

# 2007 年度 修 士 論 文

手賀沼水害危険地域の変遷と市街地構造による対策の検討  
Analysis of flood risk transition and measures using urban  
contexture around Lake Tega

吉 田 翔  
Yoshida, Sho

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
社会文化環境学専攻

# 手賀沼水害危険地域の変遷と市街地構造による対策の検討

Analysis of flood risk transition and measures using urban contexture around Lake Tega

学籍番号 66855

氏 名 吉田 翔(Yoshida, Sho)

指導教員 黄光偉 准教授

## 1. 背景と目的

高度成長期以降、人口増加によって災害に対し脆弱な都市が生まれた。しかし近年人口減少が現実のものとなり、災害に対する安全性に配慮して都市を再構築することの可能性が増している。同時に空洞化等の新たな問題も生じている。こうした状況に対し、縮小する都市の新たなマネジメント手法が求められている。地震対策ではすでに再開発手法を用いて改善が進んでいるが、水害対策を検討した例は著者の知る限り少ない。既往の研究では、治水事業によらない市街地構造を用いた水害対策を検討する例は存在するものの、その市街地の形成過程から生じる水害特性等については考慮せず、氾濫流の制御に焦点をあてたものが多い。そこで本研究では、現在までの水害危険性の変遷を分析し、地域のもつ水害特性について考察した上で、高齢化や空洞化などの地域の社会的な背景を踏まえた市街地構造による水害対策について検討した。

## 2. 研究対象地域

研究対象地域は千葉県北西部の手賀沼とした。手賀沼周辺は水害の常襲地帯であった。その後排水機場の建設や堤防の構築で、外水氾濫に対する安全性は向上し、内陸での内水被害を除いて水害は激減した。しかし、干拓や埋め立てで新しくできた土地に

おいて依然として浸水被害が発生している。

本研究では過去に浸水被害のあった4つの対象領域を設定した。現状ではArea4の沿岸部を除いてY.P+4.5mの堤防が整備されている。未整備区間を合わせると、30年に一度の洪水に対処できる( $W=1/33$ )。

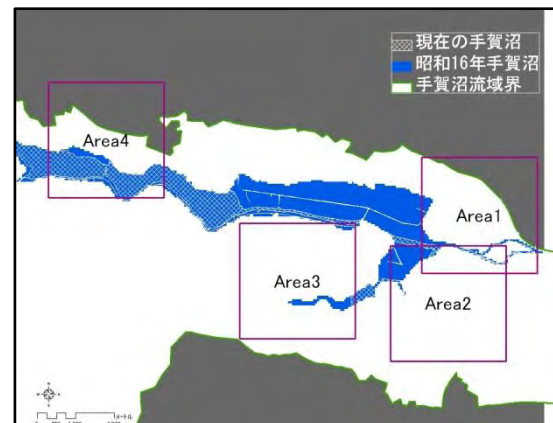


図1 手賀沼と計算領域

## 3. 洪水氾濫モデルについて

本研究では、越流後の氾濫流の挙動に焦点を当て、二次元不定流モデルを用いて氾濫解析を行った。氾濫原の情報は、標高と土地利用の2つのデータを用いた。まず分析を行った昭和16年の標高については、地形図から等高線をGIS上でデジタル化し、内挿補間を行って10mメッシュのデータとした。土地利用については、同じく地形図の地図記号を読み取って、10mメッシュのデータとした。昭和56年のデータについて

では、数値地図 50m メッシュ標高と 10m メッシュ細数値情報土地利用を用いた。また、市街地構造対策の検討では、都市計画図基本図の 0.1m 精度の標高データをデジタル化し内挿補間を行って利用した。

(二次元不定流モデル基礎式)

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\text{運動式}(x) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$\text{運動式}(y) \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

ここで、 $M=uh$ ,  $N=vh$

表 1 粗度係数

番号	名称	粗度係数
1	水田	0.025
2	畑・その他	
5	水面	
3	市街地	0.067
4	山林	0.1
-	道路(建物考慮時)	0.043

#### 4. シミュレーション結果と考察

手賀沼周辺の水害危険度を分析するため、二次元不定流モデルによる氾濫解析を行った。計算条件は、洪水による大規模な被害の発生した昭和 16 年 7 月の手賀沼の水位 (Y.P+5.0m)を参考にした。

各エリアに共通して浸水区域の縮小と浸水深の二極化という現象が見られた。特に、Area1 と Area4 でその傾向が顕著であった。土地利用の状況と比較すると、どちらも大幅に市街化が進んでいることが分かる。Area1 では、盛り土によってできた道路が堤防の役割を果たし、また市街地においても土地がかさ上げされ、氾濫流が越流地点近傍に集中したと思われる。また Area4 で

は、埋め立てで造成された住宅団地が排水に考慮して沼に向かって緩い勾配をもっていているため、沼に沿って氾濫水が滞留し、浸水深の二極化を招いた。こうした氾濫流の集中とそれに伴う浸水域の縮小から、浸水域内の到達時間は、昭和 56 年の方が同程度かまたは早くなった。

次に、昭和 16 年から昭和 56 年にかけて、各エリア浸水域の増減(浸水域増加率)、重複率(重複浸水域割合)、計算領域の中に新しくできた市街地のうち昭和 56 年に被害を受けた割合(新規市街地浸水域進出割合)について、越流開始 1 時間後と、ほぼ平衡状態に達する 6 時間後の浸水分布を用いて分析した。図 7 に示すとおり、大きな負の値を示した増加率と高い重複率から浸水区域の縮小が改めて確認できた。エリア別にみると、増加率が小さく重複率も小さい Area3 は浸水する場所自体が変化したことが分かった。Area4 の 6 時間後では増加率が小さく重複率が高いので、浸水する場所と規模が同程度であったことが分かった。Area4 は崖に囲まれた場所に位置していることから、長時間の越流に対して昭和 16 年当時と同じ場所が被害を受けたと言える。地形的特性から水害を回避できないにもかかわらず市街地の進出があった Area4 について、従来の治水対策では不可能と考え、市街地構造による対策を次節以降で検討した。

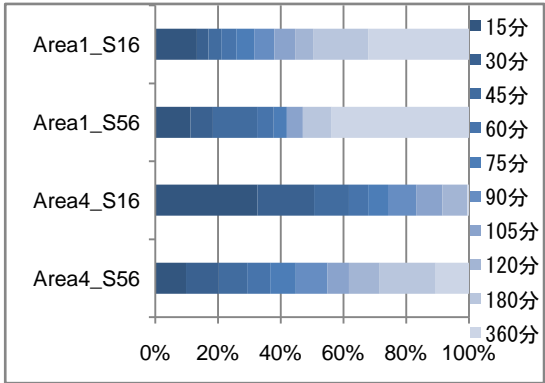


図 2 浸水域内到達時間割合

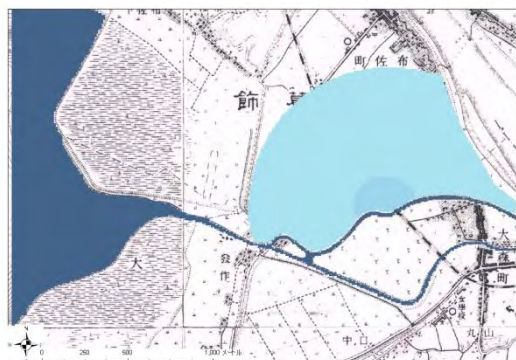


図3 昭和16 Area1 3時間後浸水深

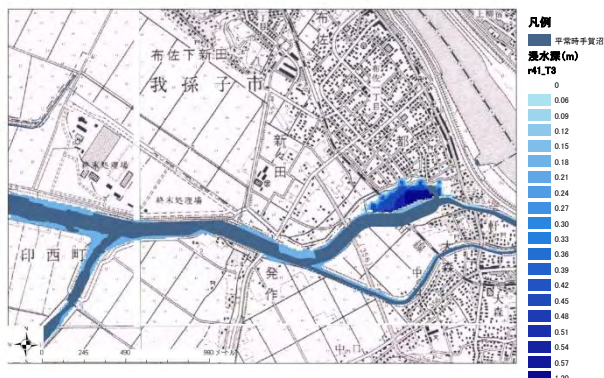


図4 昭和56年 Area1 3時間後浸水深



図5 昭和16 Area4 3時間後浸水深



図6 昭和56年 Area4 3時間後浸水深

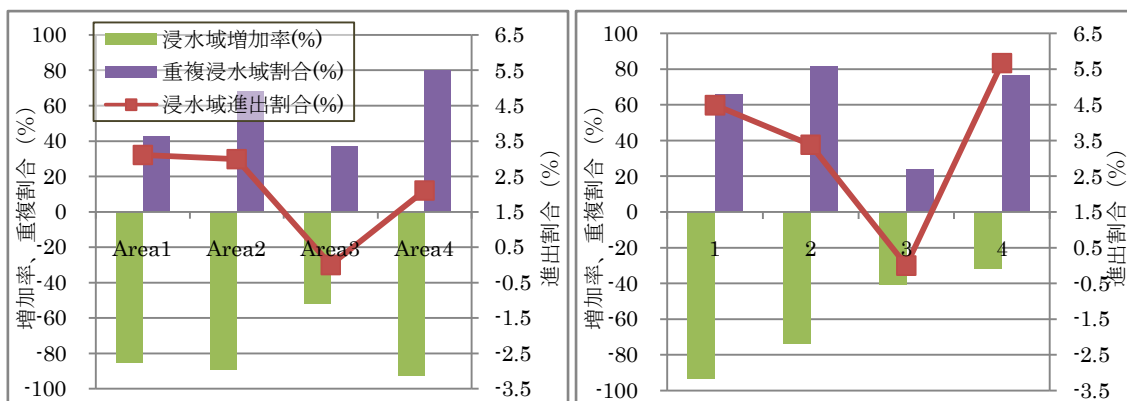


図7 越流開始1時間後の増加率，重複割合，進出割合(左)と同6時間後(右)

## 5. 市街地構造による対策

以上のような水害の特性に加え，Area4 には高齢化する住民が容易に避難できる場所がない．また住宅地が沼近傍まで迫り，堤防のかさ上げが難しく現在も手賀沼沿岸で唯一整備計画を達成していない地域である．そこで，これらの背景に配慮し，かつ沼周

辺部に氾濫流が集中しやすいという地形条件を活かして，氾濫流を誘導する誘導路と避難場所を兼ねた氾濫流誘導建物を想定し対策を検討した．さらに誘導建物等の市街地内構造物を評価できるよう，氾濫場に存在する構造物の空間平均的な抵抗力を加味したモデルの改造を行って上で，その被害



軽減効果について検証した。氾濫原構造物のデータは ZmapTown II (Shape)を用いた。

誘導路については、現状地盤高より 0.5m 下げ、また誘導された氾濫水の貯留場所として既存のオープンスペースを利用することとし、地盤高は 1.0m 下げた。1 時間後の状況について分析した結果、すべての場合で今現在計画されている堤防かさ上げ(Y.P +4.5m)よりも被害が小さくなった。誘導路のみで検討した場合(Case3,4)、誘導路に流れが集中し浸水面積が小さくなった。誘導路沿いの建物を除去(Case5)、あるいは除去した後の拡幅された誘導路沿いに新たな誘導建物を建てる(Case6)と、誘導路のみの対策よりも浸水面積は大きくなった。しかし浸水深の最大値と平均値については小さくなった。どちらも共通して誘導路が拡幅され氾濫水が誘導路に集中する傾向が弱まり、浸水深が均された結果と考えられる。

Case6 では、誘導路の拡幅を行う際、敷地を集約し、セットバックした建物として建て替えることで、建築基準法における前面道路による高さ規制の緩和措置を適用できる可能性がある。この措置で床面積の上昇が見込まれる。特に空洞化が目立つ市街地において、開発を誘導して人口を維持しながら水害に強い市街地構造を形成することができる可能性があると言える。



図 7 市街地構造対策 (Case6)

表 2 各対策により予想される浸水危険度

番号	対策	面積 (ha)	最大値 (m)	平均値 (m)
Case1	現状	1.34	1.829	0.50
Case2	堤防	6.59	4.278	0.94
Case3	誘導路(横)	1.13	1.635	0.50
Case4	誘導路 (横と縦)	1.04	1.609	0.51
Case5	Case4 +建物除去	1.17	1.573	0.48
Case6	Case5 +誘導建物	1.17	1.574	0.47

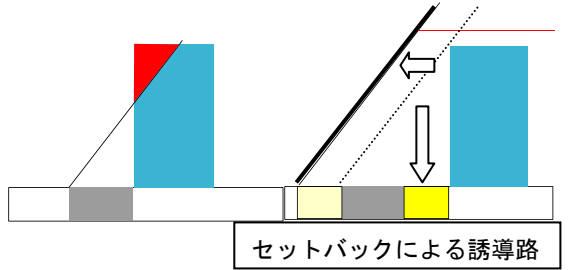


図 8 高さ規制の緩和

## 6. まとめと今後の展望

手賀沼水害危険度の変遷として、浸水深の二極化と浸水域の縮小が確認された。またその背景として、宅地化や埋め立てによる地形起伏の変化があることが分かった。市街地構造による対策では、避難に影響する越流開始初期においてその効果が確認された。都市計画制度を用いた実現手法の検討においては、局所的には有効性が確認されたが、広い地域に対し、一体的に行う「市街地再開発事業」のような施策における水害への対応が望まれる。

本研究は東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号 156)による成果であり以下のデータを利用した。  
ZmapTown II (shape 版)千葉県

## 目次

### 1 序論

1.1	研究背景と目的.....	p001
1.2	研究概要.....	p003
1.3	対象地域の概要.....	p005
1.3.1	手賀沼流域について.....	p005
1.3.2	手賀沼流域の水害について.....	p007

### 2 洪水氾濫モデルについて

2.1	洪水氾濫モデルの背景と目的.....	p009
2.2	対象とする現象とモデル.....	p009
2.3	氾濫モデルの選択.....	p010
2.4	二次元不定流モデル基礎式の導出.....	p013
2.5	氾濫原情報のモデル化.....	p016

