

令和 3 年 6 月 6 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13836

研究課題名（和文）堤防発達プロセスの解明と将来予測

研究課題名（英文）Analysis and future prediction of levee development process

研究代表者

中村 晋一郎（Nakamura, Shinichiro）

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30579909

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題は、水害リスクの適切な将来予測に資するために、人間社会-水文システムの相互作用に着目した堤防の発達プロセスを解明しモデルを構築することで、将来の堤防発達プロセスを予測するものである。本研究では木曽川を対象に、A. 堤防空間データを含むデータベースを作成し堤防発達プロセスを解明・モデル構築・検証を行い、本モデルを将来の土地利用に適用することで、B. 堤防発達プロセスの将来予測の可能性を検討した。その結果、堤防と土地利用の関係は地域によって全く異なり、水害の有無や都市計画、交通インフラの整備状況といった社会-水文の状況が強く影響することを明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間社会が自然システムへと多大な影響を与えるようになった近現代において、人間社会と自然システムの相互作用を適切に捉えることが極めて重要となっており、特に急激な社会変化が見込まれる地域において将来の水害リスクを適切に評価するためには、堤防の発達プロセスを解明・モデル化し水文モデルに登載することが不可欠である。本研究は、将来の水害リスク評価に資するために堤防の発達プロセスを解明しモデルを構築することで、将来の堤防発達プロセスを予測を行なった。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to predict the future development process of levees by analyzing the interaction between the human society and the hydrological system and developing a model in order to contribute to the appropriate future prediction of flood risk. In this study, a database including spatial data of levees was developed for the Kiso River. As a result, it was clarified that the relationship between levees and land use is completely different in each region and is strongly influenced by socio-hydrological conditions such as the existence of floods, urban planning, and the development of transportation infrastructure.

研究分野：水文学・水資源学

キーワード：堤防 プロセス 土地利用 将来

## 1. 研究開始当初の背景

人間社会が自然システムへと多大な影響を与えるようになった近現代において、人間社会と自然システムの相互作用を適切に捉えることが極めて重要である。近年活発な気候変動研究の分野においても、自然システムの一部である気象・水文システムの将来変化だけでなく人間活動も考慮した長期予測と影響評価の試みが既に始まっている。水文現象の一部である洪水と人間社会の相互作用を検討する際、堤防は洪水と人間社会の接点であり、洪水-人間社会の相互作用を規定する極めて重要な構成要素である。しかし、これまでの水文モデル研究において、堤防は水文・洪水氾濫モデルの「固定的」な境界条件とみなされ、グローバル氾濫モデルに至っては堤防を実装するに至っていない。

一方、日本の歴史に目をやると、近世以前の堤防は霞堤や輪中堤といった不連続堤防が中心であったが、近代以降の西洋技術の到来によって連続堤防の整備が主流となり、時代ごとの水文-社会条件を反映しながら堤防の延長は大幅に増加した（図-1）。このような長期的な視座に立つと、堤防は「固定的」な境界条件ではなく「プロセス」を伴うものであり、この堤防発達プロセスを明らかにし水文モデルへと反映することが、水害リスクの将来予測や影響評価を行う上で極めて重要である。日本で観察された堤防の発達プロセスは、急速な経済成長を遂げている発展途上国において今まさに進展しており、且つ日本においても今後予想される急激な人口減少と土地利用の変化を見越して、堤防高の低減による計画的氾濫の可能性について議論が始まっている。今後の急激な人口・社会変動が見込まれる地域においては、堤防の発達プロセスを解明・モデル化し水文モデルへと登載することが、将来の水害リスクを適切に評価するために極めて重要な研究課題である。

以上の背景から、本研究課題は、将来の水害リスク評価に資するために、人間社会と水文システムの相互作用において「堤防はどのように発達してきたのか？」そして「将来の堤防の発達プロセスを予測することは可能か？」という「問い」に挑むものである。

