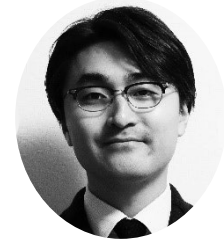


〈一般研究課題〉 流域圏における人口バランス動態の将来推計と分析

助成研究者 名古屋大学 中村 晋一郎



流域圏における人口バランス動態の将来推計と分析

中村 晋一郎
(名古屋大学)

CLASSIFICATION AND FUTURE TRENDS OF THE UPSTREAM- DOWNSTREAM BALANCES IN 109 RIVER BASINS, JAPAN

Shinichiro NAKAMURA
(Nagoya University)

Abstract :

The upstream-downstream balance of population and assets is widely used to understand flood risk in a river basin and minimize it. Although conventional flood control strategies have been developed based on the past balances, now it is required to consider the future balances to handle with flood risk because population declining must cause changes in population distribution patterns. This paper aims to estimate current and future flood risk (flood exposure) and clarify basin characteristics focusing on upstream-downstream balances. The result shows that metropolitan regions have a significant amount of flood exposure in the downstream and balance shifting will hardly occur there. In addition, basins with larger flood exposure in the up-midstream areas show greater balance shift towards downstream.

1. はじめに

流域内の人口や資産の分布及びそのバランスは、流域管理において極めて重要な考慮事項の一つである。例えば、治水事業において「上下流・本支川間のバランスなど、水系全体として適切にバランスのとれたものにすることが重要」¹⁾であり、既往研究においても氾濫原の資産・人口などの重要性に応じて、その氾濫域を抱える河川区間で安全度に差をつけることの重要性が指摘されている²⁾。また利水計画においても、取水位置やダム貯水池の検討に際しては下流側受益地面積や都市用水量を考慮してその計画規模や配分が決められており、流域管理において人口や資産の分布や上

下流でのバランスは極めて重要な要素であると言える³⁾。

他方、日本では人口減少が進行し続けており、わが国の総人口は2053年には1億人を下回ると予想されているが⁴⁾、その傾向は地域ごとの産業、行政サービス、生活利便性等によって異なり、さらに都市部への人口流出といった課題を考慮すると、全国で一様には人口減少は進まない。流域管理の観点からみれば、この一様でない人口減少傾向は、流域内の各地域の人口の絶対量を減らすだけでなく、その上下流バランスを大きく変化させることになり、従来考慮されている流域内バランスではこれまでの流域管理が成立しなくなることが想定される。一方で、人口の減少は戦略的に都市を縮退したり土地利用を再編する好機でもあり、戦略次第では氾濫原内の曝露量や災害リスクを相対的に削減できる可能性もある。このような理由から、上下流バランスの視点から、洪水リスクのある地域に住んでいる人口(洪水曝露人口)とその分布、および人口減少に伴うその将来変化を把握することが極めて重要である。

洪水リスクや人口分布の変容に関する研究は、様々な着眼点、対象スケールからなされている。例えば、池永ら⁵⁾は洪水を含めた災害リスク曝露人口を将来人口減少シナリオとともに全国規模で分析している。松中ら⁶⁾は、過去の災害リスク曝露人口と土地利用規制との関連性を同じく全国規模で明らかにしている。しかしいずれの研究も流域という空間単位に着目した分析は行っていない。

109水系に着目した研究として、江藤ら⁷⁾は全流域内の将来の土地利用変遷を人口予測に基づき推計した。その他、吉川ら⁸⁾はある特定の流域の洪水被害緩和策の評価を行い、大野ら⁹⁾は上下流の関係を考慮した堤防整備の優先順位決定方法を提案した。全国スケールで将来の洪水リスクとその上下流バランスの変化を推計した研究は管見の限り確認できない。

以上より、本研究では109の一級水系における洪水曝露人口とその上下流バランス(上下流域が抱える洪水曝露人口の量的な関係)の将来変化の推計を行い、その結果にもとづき流域の類型化を行うことで、上下流バランスに関する流域特性を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