### 3 手賀沼洪水氾濫シミュレーション

3.1	計算条件.....	p020
3.2	昭和 16 年洪水概要.....	p026
3.2.1	発生過程.....	p026
3.2.2	既往文献による被害状況.....	p027
3.3	シミュレーション結果と考察.....	p029
3.3.1	手賀沼流域.....	p029
3.3.2	Area1(布佐地区) .....	p032
3.3.3	Area2(発作地区) .....	p037
3.3.4	Area3(今井新田地区) .....	p042
3.3.5	Area4(若松地区) .....	p047
3.4	昭和 56 年出水概要.....	p052
3.4.1	発生過程.....	p052
3.4.2	既往文献による被害状況.....	p053
3.5	シミュレーション結果と考察.....	p054
3.5.1	手賀沼流域.....	p054
3.5.2	Area1(布佐地区) .....	p058
3.5.3	Area2(発作地区) .....	p063

3.5.4 Area3(今井新田地区)	p069
3.5.5 Area4(若松地区)	p074
3.6 被害地域の分析と考察	p079
3.6.1 Area1(布佐地区)	p080
3.6.2 Area2(発作地区)	p082
3.6.3 Area3(今井新田地区)	p084
3.6.4 Area4(若松地区)	p086
3.7 まとめ	p091
<b>4 沿岸市街地の水害危険度想定と対策</b>	
4.1 市街地氾濫モデル	p094
4.1.1 構造物評価モデルの背景と目的	p094
4.1.2 モデル概要	p095
4.1.3 シミュレーション結果と考察	p096
4.2 沿岸市街地の現状と水害危険度想定	p108
4.2.1 詳細標高データの作成	p108
4.2.2 昭和 56 年出水時条件による想定(Case1)	p110
4.2.3 堤防高計画達成による想定(Case2)	p113
4.3 対策	p116
4.3.1 沿岸市街地の現状	p116
4.3.2 氾濫水誘導路 1(Case3)	p125
4.3.3 氾濫水誘導路 2(Case4)	p128
4.3.4 誘導路と誘導建物 1(Case5)	p132
4.3.5 誘導路と誘導建物 2(Case6)	p136
4.3.6 誘導路と誘導建物(Case7)	p140
4.3.7 各対策の比較分析	p144
4.3.8 都市計画手法による一般化	p147
<b>5 まとめと成果, 今後の展望</b>	p151
参考文献	p152
謝辞	p153

# 1. 序論

## 1.1. 研究背景と目的

水害に対する安全性と都市域は多くの矛盾を有している。それは洪水時に浸水危険性の高い場所に経済的な理由から宅地が増えたこと、治水設備により安全性の確保が一定レベルまでは保障されていることから本来危険な場所に宅地ができること、また都市計画において水害危険性が優先事項となっていないことなど、都市の形成要因にかかわる種々の要素が混在していると思われる。しかし、著者が神奈川県伊勢原市において、土地利用と水害危険性の相関を分析したところ、高い負の相関が得られた。よって都市化のあまり進んでいないような地域内の浸水危険性の高い場所では、宅地開発は少ないといえる。つまり、人口増加による都市化の圧力がこの矛盾を生んだ一つの原因と考えられる。

今後の人口減少社会においては、これまで人口増加の受け皿となってきた郊外都市において都市化の圧力が弱まり、この矛盾を解決することが可能になることも考えられ、水害に対する安全性に配慮して都市を再構築していくことを検討できる可能性がある。

一方、都市の今後の問題点を考えると、大都市における人口集積が発生する一方で、人口減少や高齢化によって空洞化が生じる地域が大量に発生すると予想され、現実には直面している地域もある。人口減少は、無秩序に開発のすすめられた郊外都市においては、再度都市を作り直す転換点となりうるという期待もありながら、実際にはその作り直す手法や、作り直す際のよりどころとなる一種の評価軸が設定されておらず、空き家や空き地が散在し空洞化が進行するところが多いと思われる。

このように都市の縮小と水害対策の再検討は、相互補完的に作用することが可能である。それはすなわち人口減少の進む縮小する市街地において、水害対策を軸にして都市を再編するということである。

以上のような背景のもと、既往の研究について参照すると、最も盛んにおこなわれているのが、福岡ら(1998)における家屋の流体力の表現式や一般曲線座標系モデルについての検討、黄ら(2004)における家屋流体力の空間的平均処理による構造物評価に関する実験、谷岡ら(2003)における流出解析における下水道の評価、間島ら(2005)における地下空間と地上空間を統合した浸水解析など、都市における氾濫流のモデル化について、その精度向上へ向けた取り組みである。また、市街地に特化している研究では、秋山ら(2006)における内水氾濫と外水氾濫を同時に扱い、市街地の雨水排除システムについても考慮したモデルを検証した研究、重枝ら(2004)における非構造格子モデルの検証に関する研究など、氾濫流の挙動をシミュレーションする計算モデルに関する研究を多いが、その市街地構造に着目して対策を検討した、福岡



ら(1993)におけるスーパー堤防上の市街地構造について、その氾濫流制御という側面から評価した研究や黄ら(2006)における市街地内の道路を利用して氾濫流を農地へ導流する研究なども行われている。

モデルの精度向上は極めて重要な問題であるが、前述の背景を踏まえると、そうした計算モデル向上に関する研究とともに、市街地モデルを適用し、その市街地構造から水害対策に関し考察する研究も同程度必要な段階にあると考えられる。しかし現状では、モデルの改良に関する研究が圧倒的に多く、市街地における対策については従来のハード対策による治水、すなわち堤防や調整池に終始している。

また市街地構造に着目した研究においても、従来の治水事業の上に成り立つ補完的な位置づけであることが多い。さらに最も根本的な問題として、対策を検討する市街地について、氾濫流の制御に重点が置かれ、その場所の水害特性や人口、土地利用等の都市的・社会的な背景についての検討が不十分である。市街地構造による対策では、従来の河川や湖沼近傍による対策ではないので、広い地域に対する広い視野を持って検討する必要がある。

以上のような背景を踏まえ、本研究においては、水害の特性を歴史的な変遷から分析し、その水害特性上市街地構造による水害対策が望まれる場所を選出し、その場所で構造物を評価するモデルを用いて市街地構造による対策を検討、評価することを目的とした。加えて、その実行手法についても検討することとした。

対象領域として手賀沼を選んだ。千葉県北部手賀沼沿岸地域は、我孫子駅を中心とする地域に市街化が進行している。もともと昭和初期まで手賀沼の沿岸は水害の常襲地域であった。特に手賀沼の下流、現在の手賀川と利根川の合流付近では被害が多く、現在の我孫子市付近を含む手賀沼上流付近は、過去の水害にまつわる記録はほぼ皆無である。そのため水害に対する配慮なしに、市街化の圧力によって手賀沼に接して住宅地が生まれたと考えられる。しかし実際には、この地域は昭和 50 年代に台風により住宅への浸水、道路の冠水が発生している。また、隣接した内陸部でも、沼の水位上昇により内水排除が不可能になり床上浸水の被害が発生した。

手賀沼沿岸地域は、過去の水害を治水技術で乗り越えながらも、市街化の圧力により危険な地域へ宅地進出が進み、結果水害が再び発生するようになってしまった。これは典型的な都市と水害の矛盾が、人口増加という外圧により生まれた結果である。加えて、ベッドタウンとしての郊外都市であるため、人口減少の影響が今後現われてくると考えられる。

以上のように手賀沼沿岸地域においては、物理的に土地に余裕が生まれることが予想される中で、新たに土地利用の調整を行うことが可能な地域であり、今後水害対策を検討するにあたって、市街地構造による対策の検討を行うことができる地域が存在していると考えた。

## 1.2. 研究概要

本研究の目的は、①実際に起きた水害の条件で各時代の水害をそれぞれ想定し、水害危険域の変遷を分析して、都市と水害の矛盾の実態を解明すること、②人口減少という社会的な背景から、従来の堤内地における安全性を一律的に高める水害対策ではなく、部分的あるいは一時的に安全性を高める水害対策を市街地の構造に着目し提案することの以上2点である。

①についてはまずその被害が必ずしも明確ではない過去の手賀沼における水害について、計算モデルによる再現を行った。必要となるデータについては、過去のデータは主に地形図のデジタイズで作製し、近年のデータはデジタルデータを用い、それらをGIS上でメッシュデータとした。手賀沼の干拓や埋め立て以前の自然条件によって発生していた水害危険度と、干拓や埋め立て等で沿岸に人工地盤が改正された後の水害危険度を、浸水深や流速の分布に代表される空間的な被害の広がりや土地利用的な側面から分析した。こうして過去の水害の状況から新規市街地における浸水危険性の分析を行い、水害安全性と矛盾した市街地の拡大が進行した状況を把握した。

次に、上記の分析から明らかとなった、水害危険性の高い沿岸市街地について、その対策を人口減少や高齢化等の社会的な背景から、現在進行中の堤防かさ上げによる対策ではなく、今後建物が減少することを考慮に入れた市街地構造による水害対策について検討した。具体的にはまず建物の影響も評価できるように計算モデルの改造を行った。そのモデルの評価をした後、この新しい計算モデルを、市街地の地形や構造に着目した水害対応施策を複数設定し適用した。そしてそれぞれの効果や影響を、空間的な被害の広がりに加え、住宅域に特化して浸水面積を算出し分析した。また避難時間の目安となる氾濫水到達時間も評価項目とした。最後に対策を実行するための都市計画手法について検討した。

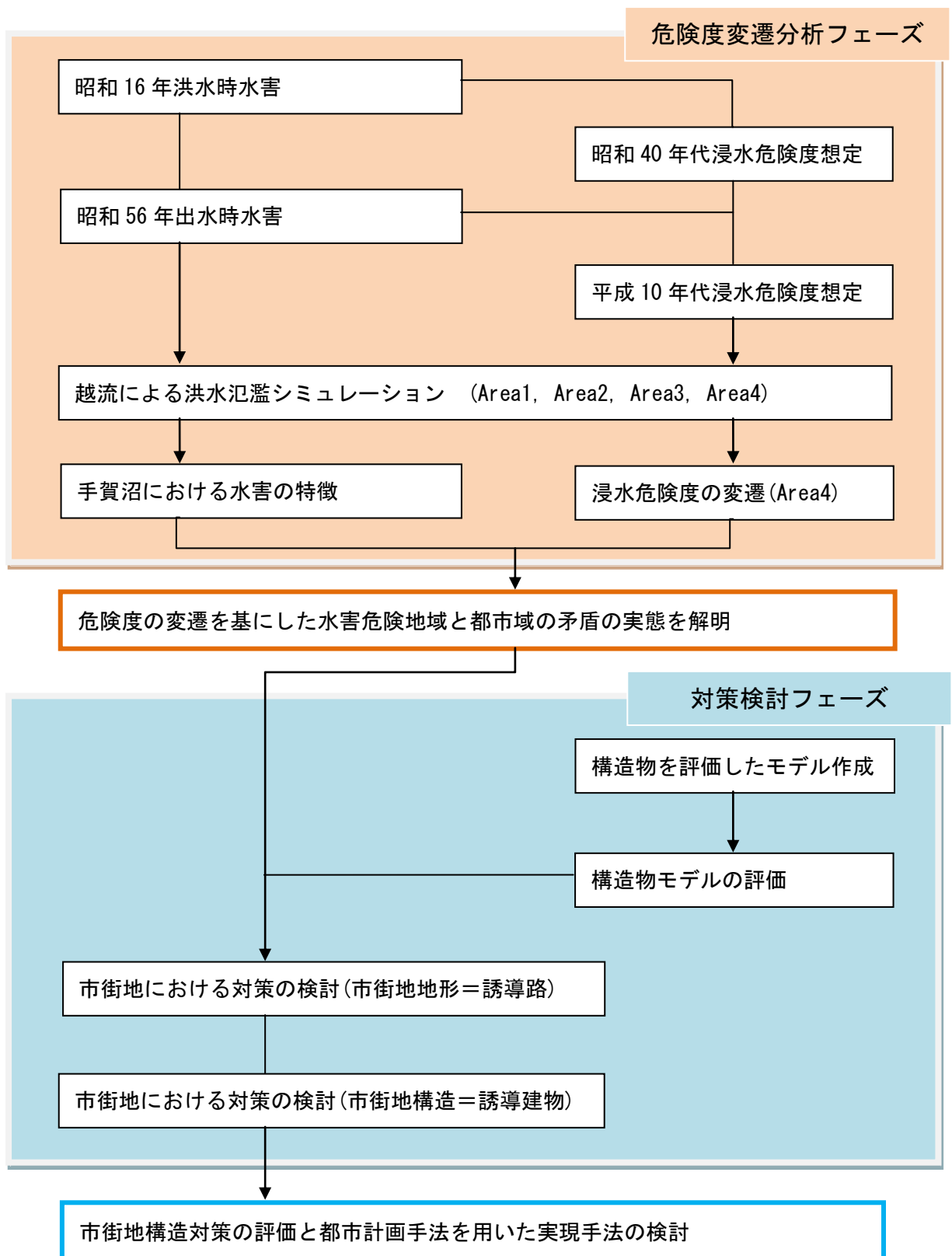


図 1 フローチャート

### 1.3. 対象地域の概要

#### 1.3.1. 手賀沼流域について

手賀沼は千葉県北部に位置する，流域面積 162k m<sup>2</sup>の沼である．主要な流入河川は 4 つであり，7 つの市と 1 つの村にまたがって存在している．



図 2 手賀沼流域



図 3 流域の行政界

### 1.3.2. 沼流域の水害について

手賀沼流域においては数多くの水害が過去発生しているが，細かな情報については，近年発生した水害のみである．年表から記述のあるものを数えあげるとその変遷は以下のようになった．

