

河道狭窄部上流域における洪水と土地利用 —天竜川上流・伊那峡を対象として—

吉村伸一*・星川和俊**

*信州大学大学院農学研究科森林科学専攻

**信州大学農学部森林科学科

要 約 近年、集中豪雨の頻発や流域環境の変貌により、洪水被害拡大の可能性が高まっている。こうした状況において、河川のみ限定した洪水対策では不完全であり、河川周辺の地形や土地利用を含めた流域対応による治水対策の検討が迫られている。本研究では、天竜川伊那峡上流域を対象として、1次元不等流モデルによる洪水解析と、明治、昭和、平成期の河川近傍の地形や土地利用の変遷を明らかにすることによって、洪水の特徴と防災に対する土地利用上の工夫や問題点を検討した。その結果、天竜川本流の洪水は、伊那峡によるせき上げに特徴づけられ、その背水は支流に著しい影響を与える可能性が大きく、伊那峡直上部では洪水のコントロールが難しいことが判明した。土地利用については、従来から高みに宅地を構え、洪水コントロールが難しい低地で水田耕作を行うなど、洪水被害を減ずる工夫がなされてきた。しかし、時の経過と共に、宅地が河川周辺の低地に侵入する傾向もあり、想定を超える災害に対して脆弱性が高まっている地区も出現している。以上、平成18年洪水を想定した洪水解析とGISによる土地利用解析から、その浸水域は狭窄部直上流部の水田域に限定され、被害の軽減が図られたことを実証した。

キーワード：河道狭窄部、洪水解析、土地利用、防災

1. はじめに

わが国の河川において、近代的な大規模治水技術が適用されるまで、河川周辺の低平地では洪水対策への苦勞の連続であった。往時の治水技術は脆弱で、堤防が流されることも頻発した。そこで、住民達は洪水の特徴や河川周辺の地形に対応した工夫を土地利用と住居へ施すと共に、伝統的な治水技術を駆使して、水害を避け、できるだけ被害を減じようとした。今なお、このような伝統的な治水技術を利用した河川も残っている。

近年では大規模な河川土木技術が発展し、堅固な堤防やダムにより洪水をかなりコントロールできるようになった。この結果、平地の少ないわが国において、利用可能な平坦地を増やし、同時に水資源確保の安定化にも繋がった。それに伴い、河川周辺低平地では、宅地や工業用地などの高度な土地利用が進むようになった。

ところが、最近では局地的な集中豪雨の頻発、急速な流域変貌による流出量の増大などによって、想

定を超える洪水氾濫の発生が危惧される状況にある。さらに、河川周辺への資産集積は洪水被害を一層拡大すると共に、河川改修をも難しくしている。

以上のように、最近の洪水対策に当って、河川だけを対象とした対応では不完全であり、河川周辺の地形や土地利用などの特性をも含めた流域対応による治水対策の検討が迫られている。ここでは、昔から氾濫を繰り返してきた天竜川上流域を対象として、洪水特性と河道狭窄部上流域で行われてきた河川周辺での土地利用の特徴と課題について検討する。

2. 研究対象

天竜川上流域は、諏訪湖の釜口水門から流下する天竜川を中心として、河岸段丘や田切地形が発達する¹⁾。本流の河床勾配は約1/200と急な上に、複数の狭窄と蛇行を繰り返しながら流下することによって、多くの水害をもたらしてきた²⁾。

本来、本研究の目的を達成するためには、天竜川上流域全体を対象とするのが望ましい。しかし、洪水解析や河川周辺の土地利用の検討に当たって、検証データの有無や現地踏査範囲の制約等から、本研究では伊那峡上流部の地域に限定した。ここは天竜

受理日 2011年12月9日

採択日 2012年1月26日

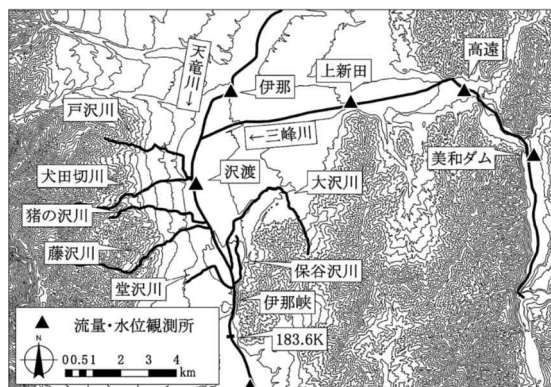


図1 研究対象

川上流域で氾濫を繰り返してきた狭窄部を代表する一つで、地形的な改変も比較的少なく、しかも後述する平成18年豪雨の際に水害が発生したところである。したがって、研究対象が限定されてはいるが、この地域は本研究目的にふさわしく、その検討からも多くの普遍的な結論を見出すことができると考えた。