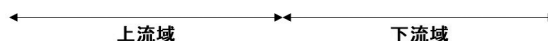
2.1 上流域・下流域の定義

上下流バランスは、河川法等の法令や基準等における明確な定義は存在せず、それぞれの河川ごとに、地形や勾配などから判断されていることが多い。本研究では、109水系流域を同一の指標で比較するために、河川のセグメント区分の地形勾配に準じ上流域・下流域の定義を設定する。

具体的には、山本¹⁰⁾が定義する河川のセグメント区分(表-1)をもとに、セグメントM・1領域とセグメント2・3領域に大別し、前者の地形勾配を上流域、後者を下流域と定義する。この定義に基づき、国土交通省国土数値情報ダウンロードサービスから入手した流域界および1kmメッシュ単位の最小勾配のデータを用いて、流域を図-1に示すような上流域・下流域へと分割する。

表-1 河川のセグメント区分¹⁰⁾

	セグメントM	セグメント1	セグメント2	セグメント3
地形区分	山間地	扇状地	谷底平野 自然堤防帯	デルタ
勾配	さまざま(1/60-)	1/60-1/400	1/400-1/5000	1/5000-水平



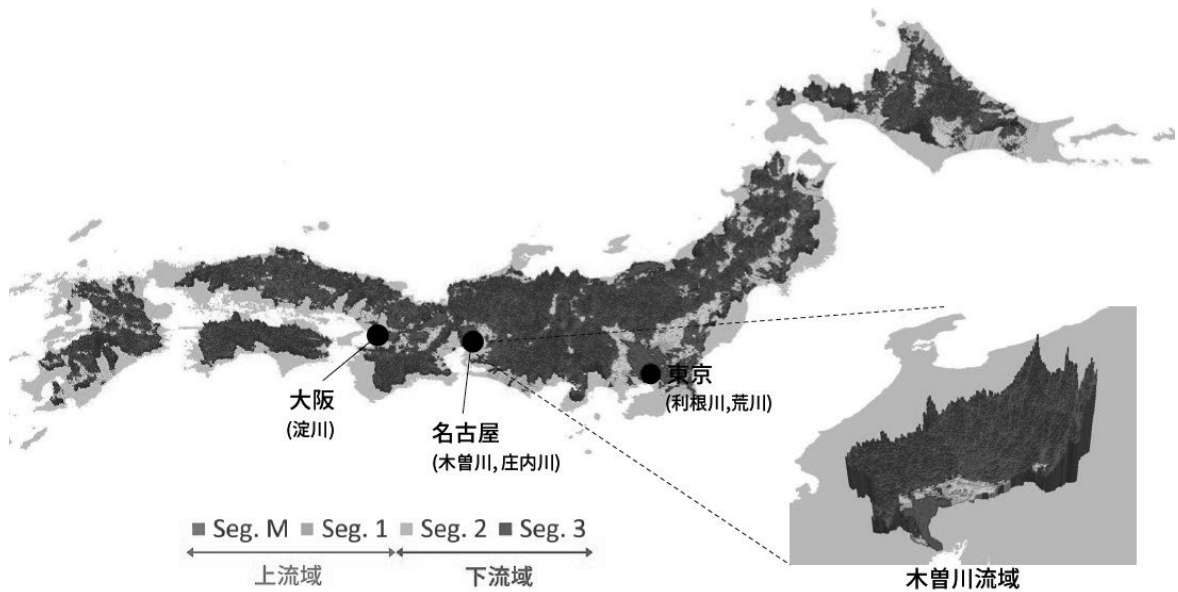


図-1 109水系流域における上流域・下流域の定義

2.2 洪水曝露人口の推計

洪水曝露人口は、国土数値情報ダウンロードサービスから得られる浸水想定区域データ¹¹⁾と1kmメッシュ別の現在・将来推計人口データ¹¹⁾を重ね合わせることで、対象域内の浸水想定区域内に住む人口として算出する。これを流域ごと、またセグメント領域ごとに図-2のように整理しグラフ形状に応じて分類することで流域の特性並びに上下流バランスを分析する。図-2は、各流域内の曝露人口の分布パターン推計の結果を示しており、流域を各セグメント領域に分けた時の、それぞれの領域面積と洪水曝露人口(2010年, 2050年)が全体に占める割合を表している。これを109水系流域それぞれにおいて算出・比較し、上下流バランスとその変化に関する分析を行う。

