

木曾川流域における市街化と堤防整備の 相互作用過程の分析

松川 涼¹・中居 楓子²・中村 晋一郎³・秀島 栄三⁴

¹学生会員 名古屋工業大学 工学部社会工学科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: r.matsukawa.440@stn.nitech.ac.jp

²正会員 名古屋工業大学助教 工学研究科社会工学専攻 (同上)
E-mail: nakai.fuko@nitech.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院准教授 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail: shinichiro@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋工業大学教授 工学研究科社会工学専攻 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: hideshima.eizo@nitech.ac.jp

堤防の建設により堤内地の洪水の頻度が減少し、建物などの資産が氾濫原に立地するようになったことでより甚大な洪水被害に至るといふ相互作用の過程は「堤防効果」と呼ばれる。近年、国内外を対象とした実証的な研究によりその現象が明らかにされ始めている。しかし、既往研究では、堤防建設による市街地の変化の一方的な影響のみを分析しており、「堤防効果」が含む相互作用過程を捉えられていない。そこで本研究では、木曾川流域を対象として、堤防効果において仮定される堤防整備と市街化の相互作用を、学校や鉄道駅などの堤防整備以外の要因を考慮して分析する。モデルにラグ変数を取り入れることで、相互作用の時間的推移を検証した結果市街化と堤防整備には時間的順序がなく、同時に行われている可能性があることが示唆された。

Key Words: levee, urbanization, infrastructure, flood, Kiso River Basin, fixed effects model

1. はじめに

川は昔から人間の暮らしと切り離せないものである。人類の始まりを見ると古代四代文明はどれも川の付近で発達している。日本では、弥生時代に川の周りに稲作を中心とした集落が形成され¹⁾、詩歌や祭り、かつての水運の利用にも表れているように、川と密接した生活が営まれてきた²⁾。一方で川の付近では洪水が起きる。そこで考えられた人の知恵が堤防であった。19世紀後半まで、堤防は輪中堤や霞堤などの不連続堤防であったため、氾濫原ではたびたび洪水が発生していた³⁾。しかし、日本では開国以降、西洋からの技術の輸入により、連続堤防が建設されるようになった。これにより、堤内地で洪水の頻度が減った。しかし、堤内地での人口や資産が集中し、堤防を超えるような大きな洪水がひとたび発生すると甚大な被害が生じる状況となった。このような一連の社会水文現象は「堤防効果⁴⁾」と言われている。

この現象に対して、Baldassarre et al.⁵⁾は、氾濫原における人間と洪水の相互作用を、周辺人口と資産、堤防の嵩

上げ、治水安全度、河川からの距離、そして洪水の記憶とともに、その各要素間のダイナミクスを概念的にモデル化した。このモデルを日本国内に適用した例として、Shibata et al.⁶⁾は、長野県長野市長沼のデータを用いて、堤防の高さや洪水の水位、人口などをシミュレーションし、Baldassarre et al.の海外を事例とした結果との差異について、日本における定住のあり方や水害からの原状復旧の原則などの特性が影響したことを考察している。これらの研究では、モデルに用いる人間と洪水の相互作用の強さをパラメータとして与えており、それらの設定が結果に大きく依存する形になっている。しかし、その値については暫定的な仮定が置かれており、実データに基づいた十分な検討はなされていない。

一方、堤防効果の実証的な研究として、伊藤・中村⁸⁾は木曾川流域を対象に1890年代から2000年代までの約120年間の堤防整備と土地利用変化を分析し、都市開発は堤防付近の都市化の圧力を受けやすい地域で進んでいることを明らかにしている。この結果は土地利用の変化は堤防整備による安全度の向上だけでなく、堤防以外の

インフラ整備など様々な要因により起きることを示唆するものであるが、その詳細は明らかになっていない。また、先行研究⁵⁶⁾が前提とする概念モデルでは、ループ図を用いて都市開発と堤防整備の相互作用が表現されているものの、その相互作用関係の詳細は伊藤・中村⁹⁾による実証的な研究でも明らかになっていない。

そこで、本研究では、日本国内における「堤防効果」の実証的な研究として、1) 堤防以外のインフラ整備等の要因を踏まえつつ、2) 堤防整備から市街化に、あるいはその逆に及ぼす影響の詳細—どの程度の影響が、どの程度の時間的ラグを持って現れるのか—を明らかにする。具体的には、木曾川流域を対象に、旧版地形図に基づく1890年代以降の土地利用、堤防整備の過程のデータなどを用いて、堤防整備と市街化の相互作用を明らかにする。また、分析方法として固定効果モデルを用いることで学校や鉄道駅などの堤防整備以外の要因を考慮する。さらに、ラグ変数を用いた分析により、相互作用の時間的な関係についても検討する。

2. 分析対象地域

(1) 木曾川流域の概要

木曾川水系は、木曾川、長良川、揖斐川という源流が遠く異なる3川を幹川として、それぞれ中・下流以下を

並流して、伊勢湾に流れ込む一級水系である⁹⁾¹⁰⁾(図-1)。木曾川流域は、岐阜県、長野県、愛知県、三重県、滋賀県の5県にまたがる流域面積が9100km²の地帯であり、近年は、発電ダムや水資源開発施設などの建設も行われ、中京圏の重要な資源となっている。また、広大で変化に富んだ地形であり、上流域から下流域まで豊かな自然環境を有している。しかし、下流部は日本最大のゼロメートル地帯であり、洪水を含む災害の危険度が高い¹¹⁾。

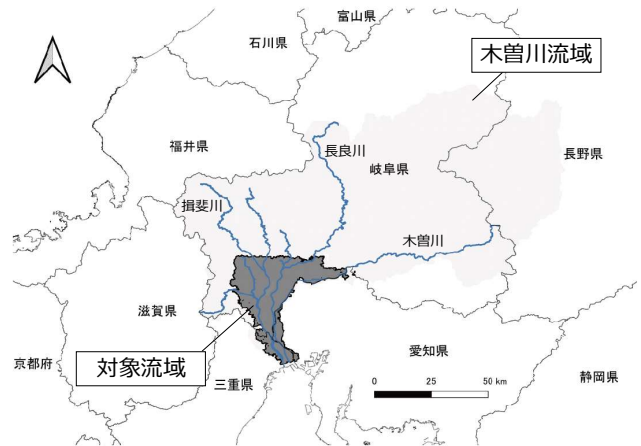


図-1 木曾川流域図および本研究の対象地域
(松川ら¹²⁾ 図-1より転載)