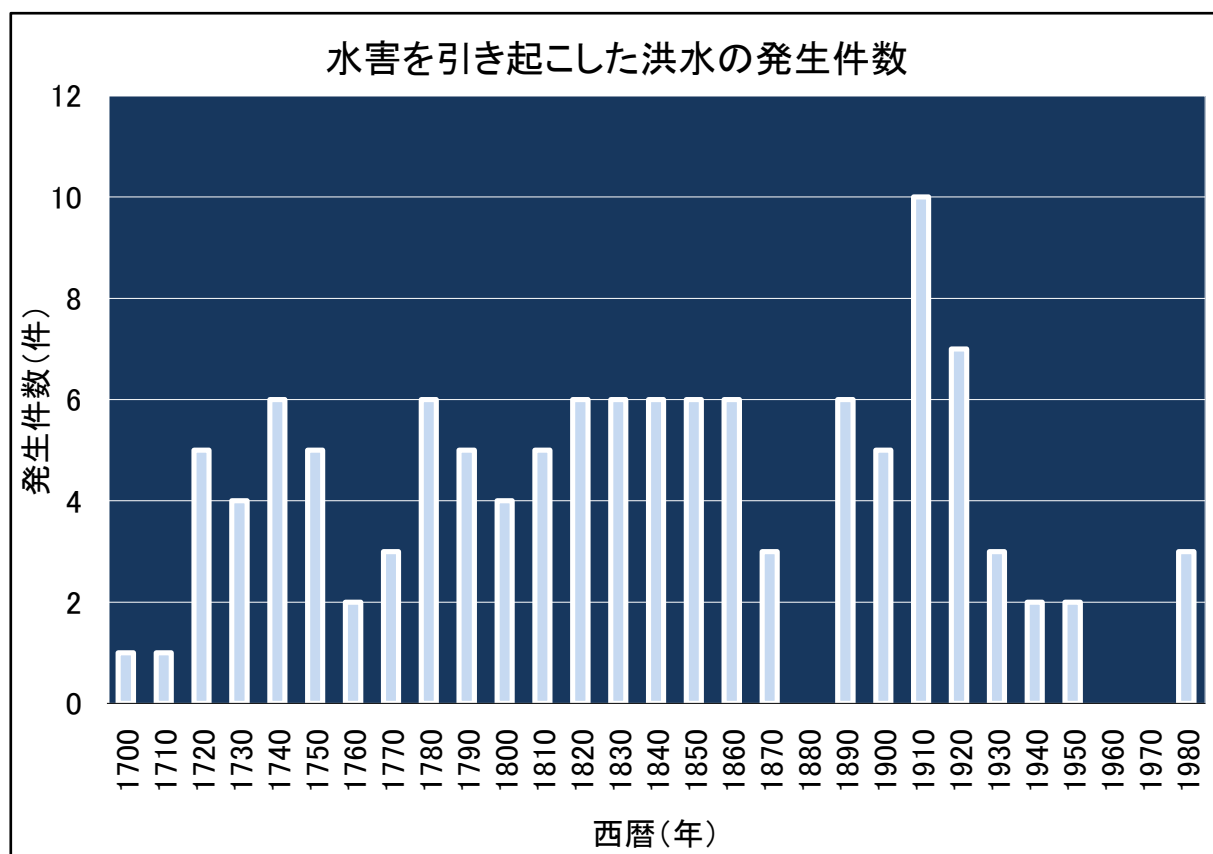


図 4 洪水発生件数 (出典：手賀沼の水害 中尾正巳)



手賀沼の水害に関する記録は極めて少ない。明治 43 年以降明らかになっている水害と、治水対策をまとめた。なお、研究対象として扱うことができるかどうかの目安として、発行された地形図の時期についても合わせて記した。

表 1 水害履歴

	水害対策	市街地への浸水	地形図
明治 43 年(1910 年)	手賀排水機場完成	○(手賀沼大洪水)	△
昭和 3 年(1928 年)			
昭和 13 年(1938 年)		○(梅雨と台風通過による手賀沼大洪水)	
昭和 16 年(1941 年)		○(梅雨と台風通過による手賀沼大洪水)	○
昭和 31 年(1956 年)			
昭和 44 年(1969 年)	北千葉第一機場完成		○
昭和 56 年(1981 年)		○(台風 24 号による手賀沼出水)	
昭和 59 年(1984 年)			○
平成 3 年(1991 年)			

## 2. 洪水氾濫モデルについて

### 2.1. 洪水氾濫モデルの背景と目的

手賀沼周辺では、過去に水害が頻発していたが、その被害に関する情報は極めて少ない。特に、本研究において対象とする浸水被害の大きかった「場所」という空間的な情報については、建物や農作物といった数値として記録される情報と違い近年の水害においても少ない。そのため、浸水地域の空間的な広がりをとらえる上で必要となるモデルの検証が不可能である。また、内水氾濫による小規模な被害については明らかになっている水害も存在するが、本研究で対象にするような手賀沼の外水氾濫は近年特にその発生がないために、被害の状況は明らかでない。

本研究においては、氾濫解析を行うことで、再現結果の精度を向上させるよりも、明らかとなっていない過去の水害をある程度の誤差を許容して再現し、空間的な被害の概要を把握すること、また従来その作業量から困難が伴う複数の時期における氾濫解析を行い、その時その場所に存在していたと考えられる水害リスクとして分析を行うことを目的としている。よって、地形的な特徴や過去の実績等から手賀沼流域に適用する場合に最もふさわしいと考えられるモデルを吟味し、モデルの精度検証は省略することとした。よって本研究において導かれる浸水地域は、実際のそれとは完全には一致しない「危険性の高い地域」という位置づけとした。

### 2.2. 対象とする現象とモデル

河川や湖沼の氾濫は、降雨により水位が上昇し、溢れることで発生する。溢れる時には、堤防を越えて水が溢れ(越流)、のち堤防が崩れ(決壊)、さらに氾濫の規模を拡大させていくというのが一般的な氾濫現象である。

これらの現象を計算によって再現するにあたって必要となるのが以下の3点である。

1. 河川や湖沼等水域の流れと水位の変化の算出
2. 越流または堤防決壊による流出する流量の算出
3. 氾濫水の挙動

従来の河川における氾濫解析では、以上3つの現象に対しそれぞれ以下のようなモデル化を行っている。

1. 1次元不等流モデルによる河道流れの解析
2. 越流公式
3. 2次元不定流モデルによる氾濫水の解析

しかし、手賀沼の水害の特徴を考えると、沼であるため洪水時においてもその水位上昇は非常に穏やかである。昭和16年洪水時には台風通過後1週間以上経過したのちに、最高水位に達している。したがって本研究においては、1と2は考慮せず、初期条件として越流水深を指定し、もっぱら氾濫水の挙動である3について検討することとした。

氾濫水の挙動を検討する際には、氾濫の情報が重要であるが、過去の水害においては市街地の発達が未熟であり、厳密な構造物の評価は必要ないと考えられる。しかし、将来想定においては、現状の市街地発達の状況や、今後の予測から家屋等氾濫原の構造物についての評価が求められる。よって、水害危険度の変遷分析フェーズにおいては、構造物は考慮せず対策の検討フェーズにおいて建物の評価を行った。

## 2.3. 氾濫モデルの選択

モデルの選択にあたっては、以下の項目について検討する必要がある。

- 河道横断方向の氾濫流の流下幅 ( $B_f$ )
- 河道方向の氾濫原勾配 ( $I_f$ )
- 求める精度
- 計算時間

氾濫流の流下幅と氾濫原勾配は、越流あるいは破堤後の氾濫特性を決定する。氾濫原が谷底平野や河岸段丘などの場合、氾濫水は1次元的に流下する「沿川流下型」となる。一方氾濫原がデルタや後背湿地の場合、氾濫水は2次元的に流下する「拡散型」となる。手賀沼を河川として見た場合、手賀沼は干拓の影響もあるので、氾濫原は河岸段丘と似た構造をしている。しかし、河川と違い沼は勾配が非常に緩いため、氾濫水が一次元的に流下していくとは考えにくい。そこで、この判断のために表のような基準を参考とした。

表 2 氾濫減特性から見たモデルの選択

	If $\geq 1/300$	If $< 1/300$
Bf $< 500\text{m}$	1次元モデルでもよい	1次元モデルでもよい。ただし河道と平行に盛土がある場合は2次元モデルがよい
Bf $\geq 500\text{m}$	1次元モデルでもよい。ただし河道横断方向の氾濫原勾配が緩く、かつ氾濫水の伝播が重要となる場合は2次元モデルがよい	2次元モデルが望ましい

出典 土木研究所資料 氾濫解析マニュアル

過去の手賀沼における水害事例から、氾濫流の流下幅 ( $B_f$ )は 500m よりも小さいことが明らかである。氾濫原勾配 ( $I_p$ )は大きくても 1/500 程度であるが、沼と平行して堤防があるので、2次元モデルが望ましいと考えられる。よって2次元モデルを採用することとした。

2次元モデルでは以下の4つのモデルが一般的である。

- 越流ポンドモデル
- 氾濫ポンドモデル
- 開水路ポンドモデル
- 二次元不定流モデル

各モデルは、以下の1次元開水路非定常流方程式において、影響の少ない項を省略している点で異なる。

$$\frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{gA^2} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} - i_b + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{\frac{3}{4}}} = 0$$

表 3 各モデルの概要

氾濫モデル	開水路非定常流式の各項						長所と短所
	第 1 項	第 2 項	第 3 項	第 4 項	第 5 項	第 6 項	
越流ポンドモデル	×	△	△	○	○	△	流量係数に慣性項の影響が含まれているので運動式が簡略化されるが、緩勾配の氾濫原では適用性が落ちる
氾濫ポンドモデル	○	×	×	○	○	○	ポンドを不定型に分割できるが、浸水深の横断的な変化の再現性が低い
開水路ポンドモデル	○	×	×	○	○	○	ポンドを不定型に分割できるが、浸水深の横断的な変化の再現性が低い
二次元不定流モデル	○	○	○	○	○	○	氾濫流の運動を厳密に再現できるが、計算時間が長い

○：考慮されている項

△：近似的に考慮されている項

×：考慮されていない項

出典 土木研究所資料 氾濫解析マニュアル

平成 8 年現在で調査した洪水氾濫危険区域図では、134 河川のうちのべ河川数では図のような割合でモデルが選択されている。

モデル別適用河川数（のべ134河川）

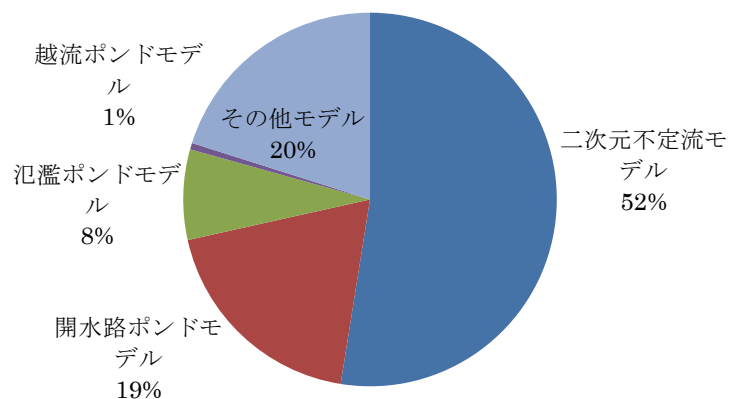


図 5 モデル別適用河川数（出典：土木研究所資料 氾濫解析マニュアル）

以上から、本研究においては最も実績があり精度の高いと考えられる二次元不定流モデルを用いた。

## 2.4. 二次元不定流モデル基礎式の導出

二次元不定流モデルの基礎式は以下のとおりである。

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\text{運動式(x 方向)} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$\text{運動式(y 方向)} \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

ここで、 $M=uh$ 、 $N=vh$  である。

以下に導出過程を示した。

Navier-Stokes の運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \Delta u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \Delta v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta w$$

において、水平面を  $x$ - $y$  座標、鉛直方向を  $z$  座標によると

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \dots (2)$$

$$0 = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \dots (3)$$

また連続式は次のとおりである



$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \cdots (4)$$

(4)式を地面( $z = z_0$ )から自由水面( $z = z$ )まで  $z$  軸方向に積分すると

$$\begin{aligned} \int_{z_0}^z \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dz \\ = \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u dz - u \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z} + u \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z_0} + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z v dz - v \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z} + v \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z_0} + w \Big|_{z=z} \\ - w \Big|_{z=z_0} \cdots (5) \end{aligned}$$

ここで,

$$w = \frac{dz}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial z}{\partial t} dt + \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy \right) = \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial z}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial z}{\partial y} \frac{dy}{dt} \cdots (6)$$

$$\left( \frac{dx}{dt} = u, \frac{dy}{dt} = v \right)$$

底面での境界条件より

$$u \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z_0} = v \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z_0} = w \Big|_{z=z_0} = 0$$

これらを(5)式に代入して,

$$\begin{aligned} \int_{z_0}^z \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dz &= \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u dz + \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z v dz \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z (u_0 + u') dz + \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z (v_0 + v') dz \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u_0 dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u' dz + \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z v_0 dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z v' dz \end{aligned}$$

ここで

$$\int_{z_0}^z u_0 dz = M, \int_{z_0}^z v_0 dz = N$$

とすれば,

$$= \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y}$$

$z_0$ が時間的に変化しなければ,

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial(z - z_0)}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\therefore \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots (7)$$


---

次に, (3)式より,  $p = \rho g(z - z')$   $z = z'$  で  $p = 0$

(1) 式を地面から自由水面まで  $z$  軸方向に積分すると, 左辺は

$$\begin{aligned} & \int_{z_0}^z \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) dz \\ &= \int_{z_0}^z \left( \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uu) + \frac{\partial}{\partial y}(uv) + \frac{\partial}{\partial z}(uw) \right) dz \quad (4) \text{式より} \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^z u dz - u \frac{\partial z}{\partial t} \Big|_{z=z} + u \frac{\partial z}{\partial t} \Big|_{z=z_0} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u^2 dz - u^2 \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z} + u^2 \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z_0} + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z uv dz - uv \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z} \\ &\quad + uv \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z_0} + uw \Big|_{z=z} - uw \Big|_{z=z_0} \end{aligned}$$

$$(\text{底面での境界条件より} \quad u \frac{\partial z}{\partial t} \Big|_{z=z_0} = u^2 \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z_0} = uv \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z_0} = uw \Big|_{z=z_0} = 0)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^z u dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u^2 dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z uv dz - u \left( \frac{\partial z}{\partial t} \Big|_{z=z} + u \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z} + v \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{z=z} - w \Big|_{z=z} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^z u dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u^2 dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z uv dz \quad (6) \text{式より} \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^z u_0 dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z u_0^2 dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_0}^z u_0 v_0 dz \end{aligned}$$

(流速の変化量変化量  $u', v' \ll u_0, v_0$ )

$$= \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N)$$

一方右辺は

$$\int_{z_0}^z -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} dz + \int_{z_0}^z v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dz = -\frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z p dz - p \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z} + p \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z_0} \right\} + v \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=z} - v \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=z_0}$$

$$(\text{自由水面の境界条件より} \quad p \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{z=z} = v \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=z} = 0)$$

$$\begin{aligned} &= -\frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_0}^z \rho g(z - z_0) dz + \rho g(z - z_0) \frac{\partial z_0}{\partial x} \right\} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sx} - \tau_{bx}) \\ &= gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ &\therefore \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$


