ない状況に陥る可能性がある。

また、この地域の土地の特徴として、両市の間に矢作川が流れているため、道路の一部が寸断されると大きな渋滞等が発生すると予測される。特に名鉄バス、東海道本線、東海道新幹線、名鉄名古屋本線などは矢作川を横断するルートがあるため被害が懸念される。

### 3.3 公共施設

公共施設の暴露は、浸水想定エリアとこのエリアに立地する公共施設によって行う。ここでは、住民の日常生活に必要な施設に着目し、コンビニエンスストア、学校、官公庁・市庁舎、銀行・信用金庫、病院、郵便局、警察・消防署、工場などを取り上げた。ESRI Japan が提供した ArcGIS Geo Suite 2017 から約 930 関連施設のデータを用いて、公共施設災害暴露の分析を行った（図 8 と表 8）。

浸水想定エリア内の公共施設の数 は 305 であり、全域公共施設数の約 3 割近くが含まれていた。その中で、水深 1 m ～ 2 m 未満の浸水想定エリアには施設の集中度が最も高く、全域施設の 15% にのぼる。施設の種類別に見ると、コンビニエンスストアの 19%、官公庁・市庁舎・公共施設の 16% がこのエリアに集約され、域内の人口密集に伴った公共施設の集約が

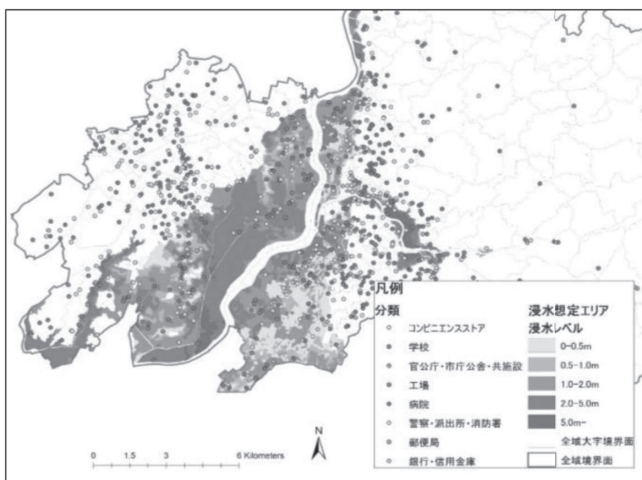


図 8 浸水想定エリア内の公共施設

表 8 浸水想定エリア内の公共施設の統計

| 浸水レベル         | 0～<br>0.5m | 0.5～<br>1.0m | 1.0～<br>2.0m | 2.0～<br>5.0m | 5.0m～ | 浸水エ<br>リア内 | 浸水エ<br>リア外 | 総計   |
|---------------|------------|--------------|--------------|--------------|-------|------------|------------|------|
| コンビニエンスストア    | 12         | 10           | 45           | 21           | 2     | 90         | 151        | 241  |
| 学校            | 5          | 9            | 17           | 3            | 1     | 35         | 100        | 135  |
| 官公庁・市庁公舎・公共施設 |            |              | 1            | 1            |       | 2          | 7          | 9    |
| 銀行・信用金庫       | 8          | 11           | 12           | 4            |       | 35         | 62         | 97   |
| 警察・派出所・消防署    | 2          | 3            | 3            | 2            |       | 10         | 21         | 31   |
| 工場            | 5          | 3            | 14           | 8            | 2     | 32         | 56         | 88   |
| 病院            | 14         | 19           | 40           | 15           |       | 88         | 191        | 279  |
| 郵便局           | 2          | 2            | 5            | 4            |       | 13         | 37         | 50   |
| 総計            | 48         | 57           | 137          | 58           | 5     | 305        | 625        | 930  |
| コンビニエンスストア    | 5%         | 4%           | 19%          | 9%           | 1%    | 37%        | 63%        | 100% |
| 官公庁・市庁公舎・公共施設 | 6%         | 3%           | 16%          | 9%           | 2%    | 36%        | 64%        | 100% |
| 病院            | 8%         | 11%          | 12%          | 4%           | 0%    | 36%        | 64%        | 100% |
| 学校            | 6%         | 10%          | 10%          | 6%           | 0%    | 32%        | 68%        | 100% |
| 工場            | 5%         | 7%           | 14%          | 5%           | 0%    | 32%        | 68%        | 100% |
| 郵便局           | 4%         | 7%           | 13%          | 2%           | 1%    | 26%        | 74%        | 100% |
| 銀行・信用金庫       | 4%         | 4%           | 10%          | 8%           | 0%    | 26%        | 74%        | 100% |
| 警察・派出所・消防署    | 0%         | 0%           | 11%          | 11%          | 0%    | 22%        | 78%        | 100% |
| 施設平均          | 5%         | 6%           | 15%          | 6%           | 1%    | 33%        | 67%        | 100% |