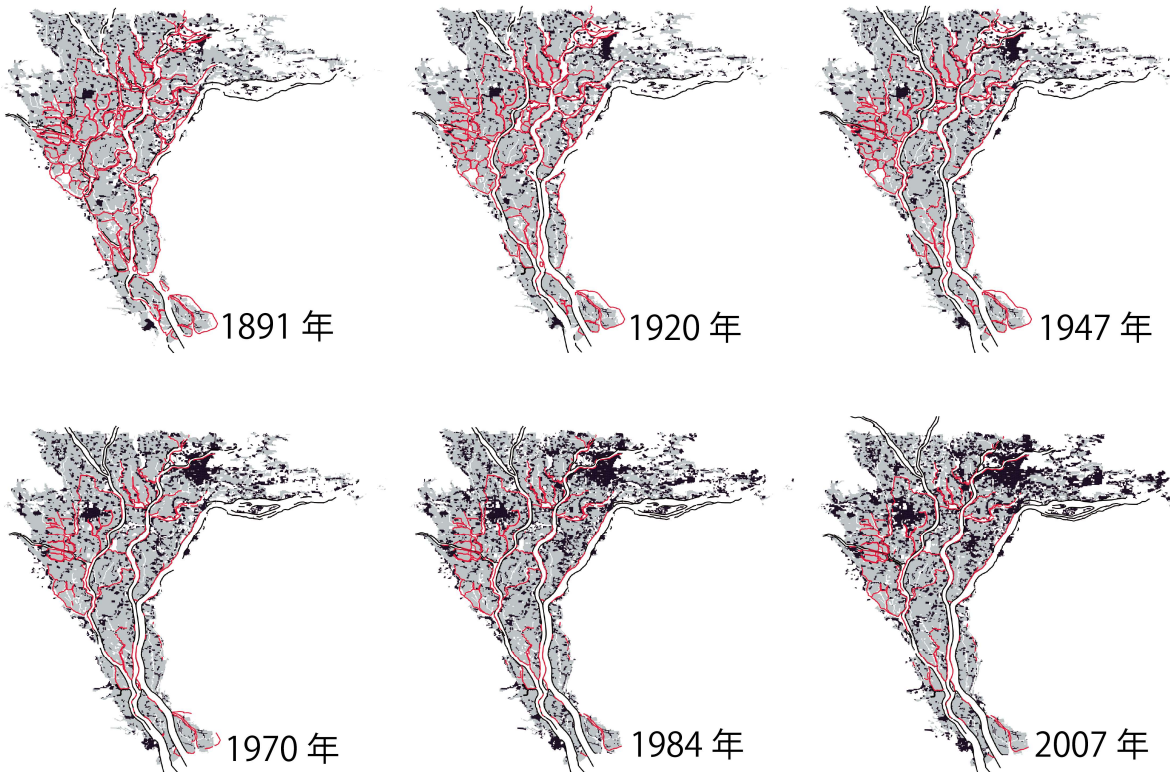


図-2 木曾川流域における堤防と土地利用の位置関係の変化
(黒メッシュ：市街地、灰色：田、黒線：連続堤防、赤線：輪中堤) (松川¹²⁾ 図-3より転載)

(2) 木曾三川の堤防、洪水の歴史

木曾三川は、かつては三川の流路が網目のようになり氾濫平野地形を形成し、毎年洪水による被害が発生していた。そこで、16 世紀ごろから輪中や尾張の国を守るために、1609 年木曾川左岸の犬山市から弥富市に至る約 47 km にわたり、御囲堤が築堤された。しかし、木曾川右岸は左岸の堤防よりも 3 尺低くしなければならず、美濃の国では、常襲的に洪水氾濫に見舞われた。その後 1754 年に薩摩藩の御手伝普請によって、逆光洗堰、油島の締切り工事等の改修が行われた。これらをはじめとして、洪水の害を防止すること、悪水の改良を行うこと、舟航の便をはかることの 3 つを目的として、木曾三川分流工事が始まった。木曾三川分流工事はオランダ人技師 ヨハネス・デ・レーケを招き、1887 年に木曾川下流改修計画、1921 年に木曾川上流改修計画を策定し、流路の修正等を行う改修工事や河川の締切り工事などを実施した。その後も様々な改修を経て、今の木曾三川の流路になった¹⁰⁾¹¹⁾¹³⁾。1912 年の木曾川分流工事後、洪水による被害は減少したが、昭和 34 年 9 月の伊勢湾台風をはじめとした大規模な洪水が起きており、連続堤防の導入後も洪水被害は発生している。

(3) 木曾川流域の堤防整備と土地利用の関係性

木曾川流域では、1890 年以降、輪中などの不連続堤防から連続堤防への置き換わり、市街化が急速に進んだ。国土地理院の旧版地形図、地形図と数値地図 2500 から、1891、1920、1947、1970、1984、2007 年の各年代の土地利用を 100m メッシュで電子データ化し、伊藤・中村が作成した土地利用メッシュデータと岡田・中村¹⁴⁾が作成した堤防整備の変遷データ（以後木曾川堤防・土地利用データベースと呼ぶ）を参考にして、木曾川流域における堤防と土地利用の変遷（図-2,3）を見ると、1891 年時点では堤防は輪中堤、土地利用としては、田の割合が多

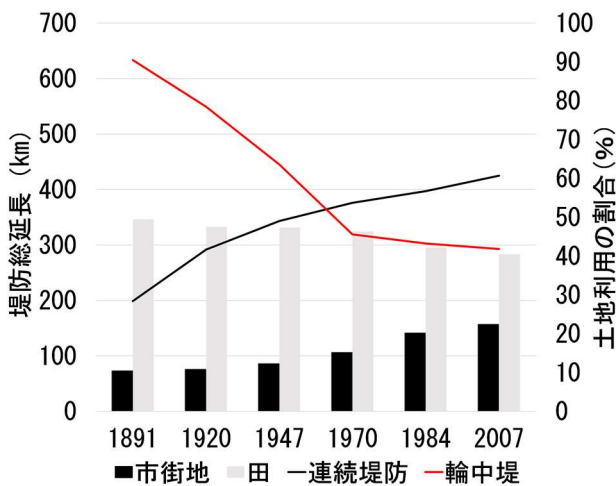


図-3 木曾川流域における堤防と土地利用の量的変化

かったが、年を経るにつれ、連続堤防と市街地の割合が増加していることが確認できる。このように木曾川流域は、連続堤防の整備と市街化の進行が急速に進展した流域と言える。