なお、浸水想定区域データは地域ごとの想定図610枚によって構成されており、前提とする降雨条件などがそれぞれ異なっているものの、およそ7割の地域で再現期間50年以上の降雨に基づいている⁵⁾。将来推計人口については、市町村ごとに生存率、子ども女性比、純移動率が設定されたコーホート要因法によって2010年の国勢調査に基づき2050年までのメッシュ人口が推計されている。以上のデータ分析にはESRI社ArcGISを用いた。

2.3 上下流バランスの評価

算出された洪水曝露人口と上下流域の定義に従って、上下流バランスを評価する。上下流バランスの評価には、式(1)で表される PFD_t (t 年における下流洪水曝露人口割合)、式(2)で表される $\Delta PFD_{2010-2050}$ (下流洪水曝露人口割合の変化)の二つの指標を用いる。 $\Delta PFD_{2010-2050}$ は、2010年から2050年の期間での下流へのバランスの相対的移動を示す指標である。本指標に基づき、流域内の人口バランスの変動を分類し、その特徴について考察する。

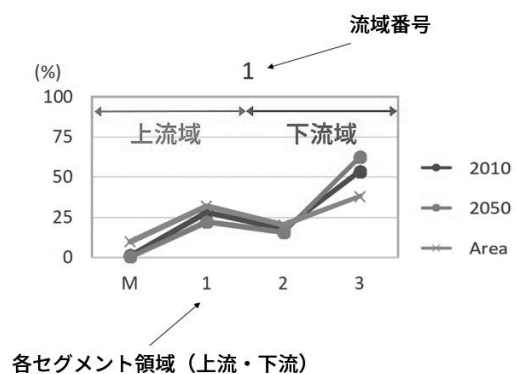


図-2 流域内の上下流バランスの例(流域番号は国土交通省が設定している109水系の判別番号¹²⁾を示す)

$$PFD_t = \frac{\text{下流の洪水曝露人口}_t}{\text{流域内の総人口}_t} \quad (1)$$

$$\Delta PFD_{2010-2050} = PFD_{2050} - PFD_{2010} \quad (2)$$

3. 結果及び考察

3.1 109水系流域内の洪水曝露人口

上下流バランスの評価に先立ち、109水系全流域内で洪水曝露人口を推計した。図-3が示すように、2010年時点では約2.7千万人(対象域内総人口の33.4%)が洪水リスクに曝されている。2050年には、人口減少トレンドに伴って洪水曝露人口は2.1千万人まで減少するが、域内総人口に対する割合としては34.7%と、2010年と比べてむしろ微増している。つまり、109水系流域内の将来の洪水リスクは浸水域内外で比較すると相対的に増大することを示している。

図-4は、流域ごとの洪水曝露人口と総人口に対する割合を示している。曝露人口の多くは東京、大阪の大都市圏周辺に集まっており、特に上位3つの流域(淀川、利根川、荒川)で全体の51%を占めている。北海道、北陸、中国・四国地域では、洪水曝露人口そのものは少ないものの、その割合は比較的高く、住民の多くが氾濫原に生活している傾向が読み取れる。