---

以上より

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\text{運動式(x 方向)} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$\text{運動式(y 方向)} \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

ここで、 $M=uh$ 、 $N=vh$  である。

出典 土木研究所資料 氾濫解析マニュアル

## 2.5. 氾濫原情報のモデル化

氾濫原情報として必要となるのは以下のデータである。

- 標高
- 土地利用
- 流域界

これらの情報をデカルト座標系モデルに適用することで、地形情報を表現した。

まず標高については、国土地理院発行の地形図をスキャンしたのち、GIS 上でデジタイズすることによって作成した。地形図上では、等高線が 5m おきに記されている。デジタイズした等高線は、10m 間隔で切断した後、ポイントデータとした。三角点などの測量標における標高が地形図上に記されている場合には、その標高についてもポイントデータに付加した。これらのポイント群から、内挿補間によって氾濫原全体の標高データを作成した。なお、昭和 56 年のシミュレーション、また将来予想については、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ標高データを利用した。

土地利用データについても、標高と同様に、地形図の地図記号からその場所の土地利用を読み取ってデジタイズした。

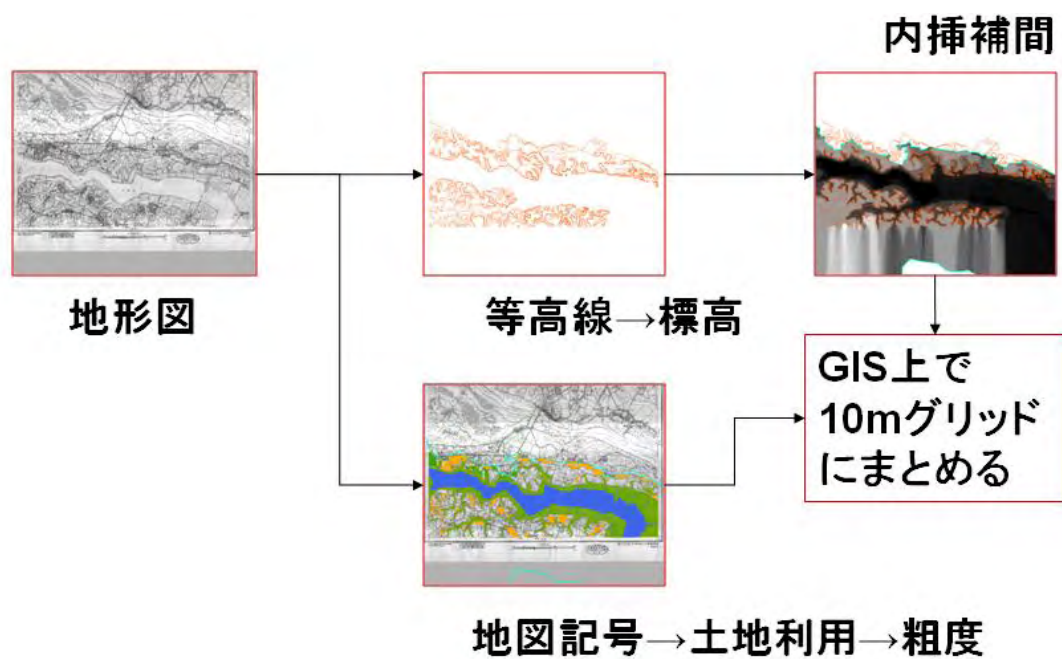


図 6 データ作成模式図

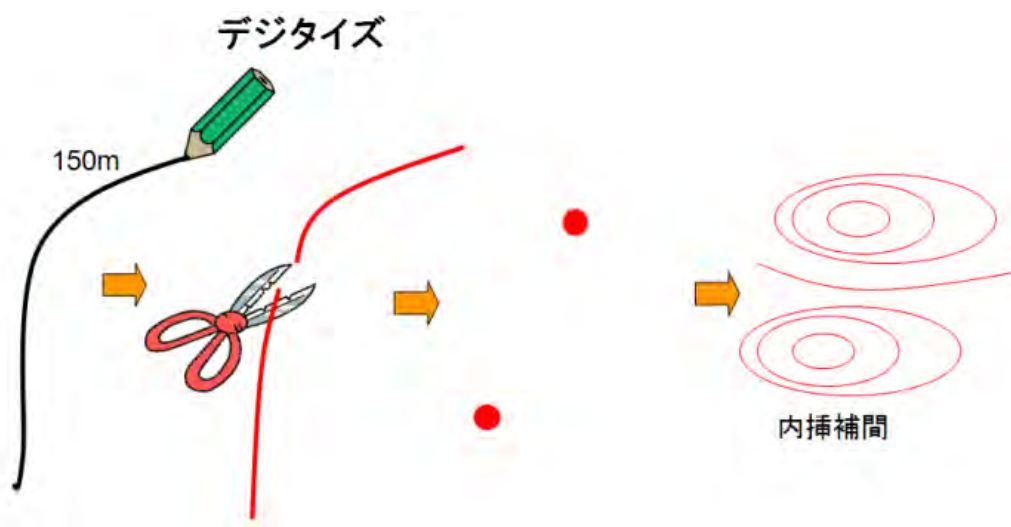


図 7 標高データの作成

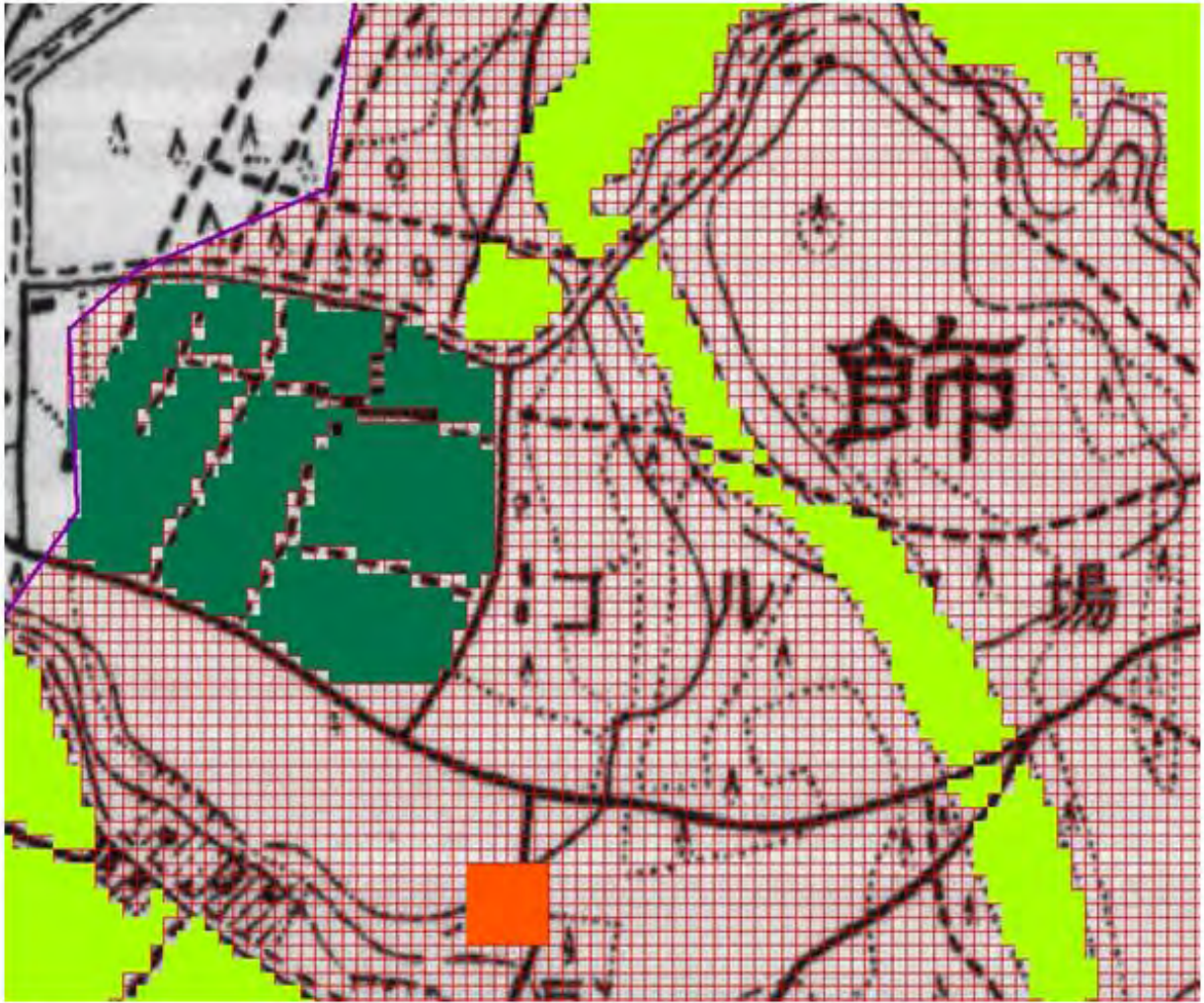


図 8 土地利用データの作成

土地利用は 5 分類を設定した。これは粗度係数として最低 3 分類は必要となることと、土地利用の変化を分析する際に必要と考えられる要素について考慮した結果である。なお昭和 56 年のシミュレーションと将来予想については、国土地理院発行の細密数値情報 10m メッシュ土地利用データを用いた。細密数値情報と計算用 5 分類土地利用の対応は以下の表のとおりである。

表 4 細密数値情報と計算用土地利用の対応

細密数値情報番号	土地利用名称	手賀沼流域割合	計算用番号	名称	流域割合
2	水田	15.0	1	水田	15.0
3	畑	16.6	2	畑・その他	36.2
4	造成中地	1.6			
5	空地	8.3			
11	道路	5.9			
12	公園緑地	2.1			
15	その他	1.7			
17	対象外	0.0	3	市街地	27.6
6	工業用地	2.7			
7	低層住宅地	14.7			
8	密集住宅地	0.5			
9	中高層住宅地	1.3			
10	商業用地	3.7			
13	公共施設	4.6	4	森林	16.8
1	山林・荒地	16.8	5	水面	4.4
14	河川・湖沼	4.4			
16	海	0.0			

土地利用から粗度係数を以下のように設定した。

表 5 粗度係数

土地利用番号	名称	粗度係数
1	水田	0.025
2	畑・その他	
5	水面	
3	市街地	0.067
4	山林	0.1
-	道路(建物考慮時)	0.043

流域界については、千葉県柏整備事務所によって作成された手賀沼河川概要図の流域界を用いた。



### 3. 洪水氾濫シミュレーション

#### 3.1. 計算条件

手賀沼における水害は、第 1 章において示したように近年は少ない。その中で、標高や土地利用のデータが現実的に手に入るのは地形図が発行されて以降である。各洪水と人工的な治水施策、入手可能な地形図との関係は 1 章で示した図のとおりである。

明治 43 年近辺に測量された地形図は、手賀沼流域の一部についてのみ発行されていた。完全な地形図が揃うことを考慮して、また人工的な水害施策を挟むという点も考え、昭和 16 年と昭和 56 年についてシミュレーションを行うことが、土地利用や人口施策について考察するうえでふさわしい。

考察を容易にするために、氾濫を再現する場所はどちらも同じ場所とした。その場所については、昭和 56 年出水時に越流が起きたと考えられる箇所とした。どちらの水害も大きな被害をもたらしたが、昭和 16 年の洪水時は、沼一帯が被害を受けたことから、昭和 56 年において被害を受けた場所は、昭和 16 年においても同様に被害を受けたことが容易に推測されるからである。計算時間等のほかの条件においても、昭和 56 年の条件を優先的に採用した。

全体の状況を把握するために、シミュレーションは 2 段階に分けて行った。第 1 段階では、現在の氾濫解析では一般的と考えられる 50m のメッシュサイズを設定し、手賀沼周辺一帯の被害状況をとらえた。第 2 段階においては、氾濫流の流速や到達時間を厳密に観察することを目的として、越流発生個所の周辺に 3km 四方の計算領域を設定し、10m メッシュ単位でデータを作成しシミュレーションを行った。シミュレーションにあたって、土地利用と標高のデータを地形図から作製した。計算領域は、手賀沼流域の中の、氾濫のあった箇所を含みかつ手賀沼全体を覆う 15km 四方の領域とした。

なお本研究では、モデルの検証が不可能である点から、評価した結果を過去の水害の再現とはとらえずに、当時存在していた水害リスクとして考えた。こうした背景から、氾濫原の標高や土地利用についてはシミュレーションを行った各時代の情報を用いたが、手賀沼の水位については、各時代共通に昭和 16 年洪水時の情報を利用した。