3. 分析データおよびその作成方法

本研究では、1891、1920、1947、1970、1984、2007 年の 6 年代について、各変数（表-1）の時系列データを作成し、それをパネルデータとして整備した。また、本研究では分析単位を国勢調査¹⁵⁾の 2010 年の小地域を分析単位とする。また、データ作成の際に用いる地形図は木曾川堤防・土地利用データベースの作成の際に用いた地形図と同じ地形図をもとにしている。

(1) 市街地面積割合

市街地面積割合は、各小地域の全体の面積に対する小地域内の市街地の面積の割合と定義し、木曾川堤防・土地利用データベースの各期の土地利用メッシュと各小地域の面積を重ね合わせることで算出した。

(2) 上流、下流の連続堤防の総延長

堤防整備が市街地面積割合に及ぼす影響を知るためには、堤防整備という処置を表す変数が必要である。しかし、何をもってある地域に「処置（＝堤防整備）」が行われたとするかは、はっきりと決められるものではない。例えば、ある小地域において、堤防整備に伴う安全度の向上を考えると、それらに影響する堤防整備は小地域

表-1 分析に用いる変数とそのデータの出典

変数名	出典
市街地面積割合	伊藤・中村 ⁹⁾ による土地利用メッシュデータ
上流の連続堤防の総延長[km]	岡田・中村 ¹⁴⁾ による堤防整備の変遷データ
下流の連続堤防の総延長[km]	岡田・中村による堤防整備の変遷データ
学校ダミー	国土数値情報 ¹⁶⁾
下水道関連施設ダミー	国土数値情報
鉄道駅ダミー	国土数値情報
工場ダミー	国土数値情報
輪中ダミー	岡田・中村による堤防整備の変遷データ
連続堤防の影響範囲ダミー	岡田・中村による堤防整備の変遷データ

内のものに限らず、周辺地域のものも含まれるはずである。したがって、小地域内の堤防整備のみを処置とするのは不適切であると考えられる。そこで、本研究では、ある小地域*i*よりも上流、あるいは下流でどの程度の堤防整備がなされたかを定量化し、変数として扱う。ここでは、各小地域に対し、それより上流、下流の連続堤防の総延長を変数として用いる。

データの作成にあたっては、堤防を 167 個のノード、河川のつながりを 157 本のパスで表現した簡易的なネットワーク (図-4 左) を作成した。それぞれのパスには、各ノード間の堤防の総延長を重みとして与える。そして、各小地域に最も近いノードから上流にある堤防 (パス) の重みの総和と、下流にある堤防 (パス) の重みの総和をそれぞれ求め、上流、下流の連続堤防の総延長とする。具体的には堤防の線上に引いた縦横 1km 間隔の線 (図-4 右の青線) を用いる。そしてその線を堤防の線 (図-4 右の赤線) によって切断し、その切断後の線 (図-4 右の緑線) の中心をノード (図-4 右の紫点) とした。

(3) 地域属性データ

本研究では、市街化と堤防整備に影響すると考えられる要因を、インフラ整備などを含む地域属性データとして整備した。地域属性データには、インフラ整備に関わるものとして、学校、下水道関連施設、鉄道駅、工場、輪中範囲、連続堤防の影響範囲も考慮する。

以下 a) から f) に示す地域属性データは、2021 年 12 月時点で公開されている国土数値情報¹⁶⁾をもとに、それぞれの地物が各年代の地形図に存在する場合は年次ダミーに 1 を、なければ 0 とダミー変数により整備を行った。このように整備することで地物の発生、存在、消滅を整理した。さらに、現在の国土数値情報上では存在しないが、過去に存在していた地物は新たな地物として追加し、同様にダミー変数を与えた。ただし、2007 年のデータに関しては公開されている国土数値情報が 2010 年前後であるため、これをもって 2007 年のデータに代用する。

a) 学校

国土数値情報の学校データを用いる。このデータには、小学校、中学校、中等教育学校、高等学校、高等専門学校、短期大学、大学及び特別支援学校が含まれる¹⁶⁾。

b) 下水道関連施設

国土数値情報の下水道関連施設をもとに整備した。このデータには、公共下水道、流域下水道、特定公共下水道、特定環境保全公共下水道の処理場施設及びポンプ場が含まれる¹⁶⁾。下水道関連施設の地図記号は存在しないため、地形図上で供用開始時期を読み取ることができない。そのため、自治体や管理者のホームページ¹⁷⁾⁻²⁵⁾、各県、市への問い合わせにより供用開始時期を特定した。

c) 鉄道駅

国土数値情報の鉄道時系列の鉄道駅を用いる。このデータには、鉄道・軌道沿いに設置される「一般駅」「旅客駅」「臨時駅 (臨時乗降場、仮停車場、仮乗降場)」などの乗客が乗降できる駅、また廃止に至っていない休止駅も含まれる。ただし貨物駅や信号場、操車場は含まれない¹⁶⁾。国土数値情報には、1950 年以降の駅が設置された年と、駅が変更または廃止された年の 1 年前の年が記載されているため、それをもとにダミー変数を作成した。1950 年以前の鉄道の設置もしくは廃止時期は地形図から特定した。

d) 工場

工場は、岡田・中村¹⁴⁾による木曾川堤防・土地利用データベースより、土地利用が工場のメッシュを用いた。このデータは地形図の工場の地図記号に基づいている。

e) 輪中範囲

輪中範囲は、輪中によって守られている範囲として定義される。データの作成にあたっては、木曾川堤防・土地利用データベースの輪中堤防の境界線と地形図を重ね合わせ、輪中堤防に囲まれている範囲を目視で確認して作成した。もっとも輪中堤防が多い 1891 年を基準に時間を追って、各年代で輪中がなくなったことで輪中に囲まれなくなった箇所があれば、その部分を削除した。

f) 連続堤防の影響範囲

連続堤防の影響範囲とは、堤防整備により、その地域の安全度の向上等の影響が想定される範囲である。本来は流出計算などにより正確な範囲を推定することが望ましい。しかし、今回は簡便な方法として、各年代の連続堤防から半径 1 km の範囲として定義した。