## 2. 研究の目的

本研究は、将来の水害リスク評価に資するために堤防の発達プロセスを解明しモデルを構築することで、将来の堤防発達プロセスを予測することを目的とした。本研究には、①人間社会-水文システムの接点である堤防に着目した点と、②堤防を水文モデルにおける固定的な境界条件ではなく、人間社会-水文システムの相互作用における動的条件として捉えた点に独自性があり、さらに、これらの着眼点をもとに堤防発達プロセスを解明・モデル化し将来予測に用いる点が本研究の独自性である。

## 3. 研究の方法

### A. 堤防の発達プロセスの解明とモデル構築

**A-1:** 明治期以降の各年代の堤防のデータと堤防発達プロセスに関連するデータを格納したデータベースを構築した。本研究では木曾川流域を対象に、旧版地形図をデジタル化することでGIS上に明治期から現在まで8時点の堤防空間データと土地利用と人口分布、氾濫域の空間データを作成した。土地利用については旧版地形図をもとに100mメッシュで作成した。人口空間分布については国勢調査や県の統計をもとに旧市区町村単位で作成した。また空間データ以外にも、降水量、流量、既往洪水の被害額、治水事業費、事業

内容の変遷といった水文・社会データを収集しデータベースとして統合した。

**A-2** : データベースを分析することで堤防発達モデルの構築を行なった。具体的には、空間データベースをもとに各年代の堤防の新設箇所（各時代の差分）とその背後地の土地利用割合を含んだ集計テーブルを作成し、この集計テーブルに対して回帰分析を行うことでモデルの構築を試みた。その際、時代ごとの水文・社会状況についてデータベースを用いて検証・考察を行なった。

**A-3** : 当初計画では **A-2** で構築した堤防発達モデルを他流域及び日本全土へ適用し精度を検証する予定であったが、**A-2** において堤防と土地利用の関係は地域によって全く異なり、水害の有無や都市計画、交通インフラの整備状況といった社会-水文の状況が強く影響することが分かったことから、堤防整備と水害、土地利用、インフラ整備の関係を平成 30 年西日本豪雨で被災した岡山県倉敷市真備町及び令和元年東日本台風で被災した長野県長野市長沼地区を対象にそれらの相互関係について分析を行なった。一方で、流域単位では堤防整備と土地利用との間に明確な関係が確認できなかったことから、独自に作成した全国の堤防延長の推移データを用いて、堤防延長と各社会指標との相関関係について分析を行なった。

## B. 堤防発達プロセスの将来予測の可能性の検討と応用

**A-3** において堤防延長と人口との間に比較有意な相関が確認されたことから、現在と将来の人口分布、流域地形、氾濫域の空間データを用いて、現在と将来の流域内の人口の変動を推計し、今後の堤防整備のあり方について考察を行なった。また、**A** で構築したデータベースをもとに流域内の水防力に関する分析を行った。

### 4. 研究成果

#### A. 堤防の発達プロセスを明らかにしモデルを構築する

本研究では木曾川下流域において、明治以降の土地利用データを作成した（図-1）。そして、このデータと空間堤防データベースを用いることで空間的・長期的に堤防と土地利用の関係を分析した（表-1）。

堤防整備と土地利用の変化の関係を定量的に示した。木曾川下流域全体としては堤防が整備されると同時期にその周辺が他の地域と比較して市街化が進む傾向が見られる。一方で、地域ごとに分析すると全ての地域においてその傾向がみられたわけではない。市街化が顕著に現れる地域は羽島郡と本巣郡であった。これらの地域の共通点としては、木曾川下流域の中心都市である岐阜市に近いということである。つまり、堤防整備によって市街化が起