推測される。さらに、表2の浸水想定エリア面積の集計、表5の世帯と人口の集計と表8の施設数の集計を合わせて考察してみると、全域面積の5%を占める1m～2m未満浸水予定エリアに全域14%の人口と15%の施設が集中している。それに対し、2m～5m未満浸水予定エリアにおいては、面積の割合と施設の割合はともに6%になっているが、8%の人口が暮らしている。住民の生活と密接した公共施設は、概ね人口分布に沿って立地されているが、浸水1mを超えた水害が発生された場合、住民の生活に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

### 3.4 産業

自動車産業は中部地域の産業と経済を牽引している。安城市と岡崎市の輸送機器器具製造業の出荷額は、それぞれの全産業出荷額の59%と60.5%に達し、地域の産業構造が自動車産業に高度依存していることが窺える（図9）。そのため、本研究は、輸送機器器具製造業に焦点を当て、産業の災害暴露の分析を行った。

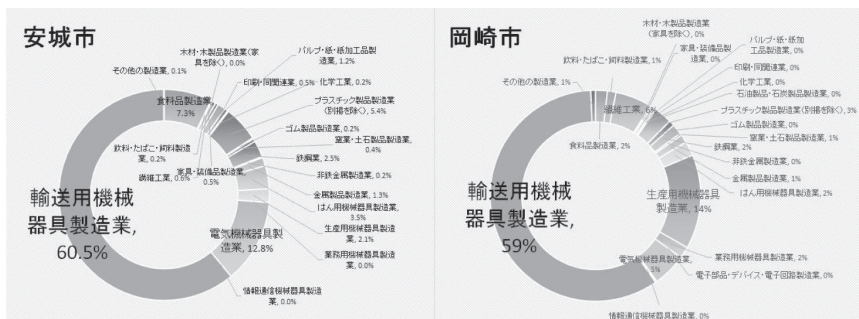


図9 安城市と岡崎市の産業（2010年度工業統計調査）

産業の災害暴露は、図10に示したように浸水想定エリアと経済産業省が提供した1km産業メッシュデータの重ね合わせで算出できる。その結果、全産業の事業所の58%、従業員の45%と出荷額の34%が浸水想定エリアに含まれ、そのうち、輸送機器器具製造業の事業所の47%、従業員の45%、出荷額の37%が暴露している。産業用水との関連で、矢作川流域の周辺に集積している地域産業は、産業災害リスクの一因になっていることが明らかになった。

表 9 浸水想定エリア内の産業

| 全 産 業     |       |      |        |      |             |      |
|-----------|-------|------|--------|------|-------------|------|
|           | 事業所   |      | 従業者    |      | 出荷額         |      |
| 浸水想定エリア内  | 786   | 58%  | 33,124 | 45%  | 104,908,788 | 34%  |
| 全域        | 1,354 | 100% | 73,683 | 100% | 307,367,335 | 100% |
| 輸送機器器具製造業 |       |      |        |      |             |      |
|           | 事業所   |      | 従業者    |      | 出荷額         |      |
| 浸水想定エリア内  | 104   | 47%  | 15,283 | 45%  | 46,317,475  | 37%  |
| 全域        | 221   | 100% | 33,925 | 100% | 125,068,520 | 100% |