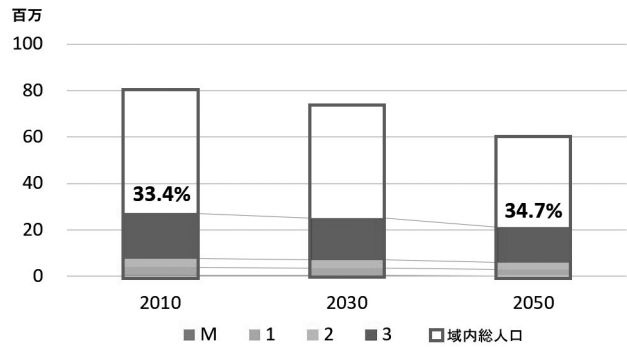


図-3 現在及び将来の109水系全体での洪水曝露人口の推計結果

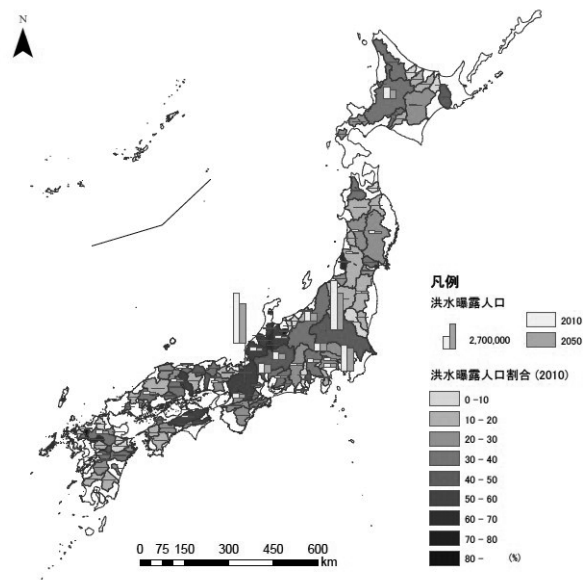


図-4 2010年時点での各流域の洪水曝露人口の分布(バーの高さは洪水曝露人口、青色の濃さは流域内総人口に対する洪水曝露人口の割合を示す)

3.2 洪水曝露人口の上下流バランスとその将来変化

前節では、洪水曝露人口を109水系流域全域及び各流域のスケールで算出したが、ここではさらに細分化した上下流域単位で推計を行う。上下流バランスの評価に先立ち、109水系全流域での洪水曝露人口を推計し、全流域に対して図-2のようなグラフに整理した。

図-5は、2010年の下流洪水曝露人口割合 PFD_{2010} を示しており、割合が大きいほど下流に人口が偏っていることを意味している。曝露人口割合は、ある程度、上下流域の面積に依存してはいるものの、各流域で10%未満から90%以上まで幅広く確認できる。例えば、東京、名古屋、大阪周辺の大都市圏では、極端に高い値が現れている。これらの地域では、下流域の低平地に都市が数多く位置し、人口が集中しているからである。一方で、北海道、北陸、中国、九州地方でみられる緑色で

示された流域は、比較的勾配が急な流域であり平野の面積が小さく、上流域での人口割合が高くなって現れている。

図-6は、2010年から2050年にかけての下流洪水曝露人口割合の変化 $\Delta PFD_{2010-2050}$ を示しており、値が大きいほど将来において上下流バランスが上流から下流へと相対的に移動することを表している。全国的傾向と同じく、人口減少が一律に進み上下流バランスに大きな変化が表れない地域(黄色で示された地域)が多いが、一部では5%ポイント程度、上流または下流へのバランスの移動がある流域(緑色または赤色で示された地域)が存在する。ここでは、都市域では変動が小さく、山間部では変動が大きいという傾向は確認できるが、変化の大きい流域の特徴や共通点といった地域特性までは読み取ることができない。そこで、次章では流域区分に応じた曝露人口の構成割合によって流域の類型化を行う。

3.3 流域の類型化と流域特性の分析

a) 上下流バランスに基づく流域の類型化

流域の類型化は、各流域における、セグメント領域ごとの曝露人口割合の構成パターン、すなわち図-2に示すグラフの形状によって行った(全流域の構成パターンは付録に示すウェブサイトに掲載する)。表-2は、類型化に用いる流域グループの定義を示している。グラフの形状によって、N字型、逆N字型、U字型、逆U字型、直線型に分類し、さらにそれぞれを上流から下流に向かって傾く上流卓越型、下流から上流に向かって傾く下流卓越型に区別することで計10個の流域グループに分類した。