4. 堤防整備と市街化の相互作用の分析方法

(1) 固定効果モデルによる相互作用の推定方法

本研究では、堤防整備と市街化の相互作用を回帰モデルで推定する。ここで、小地域*i*の時点*t*の市街化を表す指標 Y_{it} とし、本分析では市街地面積割合を使用する。また、小地域*i*の時点*t*における堤防整備の状況を上流、下流の連続堤防の総延長 l_{it}^u , l_{it}^d とし、堤防整備以外のインフラ整備等の状況を X_{it} とする。しかし、一般的な回帰モデルでは、変数として整備されていない要因を考慮することができない。そこで、本研究では欠損、つまり未観測のデータの変化の影響を除くことが出来る固定効果モデルを用いる。固定効果モデルとは、時間不変の地域固有の影響を表す「固有効果」 F_i と説明変数 X_{it} が独立でないことを仮定したうえで、小地域ごとに期間平均値からの差分を取ることで、「固有効果」 F_i が除去されるモデルである。

$$Y_{it} = \alpha + \beta l_{it}^u + \gamma l_{it}^d + \delta_t p_t + \varepsilon X_{it} + v_{it} + F_i \quad (1)$$

ここで、 p_t は 1891 から 2007 年の 6 つの年代を表す年ダミー、 X_{it} は小地域 i の時点 t における学校、鉄道駅、下水道関連施設、工場、輪中の存在を表すダミー、連続堤防の影響範囲かどうかを表すダミー、である。なお、 α は定数項、 v_{it} は誤差項である。求めたい堤防整備の Y_{it} への影響は、上流、下流の連続堤防の総延長 l_{it}^u 、 l_{it}^d の係数 β, γ として推定される。

また本研究では、堤防整備と市街地の相互作用を見るため、堤防整備の状況 z_{it} 、つまり上流、下流の連続堤防の総延長 l_{it}^u 、 l_{it}^d を被説明変数とした場合の固定効果モデル (式(2), (3)) による推定も行う。

$$l_{it}^u = \alpha + \gamma l_{it}^d + \delta_t p_t + \varepsilon X_{it} + \zeta Y_{it} + v_{it} + F_i \quad (2)$$

$$l_{it}^d = \alpha + \beta l_{it}^u + \delta_t p_t + \varepsilon X_{it} + \zeta Y_{it} + v_{it} + F_i \quad (3)$$

ここで求めたい市街化の l_{it}^u 、 l_{it}^d への影響は市街地面積割合の係数 ζ として推定される。

(2) 影響の時間的推移の推定方法

本研究では、どの時点の堤防整備が市街化に影響しているか確認するために通常の固定効果モデルによる分析 (図-5 上) に加えて、時点 t の市街地面積割合 Y_{it} に対して、その前後の期の堤防整備状況を説明変数とした場合 (図-5 下) を推計する。具体的には、式(2)の上流、下流の連続堤防の総延長 l_{it}^u 、 l_{it}^d の t の部分について、1 期前から 4 期前、さらに、1 期後から 4 期後に置き換えたラグ変数を用いて、それぞれの係数 β_t, γ_t を推定する。その際、上流の堤防整備に注目する場合は下流の連続堤防の総延長は $t = 0$ で固定し、上流の連続堤防の総延長のみをラグ変数とする。逆に下流の堤防整備に注目する場合は流の連続堤防の総延長を $t = 0$ で固定し、上流の連続堤防の総延長のみをラグ変数とする。また、市街化が堤防整備に及ぼす影響についても同様に、時点 t の堤防整備状況に対して、その前後の期の市街地面積割合を説明変数とした場合の係数 ζ_t を推定する。以上の方法により、堤防整備、市街化の相互作用における時間的なラグを明らかにすることができる。

5. 堤防整備と市街化の相互作用の時間的推移の分析結果と考察

表-2~5 に 4 で説明したモデルの推定結果を示す。表の 1 番上には前後の時期に置き換えた変数の係数を示し、その下の説明変数は、それらがモデルに含まれる場合は

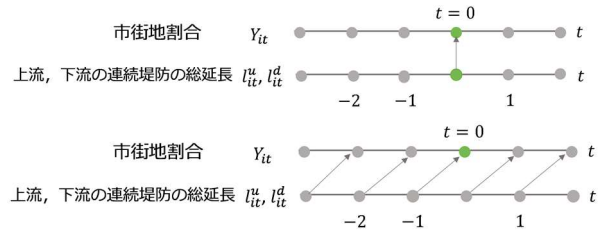


図-5 通常の固定効果モデルによる分析 (上) とラグ変数を用いた固定効果モデルによる分析 (下)

YES, 含まれない場合は、NO と記載している。また、表をもとに、堤防から市街地面積への影響を表す β と γ 、市街地面積から堤防整備への影響を表す ζ について、それぞれのラグに応じた係数の推移を図-6, 7, 8 に示す。

(1) 堤防が市街地面積に及ぼす影響の推定結果

図-6 は被説明変数を市街地面積割合とした場合の上流、下流の連続堤防の総延長の係数の時間的推移を示している。上流の連続堤防の総延長の係数より、1 期前から 3 期後までの上流の連続堤防が整備されると市街地が増加し、逆に 4 期前から 2 期前と 4 期後の上流の連続堤防が整備されると市街地が減少することがわかった。また、時期ごとの係数の変化の傾向を見ると $t = 0$ 、つまり同時期を最大として、期が離れるにつれて、減少していく傾向であった。ただし、3 期前、3 期後だけ増加している。このことから同時期の上流の連続堤防の整備が最も市街地を増加させることが分かった。