## 4. 災害脆弱性

### 4.1 人口密集地区

浸水深いかつ人口過密な区域において、多くの住民が狭い空間に集中し、避難と救援活動に障害を生じることで、災害の脆弱性が増している。本研究は、こうした人口密集地区の災害脆弱性を定量的に評価することを試みた。

ここでの災害脆弱度レベルは、浸水レベルと人口密度レベルの積み上げで定義する(図 11)。浸水レベルは、浸水想定深さに従って 1 から 5 まで定義する。人口密度レベルは、住宅ベースの人口分布(点分布)を用いたカーネル密度の計算[10]より 5段階で定義する。脆弱性レベルは、同一地区の浸水レベルと人口密度レベルの積み上げで、レベル 2 からレベル 9 に評価できる。

図 12 では、浸水想定エリアと人口密度分布の積み上げで、災害脆弱性レベルの分布を示している。ここでは合計レベルが 10 のエリアは無かったため、合計レベルが 9 のエリアが最高レベルである。

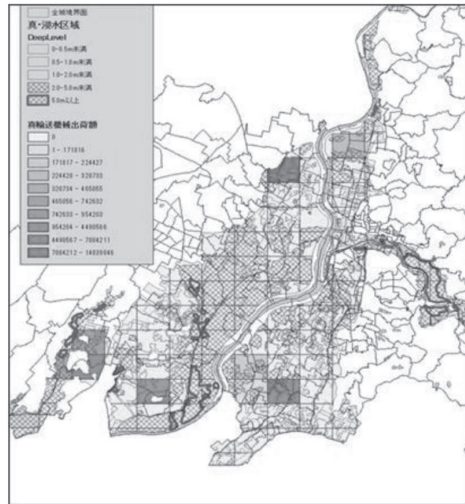


図 10 浸水想定エリア内の輸送機器器具製造業



図 11 脆弱性レベルについて

図12を見ると、岡崎市の六名町、天白町付近の脆弱性レベルは最高のレベル9に達した。周辺地域も脆弱性レベル5～7に達しているため、災害脆弱地区がお互いに隣接し、拡大していくことが確認される。また、こうしたレベル5～7災害脆弱地区は、岡崎市の乙川地区付近の乙川沿いも確認できる。

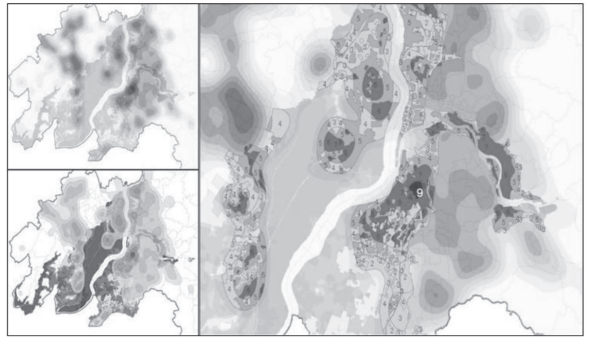


図12 脆弱性の高いエリア

安城市では脆弱性レベル5～6のエリアが点在していることが確認できる。しかし、周辺には水田等の農地も多いため、住宅地が集まっているエリアの規模は小さい。そのため、人口が密集している岡崎市と比べると、全体的に脆弱性は低い傾向がある。

## 4.2 避難所と避難場所

本研究において、避難の脆弱性は、①避難施設の立地、②避難施設へのアクセスビリティ、③最寄り避難区域の人口、④指定避難施設以外の避難場所の確保、の4つの角度から検証する。

まず、全域計293カ所の指定避難所と避難場所のうち、79カ所の避難施設は浸水想定エリアに立地している(表10)。そのうち1m～2m未満の浸水想定エリアには、31カ所の避難施設が設置され、全域施設の11%に達した。

避難施設へのアクセスビリティは、避難施設から道路を沿って、時速4キロの徒歩で到達可能な圏域の計算で求めた。図13と表11は、それぞれ各避難施設の到達圏と到達圏に含まれる人口数を示す。