図-7に類型化の結果を示す。図からは主に、大都市圏を有する流域は直線(下流)型に分類されていること、N字(下流)型は全国に散らばって分布しているが、特に九州地方に多いこと、中国・四国地方でU字型が多くみられること、全国的に急勾配の流域が上流卓越型に分類されていることが読み取れる。

b) 特徴的な流域グループに関する考察

図-8は、流域グループ別に集計した下流域の洪水曝露人口割合の変化 $PFD_{2010-2050}$ を表しており、N字(下流)型グループが最も大きなバランスの変化を下流側へ向かって示し、直線(下流)型グループ

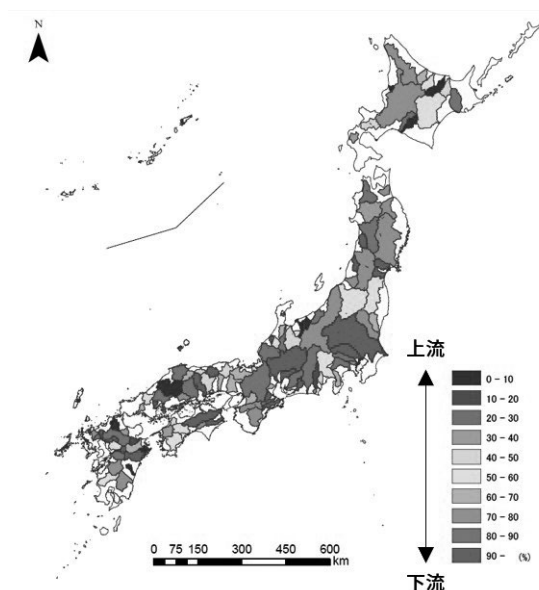


図-5 下流域の洪水曝露人口割合(2010年)

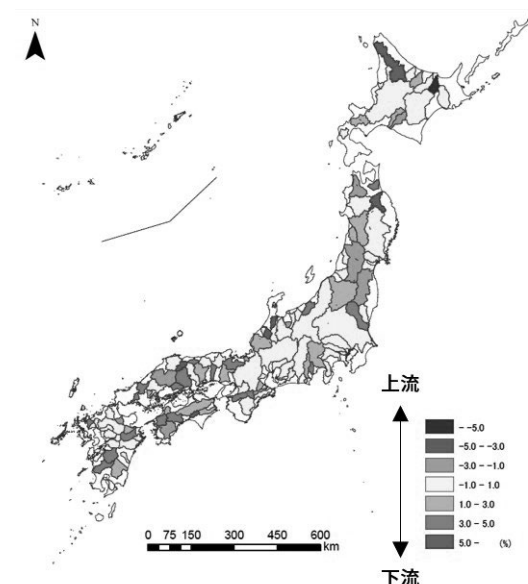


図-6 下流域の洪水曝露人口割合の変化(2010年-2050年)

表-2 流域グループの定義

	上流型	下流型
N字	N字(上流) M 1 2 3 n=15	N字(下流) M-1, 2-1-3 n=32
逆N字	逆N字(上流) M-2-1, 2-3 n=1	逆N字(下流) 2-M-1, 2-3 n=7
U字	U字(上流) M-3-1, 2 n=2	U字(下流) 3-M-1, 2 n=10
逆U字	逆U字(上流) M-1, 1-2-1 n=10	逆U字(下流) M-1-2, 2-3 n=7
直線	直線(上流) M-1-2-3 n=3	直線(下流) M-1-2-3 n=21