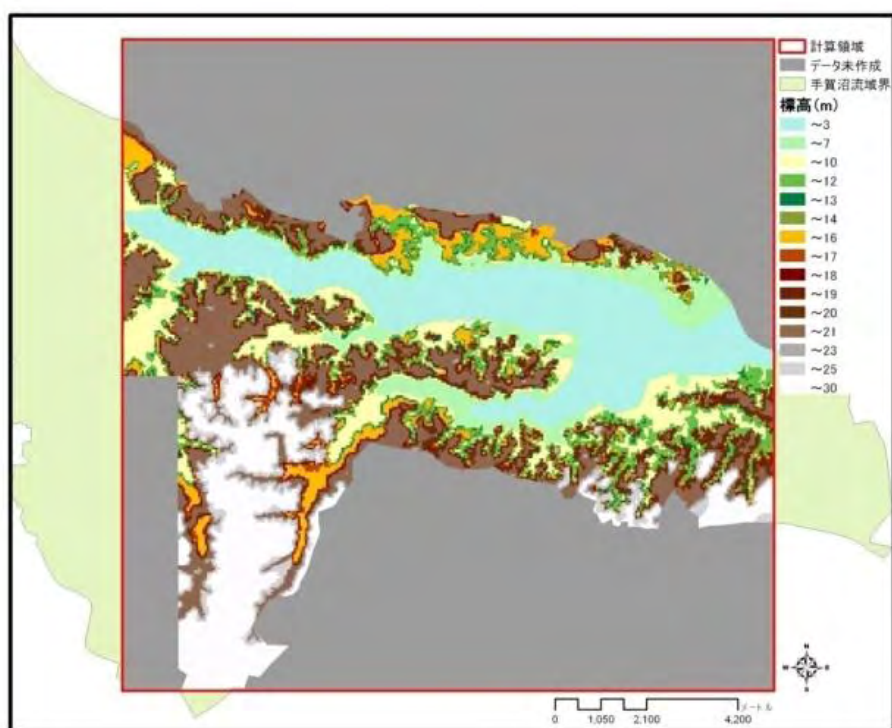


図 9 昭和 16 年手賀沼流域標高データ

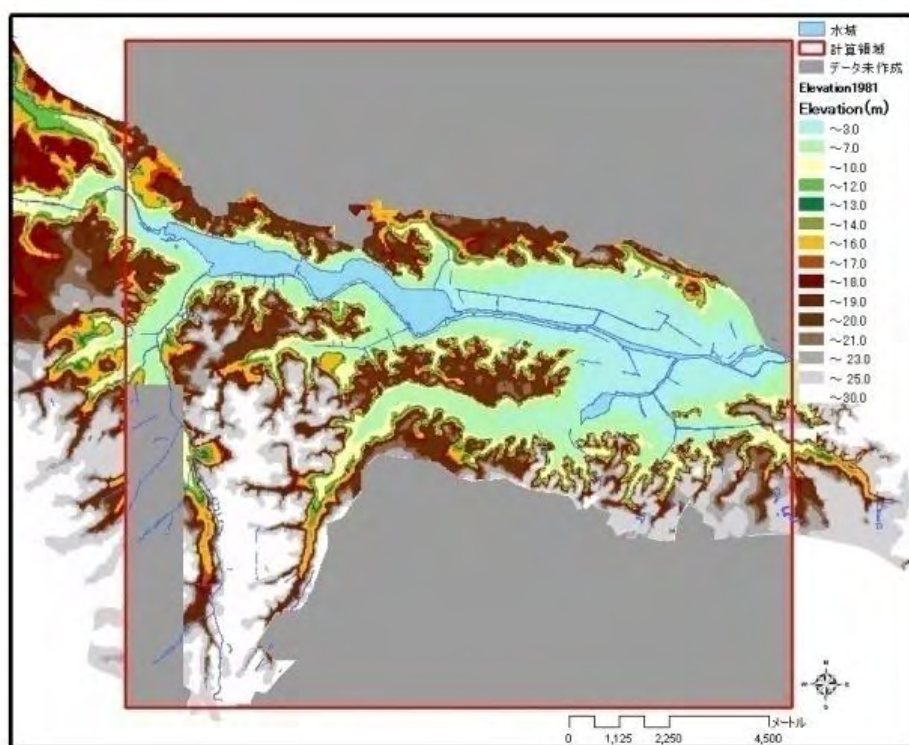


図 10 昭和 56 年手賀沼流域標高データ

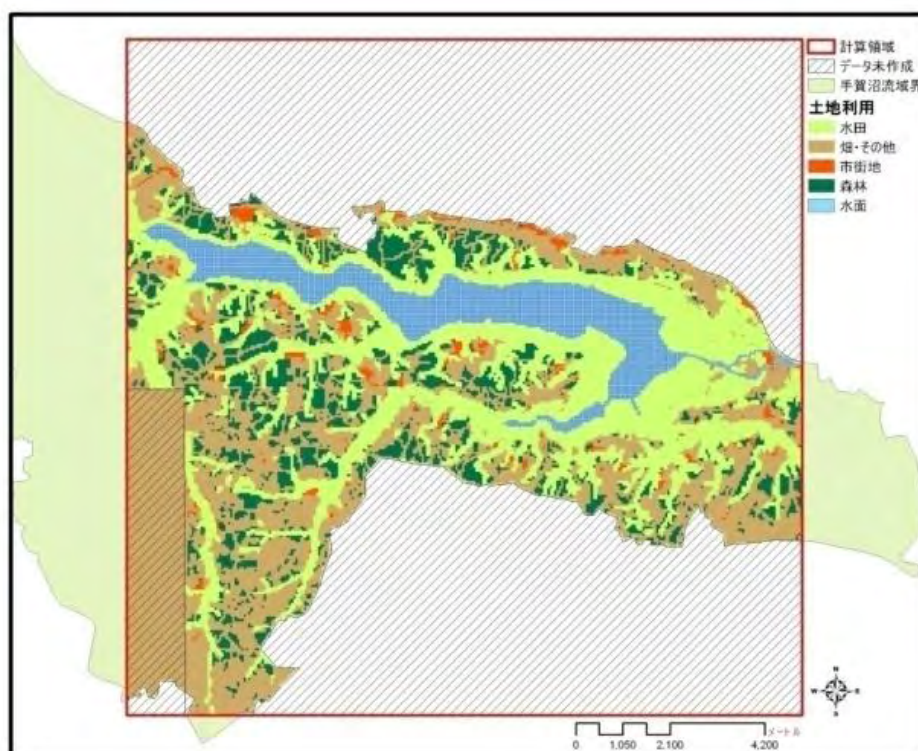


図 11 昭和 16 年手賀沼流域土地利用データ

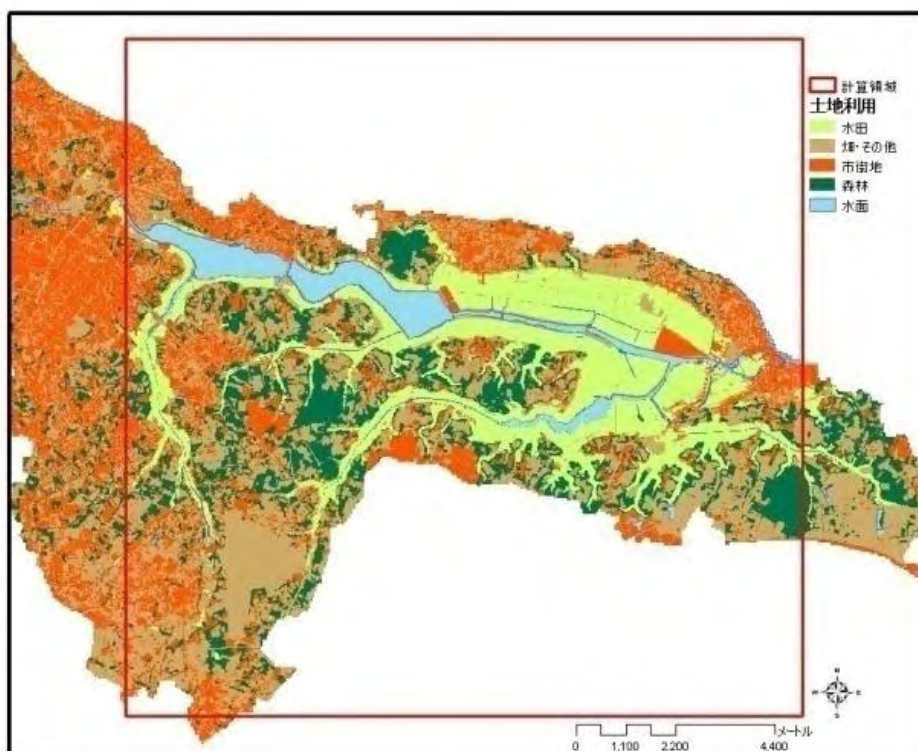


図 12 昭和 56 年手賀沼流域土地利用データ



各時代の平常時の手賀沼を以下に示した.



図 13 昭和 16 年平常時手賀沼



図 14 昭和 56 年平常時手賀沼



第2段階においては、布佐(Area1)、発作(Area2)、今井新田(Area3)、若松(Area4)の4か所について、3km四方の計算領域を設定し、その中の土地利用と標高を10mメッシュ単位のデータとして、まとめた。

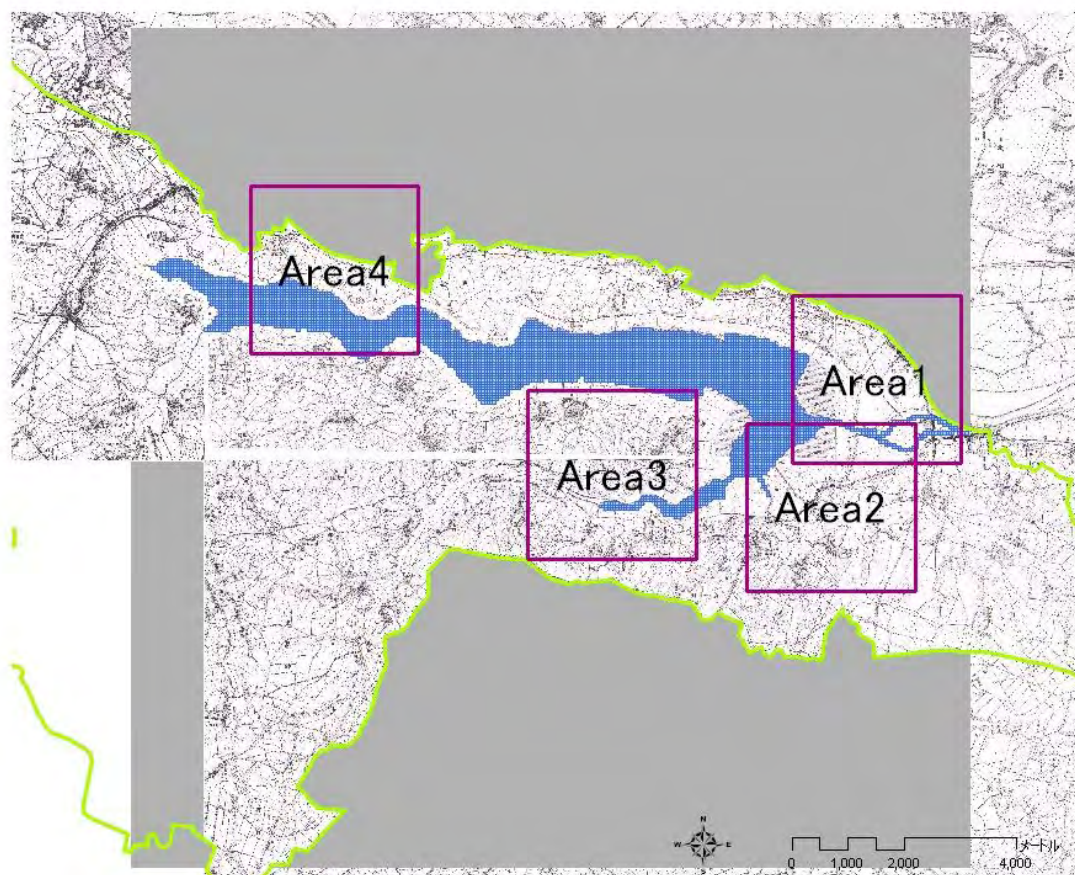


図15 第2段階シミュレーションを行った4地域



図16 昭和16年Area1 平常時手賀沼



図17 昭和16年Area2 平常時手賀沼





図 18 昭和 16 年 Area3 平常時手賀沼

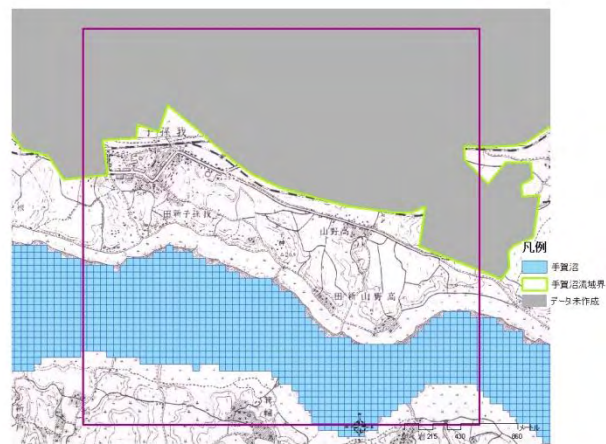


図 19 昭和 16 年 Area4 平常時手賀沼

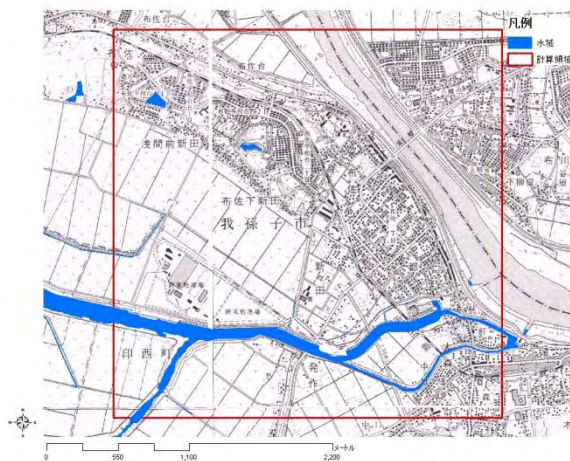


図 20 昭和 56 年 Area1 平常時水域

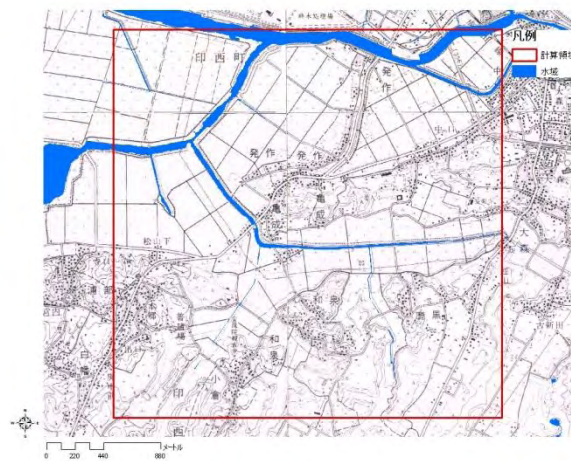


図 21 昭和 56 年 Area2 平常時水域

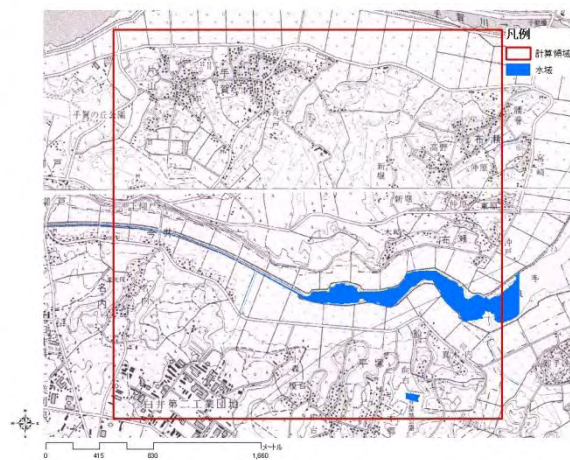


図 22 昭和 56 年 Area3 平常時水域

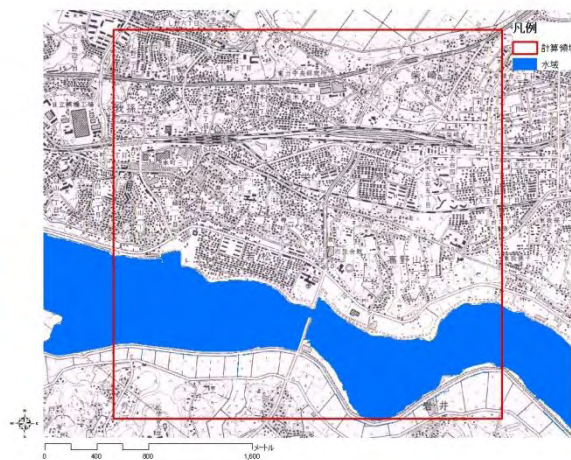


図 23 昭和 56 年 Area4 平常時水域

## 3.2. 昭和 16 年洪水概要

### 3.2.1. 発生過程

昭和 16 年 7 月 22 日, 関東地方を台風が通過した. 降雨の状況は, 布佐で 20 日から 22 日の 3 日間で 327.3 ミリであった.