具体的な研究対象としては、図1の伊那峡下流端（図内の183.6K）から、北に上流約4 km 付近の沢渡観測所（図内の▲）までの本流区間と、この区間内で東西から流入する支川流域を含めた。東からは伊那山地の丘陵地が、西からは木曽山脈の東斜面が迫り、左岸支流である大沢川と保谷沢川が、また右岸支流である猪の沢川、藤沢川および堂沢川が流入し、本流周辺に低位な平坦地を形成する。さらに、研究対象域より少し上流側左岸へ流入する三峰川からの流出の影響も加わり、本対象域では流路が不安定となり、狭窄部で流出土砂が滞留しやすく、洪水が頻発してきた。

3. 研究方法・利用データ

本研究では、図2に示すように、①研究対象流域での洪水の特徴と浸水域推定についての解析、②河川周辺域における明治期から現在に至る土地利用の変遷とその地形的特徴から、治水技術の対応について検討を行った。前者の解析は、主として米国陸軍工兵隊が公開している水理解析ソフト HEC-RAS 4.1³⁾、後者は ESRI 社の地理情報システム ArcGIS9.3.1⁴⁾を用いた。HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) は、河道の水理解析を行うソフトで、流域の地理情報などを扱う GIS との連携が可能である。すなわち、GIS コンポーネントである HEC-GeoRAS⁵⁾を用いることで、ArcGIS と連携し GIS データから直接水

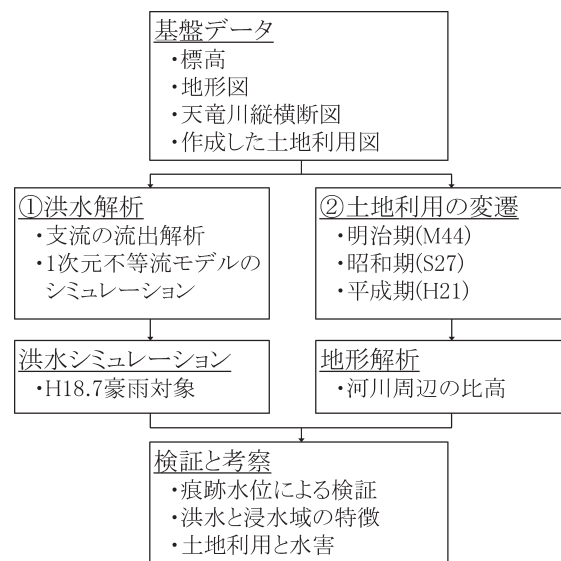


図2 研究の流れ

理モデルを作成し、氾濫域の可視化を行うことができる。各々の解析方法と利用データについて、以下に詳述する。

3.1. 洪水解析と浸水域推定のためのモデル

洪水解析には、本流と支流からなる1次元不等流モデルを用いた。水理計算の対象範囲は、本流下流側を伊那峡狭窄部下流端から約800m下流の距離標183.6Kを起点とし、上流端を天竜川沢渡水位観測所とした。また、この区間内で合流する5つの支流についても、各々の合流部を起点として、洪水の影響が予想される上流側までの河道範囲を設定した。作成した本流と支流からなる水理モデルを示すと、図3のとおりである。なお、本流の距離標とは国土交通省天竜川上流河川事務所（以下、天竜川河川事務所と略す。）により定められた、河口からの距離を表す河川縦横断測量の測点であり、Kはkmを表す。

本流での水理計算のための河道断面は、平成18年

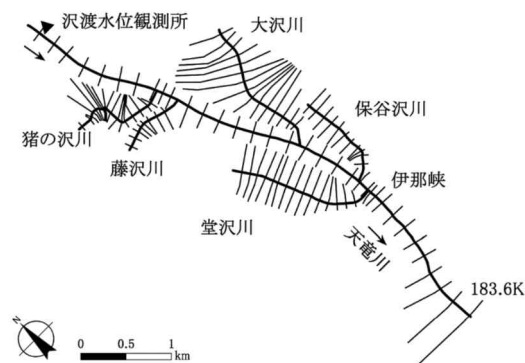


図3 水理モデル

河川横断測量結果（天竜川河川事務所作成）にもとづき200m間隔毎に設定した。この断面を、図3の本流河道上の横棒「一」で示す。また、支流の河道は光波測距器による現地測量結果を使って、ほぼ100m間隔で、河道の急変箇所ではより狭い間隔で、河道断面を設定した。この断面についても、本流と同様に横棒「一」で示した。これらの断面ごとに、運動方程式とマニング式を連立した不等流計算を行い、本流・支流を1次元定常流として、各断面の水位を推定した。

浸水域の推定は、堤内外地の任意地点における標高を5 mメッシュ DEM 値（天竜川河川事務所作成、以下5 mメッシュ DEM と略す。）より求め、不等流計算で得た水位（標高）との比較から判断した。つまり、堤防を越えた場合の河川水位が、堤内地の標高を上回る地点を浸水域として推定した。

