

氾濫シミュレーションにおける 降雨解像度の影響に関する基礎的検討

Effects of spatial resolution of rainfall data on inundation simulation.

木村 一郎¹
Ichiro KIMURA

¹ 北海道大学大学院 工学研究院 准教授

要 旨

気象観測技術が向上する一方、水理解析分野における氾濫シミュレーションでは旧態依然とした数値解析モデルが使われ続けており、高解像度気象データの恩恵を生かし切れていない。例えば、河川シミュレーション国際プラットフォームとして注目されつつあるiRICでは、洪水氾濫専用シミュレータとして、Nays2D Floodが用意されているが、その現行バージョンにおける降雨読み込み機能は、計算領域全体に一律のハイトグラフを与えるか、あるいは時間的に変化しない一定の降雨を領域全体に与える機能のみを有するものであり、レーダ降雨のような時空間変化する降雨データを読み込む機能は搭載されていない。そこで、本研究では、まず既存のiRICソルバーNays2D Floodに、メッシュ降雨読み取り機能を付加したモデルであるNays2Dflood Xを構築し、その有用性を確認するとともに、降雨データの高解像度化が氾濫シミュレーション結果に及ぼす影響を、2つの特性の異なる洪水氾濫現象を対象に検証した。

この結果、降雨データの解像度の影響は水深よりも流速の計算結果により顕著に現れること、またその影響は平地よりも急こう配斜面の結果においてより明瞭となることなどが示された。

《キーワード：XレインMPデータ；iRIC；洪水氾濫シミュレーション；Nays2D Flood》

1. はじめに

近年、気象変化に起因する降雨強度の増加、局所的集中豪雨による浸水被害が問題となっている。この問題に対応すべく、国土交通省では都市型豪雨対策としてXバンドMPレーダを導入し、リアルタイムでの降雨状況観測と情報発信を行っている。平成24年7月よりXRAIN (X-band polarimetric (multi parameter) Radar Information Network) の愛称で現在日本全国39か所に導入されているXバンドMPレーダは既存のCバンドレーダと比べて観測範囲は狭いものの、時間、空間解像度が格段に高く、小規模流域における局所的大雨(ゲリラ豪雨)の観測に優れていると考えられる。

また気象情報の配信システムについても近年大きな変化が訪れ、特に2016年度より運用体制が確立される地球環境情報統融合プログラムDIAS (Data Integration and Analysis System) では、地球規模での様々な分野の観測データを蓄積、公開しており各研究機関は無料でこれを使用することができるようになった。降雨データに関しても、過去およびリアルタイムのXバンドレーダ、Cバンドレーダの降雨データが入手可能となった。これらにより、降雨に関連する災害について、そのメカニズム解明、予測技術の確立、減災対策の立案等が加速していくことものと予想されるが、それには降雨をインプットとする災害モデルの高度化も同時に推し進めることが不可欠である。

このように、気象観測技術が向上する一方、水理解析分野における氾濫シミュレーションでは旧態依然とした数値解析モデルが依然として使われ続けている。このため、高解像度気象データの恩恵を生かし切れていないのが現状である。例えば、河川シミュレーションの国際プラットフォームとして注目されつつあるiRIC (International River Interface Cooperative) では、洪水氾濫専用シミュレータとしてNays2D Floodが実装されているが、その現行バージョンにおける降雨読み込み機能は、計算領域全体に一律のハイエトグラフを与えるか、あるいは時間的に変化しない一定の降雨を領域全体に与える機能のみを有するものであり、レーダ降雨のような時空間変化する降雨データを読み込む機能は搭載されていない。そこで、本研究では、まず既存のiRICソルバーNays2D Floodに、メッシュ降雨読み取り機能を付加したモデルであるNays2Dflood Xを構築し、その有用性を確認するとともに、降雨データの高解像度化が氾濫シミュレーション結果に及ぼす影響を、2つの特性の異なる洪水氾濫現象を対象に検証した。対象とする洪水としては、平地市街地における内水氾濫事例として2015年の静岡県浜松市の災害を、山地部における事例として2014年の北海道漁川流域の洪水災害の2件を取り上げ、それぞれのケースでの洪水氾濫特性(水深と流速の時空間的変化特性)に及ぼす降雨解像度の影響を検討していく。

2. 洪水氾濫数値シミュレーションモデルの検討

(1) 概要

河川解析共通プラットフォームiRICにおけるソルバーとして、氾濫シミュレーションに特化したNays2D Floodを取り上げ、これにXRAIN降雨データ入力を反映させた内水氾濫シミュレーションモデルを開発した。新たなソルバーの名称はNays2DfloodXとした。Nays2D Flood XについてXバンドレーダ読み込み機能に絞って説明する。

(2) XバンドMPデータのデータフォーマット

氾濫シミュレーションを行うにあたって、雨量データとして国土交通省が配信しているXバンドMPレーダ雨量データの抽出、変換するツールを作成した。変換方法について、Xバンドレーダ雨量データフォーマットを交えながら説明する。Xバンドデータのデータフォーマットの構造については一般財団法人河川情報センター「河川情報データ配信サービス 通信仕様書 Xバンドフォーマット仕様書」を参照した。

Xバンドレーダ雨量データは1分ごとに250m×250mメッシュデータが一定の規則で配置されており主

にバイナリ書式で書かれている。データ構造の概要を図-1に示す。

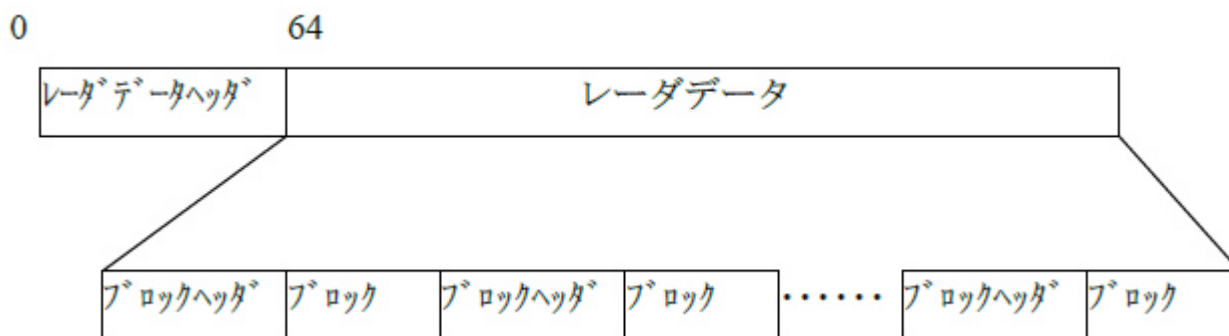


図-1 データステータスフォーマット

データの各要素について、その概要を次に述べる。

- a) レーダデータヘッダ
地域識別，データ観測日時，データサイズなどで構成される64byteデータ。抽出不要。
- b) ブロックヘッダ
ブロックの先頭位置およびメッシュサイズを示す4byteデータ。

次に各データブロックの構造のフレームを図-2に示す。

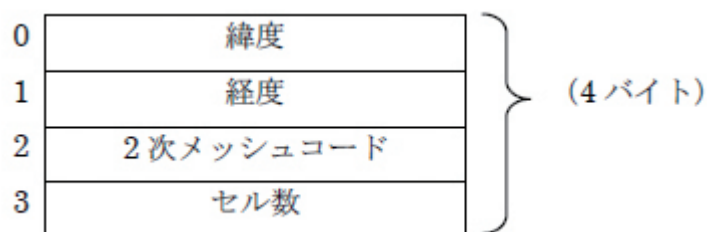


図-2 ブロックヘッダフォーマット

データブロックのデータ要素について、その概要を次に示す。

- a) 緯度 (binary)
データ区画領域の南端緯度の1.5倍を度単位として1倍バイトで示している。
- b) 経度 (binary)
データ区画領域の西端経度の下2桁を度単位として1バイトで示している。
- c) 2次メッシュコード
1次メッシュデータ内における2次メッシュの位置を示している。位置は、1次メッシュを緯度方向に8分割，経度方向に8分割し，各々の座標で表し，緯度方向を上位4ビットで南端より0～7，経度方向を下位4ビットで西端より0～7で示している。
- d) セル数
当該ブロックのセル数を1バイトで示している。

次にブロック内のデータ構造について述べる。1つのブロックには2次メッシュ（10km×10km）毎に4分の1倍3次メッシュ（250m×250m）の降雨データが図-3に示すようなフォーマットで配置されている。

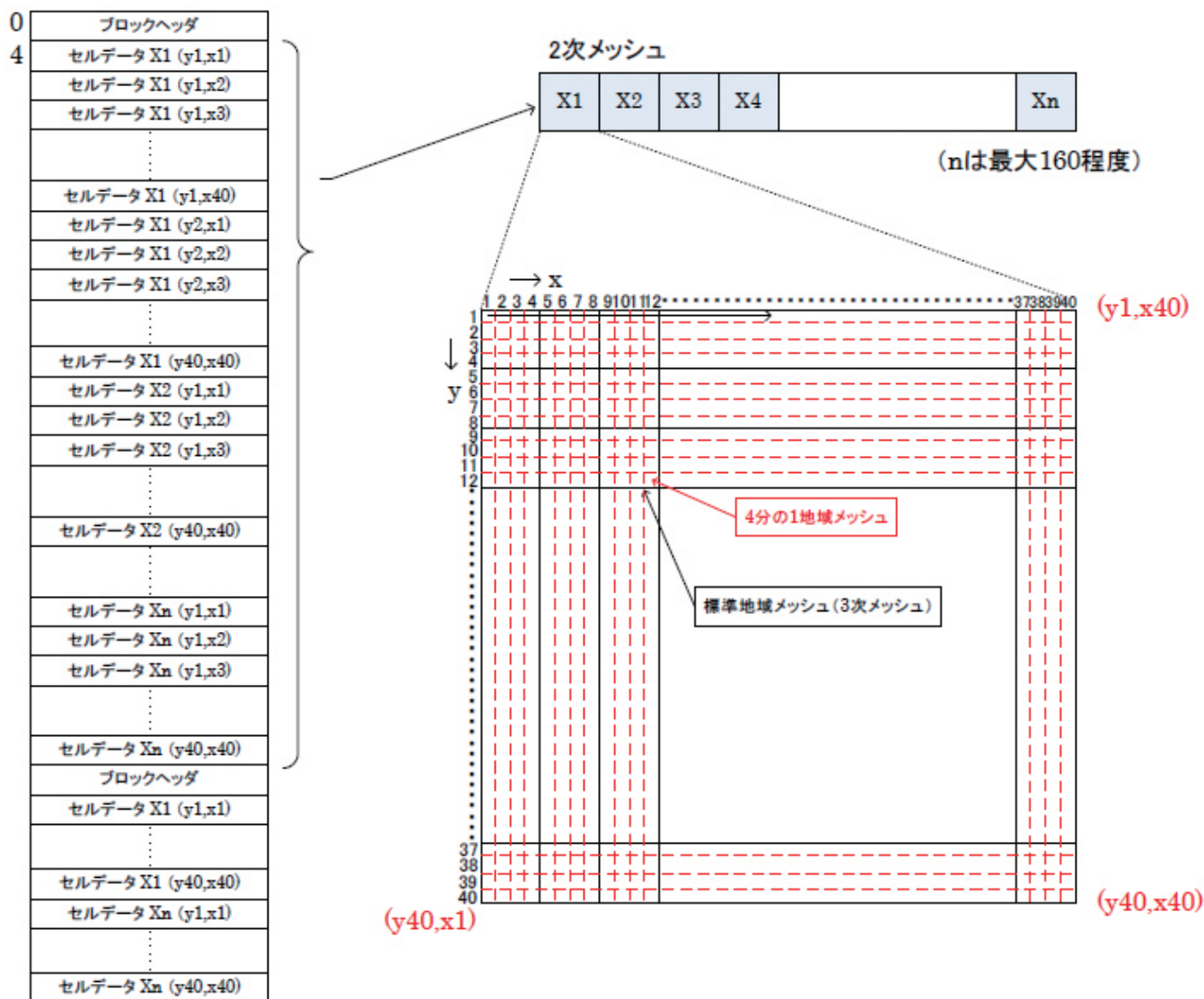


図-3 セルデータフォーマット（4分の1倍3次メッシュ）

2次メッシュ内には (y1, x1) から (y40, x40) まで連続した2次メッシュデータが並び、さらに1つのブロックにはブロックヘッダに記されたセル数の2次メッシュデータが並ぶ。

4分の1倍3次メッシュ雨量データの表現形式は次の通りである。ブロック内の4分の1倍3次メッシュ雨量データは2バイトバイナリ書式で記されており、上位4ビットを品質管理情報（Quality Flag (QF)）で使用し、5ビット目から12ビットを雨量強度データで使用している。各データ要素の概要は次の通りである。

a) 品質管理情報（Quality Flag）

Bit0：有効なデータ（観測範囲内で、非降雨エコーや異常値ではない）

Bit1：降雨減衰による電波消散域

Bit2 : 主にKDPによる降雨強度推定を使用

Bit3 : 降雨のみ (降雪量, 融解層は含まない)

b) 雨量強度データ

16進数で0.0~409.0mm/hの雨量強度を0.1mm/h刻みで表している。

#000 (0) : 0.1mm/h未満

#001 (1) : 0.1mm/h

#002 (2) : 0.2mm/h

・

・

・

#FFA (4090) : 409.0mm/h以上

#FFB : 観測範囲外

#FFC : 欠測

以上のXバンドMPレーダ雨量データフォーマットより, 静岡県XRAIN合成雨量データを例として, メッシュ雨量の構造について詳しく説明する. 静岡県XRAIN合成雨量バイナリデータを図-4に, メッシュ雨量を可視化したものを図-5とする.