表11によると、約70%の住民が徒歩15分で最寄りの避難施設にたどり着くことができる。また、徒歩20分の到達圏でも約86%人口をカバーできるため、避難施設へのアクセスビリティは高いと言える。

図13に示した避難施設ごとの到達圏は、住民避難の視点からみれば、実質上の最寄り避難区域になっている。図14の赤枠エリアは、浸水想定エリ

表 10 浸水想定エリア内の避難施設の統計

|              | 避難所・避難場所数 | 避難所・避難場所数の割合 |
|--------------|-----------|--------------|
| 0.5 m 未満     | 9         | 3%           |
| 0.5～1.0 m 未満 | 22        | 8%           |
| 1.0～2.0 m 未満 | 31        | 11%          |
| 2.0～5.0 m 未満 | 15        | 5%           |
| 5.0 m 以上     | 2         | 1%           |
| 浸水想定エリア内     | 79        | 27%          |
| 浸水想定エリア外     | 214       | 73%          |
| 全避難所・避難場所数   | 293       | 100%         |



図 13 避難施設の到達圏

表 11 避難施設到達圏の人口集計

| 徒歩時間 (分) | 人口の割合 | 世帯の割合 |
|----------|-------|-------|
| 0～5      | 20%   | 21%   |
| 5～10     | 27%   | 27%   |
| 10～15    | 23%   | 23%   |
| 15～20    | 16%   | 16%   |
| 20～25    | 6%    | 6%    |
| 25～30    | 3%    | 3%    |
| 30～35    | 1%    | 1%    |
| 35～40    | 1%    | 1%    |
| 40～45    | 1%    | 1%    |
| 45～50    | 0%    | 0%    |
| 50～55    | 0%    | 0%    |
| 55～60    | 0%    | 0%    |
| 60 分総計   | 99%   | 99%   |
| 全域総計     | 100%  | 100%  |

アに含まれる 79 カ所の避難施設とその最寄り避難区域を示し、表 12 ではそれらの最寄り避難区域の人口統計を表している。災害時、浸水想定エリア内の 79 カ所の避難施設が浸水により避難不能になった場合、その赤枠で示された最寄り避難区域内に暮らしている約 18 万の人口は、全域人口の約 34% にのぼり、これらの住民の避難代替場所の確保が必要になる（表 12）。代替となる避難場所は、浸水想定エリア外の施設、或いは浸水想定エリア内の高層建造物と考えられるが、本研究は、避難施設までのアクセスビリティを重視し、圏域内の高層ビルに着目した。

浸水想定エリア内の高層ビルに避難するには、水深レベルに合わせた避難可能な建物の床面積を算出する必要がある。本研究は、GIS を用いて浸水エリアの水深情報に建物の階層と床面積の情報を加え、避難可能な床面積の推計を試みた（図 15）。

図 16 と図 17 には、浸水想定エリア内外の面積とその人口、浸水想定エリア内の避難可能な建物棟数と避難可能な建物床面積の集計をまとめた。全域面積の約 16% の浸水想定エリアに約 33% 人口が住んでいるが、避難できる建物棟数と建物床面



図 14 浸水想定エリア内の避難施設と最寄り避難区域

表 12 浸水想定エリア内の避難施設と最寄り避難区域の人口集計

|               |         |     |
|---------------|---------|-----|
| 避難所・避難場所数     | 79      | 27% |
| 最寄り避難所区域内の世帯数 | 65,779  | 34% |
| 最寄り避難所区域内の人口数 | 182,712 | 33% |



図 15 浸水想定エリア内の高層建物

積は、それぞれ2%、11%と少ない。特に、人口密集している1m～2m未滿の浸水想定エリアや2m～5m未滿の浸水想定エリアにおいては、避難できるスペースの不足が顕著に表れており（図17）、これらのエリア内の避難場所の確保は課題である。