3.2 洪水解析のための条件

不等流計算に用いた諸条件を表1にまとめる。ここで想定した洪水は、最近発生した洪水の中で最大規模の平成18年7月豪雨（以下H18.7豪雨と略す。）である。

本流の上流端条件として、沢渡水位観測所で観測された洪水位からマニング則により逆算した推定ピーク流量、 $1,703.6\text{m}^3/\text{s}$ を用いた。なお、この推定値は表2に示すように、対象域の上流に位置する伊那観測所流量と、直上流側の左岸に合流する三峰川（美和ダム放流量）の合計値 $1,409.61\text{m}^3/\text{s}$ に比べて、少し大きな洪水量である。しかし、沢渡観測所に至るまでに合流する他のいくつかの支流流入量を

表1 洪水解析において設定した条件

項 目	設 定 条 件
対象イベント	H18.7 豪雨
上流端条件	本流：沢渡観測所の推定ピーク流量 支流：合理式より得た推定ピーク流量
下流端条件	本流：等流水深 支流：合流部水位
粗度係数	<div> 本流：0.02～0.039 水田：0.035 </div> <div> 支流：0.025 森林：0.060 </div> <div> 市街地：0.060 畑・裸地：0.030 </div>

表2 上流端境界条件と上流観測流量

水位・流量観測所	ピーク流量 (m³/s)	備 考
沢渡水位観測所	1,703.6	洪水位からの 推定値
伊那観測所 (天竜川)	1,136.09	上流側合計値 1,409.61 (m³/s)
美和ダム放流量 (三峰川)	273.52	

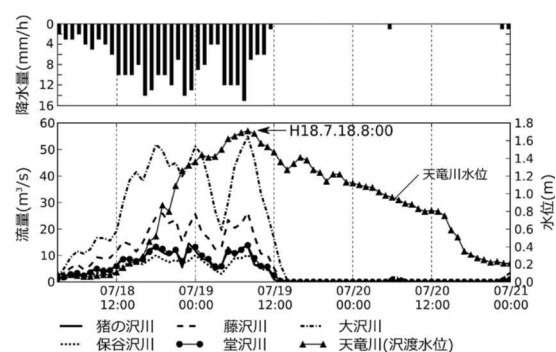


図4 H18.7豪雨時の降雨量(AMeDAS)と天竜川観測水位(沢渡水位観測所),ならびに支流からの推定ハイドログラフ

考慮すると、おおむね妥当な推定値であると考えられる。

支流の上流端条件としては、各支流の流域を定め、合理式法によりピーク流出量を算出した。図4にH18.7豪雨時のAMeDAS伊那観測局の降雨量と沢渡観測所の水位、ならびに各支流で推定したハイドログラフを参考のために示す。

河道の粗度係数は、本流河道では H18.7 豪雨時の洪水流量と痕跡水位の比較から試行錯誤で定め、支流河道と堤内地では河川砂防技術基準同解説計画編⁶⁾と HEC-RAS Hydraulic Reference Manual⁷⁾を参考にして定めた。

3.3. 土地利用の変遷と治水技術

明治期から現在に至る流域の土地利用の変遷は、国土地理院発行の明治44年と昭和27年の1/50,000地形図、平成13年修正の1/25,000地形図から各時期の土地利用図を作成、検討した。なお、平成13年の土地利用図をもとに、現地踏査による修正を行い、これを平成21年の土地利用図とした。土地利用の地目は、宅地、水田、桑畑、工業用地、荒地である。

以上の各年代の土地利用図と 5 m メッシュ DEM, ならびに地域史料を収集し, 河道狭窄部での洪水や堤防の特徴と, 河川周辺域の土地利用の変遷について検討を行った。

3.4. 河川周辺域における地形解析

宅地や水田などの土地利用について、河川からの標高差を推定するために、堤内地とその近傍の河床高との差を比高として算出した。まず、比高の推定範囲として河道中心線と直交する100m間隔の断面で区切られた帯状区域を設定した。なお、これについては後述の図14を参照されたい。次に、分割された帯状区域ごとに、5 mメッシュDEMから標高値

を求めた。これらの標高値から、带状区域内にある各年代の土地利用ごとの比高（以下、ここで定義した河床高との標高差を、単に“比高”と略す。）を求めると共に、各年代の土地利用情報を付加した。

4. 結果と検証

4.1. 洪水解析結果

3.2で述べた条件を利用して、研究対象地域の洪水解析を行った。本流での結果を示すと図5の通りとなる。

この解析結果からは、伊那峡上流部において狭窄部からの背水の影響による水位上昇が明らかに読み取れる。水面勾配がほぼ水平になる区間を背水による水位上昇区間とすると、狭窄部上流端からおおよそ1 km 上流まで、水位上昇が及ぶ。また、流速も同区間で2.0m/s程度まで低下している。以上から、伊那峡狭窄部が天竜川の洪水流下を妨げる要因とな