	ADDRESS	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
	00000000	FD	71	82	01	86	02	01	05	32	30	31	35	2E	30	39	2E
レーダデータヘッダ	00000010	30	36	2E	30	30	2E	30	30	00	00	00	00	00	00	00	00
	00000020	01	01	00	1E	00	17	7D	38	00	00	00	00	00	00	00	00
	00000030	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
ブロックヘッダ	00000040	35	24	77	03	0F	FB	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00
	00000050	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00
	00000060	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00
ブロック	00000070	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00
	00000080	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00	80	00

図-4 XRAINバイナリデータ

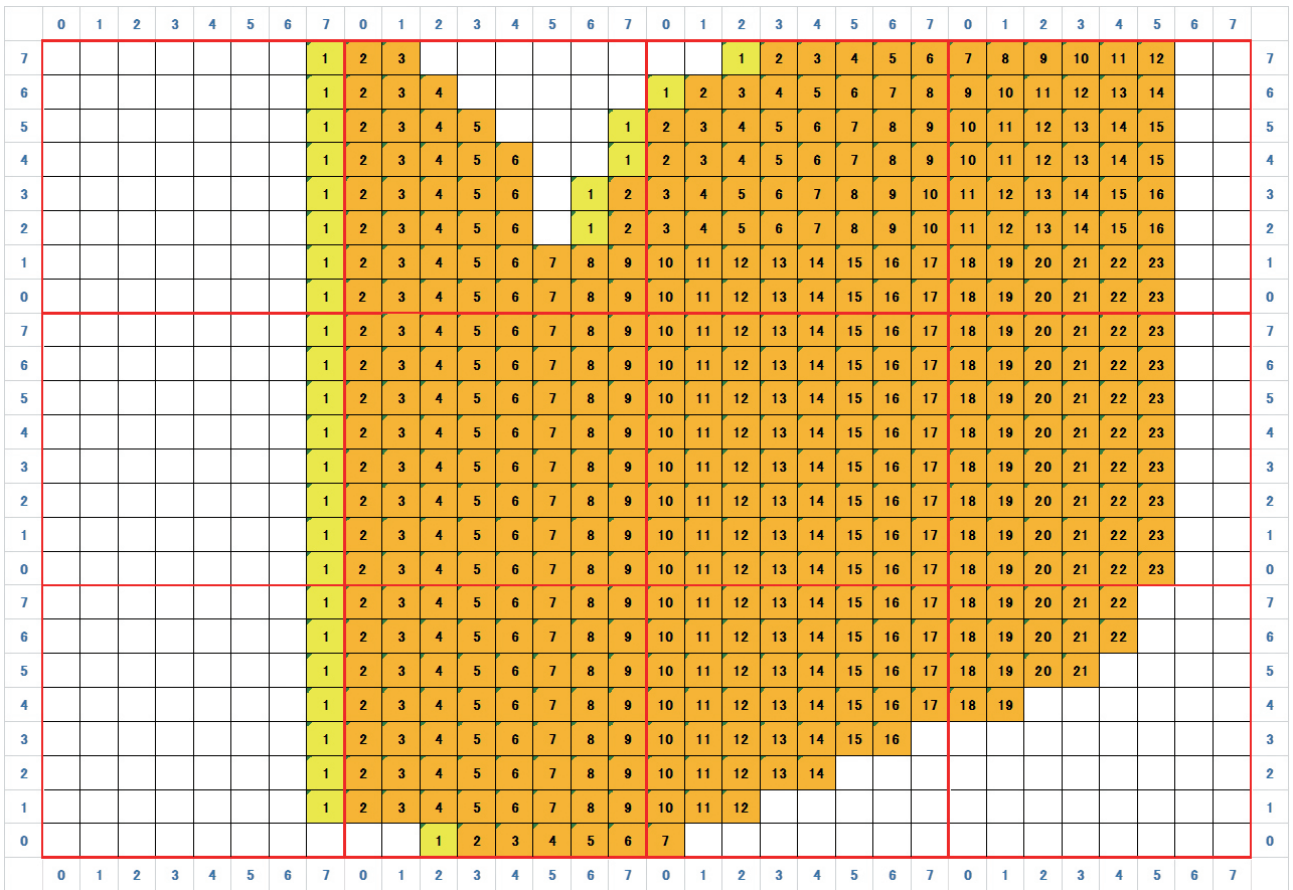


図-5 XRAIN雨量データメッシュ(静岡県)

図-5より、赤枠は標準地域メッシュにおける第1次メッシュを示しており、その中の黒枠は第2次メッシュであり、またその中に4分の1地域メッシュのXRAIN雨量データが格納されている。各メッシュの位置に関しては、図-4のブロックヘッダにより第1次メッシュ南西点の緯度、経度、第1次メッシュ内における第2次メッシュの位置とその個数が指定されている。

(3) 雨量データ読み込み機能

本研究では、河川シミュレーションソフトウェアiRIC上の既存洪水氾濫ソルバー、Nays2Dfloodにメッシュ雨量読み込み機能を付加したソルバーを用いた。XRAIN雨量データは緯度・経度座標での雨量データであるが、使用するソルバーでは平面デカルト座標系を採用しているため地球が楕円形であることを考慮した座標系の変換を行った。緯度経度座標系から平面デカルト座標系への変換式を以下に記す。

・ x座標およびy座標

$$x = \bar{A} \left(\varepsilon' + \sum_{j=1}^5 \alpha_j \sin j\varepsilon' \cosh 2j\eta' \right) - \overline{S_{\varphi 0'}} \quad y = \bar{A} \left(\eta' + \sum_{j=1}^5 \alpha_j \cos 2j\varepsilon' \sinh 2j\eta' \right)$$

・子午線収差角 γ 及び縮尺係数 m

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\tau \bar{t} \lambda_c + \sigma t \lambda_s}{\sigma \bar{t} \lambda_c - \tau t \lambda_s} \right), \quad m = \frac{\bar{A}}{a} \sqrt{\frac{\sigma^2 + \tau^2}{t^2 + \lambda_c^2} \left\{ 1 + \left[\frac{1-n}{1+n} \tan \varphi \right]^2 \right\}}$$

φ, λ : 新点の緯度及び経度

φ_0, λ_0 : 平面デカルト座標系原点の緯度及び経度

A, F : 楕円体の長半径及び逆扁平率

m_0 : 平面デカルト座標系のX軸上における縮尺係数 (0.9999)

$$n = \frac{1}{2F - 1}$$

$$t = \sinh \left(\tanh^{-1} \sin \varphi - \frac{2\sqrt{n}}{1+n} \tanh^{-1} \left[\frac{2\sqrt{n}}{1+n} \sin \varphi \right] \right), \quad t = \sqrt{1+t^2}$$

$$\lambda_c = \cos(\lambda - \lambda_0), \quad \lambda_s = \sin(\lambda - \lambda_0), \quad \zeta' = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\lambda_c} \right), \quad \eta' = \tanh^{-1} \left(\frac{\lambda_s}{t} \right)$$

$$\sigma = 1 + \sum_{j=1}^5 2j\alpha_j \cos 2j\zeta' \cosh 2j\eta', \quad \tau = \sum_{j=1}^5 2j\alpha_j \sin 2j\zeta' \sinh 2j\eta'$$

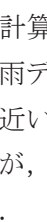
$$\alpha_1 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{5}{16}n^3 + \frac{41}{180}n^4 - \frac{127}{288}n^5, \quad \alpha_2 = \frac{13}{48}n^2 - \frac{3}{5}n^3 + \frac{557}{1440}n^4 + \frac{281}{630}n^5,$$

$$\alpha_3 = \frac{61}{240}n^3 - \frac{103}{140}n^4 + \frac{15061}{26880}n^5, \quad \alpha_4 = \frac{49561}{161280}n^4 - \frac{179}{168}n^5, \quad \alpha_5 = \frac{34729}{80640}n^5$$

$$\bar{s}_{\varphi_0} = \frac{m_0 a}{1+n} \left(A_0 \frac{\varphi_0}{\rho''} + \sum_{j=1}^5 A_j \sin 2j\varphi_0 \right), \quad \bar{A} = \frac{m_0 a}{1+n} A_0, \quad A_0 = 1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64},$$

$$A_1 = -\frac{3}{2} \left(n - \frac{n^3}{8} - \frac{n^5}{64} \right), \quad A_2 = \frac{15}{16} \left(n^2 - \frac{n^4}{4} \right), \quad A_3 = -\frac{35}{48} \left(n^3 - \frac{5}{16} n^3 \right), \quad A_4 = \frac{315}{512} n^4,$$

$$A_5 = -\frac{693}{1280} n^5$$

計算格子と雨量メッシュの関係については、-6に示すように両者には一般にずれが生じる。そこで降雨データの定義位置座標をデカルト座標系に変換した後、計算格子セル中心に雨量メッシュ中心が最も近い雨量データを当該計算セル雨量とする。最近定義点の検索は全点検索とするためCPU時間を要するが、この計算は計算初期に一回のみ実施するものであり、計算全体の計算機負荷に及ぼす影響は小さい。

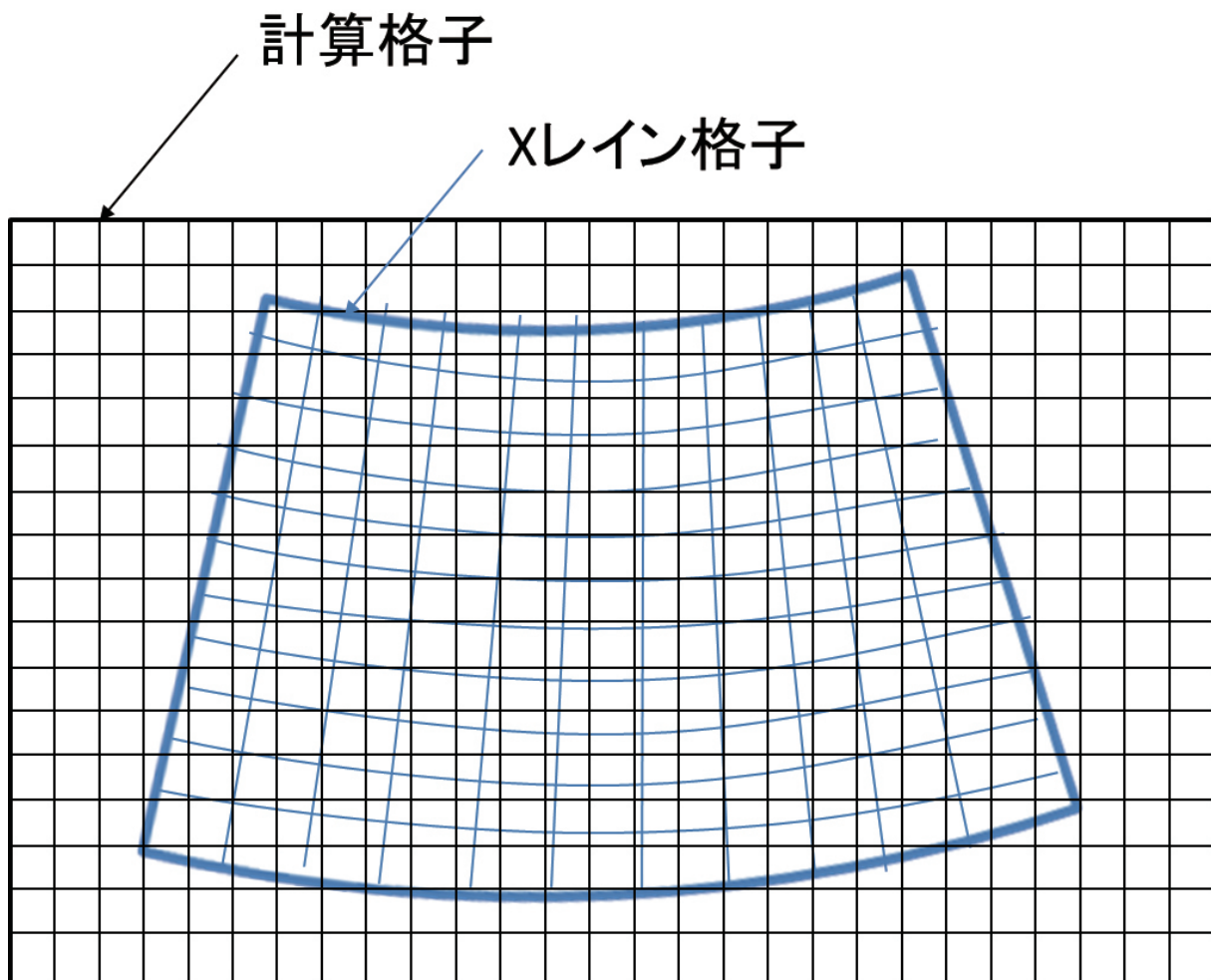


図-6 XRAINメッシュと計算格子の関係

3. 平野部の氾濫シミュレーションにおける降雨解像度の影響

(1) 概要

Xバンドレーダ導入以降、雨量データの精度検証についての先行研究が成されているが、メッシュ雨量の時間、空間解像度が流れ特性に与える影響についてはまだ検証されておらず、流域面積の大小やシミュレーションにおける計算範囲の大小などどのような規模に対して効果的であるのかはまだ明らかになっていない。本研究では、雨量解像度の影響について多角的な検証を行うため、内水氾濫事例と外水氾濫事例とに分けて氾濫シミュレーション、流出解析を行った。内水氾濫事例としては静岡県浜松市高塚川流域における2015年9月6日から9日にかけての台風18号接近に伴う集中豪雨とする。外水氾濫としては北海道恵庭市漁川流域における2014年9月10日から11日にかけての低気圧接近による集中豪雨とする。