表 6 昭和 16 年 7 月各地の雨量(単位: ミリ)

	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	3 日雨量
布佐		80.5	109.4	137.4	27.3	327.3
土浦	48.6	43.2	85.7	120.4		249.3
水海道		30.7	51.6	114.0		196.3
筑波山	36.8	30.3	43.8	92.6		156.7
野田	55.0	30.7	72.0	12.8		157.7
銚子	80.9	20.8	22.8	99.8		143.4

出典: 手賀沼の水害 中尾正巳

7 月に入ってから雨が続けていたために, 利根川が増水し, 7 月 11 日にはすでに木下の水門が閉鎖されていた. 平均水位 2.6 メートルに対し, その時の沼の水位が Y.P+2.96 メートルである. その後も霧雨が続き, 台風が接近した 20 日には, すでに沼の水位は 4 メートルを超えていた. そこへ台風に伴う豪雨が 21 日, 22 日に発生し, 急激に水位が上昇した.

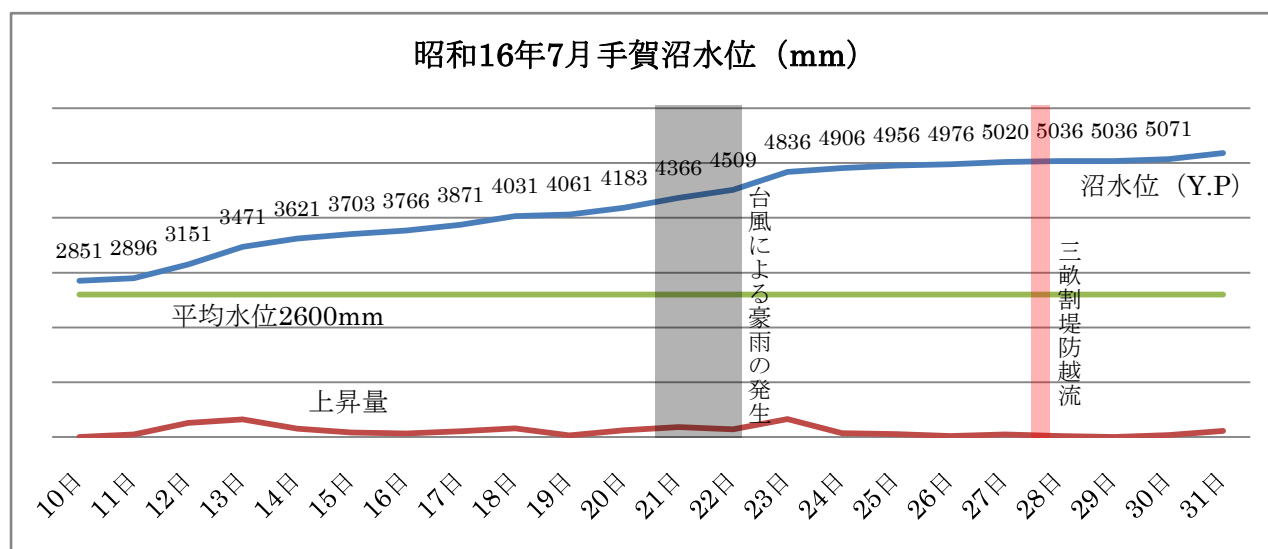


図 24 昭和 16 年 7 月手賀沼水位 (出典: 手賀沼の水害 中尾正巳)

### 3.2.2. 既往文献による被害状況

昭和 16 年洪水においては、機械的な排水が行えなかったことから長期間にわたって水門が閉ざされ、越流発生後も水位が上昇し続け長期間にわたる浸水被害をもたらした。

水位の状況から考えて、とりわけ大きな影響を及ぼしたのが 28 日に発生した三畝割堤防の越流発生と考えられる。28 日(水位 5036mm)から 29 日(水位 5036mm)にかけては、水位上昇が一時的に停止した。つまり、越流による沼の水の排水が沼全体の水位に影響を与えるほど大きかったと考えられる。この三畝割堤防における越流が最も大きな被害をもたらした、また、被害の広がりを見定づけるものであったと推測することができる。

低地の水没は 20 日から始まった。まず浦部の低地が水没し、21 日には発作、亀成、布瀬などの耕地が水没した。22 日になると沿岸各地が水没し、三畝割堤防と中ノ口堤防だけとなった。28 日にはその三畝割堤防において越流が発生した。中ノ口堤防はその後 8 月 6 日にはすべて水没した。布佐地域を中心とする部分的な浸水地域は、下図のように既往の文献から明らかとなっている。布佐地域のほとんどが浸水したことが読み取れる。また、通常は図中④から利根川に排水を行う江蔵地においても、利根川の水位が高かったために排水が行えず、大量に降った雨水がたまり、浸水被害を起こしたことがわかる。



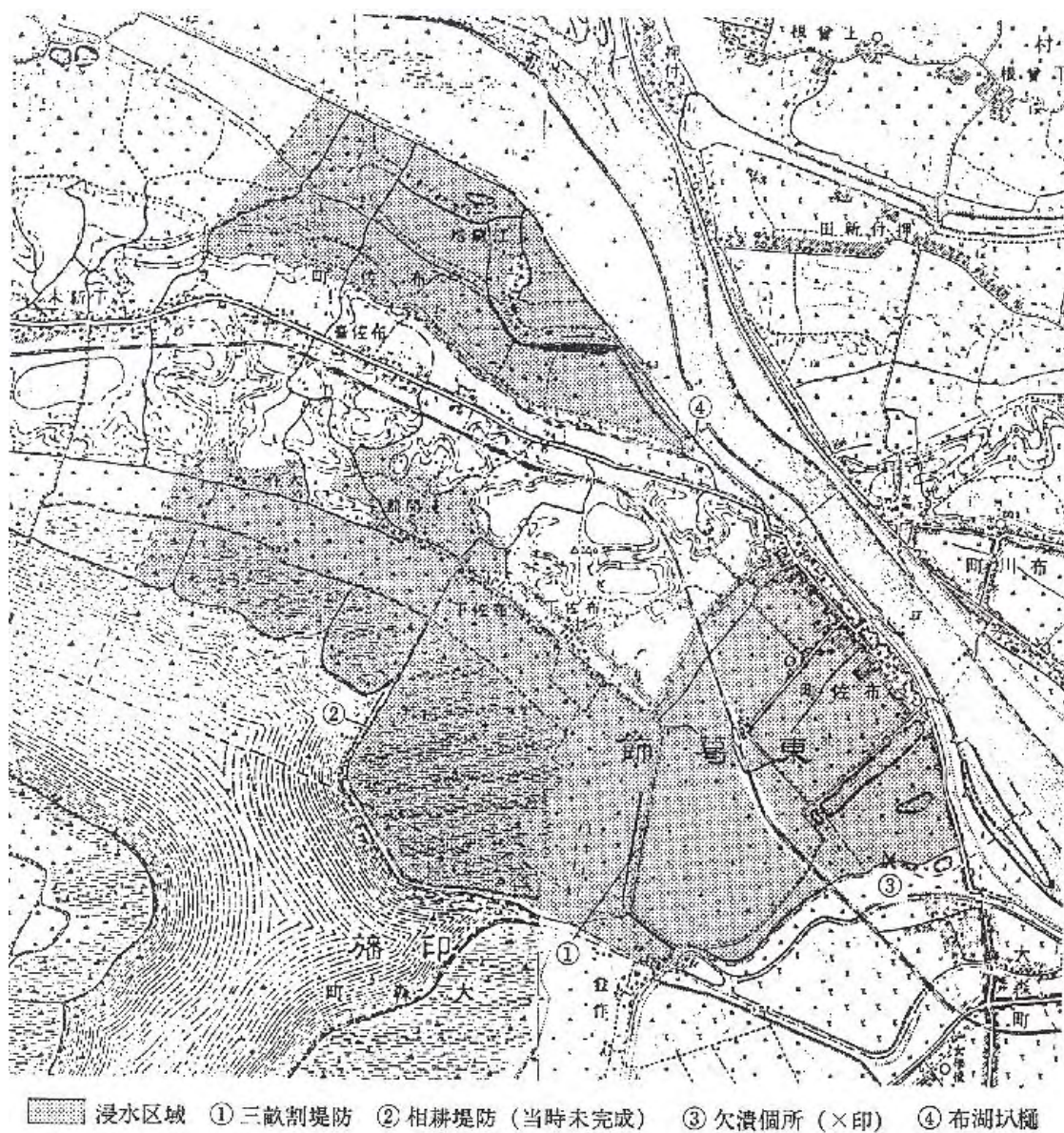


図 25 昭和 16 年洪水布佐浸水図(出典：手賀沼の水害 中尾正巳)



図 26 浸水した布佐駅周辺  
(出典：手賀沼の水害 中尾正巳)



図 27 水没した手賀沼沿岸地域

### 3.3. シミュレーション結果と考察

#### 3.3.1. 手賀沼流域

昭和 16 年手賀沼洪水時の流域全体のシミュレーションを行った。計算条件として、最初に本格的な越流が発生したと考えられる、三畝割堤防越流時の条件を用いた。すなわち、沼水位は Y.P+5m として、当時 2 日間水位が変化しなかったことから、計算においても 48 時間同じ水位を与えた。越流水深については、一部堤防が崩壊したところもあったことから、0.4m とした。

シミュレーションの結果、昭和 16 年洪水時水害の特徴として以下の 3 点があげられる。

- ① 平常時の手賀沼水域と堤防の間の余裕
- ② 平坦に広がる氾濫水
- ③ 南部で浸水深が深く北部で浅い

まず、①については、平常時の水域と堤防の間に余裕があり、これが沼の水位上昇の速さを抑えていたと考えられる。当時は排水機場がなく、排水先である利根川の水位が高い場合には、手賀沼に流入した水はたまる一方であった。堤防が平常時の湖岸線よりかなり遠くに設けてあるのは、こうした、水を貯めこまなくてはならないという当時の治水の目指していた姿が具現化されたものであると考えられる。

②については、浸水深の分布をみると、約 20cm オーダーで色づけしたにもかかわらず、色の変化がほとんどなく、氾濫水の流れ込んだ場所はほぼ一様の浸水深となった。地形的特徴を考えると、沿岸一帯がほぼ一様な標高であることからこうした浸水深分布となったといえる。土地利用についても、標高等の地形的特徴に合わせて、低地や谷津に水田、丘に森や住宅といったように分類されていた。そのため、氾濫水の流れ込む場所が、標高としても、また摩擦係数に影響する土地利用についても同じような値を持つ場所であったということがわかる。

③については、南部と北部の浸水域の広がり方をみると、浸水深に変化が生まれた原因がわかる。南部では、浸水域がほとんど変化しない一方で、北部は沿岸を上流に向けて氾濫水が広がっている。北部の方がより氾濫水を受け入れる余裕があり、南部は沼付近まで高台が迫っているために、氾濫水の行き場なくなってしまい、浸水深の上昇を招いたと考えられる。

昭和 16 年洪水時の水害は、戦前の手賀沼における水害の最大規模のものであった。しかし、そこに至るまでには 1 週間という期間を要した。その背景として、平常時の湖岸と堤防までの距離を保ち沼の貯水