っていることは明らかである。また、狭窄部上流端では本流水位が堤防高を超えていると想定され、洪水のピーク時には一時的な溢流を生じたと考えられる。

対象区間内で天竜川に流入する5つの支流、猪の沢川、藤沢川、堂沢川、ならびに大沢川、保谷沢川について、各々の洪水解析より得られた水位とFroude数などの結果を図6～10に示す。右岸側から流入する猪の沢川と藤沢川は、河床勾配の大きな木曽山脈を射流で流下後、対象地域上流側の平坦地に入る。その後も、地形や流路の影響を受け藤沢川は射流の状態で、猪の沢川は本流付近で常流に変化し、安全に天竜川本流と合流する。これらの上流側の合流点では、伊那峡からの背水の影響も少なく、本・支流の河川水位も堤防面よりも低い。

他の支流の場合、3支流ともに伊那峡上流部の勾配の小さな低平地を常流で流下する区間が長い。しかも、これらの支流は狭窄部上流端の直上流部で天

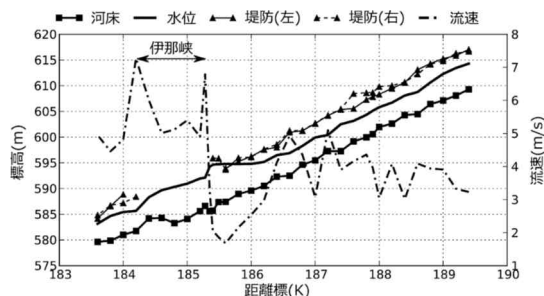


図5 天竜川本流の推定結果（水位と流速）

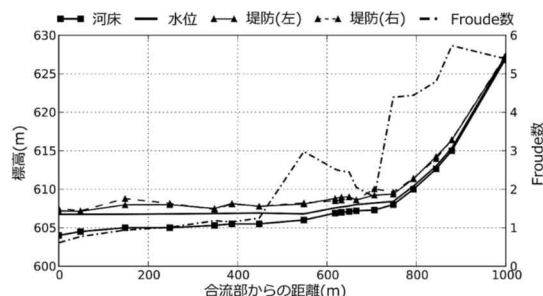


図6 猪の沢川の推定結果（水位とFroude数）

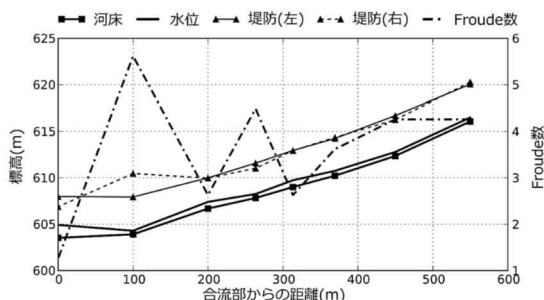


図7 藤沢川の推定結果（水位とFroude数）

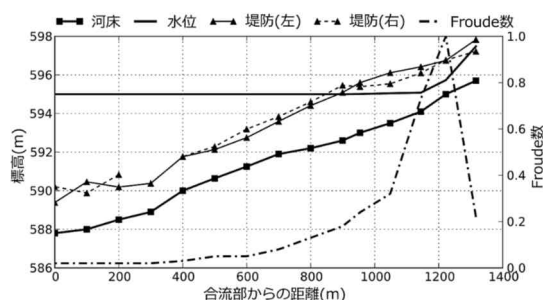


図8 堂沢川の推定結果（水位とFroude数）

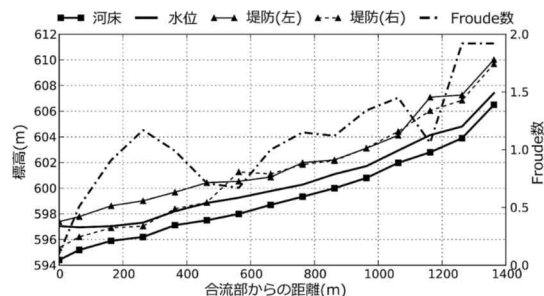


図9 大沢川の推定結果（水位とFroude数）

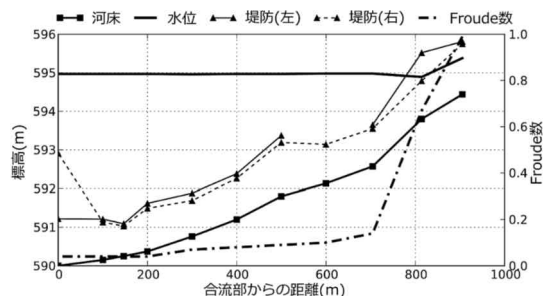


図10 保谷沢川の推定結果（水位とFroude数）

竜川本流と合流している。この区間の本流は、すでに説明したように狭窄によるセキ上げ背水の影響を受け、支流からの流下は妨げられ、氾濫を惹き起す。堂沢川、大沢川、保谷沢川ならびに本流の最下流では、上流側に約300m～1,000m近くまでの区間、水面勾配がほとんどなく、本流の水位上昇の影響を受け、内水氾濫が生じた結果となっている。