### 4.3 バス路線と市民生活

バス路線を対象に、公共交通の災害脆弱性を考える。図18では、災害時の直接的

な被害と間接的な被害を踏まえ、浸水想定エリア、バス路線、バス停、バス停から時速4キロ徒歩10分の到達圏、人口のデータを加え、バスシステムの災害脆弱性を分析した。まず、表13では災害時の直接被害を示す。全域内のバスシステムは合計133本のバス路線と1445のバス停によって構成されている。そのうち78本のバス路線と307のバス停は浸水により直接被害に、バス路線走行総距離の約22%が通行不能に陥る。

次に、バス停から道路に沿って、時速4kmで徒歩10分の到達圏内を算出し、さらにその到達圏内の人口を推計した。その結果（表14）、バス停から徒歩10分でバスを利用できる人口は約50万人であり、全人口の91%にのぼる。

災害時、浸水想定エリア内にある307バス停が利用不可と仮定する場合、それらの徒歩10分到達圏内に生活する約38万人の通勤通学に影響を及び、それは全人口の約70%にのぼる。災害時、浸水想定エリア外に生活してい

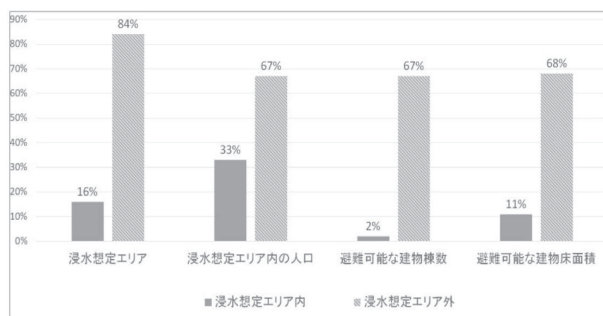


図16 浸水エリアの面積、人口、避難可能な建物棟数と建物床面積の関係（※避難が不可能な建物棟数と建物床面積は除く）

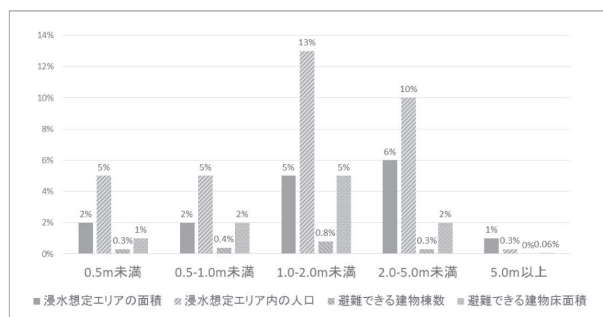


図17 浸水深さごとの浸水エリア面積、人口、避難可能な建物面積と建物床面積の関係



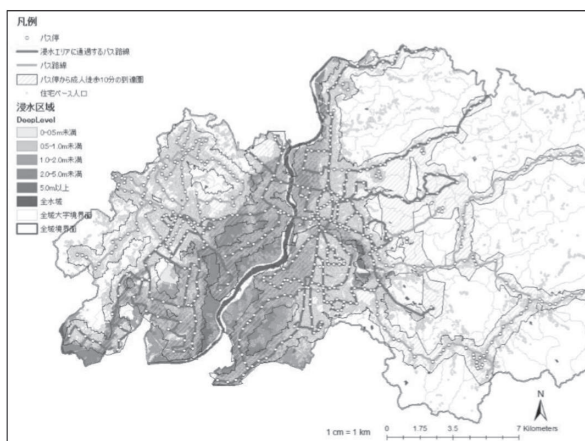


図 18 水想定エリア、バス路線、バス停、バス停から徒歩 10 分の到達圏と人口分布の関係

表 13 浸水想定エリアのバスシステム

|          | バス路線数 |      | バス路線長さ (km) |      | バス停   |      |
|----------|-------|------|-------------|------|-------|------|
| 浸水想定エリア内 | 78    | 59%  | 147         | 22%  | 307   | 21%  |
| 浸水想定エリア外 | 55    | 41%  | 522         | 78%  | 1,138 | 79%  |
| 合計       | 133   | 100% | 669         | 100% | 1,445 | 100% |