(2) 高塚川流域における2015年内水氾濫の概要

台風18号及び秋雨前線による降雨に伴い、2015年9月8日の朝方から昼前にかけて静岡県浜松市南部を中心に時間降雨20mmを超える降雨が数時間継続して降り続き、床上浸水22戸、床下浸水96戸の浸水被害が発生した。高塚川流域では特に浸水被害が多く発生し浸水範囲も広域となっており、本研究ではこの事例における氾濫シミュレーションを行った。図-7に当該水害におけるハイトグラフと水位変化を、図-8に浸水域の概要を示す。

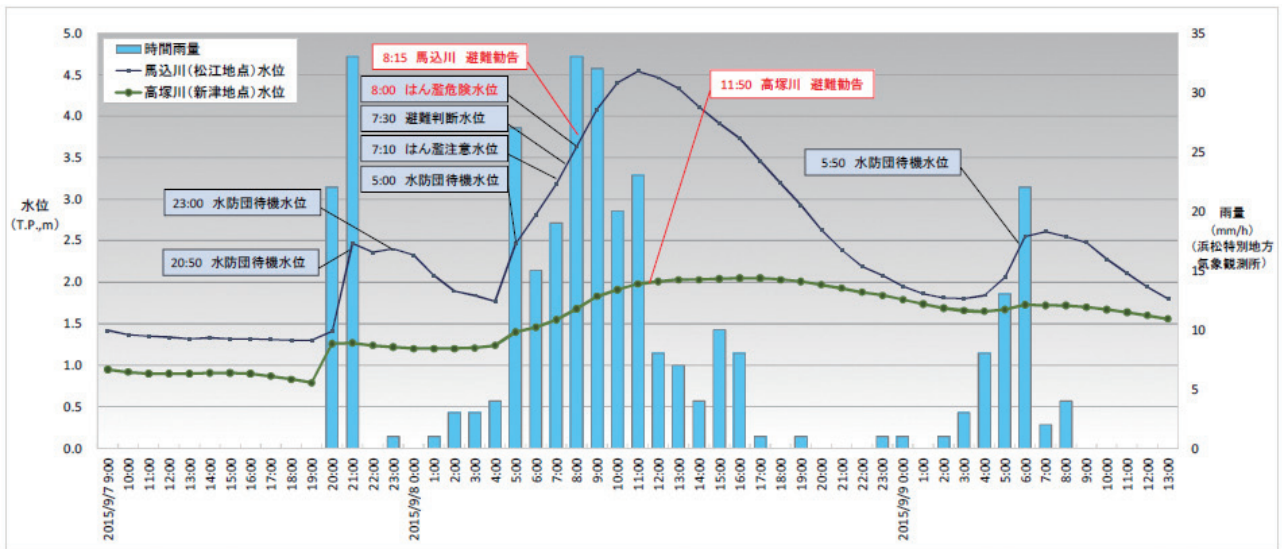


図-7 ハイエトグラフ（浜松市）

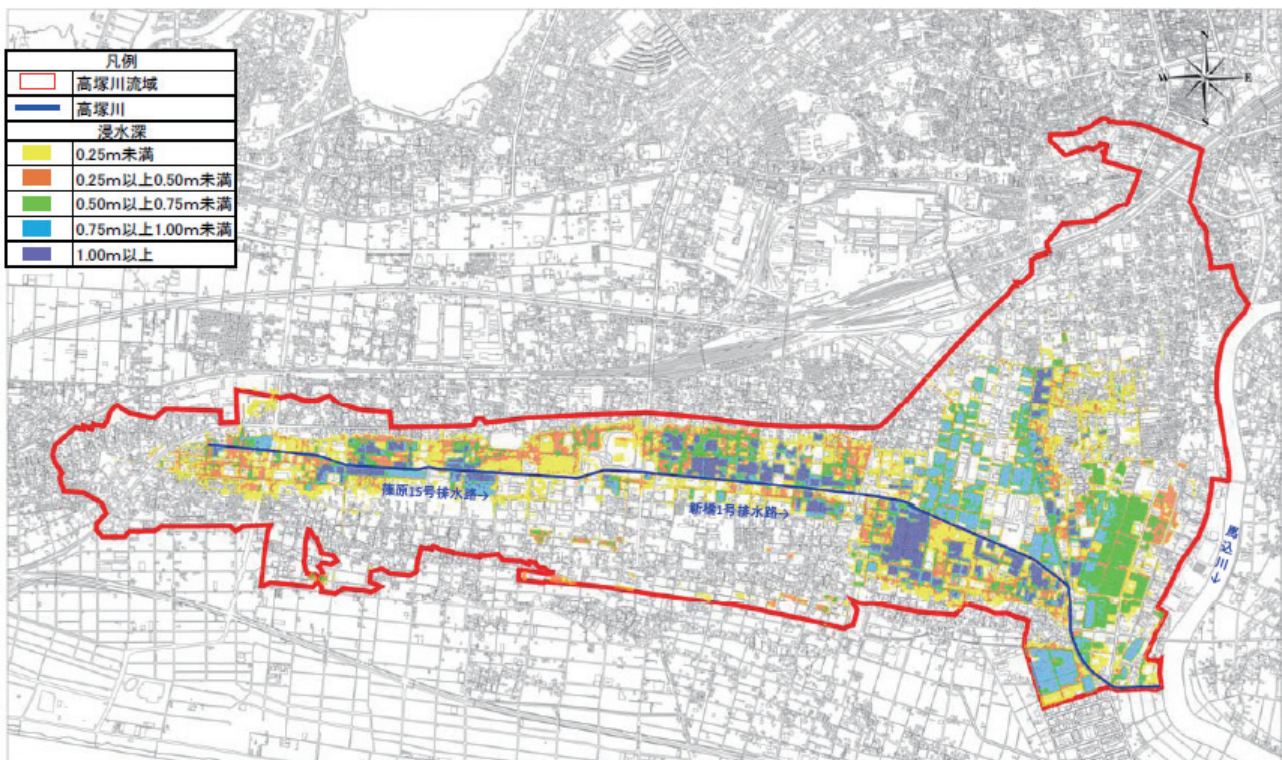


図-8 高塚川流域浸水域図

(3) 高塚川流域の氾濫シミュレーション

iRIC Nays2DfloodXによる氾濫シミュレーションを行った。降雨データは、XRAIN4分の1地域メッシュ雨量データとXRAIN雨量データを3次メッシュサイズに拡大、平均化したDownsized XRAINデータを使用した。計算条件として、計算格子数=145×73=10585メッシュ、計算格子サイズ=50m×50m、粗度=0.03、計算時間=45時間（2015年9月7日午後15時から9月9日午後0時まで）とした。本シミュレーションモデルでは雨水の地表への浸透を考えていない。メッシュ雨量、浸水深、流速の各々3時間ごとのシミュレーション結果（カラーコンター）を以下の図-9、図-10、図-11に示す。

・雨量 (XRAIN)