次に、図11に洪水解析と5mメッシュDEMから推定した浸水範囲を示す。前述のように氾濫した支流は、大沢川、保谷沢川、および堂沢川であり、狭窄部直上流部付近を中心とした低平地が広く浸水する結果となった。また、大沢川右岸では堤防が未整備であるために、浸水域の拡大につながったと考えられる。

4.2. 洪水解析結果の検証

天竜川河川事務所から提供を受けたH18.7豪雨時の天竜川本流痕跡水位を用いて、洪水解析結果の精度検証を行った。図12に、推定水位から痕跡水位を差し引いた誤差を示す。対象区間での誤差平均は、0.35mとなり、推定水位はおおむね洪水氾濫をよく表していると考えられる。しかし、本洪水解析では1次元不等流計算の境界条件を定常としていることにより、伊那峡直上部での誤差が大きくなる傾向がみられた。

4.3. 土地利用の変遷

明治期(M44)、昭和期(S27)、平成期(H21)における河川周辺部の土地利用を再現した結果は、図13、14、15のとおりであり、各期の特徴と変遷を以下にまとめる。なお、各図に示した流域内部の等高線は平成21年現在の値を用いた。

明治期まで、天竜川本流は滞筋を中心に広い河道を有し、低平な湿地は放置され、荒地が広がる。左岸支流の大沢川は、現在と異なり本流に並行に低平地を流れ下った後、天竜川本流と合流する。猪の沢川と保谷沢川は、地形図には示されていない。現在、

猪の沢川の流路となっているところは、明治期の地形図においても谷状の地形が読み取れるが、当時は流量が少なく滞筋が記載されていなかったと推察される。一方、保谷沢川は天竜川の分流の一部とされ、本流と区別されていない。

明治期の土地利用をみると、天竜川を囲む堤防は、不連続であり、その後背地には水田が広がる。低平地の多くを占める土地利用は水田であり、宅地は比較的河川から離れたところに位置する。沢渡観測所の対岸では、宅地が河川に近接しているが、この地区は支流犬田切川の扇状地上で標高が高い。

昭和期になると、本流に沿って築堤が進み、現在のような連続堤防の様相を呈し始める。その結果、明治期に荒地として放置されていた低地で水田開発が進んでいる。また、堤防が狭窄部直上流部まで整備されたことにより、保谷沢川が明確な水路となり地形図上に記載されている。

平成期以降、堤防の整備はほぼ完了し、明治期や昭和期に比べ河道幅が狭まり、河川周辺低平地の開発が一層進行する。特に、藤沢川より北側の堤内では、水田のほとんどが宅地と工業用地に転用されている。また、付け替えられた三州街道は、国道153号となり、右岸低平地の南側の盛土上を通過している。この国道の西側を中心に、水田が宅地と工業用地に転用されている。また、宅地への転用は、保谷沢川や大沢川の下流付近でも多い。

4.4. 河川周辺域の比高と土地利用

3.4で述べた方法を用いて推定した河川周辺域の比高を図16に示す。図中の中殿島地区から下殿島地区にかけての一带、犬田切川と藤沢川南部の周辺一帯は黒く示され、河床からの比高が大きい。特に、中殿島地区から下殿島地区にかけての一带は、河川と段丘崖との間に、比高が不連続に変化するところがあり、標高差数mの段丘が存在する。

比高の推定結果と4.3で説明した各時期の土地利用図を比較すると、比高の大きな一帯には多くの宅地が存在する傾向は明らかである。そこで、比高の推定結果(図16)と、明治期、昭和期、平成期の各土地利用図(図13～15)とを重ね合わせることで、各時期の宅地と水田の比高の最小値と平均値を求めた。その結果をまとめると表3のとおりとなる。宅地の場合、明治期の比高の最小値は0.47mであったが、昭和期では-1.14m、平成期では-1.31mと、河床よりも低い位置の宅地が出現している。また、宅地域の平均値は、明治期、昭和期、平成期