同時期の上流の連続堤防の整備が市街地を増加させる理由は、堤内地の安全度の向上後すぐに地方自治体が住居の誘導をするためではないかと考えられる。

次に下流の連続堤防の総延長の係数より、3 期前以外下流の連続堤防が整備されると市街地を増加させることがわかった。また、時期ごとの係数の変化の傾向を見ると基本的に 1 期後を最大として、期が離れるにつれて、減少していく傾向であった。このことから 1 期後の下流の連続堤防が整備されると市街地を増加させることが分かった。

1 期後の下流の連続堤防の整備が市街地を増加させる理由は、堤防の整備計画が決まってから、実際に堤防整備が施工されるまでのタイムラグがあるためだと考える。

(2) 市街地面積が堤防の延長に及ぼす影響の推定結果

図-7 は被説明変数を上流の連続堤防の総延長とした場合の市街地面積割合の係数の時間的推移を示している。市街地面積割合の係数より、同時期と 1 期後の市街地が増加すると上流の連続堤防が整備され、4 期前から 1 期前と 2 期後から 4 期後の市街地が増加すると、上流の連

続堤防が減少することがわかった。また、時期ごとの係数の変化の傾向を見ると $t = 0$ 、つまり同時期を最大として、期が離れるにつれて、減少していく傾向であった。このことから同時期の市街地の増加が最も上流の連続堤防を整備させることが分かった。同時期の市街地の増加が上流の連続堤防を整備させる理由は、上流側からの越流による洪水被害を防ぐためであると考えられる。

図-8 は被説明変数を下流の連続堤防の総延長とした場合の市街地面積割合の係数の時間的推移を示している。市街地面積割合の係数より、4 期前と 1 期前から 2 期後の市街地が増加すると下流の連続堤防が整備され、3 期前、2 期前、3 期後、4 期後の市街地が増加すると、下流の連続堤防が減少することがわかった。また、時期ごとの係数の変化の傾向を見ると $t = 0$ 、つまり同時期を最大として、期が離れるにつれて、その影響が減る傾向がある。同時期の市街地の増加が下流の連続堤防を整備させる理由は、下流側からの越流による洪水被害を防ぐためであると考えられる。

また被説明変数を市街地面積割合としたモデルの推定結果では、上流、下流ともに、堤防を 1 km 整備した際の市街化の影響は 1 % も満たない。しかし、実際には連続堤防は一体的に整備されるものであり、堤防 1 km 整備ただけで市街化が進むとは考えにくく、ある程度の長さの堤防を整備することで市街化への効果が発現するため、係数が小さいからといって市街化と堤防整備の関係性が小さいというわけではない。

図-6, 7, 8 より市街化と堤防整備の関係は期が近いほうが影響が大きいことが確認された。これは、本研究では、1 期が 20~30 年であり、3 期、4 期離れてしまうと 60 年から 120 年前後離れてしまい、係数が 0 に近く、それぞれへの相互作用は小さいと考えられる。また、期が離れると係数が有意でないものもあり、信頼性の高い結果として得られているのはおおよそ 1 期前から 1 期後であると言える。

相互作用の観点から見ると市街地面積割合と上流の連続堤防の総延長の関係については、図-6 より同時期の上流の連続堤防の整備が市街地の増加に影響を与えることがわかった。また、図-7 より同時期の市街地の増加が上流の連続堤防の整備に一番影響を与えることがわかった。これらより市街化と上流の連続堤防の整備には前後関係があまりないことがわかった。一方で市街地面積割合と下流の連続堤防の総延長の関係については、図-6, 8 より 1 期後の下流の連続堤防が整備されると市街地を増加させること、同時期の市街地の増加が下流の連続堤防の整備に一番影響を与えることが分かった。この結果から市街化が進んでから下流の連続堤防が整備される一方的な関係だけでなく、市街化と同時に下流の連続堤防が整備されるという同時並行の可能性が示唆される。

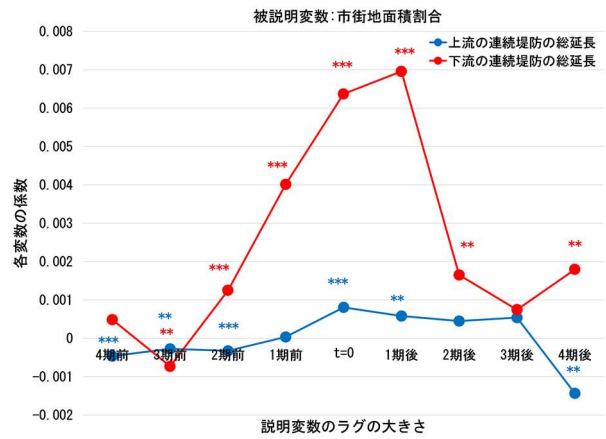


図-6 堤防整備が市街化に及ぼす影響の時間的推移

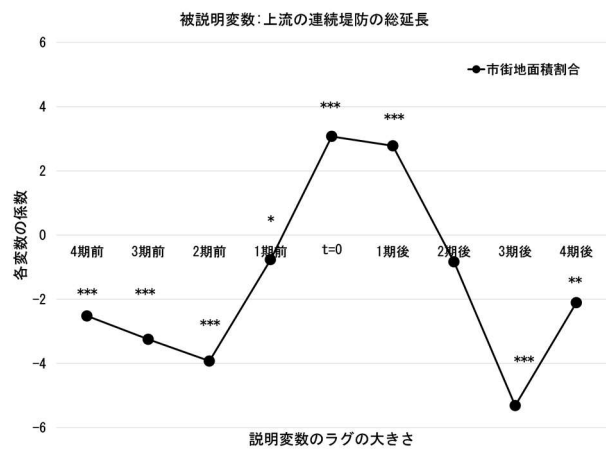


図-7 市街化が上流の堤防整備に及ぼす影響の時間的推移

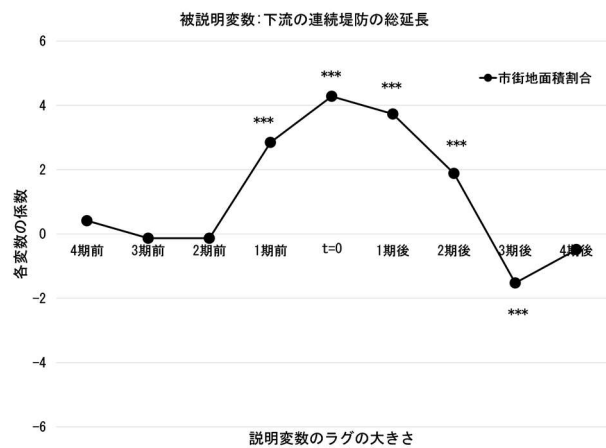


図-8 市街化が下流の堤防整備に及ぼす影響の時間的推移

6. まとめ

本研究では、固定効果モデルを用いて、木曾川流域の

堤防整備と市街化の相互作用を定量的に分析した。その結果、市街化と堤防整備には正の関係があることが分かった。また、堤防整備と市街化の相互関係の時間的推移としては、市街化と上流の堤防の整備は同時並行的に行われるのに対し、市街化と下流の堤防の整備は市街化