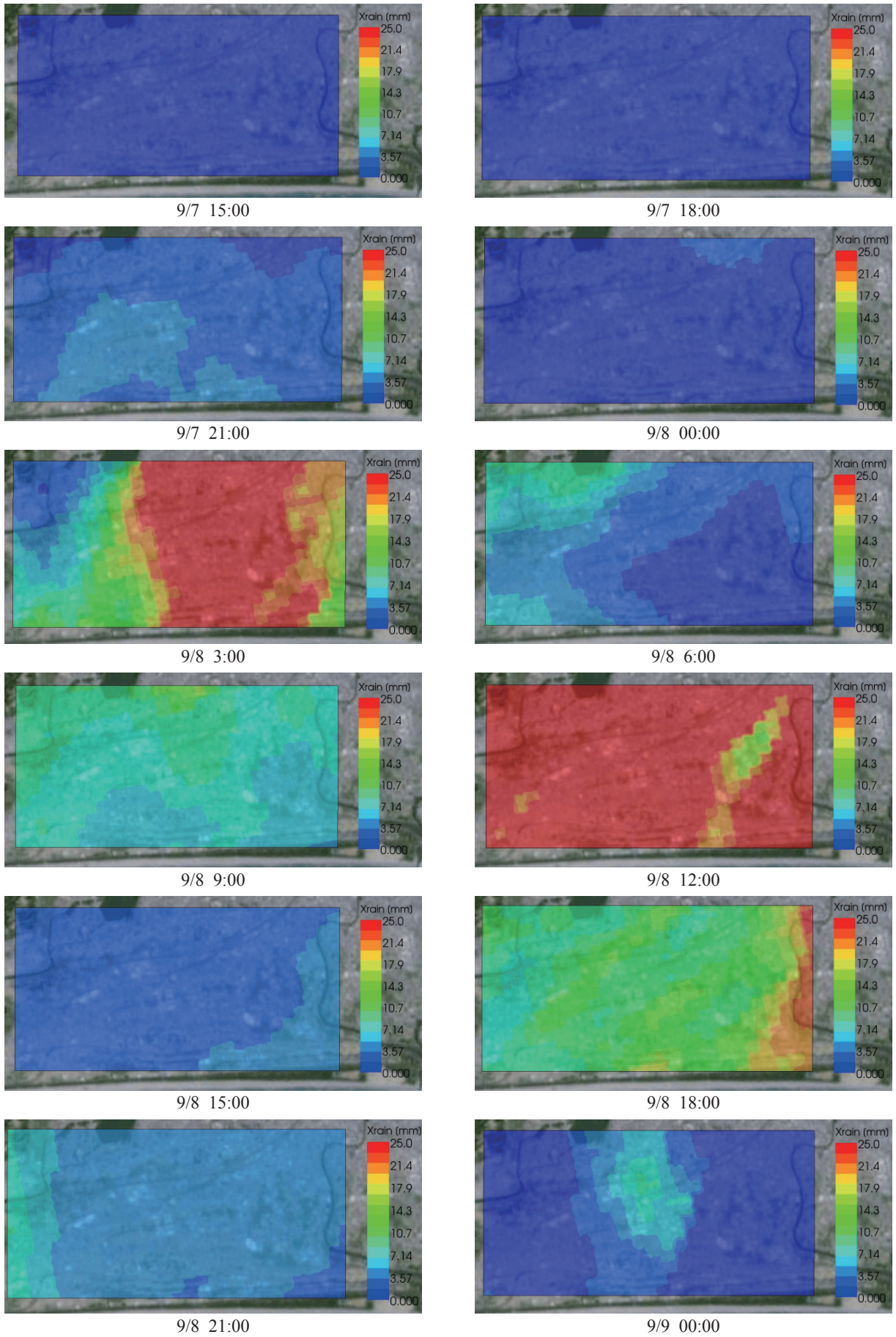


図-9 降雨の時間的変化

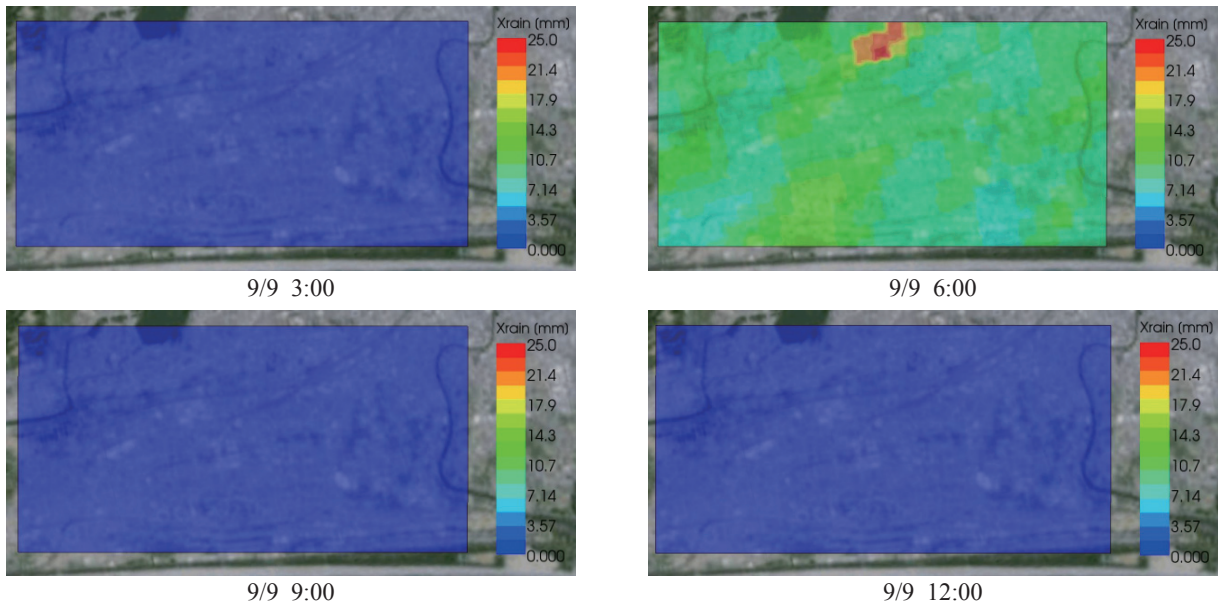


図-9 降雨の時間的変化（続き）

・水深

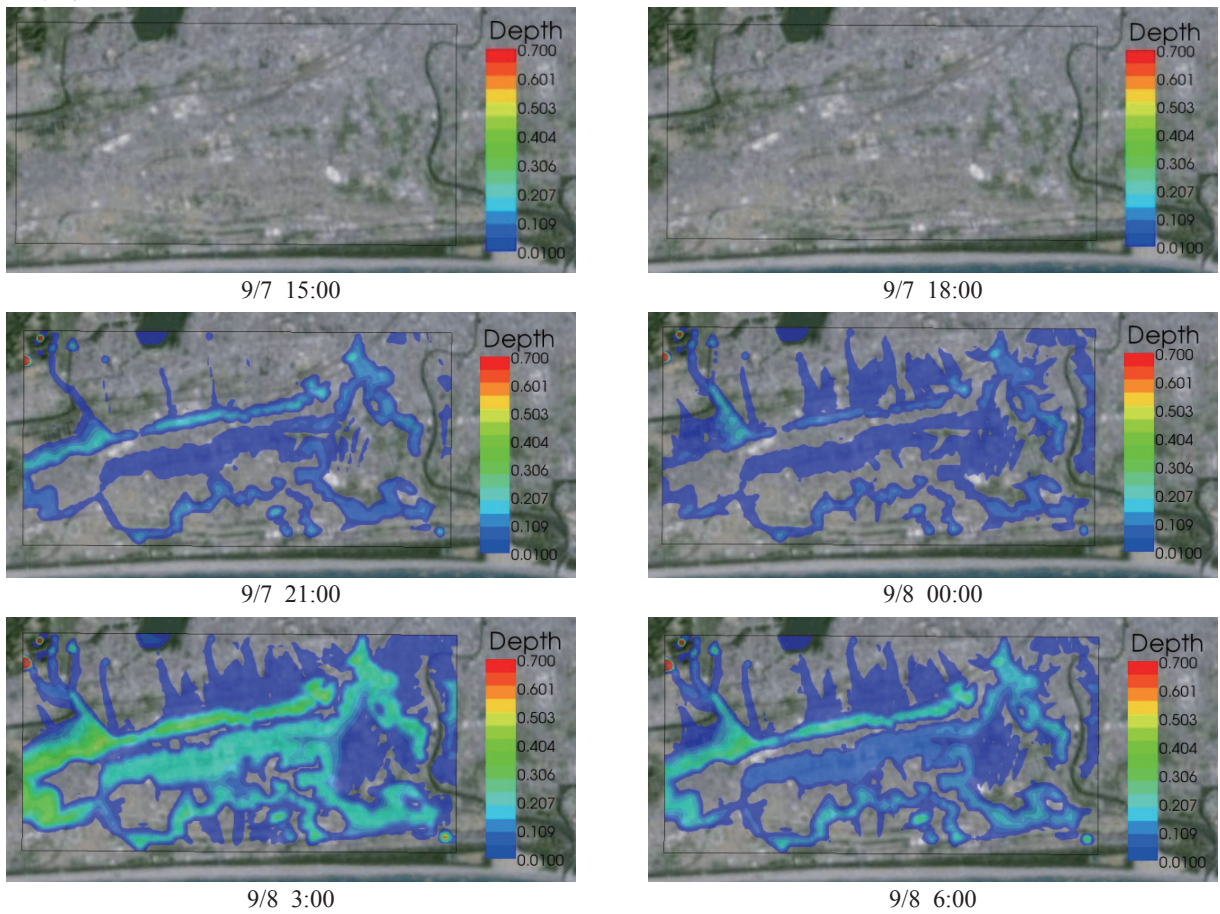
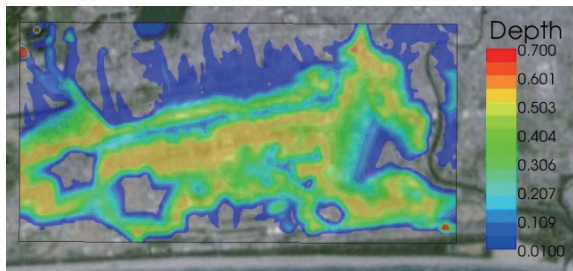
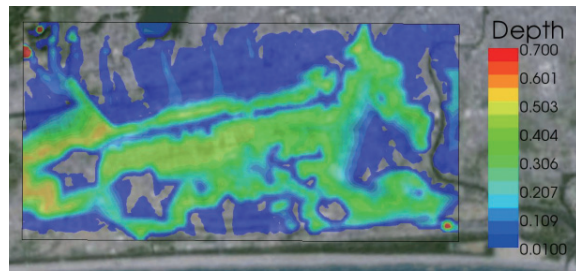