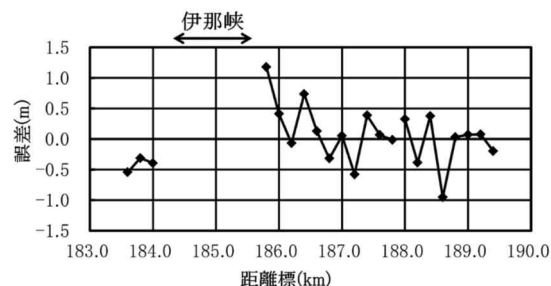


図12 推定水位と痕跡水位の比較

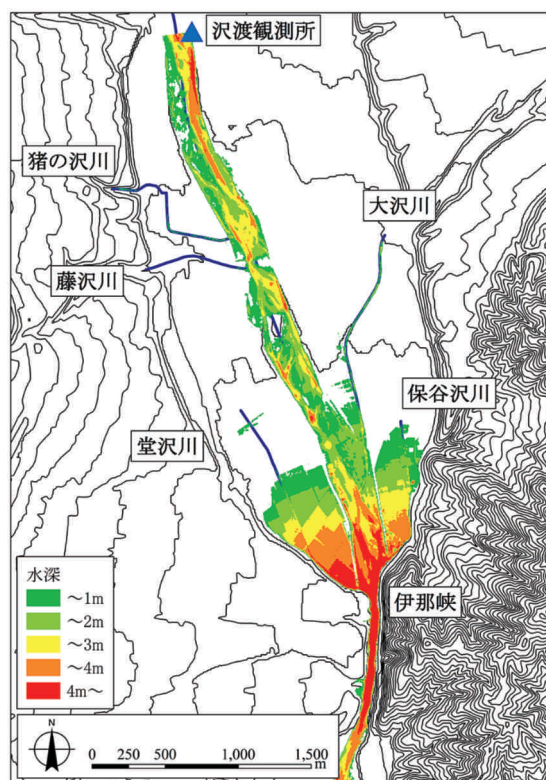


図11 推定した浸水範囲

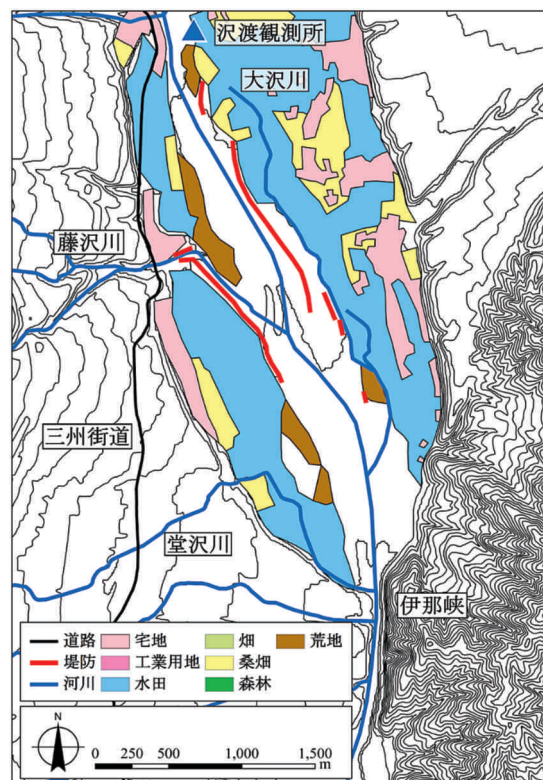


図13 土地利用 (明治期)

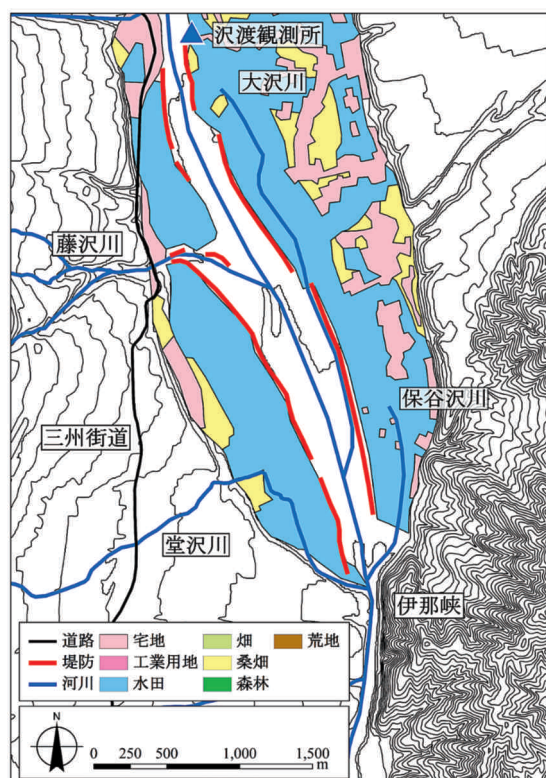


図14 土地利用 (昭和期)