容量を増やす取り組みや、地形にあった土地利用を行うことで市街地への被害を抑える等の、洪水をためることを目指した治水があったことがわかった。

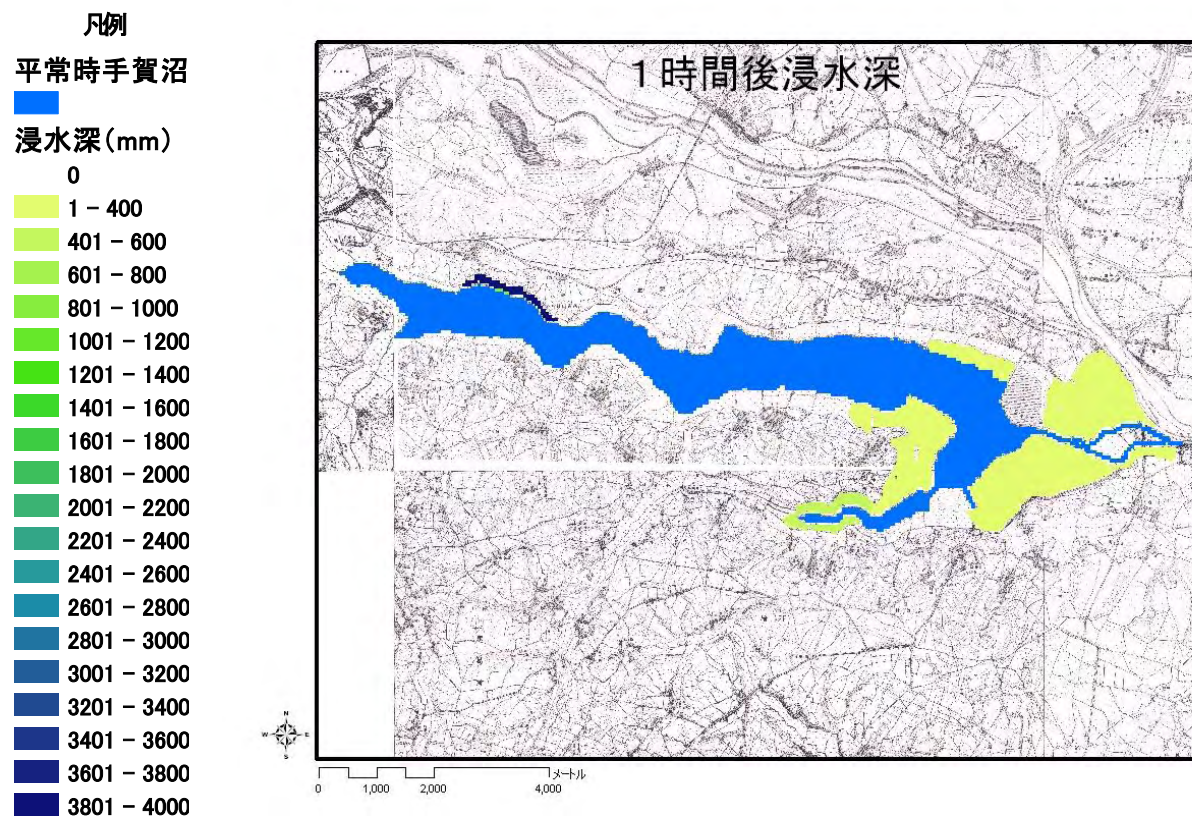


図 28 1 時間後浸水深分布

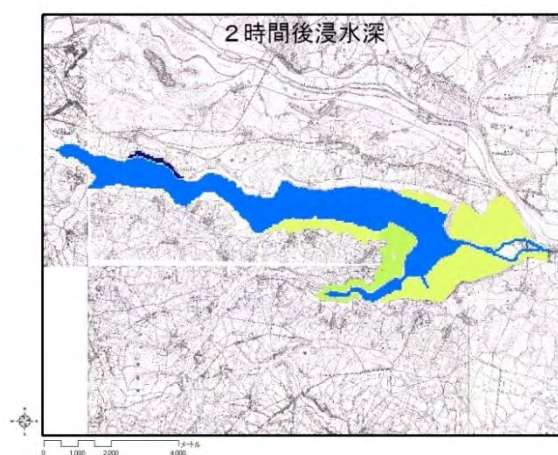


図 29 2 時間後浸水深分布



図 30 3 時間後浸水深分布



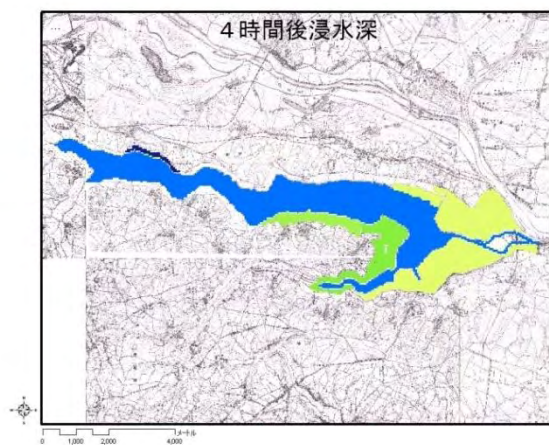


図 31 4 時間後浸水深分布

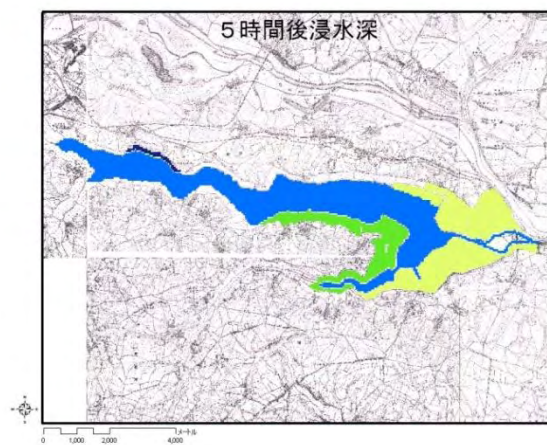


図 32 5 時間後浸水深分布

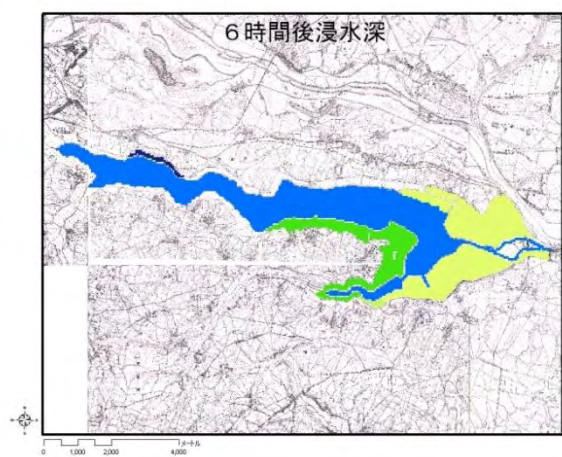


図 33 6 時間後浸水深分布

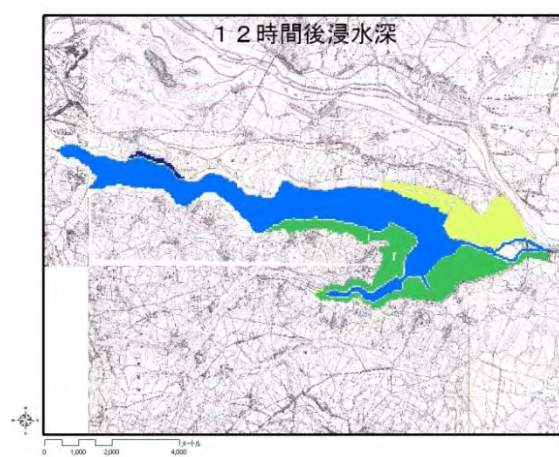


図 34 12 時間後浸水深分布

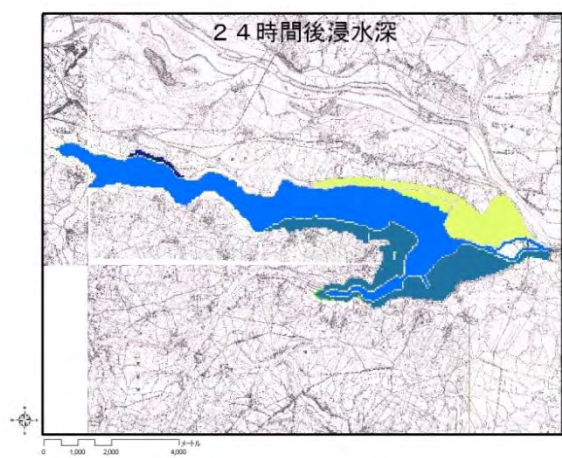


図 35 24 時間後浸水深分布

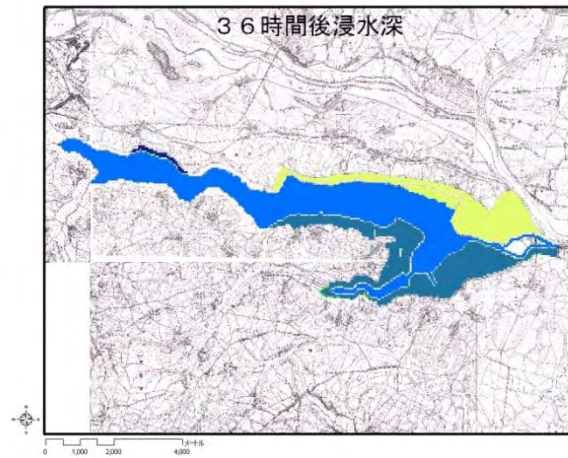


図 35 36 時間後浸水深分布



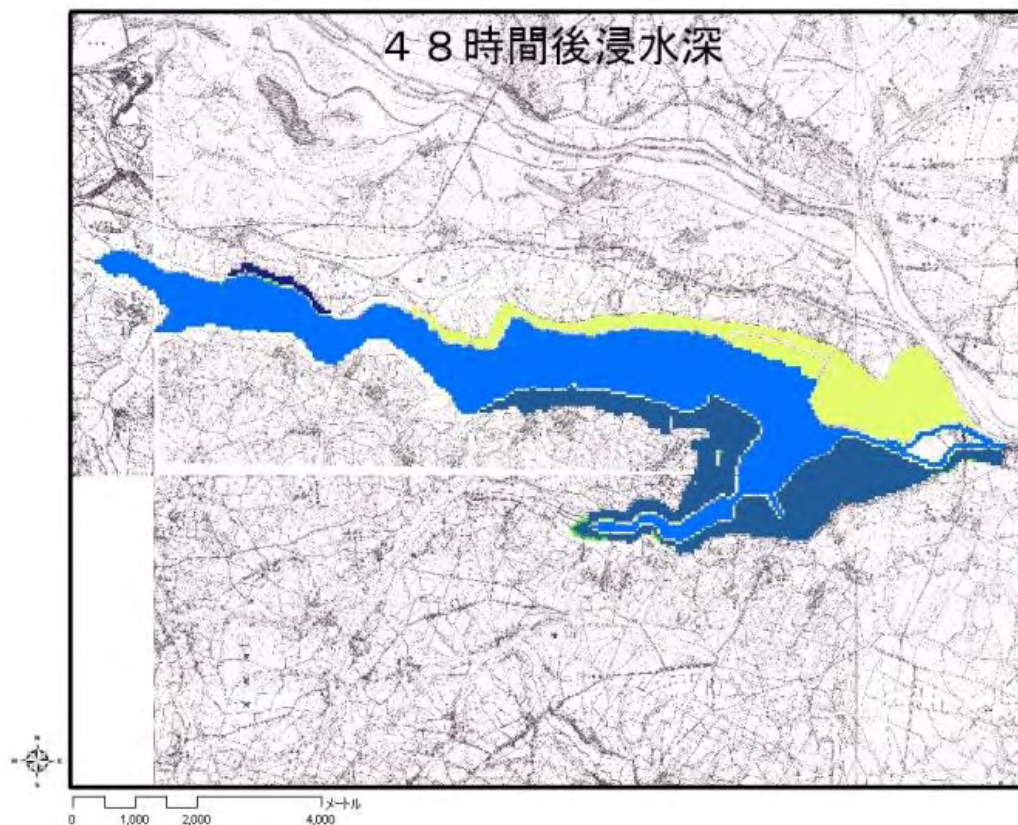


図 36 48 時間後浸水深分布

### 3.3.2. Area1(布佐地区)

当時布佐地区は水害の常襲地帯であった。そのため、水害の記録を多く有している地域であり、昭和 16 年の水害においても、唯一その正確な越流地点が文献等に記されている。土地利用としては多くが水田地帯であるが、その水田に囲まれて鉄道の駅があり、これは現在の布佐駅である。市街地は主に利根川沿いに分布していた。

布佐は水害の常襲地域であるが、昭和 16 年の水害以前は、利根川の逆流による水害が主要な発生原因であった。逆流の発生原因は、利根川水位の上昇による水門の破壊であった。そのため、当時この手賀沼沿岸の堤防から水があふれ出すという状況は珍しく、予想し得なかったと言われている。