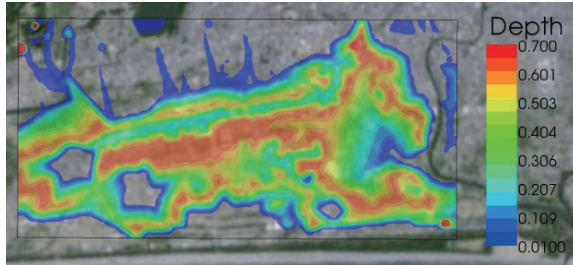
図-10 浸水深の時間的変化



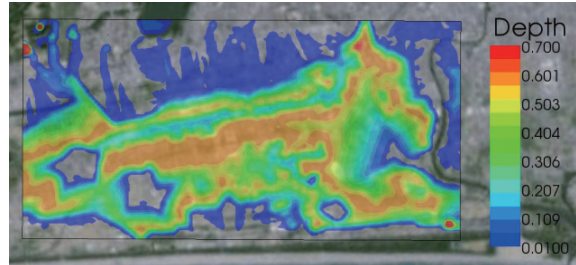
9/8 9:00



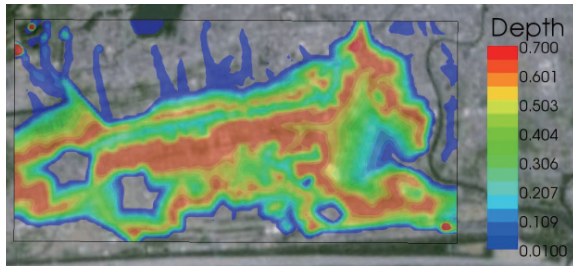
9/8 12:00



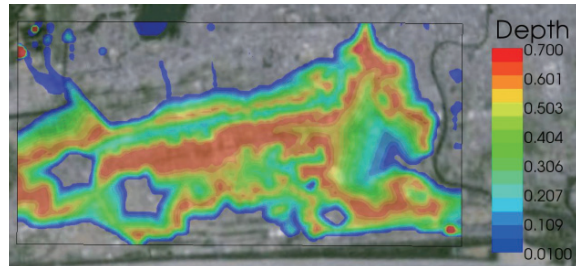
9/8 15:00



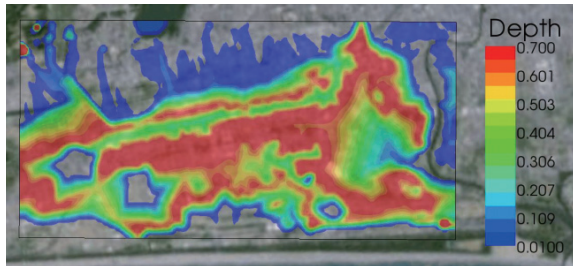
9/8 18:00



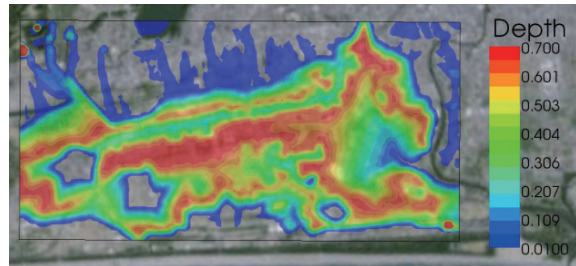
9/8 21:00



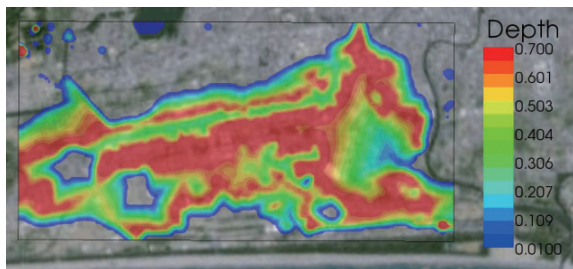
9/9 00:00



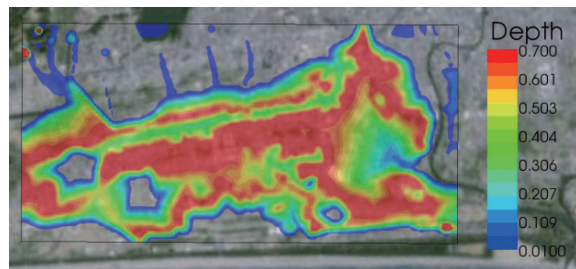
9/9 03:00



9/9 06:00



9/9 09:00



9/9 12:00

図-10 浸水深の時間的変化（続き）

・流速

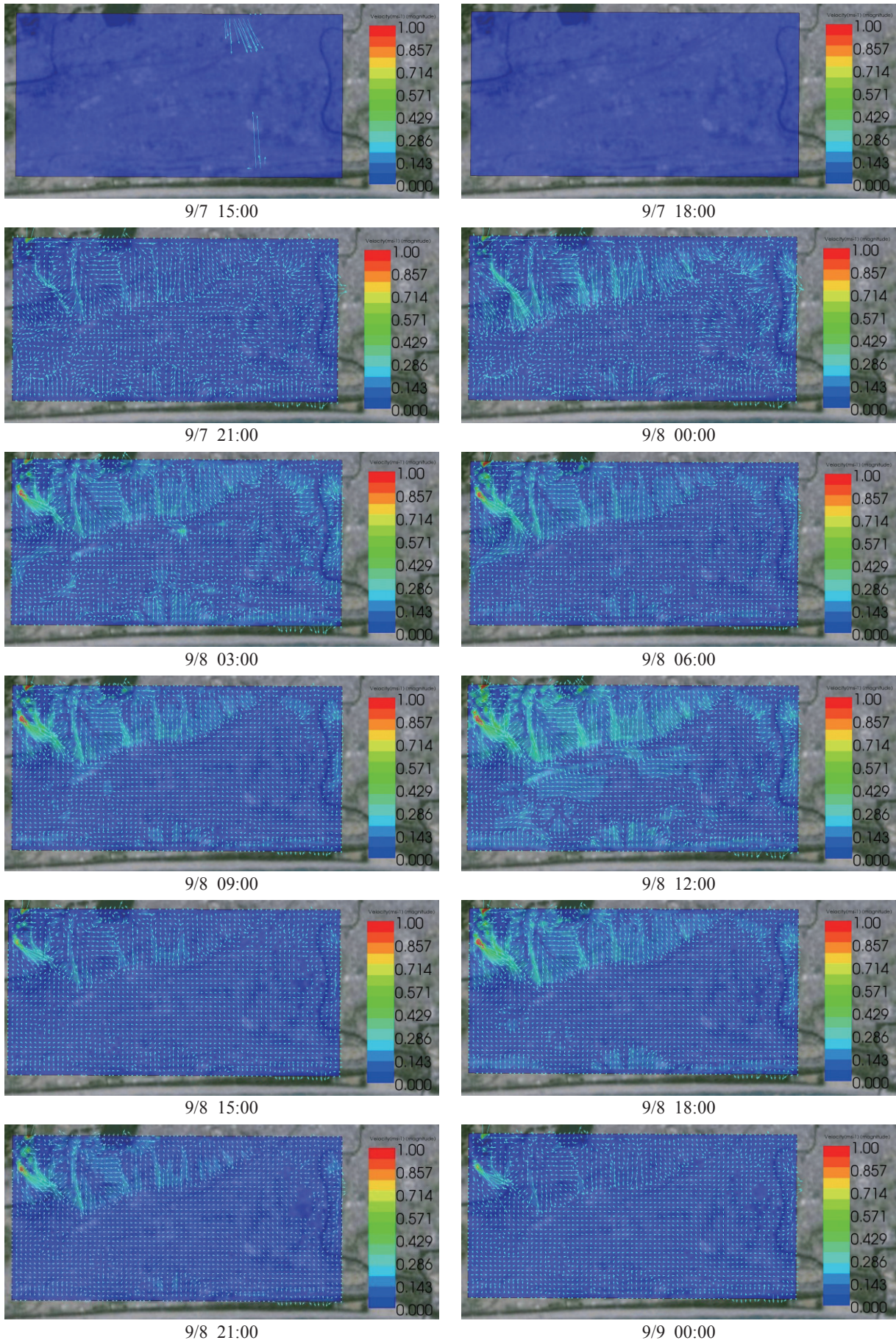


図-11 流速の時間的变化

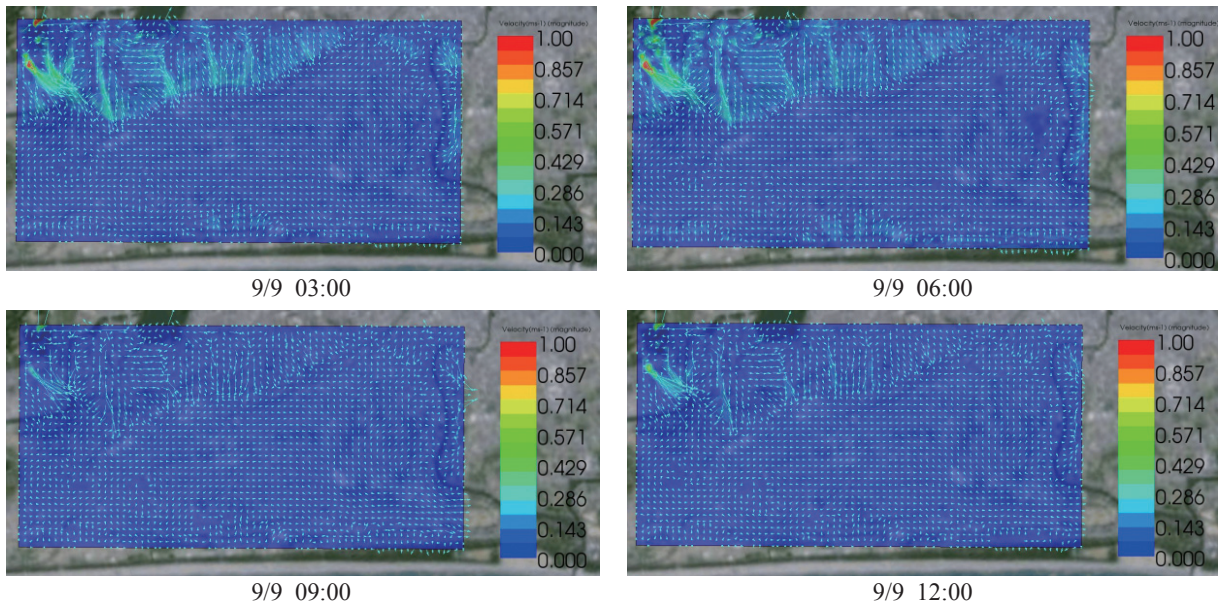


図-11 流速の時間的変化（続き）

(4) シミュレーション結果の考察

シミュレーション結果の検証として、実績浸水深と数値シミュレーションによる最大水深の比較による再現性の検証、メッシュ雨量の解像度による流れ特性への影響の検証を行った。

a) 再現性の検証

実績浸水深、数値シミュレーションによる最大水深を図-12に示す。

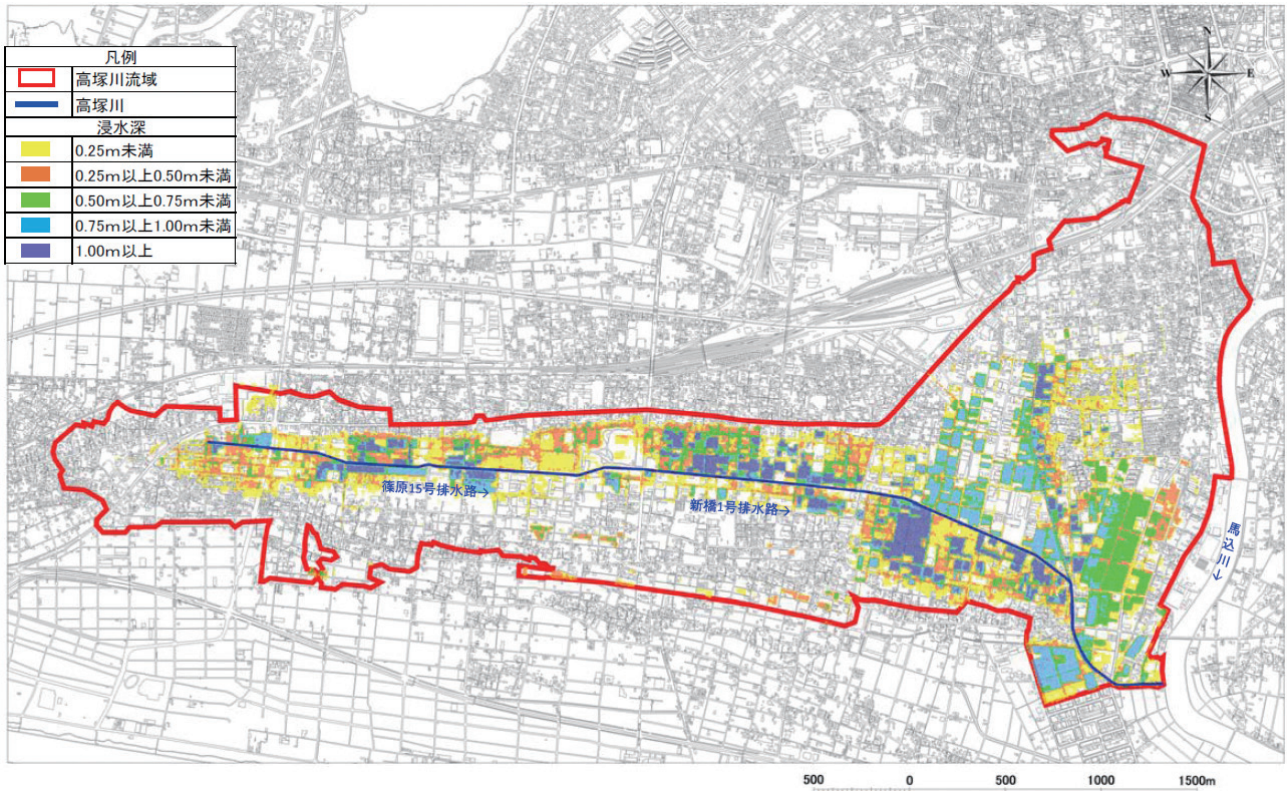


図-12 高塚川実績浸水深

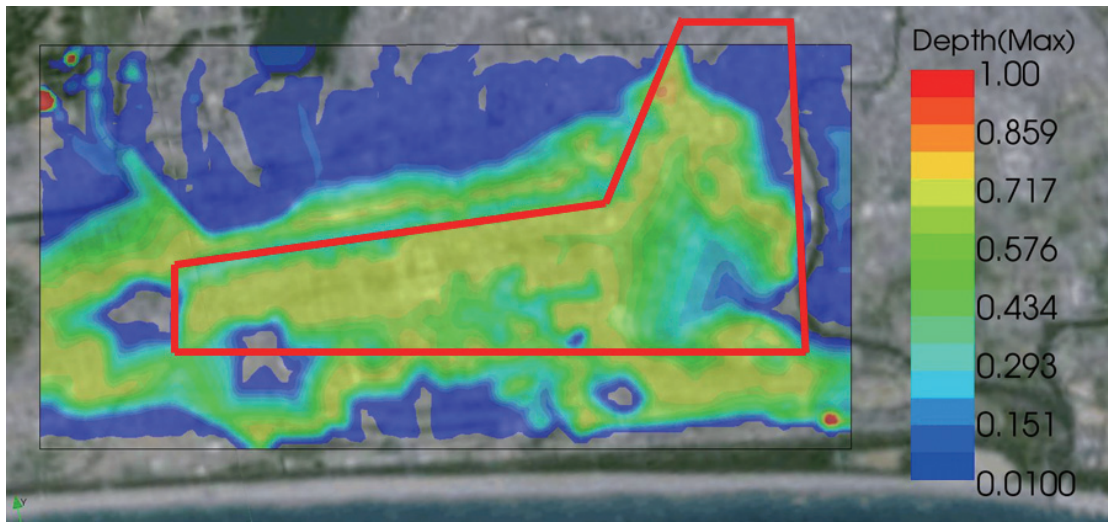


図-13 浸水深(シミュレーション結果)

国土交通省による高塚川実績浸水深では、区画ごとに0.25mから1m以上まで分布していることがわかる。一方iRICによるシミュレーション浸水深では、0.4mから0.7mまでの分布となっている。また浸水域については、実績とシミュレーション結果はほぼ整合する結果となった。数値シミュレーションにおいて地形が計算格子で平均化され、構造物の影響、雨水の浸透の影響を考慮していないことを踏まえても、氾濫域及び浸水深において現象を概ね再現できていると考えられる。

b) 氾濫結果に及ぼす降雨解像度の検討

氾濫シミュレーション結果に及ぼす地形の影響を検討するため、高塚川流域の計算範囲を山間部である急勾配領域と市街地の平地領域に分けて、格子点における水深、流速の時間変化の比較検討を行った。図-14に計算領域における急こう配領域と平地領域の区分を示す。

降雨解像度の検討のため、氾濫シミュレーションは、Xレイン降雨データ(250mメッシュ)を用いた計算とXレインデータをCバンドレベルに平滑化してダウンサイズした降雨データの二種類を用いて計算を実施した。

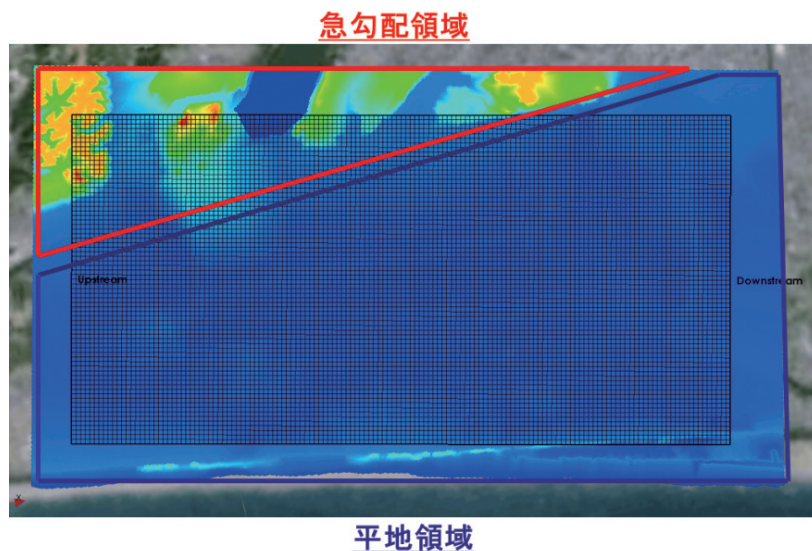


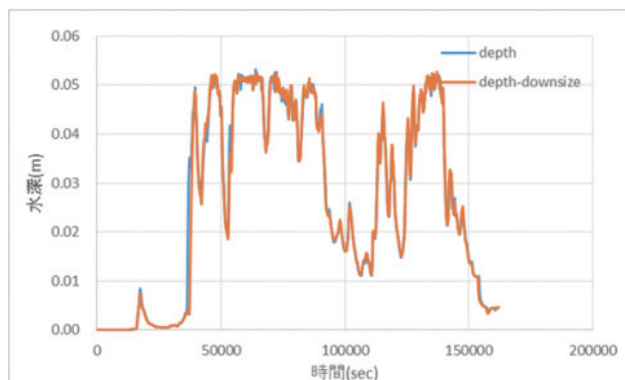
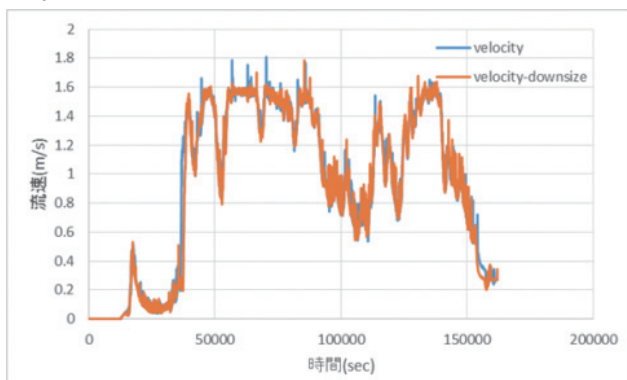
図-14 計算格子の領域分け