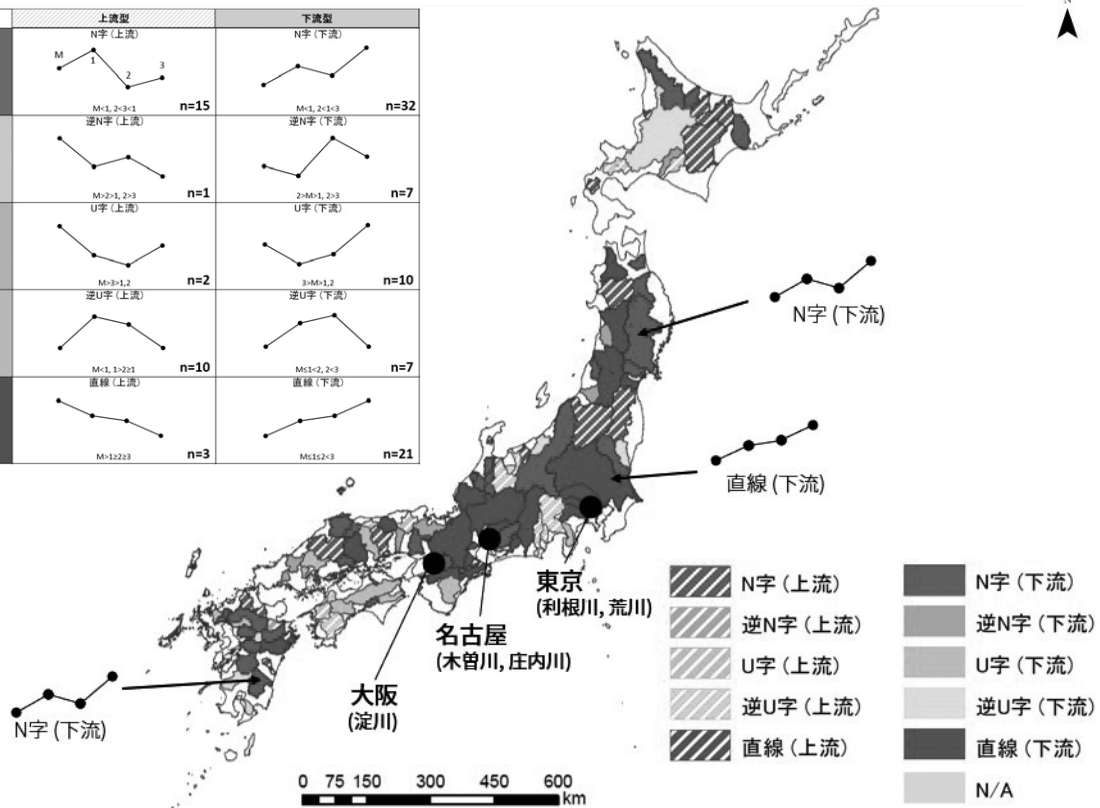


図-7 流域グループの分布

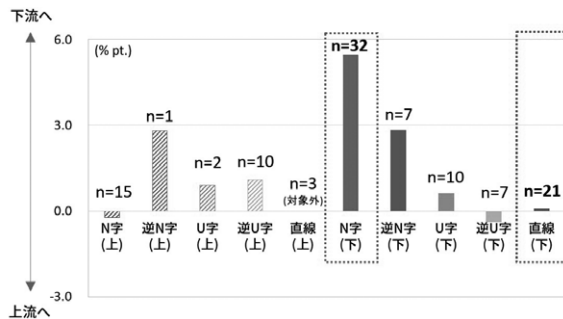


図-8 各流域グループの将来の下流洪水曝露人口の変化



図-9 木曾川流域と大淀川流域の洪水曝露人口分布 (地図, バーの高さ(曝露人口分布)の縮尺は同一ではない)