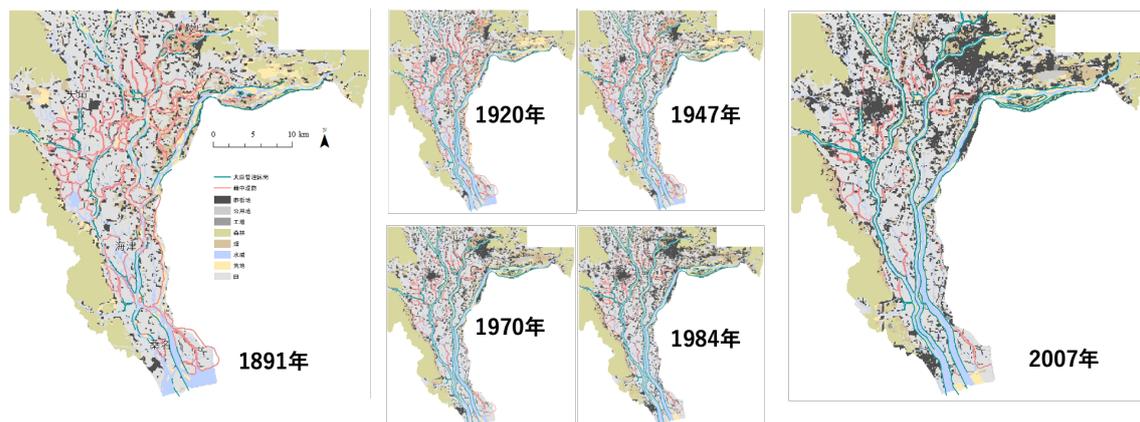


図-1 木曾川下流域における堤防および土地利用の変遷

きる条件としてはその地域自体が市街化するような地域かが重要である。特定の地域が市街化するかどうかは鉄道や政策などの様々な要因があるため堤防が新設されると必ずその周辺で市街化が生じるわけではないことが示された。また、堤防は時代ごとに築かれた要因が異なり、そのことは築堤される以前の土地利用状況からも示された。以上より、堤防と土地利用の関係は地域によって全く異なり、水害の有無や都市計画、交通インフラの整備状況といった社会-水文の状況が強く影響することが分かった。

以上の結果から、より詳細なスケールで堤防整備と水害、土地利用、インフラ整備の関係を分析するために、平成30年西日本豪雨で被災した岡山県倉敷市真備町及び令和元年東日本台風で被災した長野県長野市長沼地区を対象にそれらの相互関係について分析を行なった(図-2)。これらの結果から、市街化区域、市街化調整区域に関係なく、堤防整備が市街化の形成に強い影響(きっかけ)を与えていることが明らかとなった。しかし、その量的影響は、堤防の整備だけでなく、都市計画、道路、鉄道等のインフラ整備といった各要因を加味した上で分析する必要があることが分かった。

以上より、流域単位では堤防整備と土地利用との間に明確な関係が確認できなかったことから、独自に全国の堤防延長の推移データを過去の河川便覧より作成し、これと人口成長率、GDPといった社会指標と相関関係について分析を行なった(図-3)。その結果、全国の堤防延長は比較的人口成長率によって説明されることが分かった(図-4)。

## B. 堤防発達プロセスの将来予測の可能性の検討と応用

A において堤防延長と人口との間に比

	1891-1920	1920-1947	1947-1970	1970-1984	1984-2007
1期	0.21	0.45	-1.27	-0.60	-0.31
2期	-0.36	1.12	0.67	-0.93	-0.79
3期	-1.35	0.77	1.33	-0.91	-0.70
4期	-0.20	-0.85	-1.04	1.20	1.94
5期	1.72	-1.49	0.32	1.23	-0.15

表-1 木曽川下流域における各期間の標準化得点

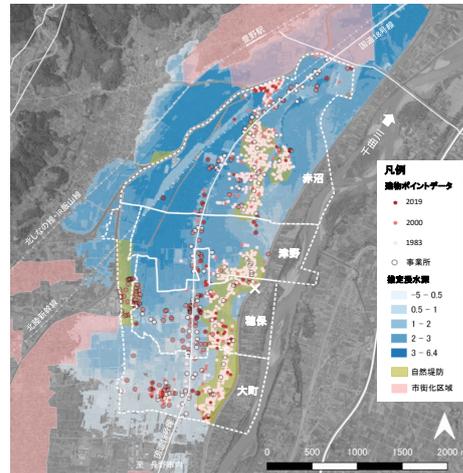


図-2 令和元年東日本台風における長野市浸水域内の建物立地の変遷

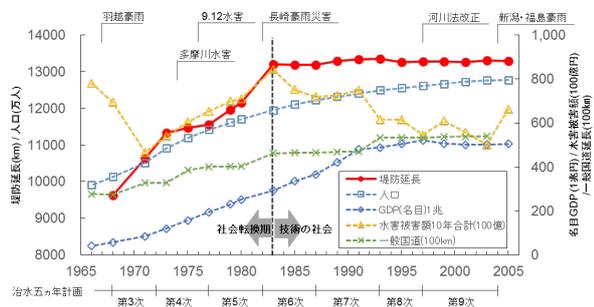


図-3 堤防延長及び関連統計データの時系列変化 (1966年度～2005年度)