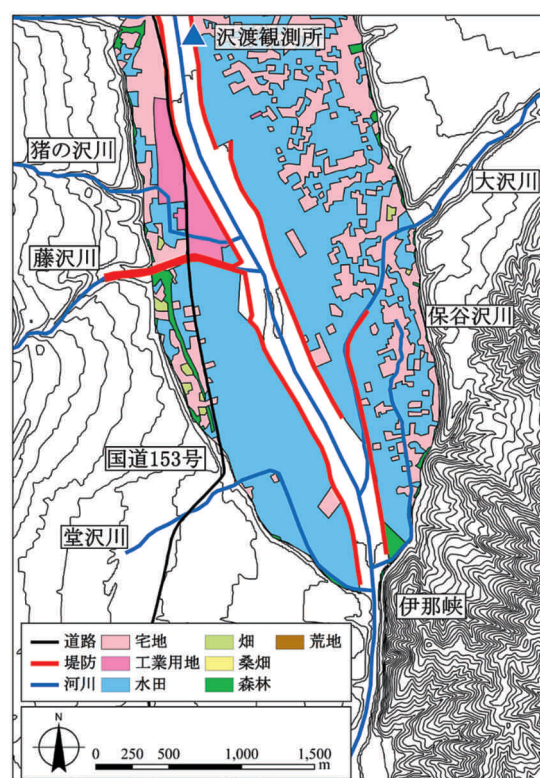


図15 土地利用 (平成期)

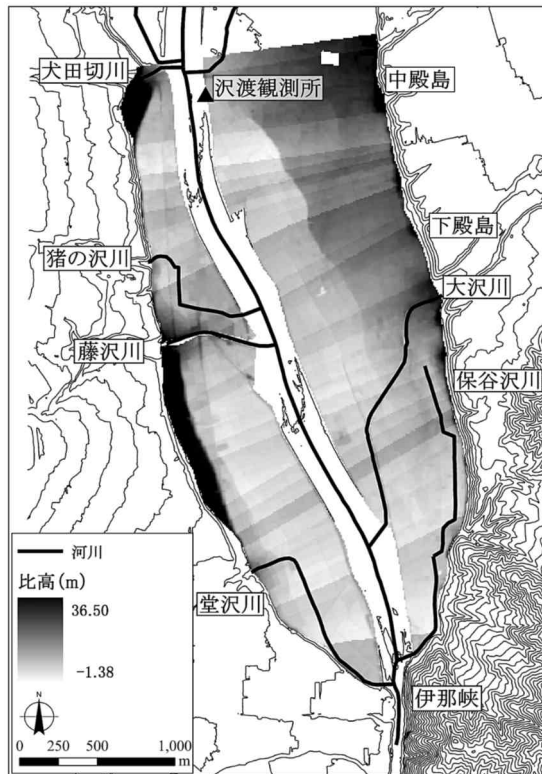


図16 河川周辺域の比高

表3 明治、昭和および平成期の宅地と水田が位置する比高（単位：m）

		明治期	昭和期	平成期
宅地	最小値	0.47	-1.14	-1.31
	平均値	8.86	7.60	6.28
水田	最小値	-1.40	-2.91	-1.40
	平均値	3.36	2.93	3.30

と年代を経るごとに減少する傾向を示し、明治期から平成期までに、2.58mもの低下が見られた。

水田域での比高の場合、最小値と平均値は昭和期に小さい。これは昭和期になって堤防整備が進んだ結果、沢渡観測所付近の低標高の荒廃窪地内に、水田が作られた影響である。しかし、平成期になって、この水田も消失しており、明治期から平成期まで、この水田位置にはほとんど経年差がない。この結果、宅地は平均的に見れば、水田よりも約3～5m高いところに位置するが、近年になるにつれ、宅地と水田の標高差が少なくなっている。

5. 考 察

ここでは、本研究で得た洪水解析と土地利用解析の結果を総合的に検討するために、最初に各々の結果の要点をまとめる。H18.7豪雨を想定した洪水



写真1 H18.7月豪雨直後の伊那峡狭窄部の状況（平成18年7月20日朝、天竜川上流河川事務所撮影）

解析からは、①伊那峡狭窄部が洪水流下を妨げ、狭窄部上流端を起点とするセキ上げが起り、その背水が約1km上流まで及び、②この背水による水位上昇の結果、狭窄部直上流で合流する3支流が氾濫し、③狭窄部直上流を中心とした低平地で内水浸水が広がることが予想された。また、土地利用解析からは、①荒地や河原として放置されてきた伊那峡直上流部の低平地は、堤防整備後も水田中心の土地利用となり、②さらに高みでの宅地拡大が続くなど、今なお水害軽減の工夫が残るものの、③近年の堤防整備に伴って河川周辺や低平地への宅地進出が増加する傾向にあることが示された。

以上の結果を総合すると、H18.7豪雨を想定した場合、伊那峡狭窄部上流端で浸水発生が予想されたものの、この浸水域での現状の土地利用は水田主体であり、さらにほとんどの宅地は周辺の高みにあり、大きな水害になる可能性は少ないということが推察された。