ここで、比較のためにCレインのデータを用いることも考えられるが、CレインとXレインはレーダの性質やデータの特性が異なる。このため、降雨総量も両者で異なり、解像度以外のデータの相違が大きくなるため、純粋な解像度の比較には不適切である。このため、あえてXレインデータをダウンサイズした降雨データを用いて比較計算を実施した。

図-15に急こう配領域の2点における水深と流速の時系列を、図-16に平地領域の2点における水深と流速の時系列をそれぞれ示す。それぞれのグラフにおいて、青色の線はXレインデータによるシミュレーション結果を、オレンジ色の線はダウンサイズした降雨データに基づく数値シミュレーション結果をそれぞれ示す。

急勾配領域

(i,j)=(5,59)



(i,j)=(55,70)

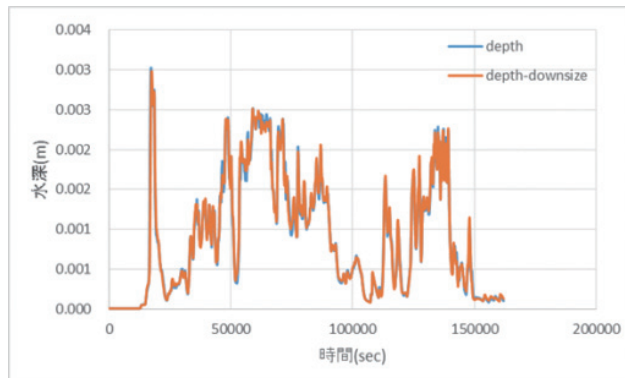
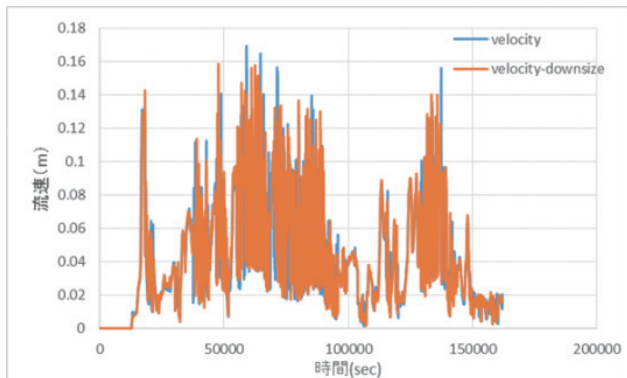
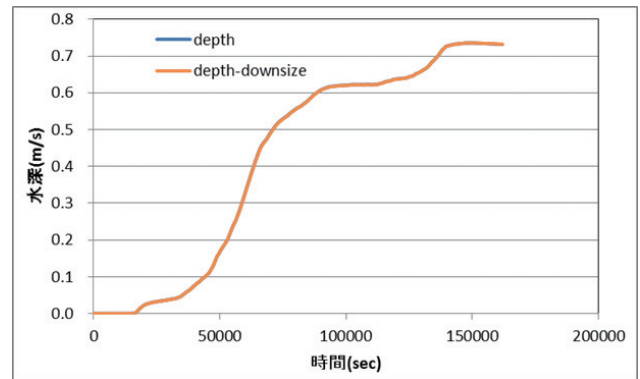
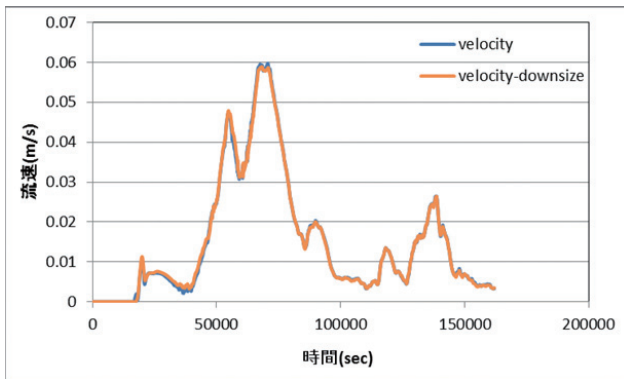


図-15 急こう配領域における水深と流速の時系列の比較

平地領域

(i,j)=(72,36)



(i,j)=(108,36)

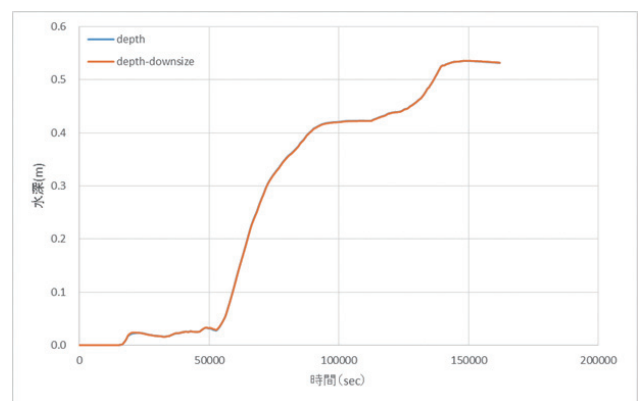
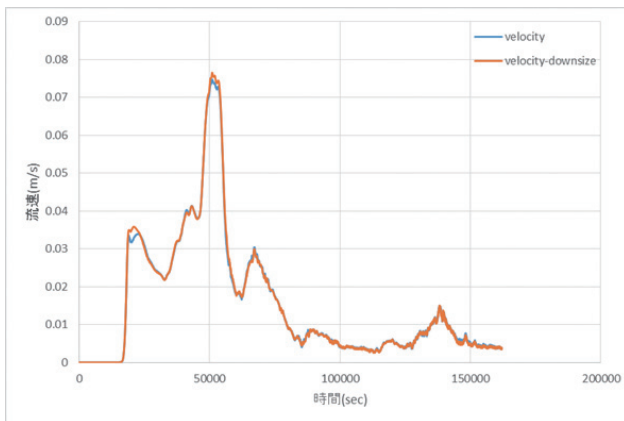


図-16 平地領域における水深と流速の時系列の比較

上記のグラフにおいて横軸は時間(全11時間),左と右の図の縦軸はそれぞれ水深と流速を示している。これらの図より,急勾配部では雨水が勾配によって大きな流速を伴って流れ,水深,流速が激しく変動していることがわかる。XRAIN雨量データによる解析結果では,Downsized XRAIN雨量データより降雨空間的变化が急であり,局地的雨量の差が大きいため,流速の振れ幅,最大流速ともにDownsizedデータによる結果よりも大きな値となった。一方,水深についても同様な傾向がみとれるが,降雨解像度による再現性の差異は流速ほど大きくない。

一方,平地領域では降り注いだ雨水が低勾配の地形に滞留しがちとなる。さらには建物などの大きな粗度の影響も受けて流速は低減され,広範な滞水域が形成される。このため,水深が緩やかに増加し,流速は急勾配部の半分以下の値となっている。また,降雨データの解像度の影響は,流速,水深のいずれにおいても,山地部に比べて格段に小さい結果となった。

4. 山地部の氾濫シミュレーションにおける降雨解像度の影響

(1) 漁川流域における2014年外水氾濫の概要

2014年9月11日、低気圧に伴う豪雨により漁川の上流域において大規模な出水が発生した。漁川流域において洪水量以上の出水が発生したもののダムの洪水調節によりダム下流の恵庭市街地では氾濫注意水位以下の水位に抑えられたが、国土交通省はダムがなかった場合には約9,900戸の浸水想定している。本研究ではダムがなかった場合を想定した氾濫シミュレーションを行い、降雨データ解像度の検討を行うこととする。

図-17は北海道開発局の資料によるもので、漁川上流のハイトグラフとハイドログラフが示されるとともに、漁川ダムの効果により、ピーク流量が $540\text{m}^3/\text{s}$ 抑制されたとの報告がなされている。一方、図-18には氾濫区域の概要を示す。

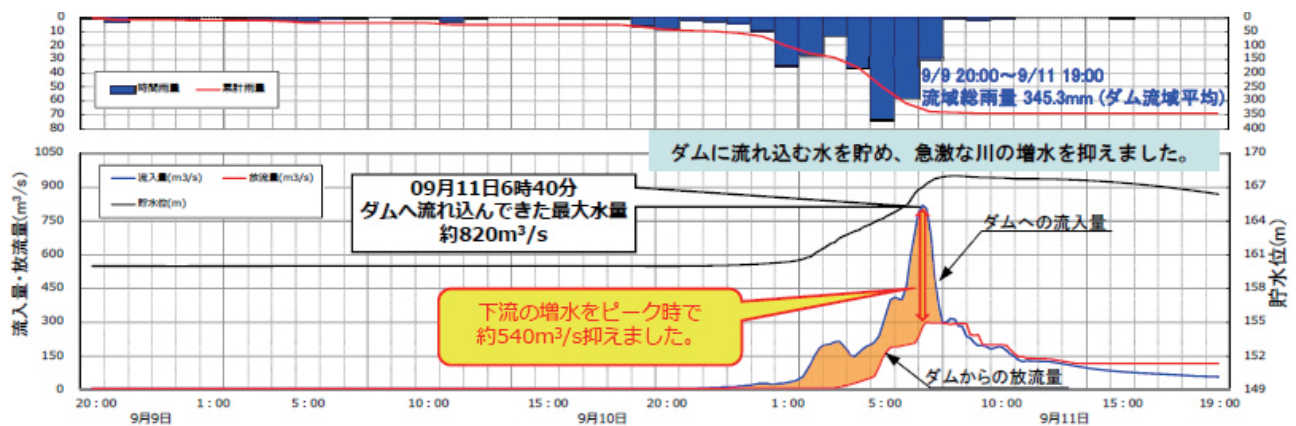


図-17 ハイエト、ハイドログラフ（漁川ダム）

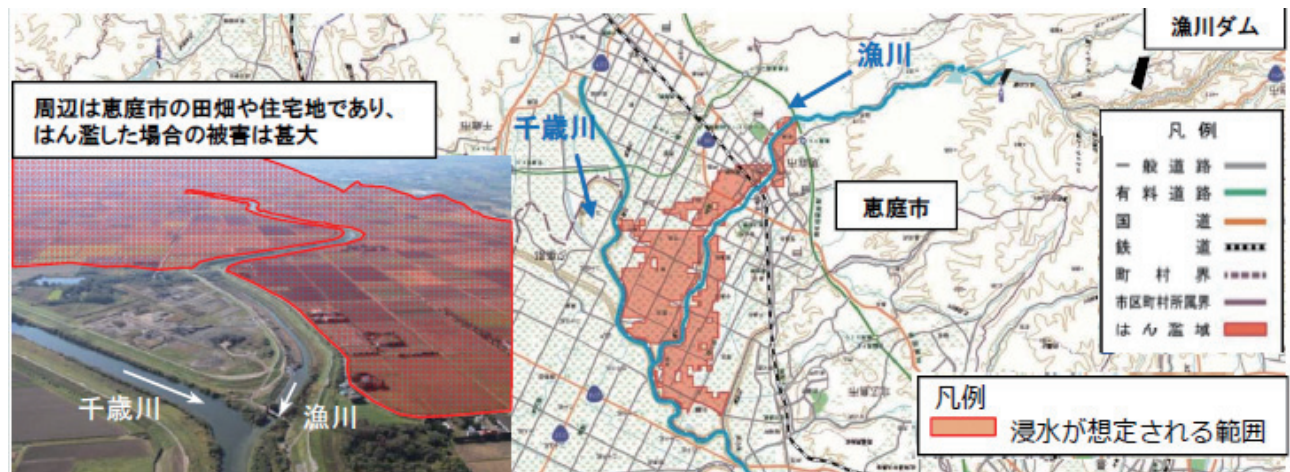


図-18 漁川浸水域想定区域

(2) 氾濫シミュレーション結果の概要

氾濫シミュレーションを行うにあたり、計算エンジンとしては高塚川流域の場合と同様、iRIC Nays2DfloodXを採用した。降雨データはX-RAINデータと、XRAIN雨量データをCレイン相当に空間的に平均化したデータ（Downsized XRAINデータ）の2つを使用し、降雨解像度が氾濫特性に及ぼす影響を検討する。計算格子セル数は $181 \times 201 = 36181$ 、計算格子サイズは $50\text{m} \times 200\text{m}$ 、マンニングの粗度係数は0.03、総計算時間は48時間（2014年9月10日午前0時から9月12日午前0時まで）とした。本シミュレーションモデルでは雨水の地表への浸透を考慮していない。降雨量の多かった9月11日午前0時から午前11時までのメッシュ雨量、浸水深、流速各々1時間ごとのシミュレーション結果を以下の図-19、図-20、図-21に示す。