が進んでから下流の堤防整備が行われることもあれば、同時並行的に行われる可能性もあることが分かった。

本研究では、実データを用いて、堤防整備以外のインフラ整備などの要因を考慮して、堤防整備と市街化の相互作用を定量的に検証した。それによって、上流、下流

表-2 被説明変数を市街地面積割合とし、上流の連続堤防の総延長の時間的推移に着目した場合の推定結果

年代	4期前	3期前	2期前	1期前	t=0	1期後	2期後	3期後	4期後
上流の連続堤防の総延長	4.616×10 ⁴ ***	-2.731×10 ⁴ **	-3.275×10 ⁴ ***	3.801×10 ⁵	8.062×10 ⁴ ***	5.794×10 ⁴ **	4.508×10 ⁴	5.397×10 ⁴	-1.435×10 ³ **
下流の連続堤防の総延長	2.320×10 ⁴ ***	6.111×10 ³ ***	6.995×10 ³ ***	7.003×10 ³ ***	6.371×10 ³ ***	5.217×10 ³ ***	4.265×10 ³ ***	2.928×10 ³ ***	8.835×10 ⁴ *
1920年ダミー	No	No	No	No	-2.652×10 ¹ ***	-2.090×10 ¹ ***	-1.624×10 ¹ ***	-1.005×10 ¹ ***	6.852×10 ³
1947年ダミー	No	No	No	-1.531×10 ² **	-2.794×10 ¹ ***	-2.078×10 ¹ ***	-1.495×10 ¹ ***	-7.534×10 ² ***	No
1970年ダミー	No	No	2.159×10 ² **	2.841×10 ³	-2.562×10 ¹ ***	-1.689×10 ¹ ***	-9.967×10 ² ***	No	No
1984年ダミー	No	8.201×10 ² ***	1.011×10 ¹ ***	7.957×10 ² ***	-1.801×10 ¹ ***	-9.003×10 ² ***	No	No	No
2007年ダミー	4.536×10 ² ***	1.204×10 ¹ ***	1.276×10 ¹ ***	1.146×10 ¹ ***	-1.479×10 ¹ ***	No	No	No	No
学校ダミー	-2.200×10 ²	-2.019×10 ²	-3.808×10 ² *	-5.450×10 ² ***	-6.320×10 ² ***	-5.838×10 ² ***	-4.511×10 ² **	1.332×10 ³	-4.551×10 ³
下水道関連施設ダミー	-6.217×10 ³	-1.510×10 ²	-3.895×10 ²	-5.268×10 ²	-7.020×10 ² *	1.531×10 ²	4.789×10 ²	-1.130×10 ¹	No
鉄道駅ダミー	4.644×10 ²	5.034×10 ² *	2.652×10 ³	2.194×10 ²	3.281×10 ² *	2.377×10 ²	3.071×10 ²	4.631×10 ² *	2.056×10 ²
工場ダミー	-9.638×10 ² ***	1.204×10 ¹ ***	-9.351×10 ² ***	-7.543×10 ² ***	-6.830×10 ² ***	-5.314×10 ² ***	-3.906×10 ² ***	2.486×10 ³	-3.435×10 ²
輪中ダミー	2.800×10 ²	2.481×10 ²	-1.383×10 ¹ ***	-1.298×10 ¹ ***	-8.953×10 ² ***	-1.091×10 ¹ ***	-1.149×10 ¹ ***	-1.585×10 ² ***	-1.238×10 ²
連続堤防の影響範囲ダミー	4.572×10 ² *	2.360×10 ²	-3.633×10 ³	1.179×10 ³	2.508×10 ² *	2.669×10 ² *	1.839×10 ²	4.212×10 ² **	2.564×10 ²