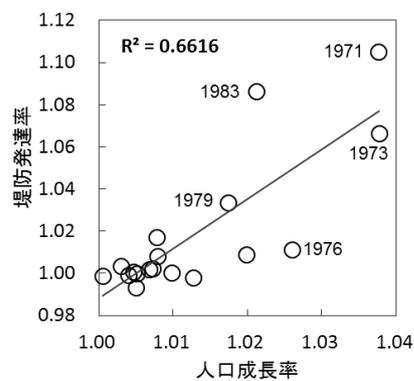


図-4 人口成長率と堤防発達率の相関

較的良好な相関が確認されたことから、現在と将来の人口分布、流域地形、氾濫域の空間データを用いて、現在と将来の流域内の人口の変動を推計し、日本の109水系を対象に上下流間での人口バランスの変動について分析を行なった。その結果、109水系内には現在2千7百万人が洪水リスクに曝されており、109水系内の総人口に対する割合は2050年までほとんど変わらないことが分かった。また流域の人口バランスによる

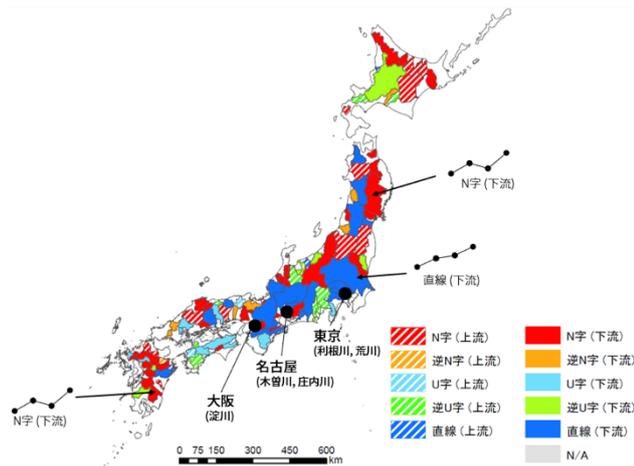


図-5 109水系における人口バランスの将来変動による分類

類型化を行った結果(図-5)、大都市圏周辺の流域は下流に多くの洪水曝露人口を持ち、上下流バランスの変化は比較的小さいこと、上流域に曝露人口を持つ流域では、その地域での人口変動が上下流バランスに敏感に影響することなどが明らかになった。この結果より、今後、流域によっては人口の上下流バランスが変動することが予想されることから、今後の堤防整備はこの上下流バランスを想定して整備を行なって行く必要があり、その際、人口が増加もしくは維持する地域については、より積極的な堤防整備を実施し、それ以外の地域については流域全体の治水安全度と投資コストを考慮した整備を行なっていく必要があることが示唆される。

一方で、本研究では、Aで構築した木曾川流域の堤防データベースを用いて、堤防の機能を発揮させるために重要な水防活動の定量的評価手法の開発を行なった。水防団が水防活動を実施する必要がある仕事量、それを実施するために必要な水防活動量、そして洪水のピークが当該地点まで到達するまでのリードタイムの3つの要素を考慮して水防活動の評価手法を構築し、この手法を用いて木曾川下流域においてケーススタディを行った(図-6)。その結果、対象とした66分団