・雨量

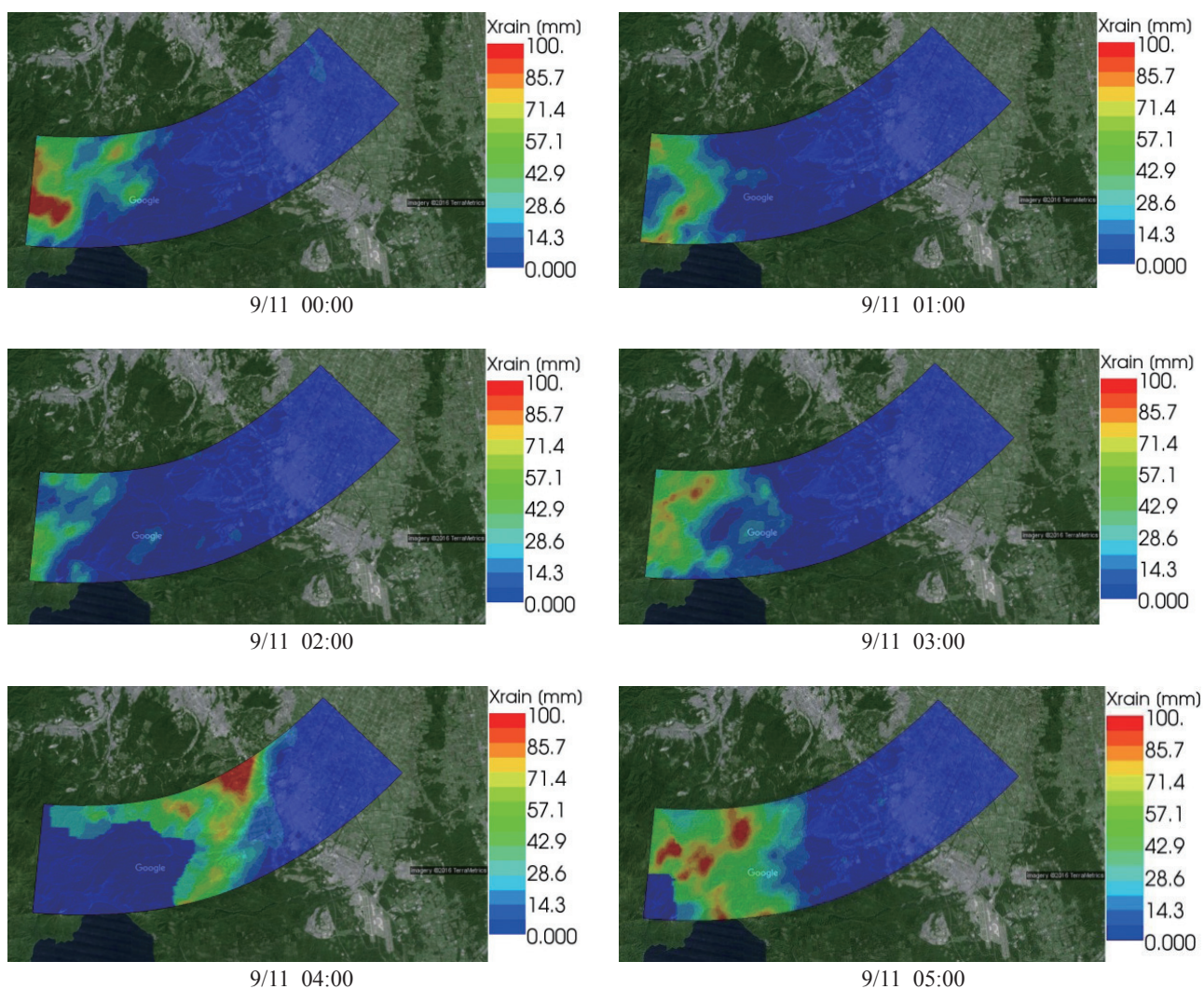


図-19 降雨の時間的变化

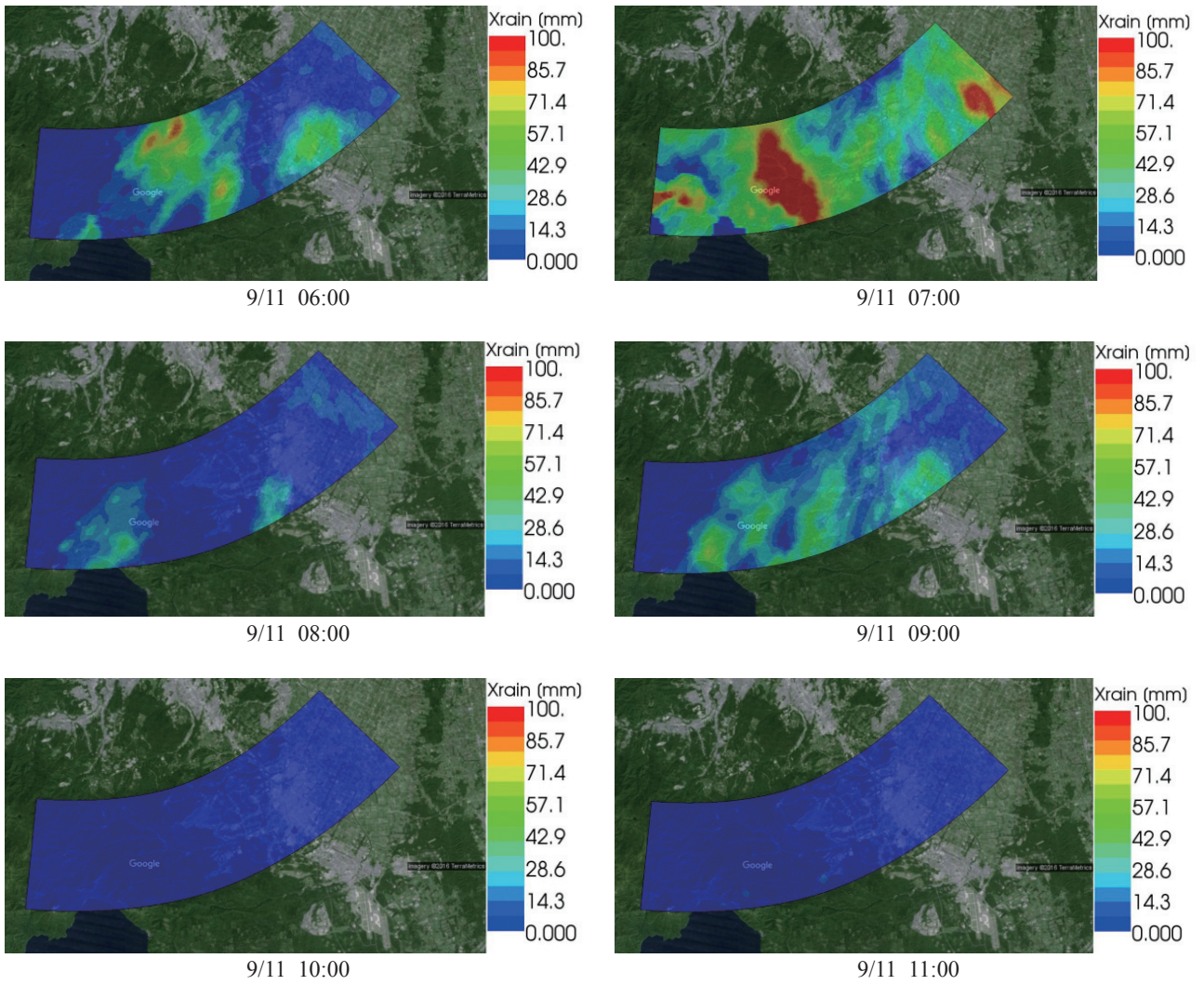


図-19 降雨の時間的変化（続き）

・水深

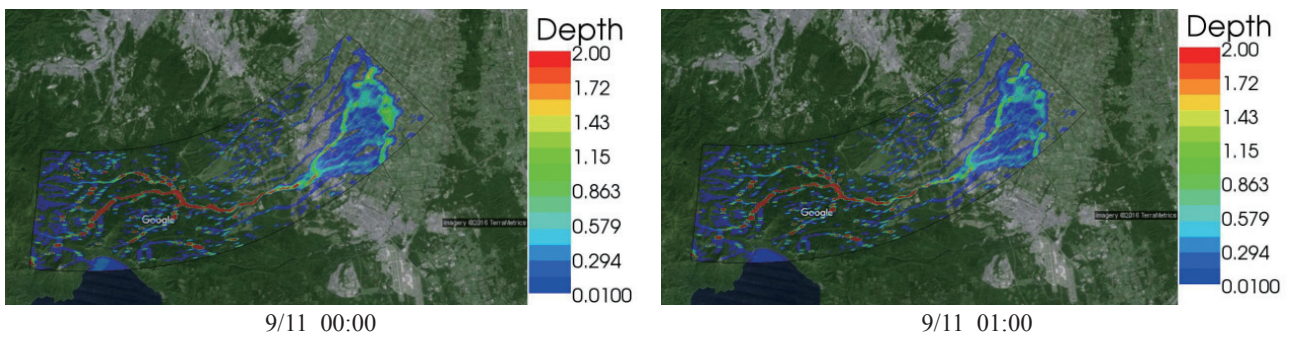


図-20 水深の時間的変化

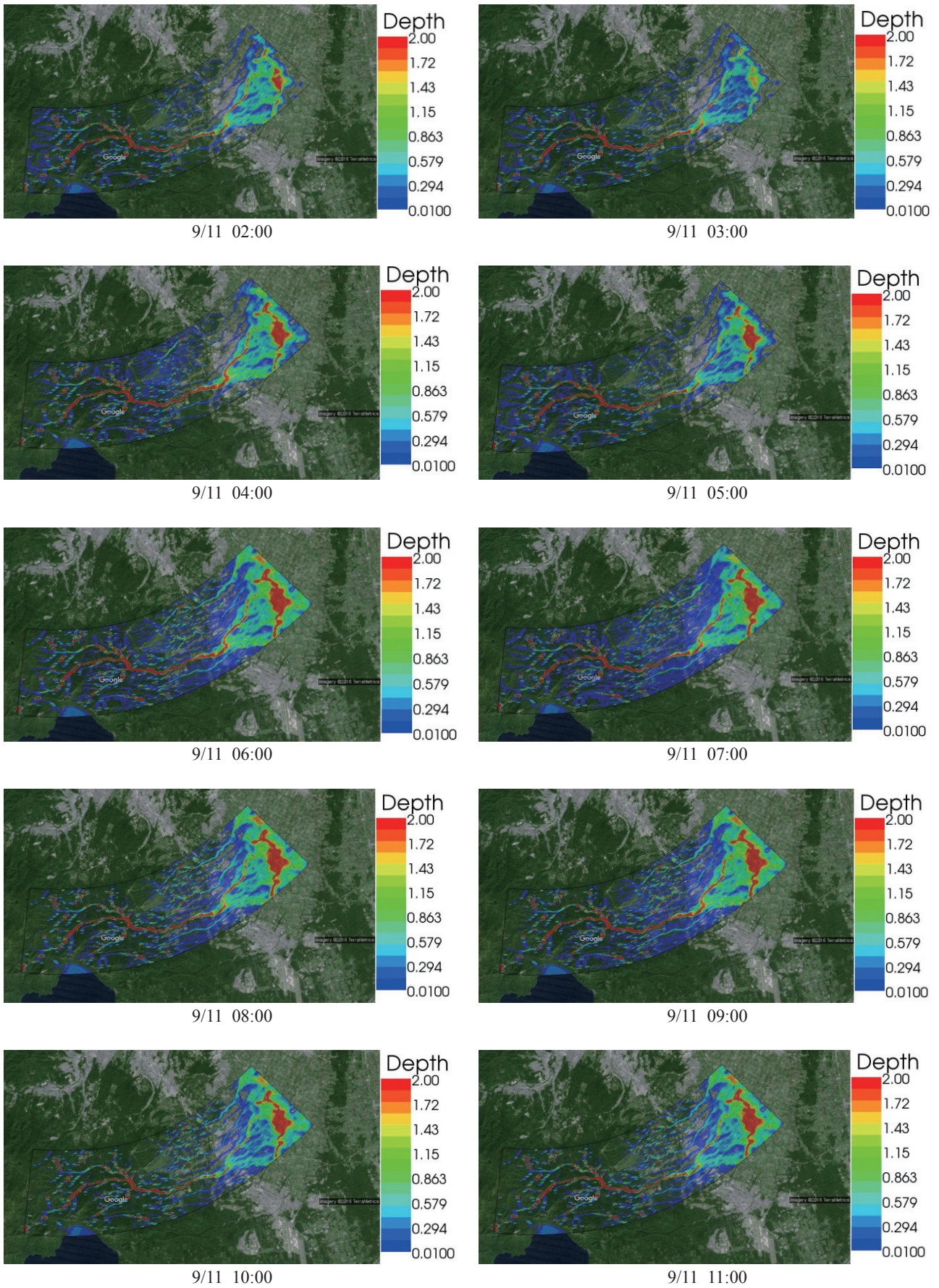


図-20 水深の時間的变化 (続き)