表 14 浸水想定エリアと住民

| エリア                       | 世帯数     | 割合   | 人口数     | 割合   |
|---------------------------|---------|------|---------|------|
| 浸水エリア通過路線のバス停から徒歩 10 分到達圏 | 139,542 | 71%  | 386,005 | 70%  |
| 全バス停から徒歩 10 分の到達圏         | 181,089 | 92%  | 502,981 | 91%  |
| 全域                        | 196,254 | 100% | 550,229 | 100% |

る人々も、バス運休、ルート変更等の影響を受ける可能性がある。交通システムを経由した自然被害の拡散効果は、第 1 章の研究フレームワークにも述べたシステムの災害脆弱性の特徴であり、深く注意する必要がある。

#### 4.4 産業活動

自動車産業は極めて裾野の広い基幹産業として、地域の経済を牽引している。安城市と岡崎市ではトヨタ自動車をはじめ、多数の自動車メーカーの部品工場が集積し、自動車部品産業が地域産業の主役となっている。図 19 は、本研究対象地域に拠点をおくトヨタ自動車、アイシン精機、愛三工業を中心とした、自動車部品産業協力会の組織図である。この産業ネッ

ト図は、自動車部品産業各社に広がっている技術共有、開発と製造のすり合わせ、さらに部品調達の取引などを含めたつながりを表わし、近代産業で高度発達してきた産業サプライチェーンを示す。ネットワークの節点に空間座標を加えると、空間に展開される産業ネットワークが矢作川の浸水想定エリアと重なっていることが浮かべ(図20)、産業サプライチェーンの災害脆弱性が視覚的に現れた。近年の具体例を挙げると、2016年4月の熊本地震では、震災の影響によりトヨタ自動車などの製造業が工場の生産を一時的に停止させていた。こうした企業活動ネットワークでは、災害の脆弱性が多くの研究により指摘されている。

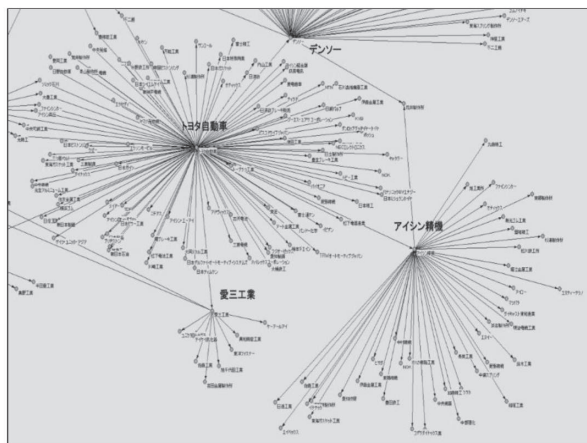


図19 トヨタグループの組織図



図20 産業サプライチェーンと浸水想定エリア

## 5. まとめ

本研究は、矢作川流域における災害リスクを、災害因子、災害暴露、災害脆弱性の3つの軸から検証した。

害因子では、全域面積のうち約16%が浸水想定エリアにあたり、安城市では市の面積の約33%、岡崎市では市の面積の約12%が含まれることが判

明した。また、浸水エリアが広い上位 28 町の浸水想定エリアの面積の合計は、全体の 56%にあたるため、被害はこの 28 町含む地域に集中することが推測された。

災害暴露では、まず、全域の約 33%が浸水想定エリア内に存在しており、約 32%の住宅が浸水想定エリアに含まれおり、床下浸水が想定される人口・世帯は全体の約 18%に達していた。次に交通システムでは、道路の約 27%、鉄道路線の約 43%、鉄道駅の約 46%、バス路線の約 22%、バス停の約 21%が浸水想定エリア内に含まれており、公共施設では、全域で約 930 施設のうち、約 3 割にあたる 305 施設が浸水想定エリアに含まれていた。最後に産業では、全産業では事業所の 58%、従業員の 45%、出荷額の 34%が、輸送機器器具製造業では事業所の 47%、従業員の 45%、出荷額の 37%が含まれており、矢作川流域に地域の産業が集積していた。