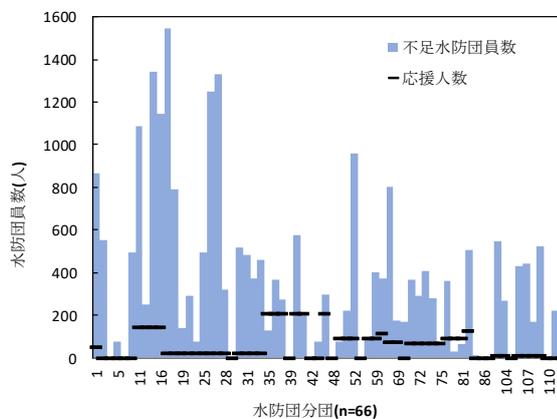


図-6 現状における分団ごとの団員不足人数

のうち現状のリードタイム内で必要箇所に積み土嚢工法を設置完了できるのは8つの分団のみで、堤防受け持ち区間を持たない分団が応援に駆け付けたとしても加えて6分団でしか設置完了できないこと、現状においては、水防団の技術を磨き水防工法の速さを上げていくほうが効果的だが、予測技術の向上で水位予測時間が延びると、団員数を増加させたほうが効果的になっていく場合があること、現在のトレンドに従った団員減少よりも、水防団の技術が落ちる方が水防活動に対して負の影響が大きい場合があることなどが明らかとなった。

今後、以上の成果と分析手法を用いて、今後の堤防整備(治水)と水防の統合的な影響または効果の評価を可能とするようなモデル、評価手法の開発を行なっていきたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 柴田 直弥, 増田 有真, 森田 紘圭, 中村 晋一郎	4. 巻 76
2. 論文標題 市街化調整区域における浸水被害の分析 - 令和元年東日本台風による長野市長沼地区の被害を例として -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 202~211
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.1_202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 中川晃太, 中村晋一郎	4. 巻 64
2. 論文標題 日本109水系の上下流人口バランスによる分類と将来変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学) 特集号・水工学論文集	6. 最初と最後の頁 I_67-72
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.2_I_67	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 伊藤 悠一郎, 中村 晋一郎, 芳村 圭, 渡部 哲史, 平林 由希子, 鼎 信次郎	4. 巻 75
2. 論文標題 建物立地と其の変化過程に着目した平成30年7月豪雨による浸水被害の分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 299~307
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.1_299	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 岡田銀河, 中村晋一郎	4. 巻 64
2. 論文標題 水防活動の定量評価手法の構築とその適用 - 木曽川流域を対象として	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学) 特集号・水工学論文集	6. 最初と最後の頁 I_43-48
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.2_I_43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Shinichiro, Oki Taikan	4. 巻 54
2. 論文標題 Paradigm Shifts on Flood Risk Management in Japan: Detecting Triggers of Design Flood Revisions in the Modern Era	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 5504 ~ 5515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2017WR022509	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 中村晋一郎
2. 発表標題 社会水文学の世界的動向と日本での展開の可能性
3. 学会等名 水文・水資源学会 第32回 2019年度 総会・研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤悠一郎, 中村晋一郎, 芳村圭, 渡部哲史, 平林由希子, 鼎信次郎
2. 発表標題 建物立地と其の変化過程に着目した平成30年7月豪雨による浸水被害の分析
3. 学会等名 水文・水資源学会 第32回 2019年度 総会・研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田銀河, 中村晋一郎
2. 発表標題 木曾川流域における水防活動量の評価
3. 学会等名 平成30年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川晃太, 中村晋一郎
2. 発表標題 日本109水系における流域内の上下流バランスの将来変化
3. 学会等名 平成30年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichiro NAKAMURA and Taikan OKI
2. 発表標題 Paradigm Shifts on Flood Risk Management in Japan and Synchronism of Socio-hydrological Histories
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taikan OKI, Shinichiro NAKAMURA, Ginga OKADA and Yuichiro ITO
2. 発表標題 Socio-Hydrological Transition of Flood Risk Management and Levee Systems during the Modern Era in Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinichiro NAKAMURA
2. 発表標題 Restoring the Flow: River Management in Post-Growth Japan, 1980-2000
3. 学会等名 ENVIROTECH HISTORIES OF MODERN EAST ASIA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田銀河, 中村晋一郎
2. 発表標題 木曽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
3. 学会等名 水文・水資源学会2018年度総会・研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤悠一郎, 中村晋一郎
2. 発表標題 木曽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
3. 学会等名 水文・水資源学会2018年度総会・研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中村 晋一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 208
3. 書名 洪水と確率	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関