ところで、実際のH18.7豪雨のときの伊那峡上流部の状況を示したのが、写真1である。この写真は、洪水発生後1日を経過した時点のものであり、浸水域の検証等が必要ではあるが、浸水状況は本解析結果とよく一致する。さらに、浸水域のほとんどが水田であり、兩岸の高台には集落があるものの、大きな被害を被っていないという様子が読み取れる。これらの事実は、洪水解析と土地利用解析から得た結果に合致する。よって、本研究で得られた推定結果は、H18.7豪雨の際に伊那峡上流部で実際に発生した浸水状況や土地利用の防災機能を十分に表しており、土地利用を含めた洪水解析の適用効果が大きいことを示している。この結果、想定したH18.7豪雨による洪水の場合、現状の河川堤防だけでは

洪水対応が不十分ではあったが、伊那峡地域の人々に残る伝統的な土地利用上の知恵が活かされ、大きな水害には至らなかった。

しかし、今後 H18.7 豪雨を超えるような洪水を想定することも必要である。この場合、本研究で説明した方法を利用することによって、洪水量増加、浸水範囲の拡大などの推定も容易となる。また、様々な洪水解析結果と現在の土地利用解析結果を重ね合わせることによって、河川周辺や低平地へ拡大しつつある宅地被害の拡大可能性、あるいは水害軽減や回避方法の検討も可能となる。

以上のように、本研究で述べてきた簡便な1次元不等流による洪水解析とGISによる土地利用解析を統合することによって、洪水や浸水域などの災害現象の予測に加えて、土地利用や地形特性からみた被害の推定ができる。同時に、この結果は、水害の軽減・回避をするための対応方法を示しており、流域対応による防災に向けた有効な情報を提供してくれる。

今後、多様な研究対象への適用・拡大、洪水解析や土地利用解析で用いる基礎データの整備、解析精度の向上などの様々な検討課題を残すが、なによりも不確実な水害をできる限り正確に予測し、流域対応を含めた人々に分かりやすい防災策の検討が重要である。

6. ま と め

本研究では、天竜川伊那峡上流部を対象として、H18.7 豪雨を想定した洪水解析とGISを用いた土地利用解析によって、洪水と流域での土地利用の対応について検討を行った。H18.7豪雨の事例的な検

討からは、天竜川特有な狭窄部や低平地の地形変化が洪水氾濫と密接に関連していること、河川周辺の伝統的な土地利用が洪水被害を軽減していることが示された。同時に、近代的な堤防整備の進展につれ、低標高な河川周辺域への宅地進出の傾向があることが認められた。今後も河川周辺の土地利用を含めた防災対策の検討が、一層重要と考える。

最後ではあるが、本研究の遂行に当たって、国土交通省天竜川上流河川事務所から、貴重な多くの基礎資料の提供を頂いた。記して、感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 天竜川サイエンス編集委員会, 2006, 天竜川サイエンス, 信濃毎日新聞社, 129p.
- 2) 笹本正治, 1994, 天竜川の災害年表, 語りつぐ天竜川35巻, 建設省天竜川上流工事事務所, 63p.
- 3) River Analysis System (HEC-RAS), 2010, User's Manual, Version 4.1, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), 790p.
- 4) ArcGIS 9. 3. 1, 2009, ArcGIS Desktop User's Guide, Environmental Systems Research Institute Inc. (Esri 社)
- 5) HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS® User's Manual, 2011, Version 4. 3, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), 246p.
- 6) 国土交通省, 2008, 国土交通省河川砂防基準 同解説 計画編, 230p.
- 7) HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, 2010, Version 4. 1, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), 417p.

Flood and Land Use at the Upstream Area of Narrow Pass — Case Study of Inakyo Narrow Pass, the Tenryu River —

Shinichi YOSHIMURA*, Kazutoshi HOSHIKAWA*

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University*

Summary

A large quantity outflows by the frequent heavy rain and the change of basin environment raise possibility to expand the flood damage. Therefore, the flood control measures limited to only river channel are not necessarily effective, so that it is asked for that we should examine the comprehensive flood control measures including topography and land use. We carried out flood flow simulation using one-dimensional steady flow model and estimated land use correlated with flood and topography in Meiji, Showa and Heisei periods in upstream area of Inakyo narrow pass, the Tenryu River. Consequently, the water level of the Tenryu River was raised by Iakyo narrow pass, and the backwater affected the tributary. It is difficult to control the flood flow at the near upstream area of Inakyo narrow pass. The inhabitants had built their houses at the higher parts and had cultivated paddy field at the lowland in order to avoid flood damage in the early period. Although such land use wisdom has been brought down, the relative height of building estate tend to expand to lowland.

Key word : Flood analysis, Land use, Narrow pass, Disaster measures