災害脆弱性では、まず、人口の密集地区で脆弱性のレベルを定義し、分析した結果、岡崎市の六名町、天白町付近が最も脆弱性が高いということが判明した。次に避難所・避難場所の分析では、水害発生時に指定された避難所・避難場所の代替となる建物の棟数と面積を求めた結果、避難が可能なスペースは圧倒的に不足していることが判明した。次に、交通の分析では、バス路線を事例に分析した結果、水害が発生した時には最大で約 71%の人口に影響を及ぼす可能性があることが判明した。最後に、産業活動では、安城市と岡崎市においては自動車関連企業が集積しており、水害のダメージをこれらの企業が受けた場合、企業のネットワークに影響を及ぼす可能性があることが判明した。

安城市と岡崎市の境界に重なる矢作川は、この地域の母になる川である。川は命の泉であり、地域住民の日常生活から経済活動まで支えてきた。人々は、古くからこの川に助けられ、今日の地域の人口密集と産業集積の形成に繋がっていった。一方で、矢作川流域の人々は古くから矢作川による氾濫、洪水等の水害に悩まされ続けてきた。現代では矢作川自体が氾濫する可能性は低くなっているが、それとは逆に人口の密集や経済の発展など、昔とは異なる被害拡大の要因が出現してきた。また、異常気象による豪雨の増加などにより、水害が発生する確率が高くなっているといえる。そのため、水害に対するリスクを人口・住宅、交通、公共施設、産業など現代の状況から分析することは意義があるといえよう。

注

- 1) 国土交通省のホームページより <http://www.river.go.jp/kwabou/reference/index05.html>

謝辞

本研究は、2013年～2018年文部科学省共同利用・共同研究拠点「越境地域政策研究拠点」の研究補助を受けている。愛知大学三遠南信地域連携研究センター皆様のご支援とご協力で謹んで感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1 蔣湧, 「GISを用いた自動車部品産業に関する空間解析」, ESRI, 第5回GISコミュニティフォーラム in 中部, 2017年10月
- 2 蔣湧, 「個票データと位置情報を用いた自動車部品産業に関する研究」, 愛知大学情報メディアセンター紀要COM, Vol 27/No. 1, 2017年3月
- 3 蔣湧, 加藤達也, 「矢作川流域における広域水害リスクに関する研究」, 愛知大学三遠南信地域連携センター2016年度研究フォーラム, 2017年3月
- 4 LI Weijiang, JIANG Yong, "Risk assessment of industrial geographical network in the scenario of seismic disaster: A case study of Toyota in Japan", ACTA GEOGRAPHICA SINICA, Vol 71, No. 8, 2016/8.
- 5 蔣湧, 山元隆稔, 夏目明剛, 荒河光弘, 「自治体におけるGISを活用した土砂災害リスクの空間的分析」, 地域政策学ジャーナル地域政策学ジャーナル, 第5巻第1号, 2015年7月
- 6 澤田貴行, 蔣湧, 「国勢調査を利用した任意地域の人口算出」, 愛知大学情報メディアセンター紀要 Vol. 25, No. 1, pp 1-15, 2015年3月
- 7 蔣湧, 「都市災害の被害推計に関する空間解析」, 奈良県立大学研究季報, 第25巻第2号, pp 139-161, 2015年1月
- 8 JIANG Yong, "A Spatial Analysis for Social Impact of Natural Disasters", The 7th annual international conference of the Chinese scholars Association for Management Science and Engineering (CSAMSE) 2014/7
- 9 山元隆稔, 蔣湧, 「アクセシビリティを考慮した災害時の避難圏域に関する検討」, 地域情報システム学会講演論文集, 2014年11日
- 10 戸田敏行, 蔣湧, 岩崎正弥, 駒木伸比古, 暁敏, 「越境地域政策への視点」, 三遠南信地域連携研究センター, 2014年6月

本稿は、愛知大学経営総合科学研究所『経営総合科学』第108号, 1-26頁, 2018年を再掲載しています。掲載論文の著作権に関しては出典元に帰属します。