プにおいて変化が最も小さい。

これらの特徴的な流域グループに着目し、典型的な2つの流域として木曾川と大淀川を挙げる(図-9)。木曾川流域等の直線(下流)型の流域は、最下流域(セグメント3領域)に曝露人口が極端に集中しており、また上流域(セグメントM・1領域)では相対的に人口が少ないことが特徴である。最下流域の都市に集中する洪水曝露人口は比較的安定していると考えられるため、将来の上下流バランスに大きな変化は見られない。一方で、大淀川流域のようなN字(下流)型の流域では、同様に最下流域の曝露人口割合が高くなっているが、加えて上流域に位置する盆地等に都市が存在し、洪水リスクが上流域・下流域のそれぞれに分散して存在している点に特徴がある。また、上流域の都市の人口変動が全体の上下流バランスに敏感に影響することも示唆される。一方で、大淀川流域のようなN字(下流)型の流域では、同様に最下流域の曝露人口割合が高くなっているが、加えて上流

域に位置する盆地等に都市が存在し、洪水リスクが上流域・下流域のそれぞれに距離をもって存在している点に特徴がある。また、上流域の都市の人口変動が全体の上下流バランスに敏感に影響することも示唆される。

4. おわりに

本研究では、現在と将来の洪水曝露人口を流域ごとに推計し、また流域内の人口バランスから流域の類型化を行うことで上下流バランス変化の特徴について分析を行った。その結果、大都市圏周辺の流域では巨大な曝露人口が下流側に集中することでバランスの変化はほとんどみられないこと、上流域に都市を持つ流域は比較的大きな上下流バランス変化を示すことが明らかになった。特に後者については、上流域の人口変化が上下流バランスに対して敏感に影響することを示唆しており、将来の流域管理においては上流域の管理方法について注意すべきことを示唆していると考えられる。

以上より、今後の急激な人口変動に対しては、流域内の洪水リスク分布とその変化に留意するのはもちろんのこと、将来の人口バランスに応じて治水安全度を再設定することも必要であると考えられ、そのためには都市や市街地のコンパクト化など適切な土地利用管理を同時に行うことが不可欠である。特に、上流域と下流域にリスクが分散している流域では、将来上下流バランスが敏感に変化し、流域治水、流域単位での土地利用再編といった流域管理の前提条件に影響する可能性を考慮すべきと考える。

最後に本研究の課題を述べる。本研究で行ったような流域の類型化は古くから地形的・地質的分類のもと行われてきており¹³⁾、本研究が初めて行った人口バランスによる流域分類とこれまでの類型結果との関連性については今後検証が必要である。また、人口の将来予測についてはその手法や前提条件によって結果が異なることから、複数の予測値を用いた分析及び検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川砂防技術基準同解説計画編，岩波書店，p.2，2005.
- 2) 吉川勝秀：河川の管理と空間利用一川はだれのものか、どうつき合うか，鹿島出版会，2009.
- 3) 新沢嘉芽統：河川水利調整論，岩波書店，1962.
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料集(2019)，<http://www.ipss.go.jp/>，2019.
- 5) 池永知史，大原美保：全国を俯瞰した災害リスク曝露人口分布の分析—将来の人口減少を考慮した土地利用に向けて—，地域安全学会論文集，No.2，pp.45-54，2015.
- 6) 松中亮治，大庭哲治，中川大，森倉遼太：全国における土地利用及び土地利用規制と災害リスクとの関連性に関する経年分析，都市計画論文集，Vol.53，No.1，pp.19-26，2018.
- 7) 江藤菜々子，大西暁生：日本109水系における将来土地利用変化の推計，水文・水資源学会誌，Vol.31，No.5，pp.364-379，2018.
- 8) 吉川勝秀，本永良樹：低平地緩流河川流域の治水に関する事後評価的考察，水文・水資源学会誌，Vol.19，No.4，pp.267-279，2006.
- 9) 大野 峻，杉浦 聡志，高木 朗義：破堤確率と上下流の関係を考慮したリスク評価に基づく流

域治水計画策定方法, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.72, No.5, pp.149-158, 2016.

- 10) 山本晃一：沖積河川—構造と動態, 技報堂出版, 2010.
- 11) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 12) 国土交通省：各種統計データ 一級河川水系別延長等,
http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/toukei/birn88p.html
- 13) 小出博：日本の河川—自然史と社会史, 東京大学出版会, 1970.
- 14) 中川晃太：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, 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻, 2019.