※p値の有意水準, ***: 0.001以下, **: 0.01以下, *: 0.05以下, . : 0.1以下

表-3 被説明変数を市街地面積割合とし、下流の連続堤防の総延長の時間的推移に着目した場合の推定結果

年代	4期前	3期前	2期前	1期前	t=0	1期後	2期後	3期後	4期後
下流の連続堤防の総延長	4.860×10 ⁴	-7.310×10 ⁴ **	1.249×10 ³ ***	4.013×10 ³ ***	6.371×10 ³ ***	6.958×10 ³ ***	1.651×10 ³ **	7.455×10 ⁴	1.795×10 ³ **
上流の連続堤防の総延長	-7.846×10 ⁴	-2.166×10 ³ ***	-1.467×10 ³ ***	1.676×10 ⁴	8.062×10 ⁴ ***	-3.110×10 ⁵ ***	-7.877×10 ⁴ ***	-5.073×10 ⁴ ***	-5.091×10 ⁴ ***
1920年ダミー	No	No	No	No	-2.652×10 ¹ ***	-3.412×10 ³ ***	2.714×10 ³ **	4.247×10 ² ***	4.250×10 ² ***
1947年ダミー	No	No	No	-1.285×10 ¹ ***	-2.794×10 ¹ ***	-6.310×10 ² ***	9.001×10 ² ***	1.058×10 ¹ ***	No
1970年ダミー	No	No	5.947×10 ² ***	-6.305×10 ² ***	-2.562×10 ¹ ***	2.585×10 ² *	2.008×10 ¹ ***	No	No
1984年ダミー	No	1.401×10 ¹ ***	1.485×10 ¹ ***	-1.839×10 ² ***	-1.801×10 ¹ ***	1.130×10 ¹ ***	No	No	No
2007年ダミー	2.652×10 ² ***	2.501×10 ¹ ***	1.851×10 ¹ ***	1.444×10 ²	-1.479×10 ¹ ***	No	No	No	No
学校ダミー	-2.224×10 ²	-1.937×10 ²	-4.136×10 ² *	-5.713×10 ² ***	-6.320×10 ² ***	-5.662×10 ² ***	-5.337×10 ² ***	-5.430×10 ³	-5.051×10 ³
下水道関連施設ダミー	-9.644×10 ³	-2.486×10 ²	-3.964×10 ²	-5.831×10 ²	-7.020×10 ² *	1.807×10 ²	6.610×10 ²	-8.755×10 ²	No
鉄道駅ダミー	4.576×10 ²	4.646×10 ²	5.942×10 ³	2.102×10 ²	3.281×10 ² *	1.728×10 ²	2.696×10 ²	4.365×10 ² *	2.453×10 ²
工場ダミー	-9.760×10 ² ***	1.064×10 ¹ ***	-9.410×10 ² ***	-7.871×10 ² ***	-6.830×10 ² ***	-5.204×10 ² ***	-4.618×10 ² ***	1.714×10 ³	-2.665×10 ²
輪中ダミー	3.032×10 ²	3.076×10 ²	-1.375×10 ¹ ***	-1.289×10 ¹ ***	-8.953×10 ² ***	-1.091×10 ¹ ***	-1.095×10 ¹ ***	1.067×10 ³	-4.732×10 ³
連続堤防の影響範囲ダミー	3.863×10 ²	9.527×10 ³	-9.540×10 ³	-7.453×10 ³	2.508×10 ² *	7.030×10 ³	5.113×10 ³	1.710×10 ²	1.465×10 ²

※p値の有意水準, ***: 0.001以下, **: 0.01以下, *: 0.05以下, . : 0.1以下

の堤防整備と市街化の時間的推移を明らかにすることができた。今後は、時間可変の変数の整備によりモデルの推定結果の精度を向上させるとともに水害との関係性などより様々な視点での分析をしていきたいと考える。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 21K14264 の助成を受けて実施した。本研究の遂行にあたり、下水道施設の供用開始時期に関する情報を、岐阜県都市建築部下水道課、愛知県建設局下水道課、岐阜市上下水道事業部上下水道事

表-4 被説明変数を上流の連続堤防の総延長とし、市街地面積割合の時間的推移に着目した場合の推定結果

年代	4期前	3期前	2期前	1期前	t=0	1期後	2期後	3期後	4期後
市街地面積割合	-2.521 ***	-3.248 ***	-3.926 ***	-7.685×10 ¹ *	3.070 ***	2.780 ***	-8.367×10 ¹ ***	-5.314 ***	-2.106 **
下流の連続堤防の総延長	-6.104×10 ¹ ***	-9.398×10 ¹ ***	-1.529 ***	-1.541 ***	-1.851 ***	-1.804 ***	-1.640 ***	-1.557 ***	-1.840 ***
1920年ダミー	No	No	No	No	94.770 ***	92.516 ***	84.952 ***	81.377 ***	94.565 ***
1947年ダミー	No	No	No	24.392 ***	122.359 ***	119.468 ***	110.445 ***	106.114 ***	No
1970年ダミー	No	No	25.133 ***	49.584 ***	151.168 ***	147.738 ***	136.824 ***	No	No
1984年ダミー	No	6.174 ***	33.179 ***	57.536 ***	159.684 ***	156.276 ***	No	No	No
2007年ダミー	6.209 ***	12.961 ***	41.060 ***	65.040 ***	167.374 ***	No	No	No	No
学校ダミー	5.494×10 ¹ ***	-9.665×10 ¹ ***	-1.070 ***	-1.478 ***	-2.286 **	-2.211 **	-2.495 **	-2.135 **	-1.718 *
下水道関連施設ダミー	5.015 ***	7.569 ***	6.887 ***	9.055 ***	9.576 ***	17.288 ***	3.425 ***	10.979 ***	No
鉄道駅ダミー	1.681 *	2.204 *	6.023×10 ¹ ***	-1.115 ***	-2.918 ***	-3.066 ***	-3.261 **	-3.762 **	-5.576×10 ¹ ***
工場ダミー	-1.701×10 ¹ ***	-3.030×10 ¹ ***	-4.021×10 ¹ ***	-2.247 ***	-4.205 ***	-4.057 ***	-3.777 ***	-4.672 ***	-2.979 *
輪中ダミー	-3.630×10 ¹ ***	-4.328 *	-6.015 ***	-10.266 ***	-11.594 ***	-10.468 ***	-10.899 ***	-8.873 ***	-3.168 *
連続堤防の影響範囲ダミー	-1.074 ***	-1.770 *	-2.200×10 ¹ ***	1.588×10 ¹ ***	13.468 ***	14.118 ***	15.533 ***	18.093 ***	8.236 ***