・流速

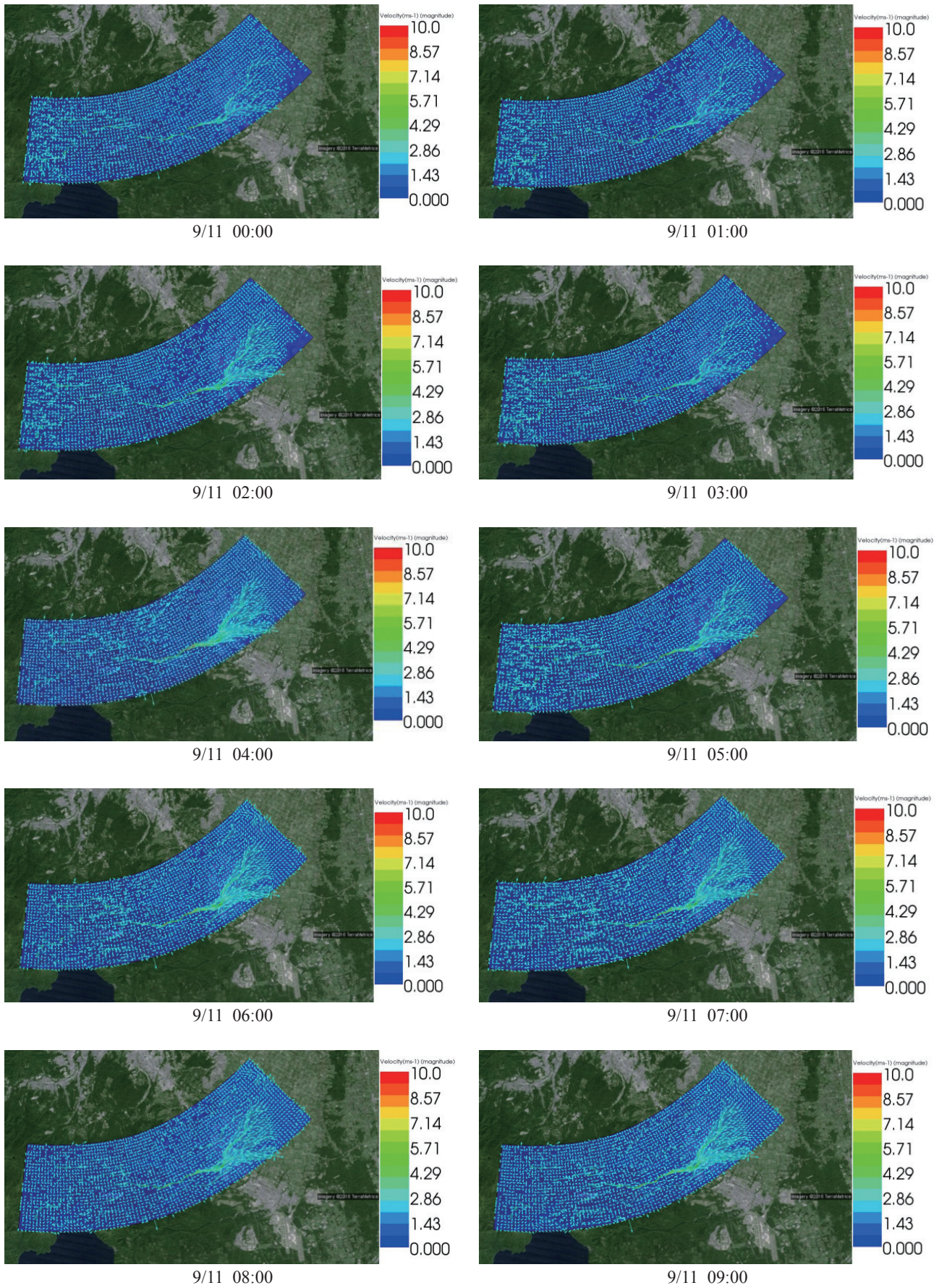


図-21 流速の時間的变化

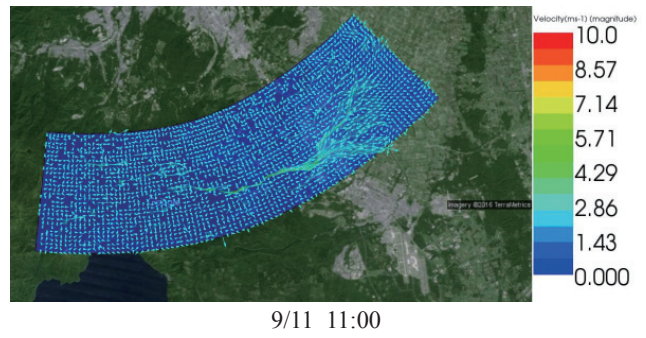
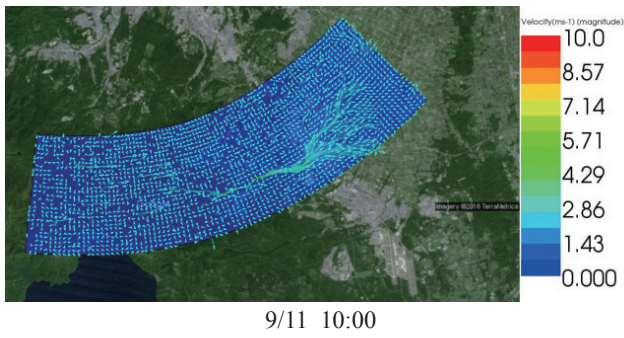
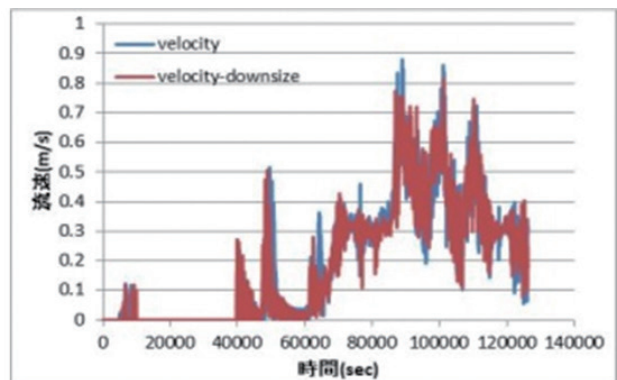
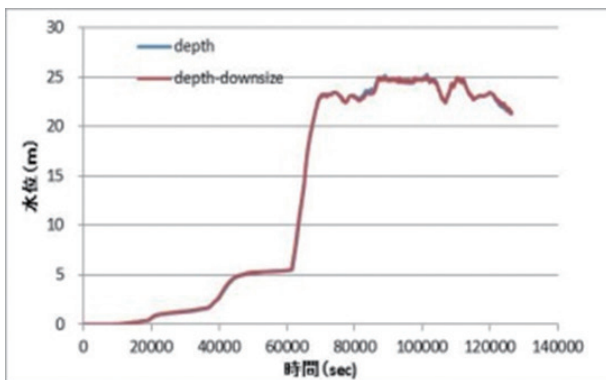
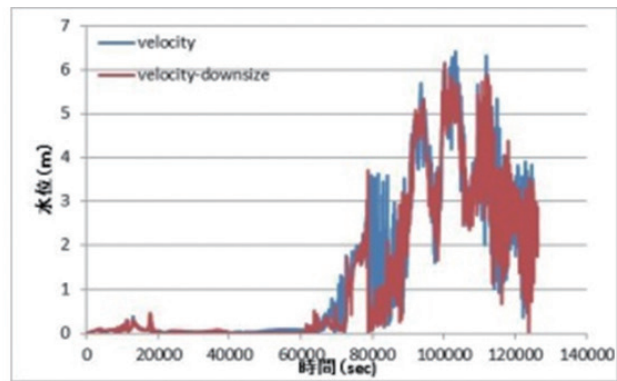
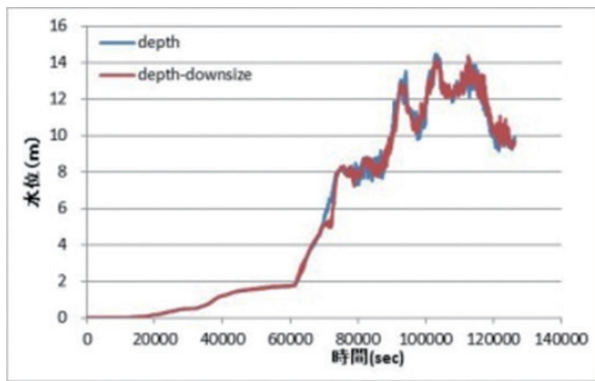


図-21 流速の時間的变化 (続き)

上流点



中流点



下流点

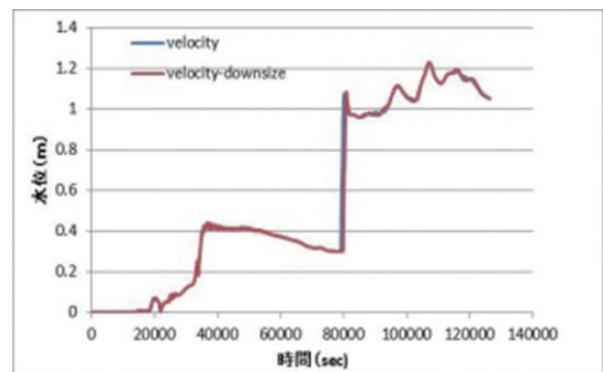
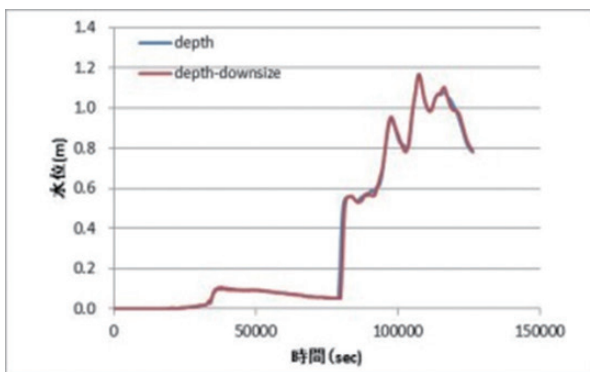


図-22 格子解像度の影響の検討 (左:水深時系列, 右:流速時系列)

(3) 降雨解像度の影響に関する考察

漁川河道に沿った計算格子点で河川上流部、中流部、下流部について、代表的な地点を抽出し、水深と流速に関する計算値の比較を行うこととする。まず、前述の3つの点について、図-22に水深（左図）と流速（右図）の時系列変化を示す。上記のグラフにおいて横軸は時間(総計算時間=48時間=144000sec)、縦軸は水深と流速を示している。また、青線がXRAIN雨量による計算結果、赤線がダウンサイズしたXRAINデータによる計算結果を示している。

これらのグラフより、漁川の上流点、中流点では、流速が時間ごとに激しく変動しており、最大流速はXRAIN雨量の計算結果がDownsized XRAIN雨量の計算結果より大きくなっていることがわかる。流速の変動はメッシュ雨量の空間的な雨量の差により生じており、最大流速についてはXRAIN雨量はDownsized XRAIN雨量より雨量解像度が大きく、局所的に大きな降雨量が反映されたためである。一方、水深については、中流部で両者の差異が比較的大きくなるものの、全体的に両計算結果の差異は流速と比較して小さい結果となった。これらの点は、平地部の内水氾濫の結果とも適合している。一方、下流域においては、流速、水深ともに降雨解像度の影響は小さくなった。これは上流域からの積算された雨水の流入が流速、水深の変化を支配しており、雨量解像度の影響が直接反映されなくなったためと考察される。

5. まとめ

本研究では、まず既往の平面二次元氾濫シミュレータにXレインの時空間データを直接読み込む機能を追加し、高解像度降雨データを直接反映された氾濫シミュレーションが可能なソルバーを構築した。次にこのソルバーを用いて、降雨解像度が氾濫シミュレーション結果におよぼす影響を検討した。地形の特性を考慮するため、山地部（北海道漁川流域）と平地部（静岡県高塚川流域）の2つの流域の洪水氾濫災害を事例として取り上げた。また、入力する降雨データとしては、XレインデータとXレインデータをCレインレベルに平滑化してダウンサイズしたデータの2つを用いることで、降雨解像度が氾濫シミュレーション結果に及ぼす影響を検討可能とした。これらの結果から、次のような特性がみられた。

1. 降雨解像度の影響は水深よりも流速の変化により顕著に現れ、降雨解像度が高まると、流速の振幅、最大値ともに大きくなる。
2. 降雨解像度の影響は平地部よりも急傾斜地でより顕著である。これは平地部では氾濫水が直ちに滞水するため、降雨の直接の影響が弱まるためと考えられた。
3. 河道内の水位、流速に及ぼす解像度の影響は、下流に行くにつれて小さくなる。これは、下流側では降雨の積分された値が現象を支配するためと考察された。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、国土交通省北海道開発局よりデータの提供や助言など、多大なご助力をいただいた。また、北海道大学大学院修士課程の桑田優希君には数値解析やデータ整理全般にわたって協力を得た。また、北海道大学博士研究院の久加朋子氏にはXレインのデータフォーマットの取り扱いについて多大なご協力とご助言をいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) iRIC研究会：iRICホームページ，www.i-ric.or.jp, 2016.
- 2) 一般財団法人河川情報センター：河川情報数値データ配信サービス 通信仕様書，XバンドMPレーダ雨量データフォーマット仕様書，ver.1.5, 2016.
- 3) XRAINを用いた流出予測精度向上に係る手法の研究、河川技術論文集、第20巻、2014年6月。
- 4) XバンドMPレーダによる洪水再現精度向上効果，土木学会第66回年次講演会(平成23年度)，2011.

5) 国土交通省, 平成26年9月11日低気圧に伴う豪雨による出水の概要, 2016.