※p値の有意水準, *** : 0.001以下, ** : 0.01以下, * : 0.05以下, . : 0.1以下

表-5 被説明変数を下流の連続堤防の総延長とし、市街地面積割合の時間的推移に着目した場合の推定結果

年代	4期前	3期前	2期前	1期前	t=0	1期後	2期後	3期後	4期後
市街地面積割合	4.123×10 ¹ ***	-1.329×10 ¹ ***	-1.314×10 ¹ ***	2.848 ***	4.281 ***	3.733 ***	1.882 ***	-1.524 ***	-4.863×10 ¹ ***
上流の連続堤防の総延長	-1.879×10 ¹ ***	-1.663×10 ¹ ***	-2.355×10 ¹ ***	-0.262 ***	-0.327 ***	-3.523×10 ¹ ***	-3.717×10 ¹ ***	-3.859×10 ¹ ***	-4.555×10 ¹ ***
1920年ダミー	No	No	No	No	49.750 ***	49.875 ***	50.058 ***	50.535 ***	50.837 ***
1947年ダミー	No	No	No	12.938 ***	63.028 ***	63.190 ***	63.735 ***	64.551 ***	No
1970年ダミー	No	No	14.393 ***	27.333 ***	77.513 ***	77.893 ***	78.807 ***	No	No
1984年ダミー	No	3.553 ***	18.170 ***	30.897 ***	81.189 ***	81.892 ***	No	No	No
2007年ダミー	2.470 ***	5.937 ***	20.916 ***	33.466 ***	84.169 ***	No	No	No	No
学校ダミー	-2.065×10 ¹ ***	-4.955×10 ¹ ***	-3.876×10 ¹ ***	-0.437 ***	-2.286 ***	-1.334 ***	-1.855 ***	-2.066 ***	-1.096 **
下水道関連施設ダミー	-9.920×10 ¹ ***	-8.274×10 ¹ ***	-5.445×10 ¹ ***	-0.269 ***	3.883×10 ¹ ***	3.561 ***	2.594 ***	8.507 ***	No
鉄道駅ダミー	-4.793×10 ¹ ***	-4.384×10 ² ***	1.941×10 ¹ ***	-0.856 *	-1.102 ***	-9.481×10 ¹ **	-1.119 *	-1.400 *	-1.137×10 ² ***
工場ダミー	-5.516×10 ¹ ***	-5.061×10 ¹ **	-5.781×10 ¹ ***	-1.828 ***	-2.190 ***	-2.252 ***	-2.214 ***	-1.309 *	-1.146 **
輪中ダミー	1.758 ***	7.005×10 ¹ ***	2.591×10 ¹ ***	-0.482 ***	-3.804×10 ¹ ***	-7.302×10 ¹ ***	-1.164 *	1.966 **	4.360×10 ¹ ***
連続堤防の影響範囲ダミー	-3.561 ***	-2.724 ***	-8.071×10 ¹ **	-0.237 ***	-1.380 ***	-8.185×10 ¹ **	-8.099×10 ¹ **	-1.195 *	1.069×10 ¹ **

※p値の有意水準, *** : 0.001以下, ** : 0.01以下, * : 0.05以下, . : 0.1以下

業政策課, 大垣市役所水道部下水道課, 桑名市上下水道部下水道課よりご提供いただいた。また, データ作成にあたっては, 名古屋大学の元学生である岡田銀河氏, 伊藤悠一郎氏が作成した土地利用メッシュと堤防データを利用していただいた。ここに, 感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省河川法改正20年多自然川づくり推進委員会：川と人とのかかわりの歴史, 2016.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tashizen/dai01kai/pdf/5-1_kawatohito_rekishi.pdf, 2021.2現在。
- 2) 川井正彦, 水野雅光：歴史・文化からみた日本の川-日本人と川, リバーフロント研究報告, Vol. 第14号, pp. 166-172, 2003.
- 3) 山形河川国道事務所河川学習システム編集部：最上川電子大辞典, <https://www.thr.mlit.go.jp/yamagata/river/enc/index.html>, 2022.2現在。
- 4) White, Gilbert Fowler：Human Adjustment to floods: A Geographical approach to the flood problem in the United States, Department of Geography Research Papers, pp. 11-238, 1942.
- 5) Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J. L., Blöschl, G.：Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 17, pp. 3295-3303, 2013.
- 6) Di Baldassarre, G., Alberto Viglione, Gemma Carr, Linda Kuil, Kun Yan, Luigia Brandimarte, Günter Blöschl：Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 51, No. 6, pp. 4770-4781, 2015.
- 7) Shibata, Naoya, Nakai, Fuko, Otsuyama, Kensuke, Nakamura, Shinichiro：Socio-hydrological modeling and its issues in Japan: a case study in Naganuma District, Nagano City, Hydrological Research Letters, Vol. 16, No. 1, pp. 32-39, 2022.
- 8) 伊藤悠一郎, 中村晋一郎：木曾川における長期土地利用データの構築とLevee Effectの定量的評価, 水文・水資源学会2018年度研究発表会要旨集, Vol. 31, 2018.
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局：水管理・国土保全—木曾川・長良川・揖斐川, https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/05_09_kiso/0509_kiso_00.html, 2021.12現在。
- 10) 木曾三川水と文化の研究会：木曾三川に生きる川の歴史を知る. 1994, 6-7, 51-54, 72-75, 170-171p.
- 11) 中部地方整備局：木曾川水系河川整備計画, 2020.
- 12) 松川, 涼中居, 楓子中村, 晋一郎秀島栄三：木曾川流域における明治期以降の堤防整備が市街化に及ぼした影響の分析, 第65回土木計画学研究発表会・春大会, 2022.
- 13) 長良川河口堰管理所：木曾三川の洪水と治水の歴史, https://www.water.go.jp/chubu/nagara/21_yakuwari/rekishi.html, 2021.12現在。
- 14) 岡田銀河, 中村晋一郎：木曾川水系における近代以降の堤防空間データベースの構築と分析, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, Vol. 31, 2018.
- 15) 総務省統計局：国勢調査, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?type=2>, 2021.2現在。
- 16) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, 2021.6現在。
- 17) 海津市：下水道施設の紹介, <https://www.city.kaizu.lg.jp/kurashi/0000000606.html>, 2022.1現在。
- 18) 岐阜市：下水道事業の概要・沿革, <https://www.city.gifu.lg.jp/kurashi/suidou/1003348/1003350.html>, 2022.1現在。
- 19) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：各地での取り組み, <https://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerae/rocal.html>, 2022.1現在。
- 20) 瑞穂市：下水処理場の紹介, <https://www.city.mizuho.lg.jp/3563.htm>, 2022.1現在。
- 21) 岐阜県各務ヶ原浄化センター, <https://www.gifu-jyousuikousha.or.jp/pamphlet.pdf>.
- 22) 大垣市：浄化センターのあゆみ, <https://www.city.ogaki.lg.jp/0000002216.html>, 2022.1現在。
- 23) 池田町：下水道の処理施設, <https://www.town.gifu-ikeda.lg.jp/0000000513.html>, 2022.1現在。
- 24) 岐阜県：事業の経過, <https://www.pref.gifu.lg.jp/page/4189.html>, 2022.1現在。
- 25) 桑名市：雨水ポンプ場の概要-桑名市～本物力こそ, 桑名力. ～, <http://www.city.kuwana.lg.jp/index.cfm/24,84959,223,341.html>, 2022.1現在。

(Received September 30, 2022)