水田地帯のため、氾濫水は同心円状に広がり、浸水深や流速についてばらつきが少なかった。また、浸水深、流速ともに大きな値は現れなかった。



図 37 凡例

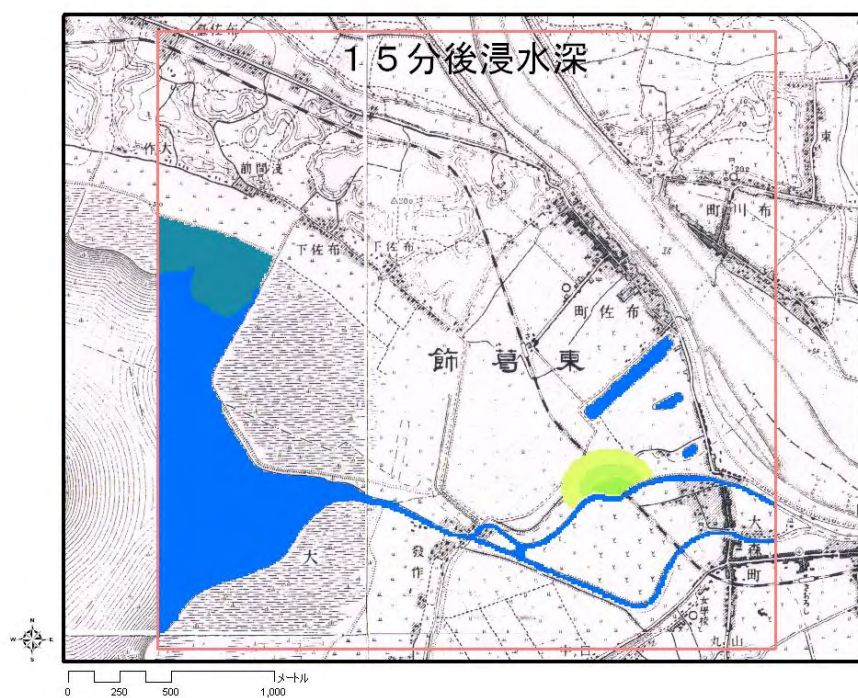


図 38 15 分後浸水深分布

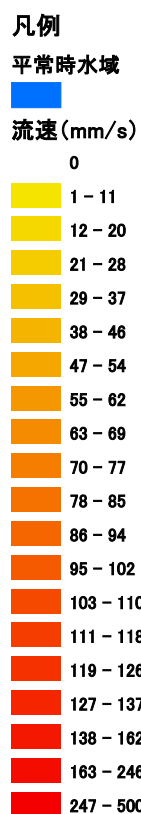


図 39 凡例

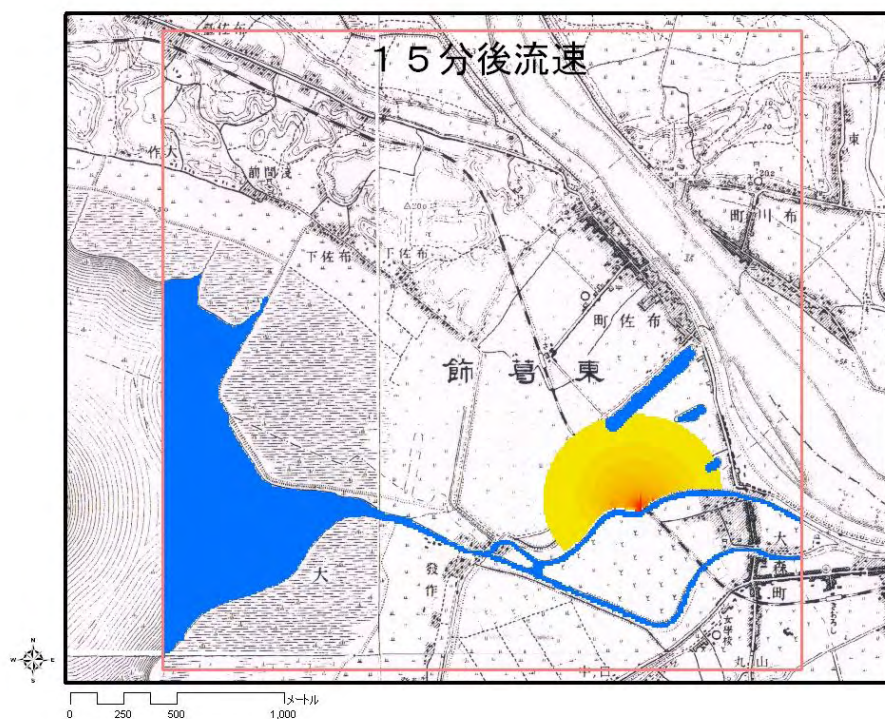


図 40 15 分後流速分布



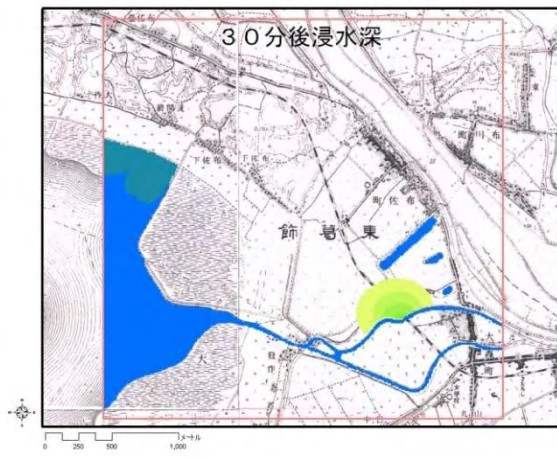


図 41 30 分後浸水深分布

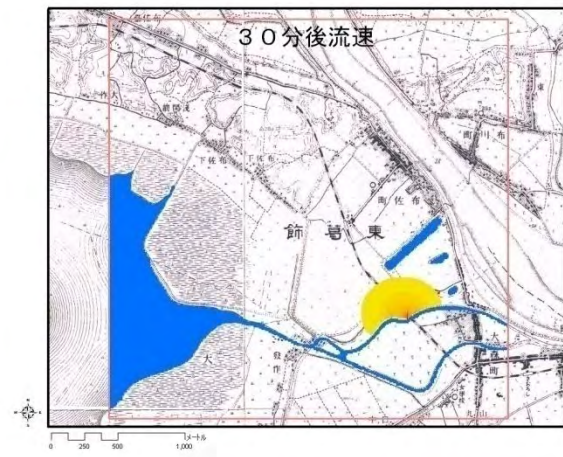


図 42 30 分後流速分布

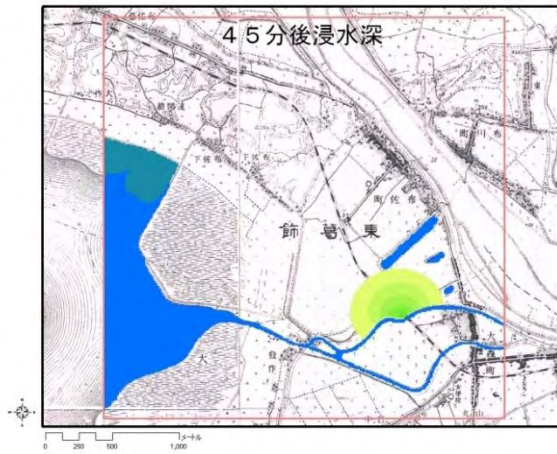


図 43 45 分後浸水深分布

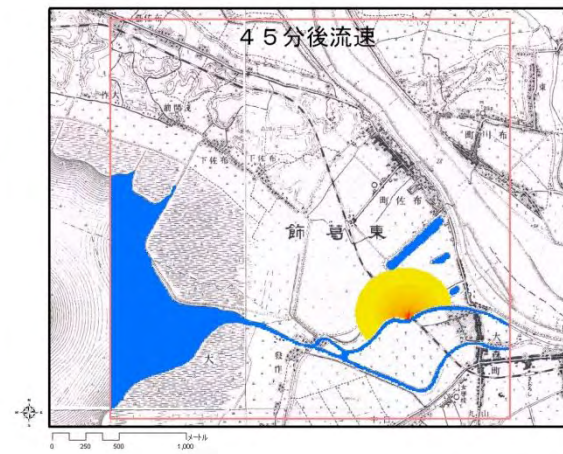


図 44 45 分後流速分布

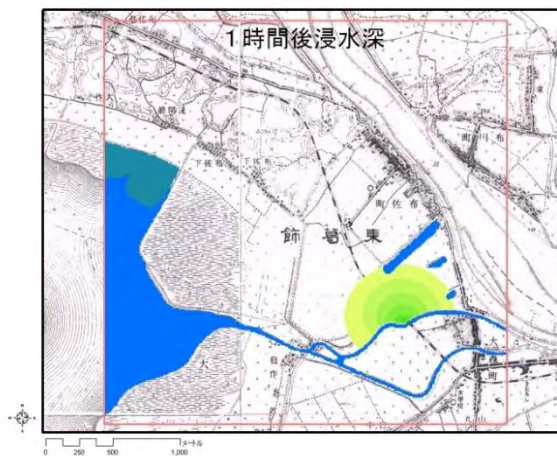


図 45 1 時間後浸水深分布

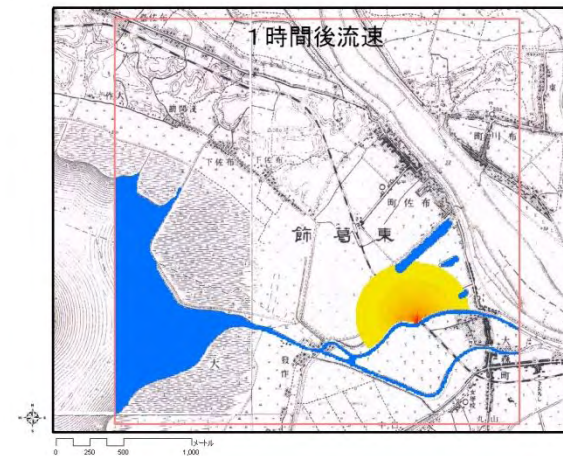


図 46 1 時間後流速分布



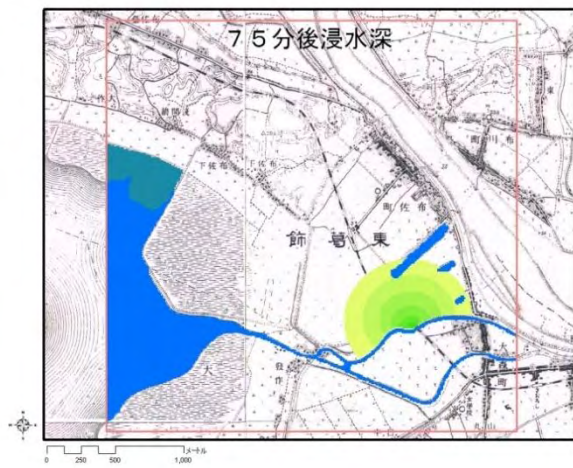


图 47 75 分後浸水深分布

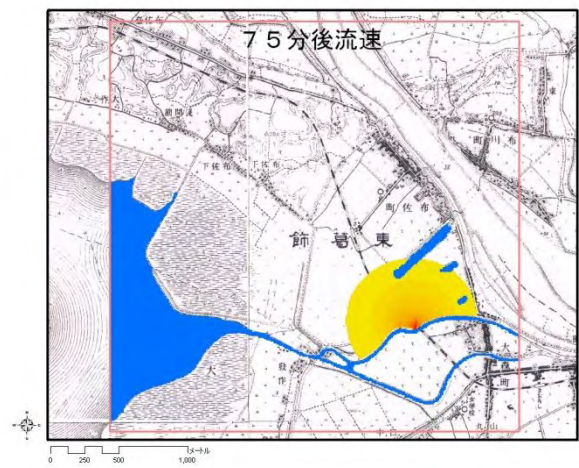


图 48 75 分後流速分布

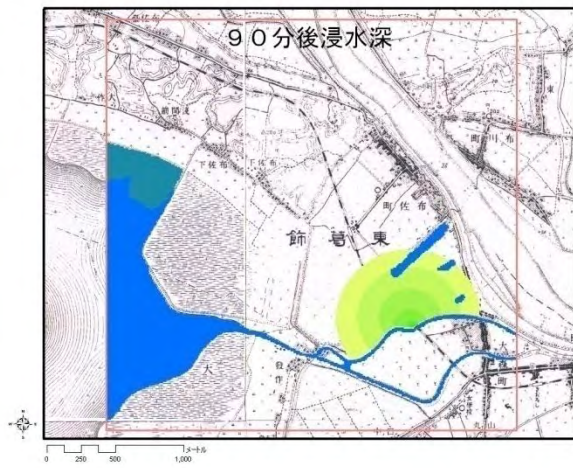


图 49 90 分後浸水深分布

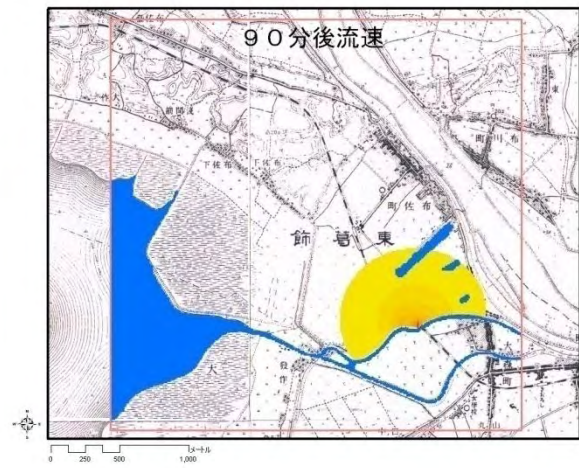


图 50 90 分後流速分布

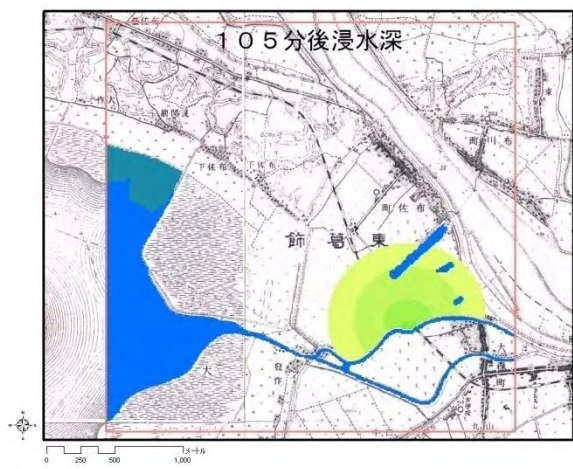


图 51 105 分後浸水深分布

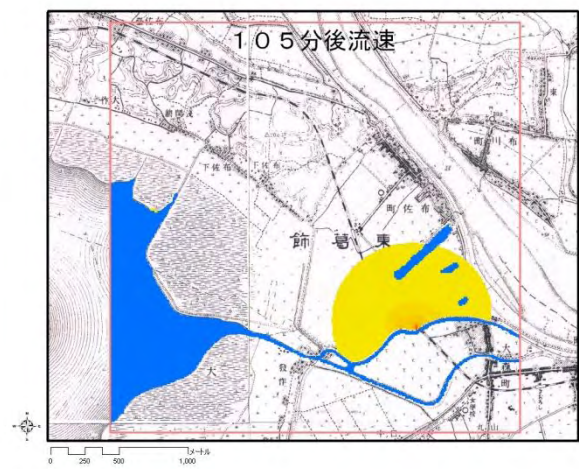


图 52 105 分後流速分布



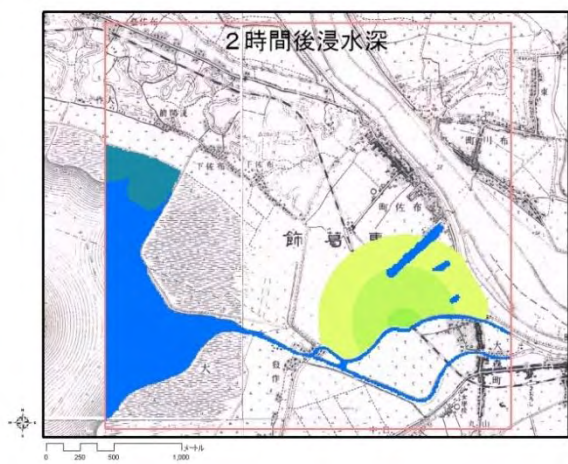


図 53 2 時間後浸水深分布

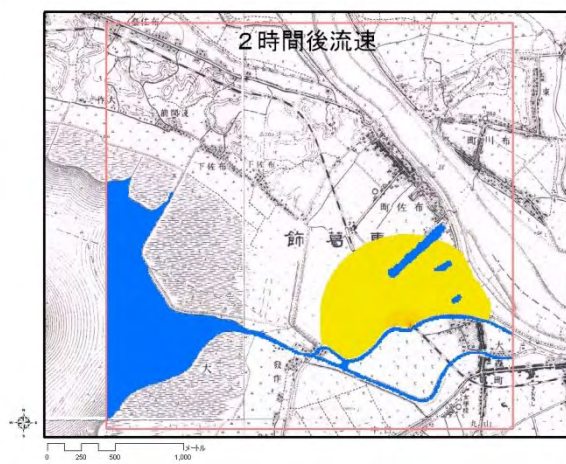


図 54 2 時間後流速分布

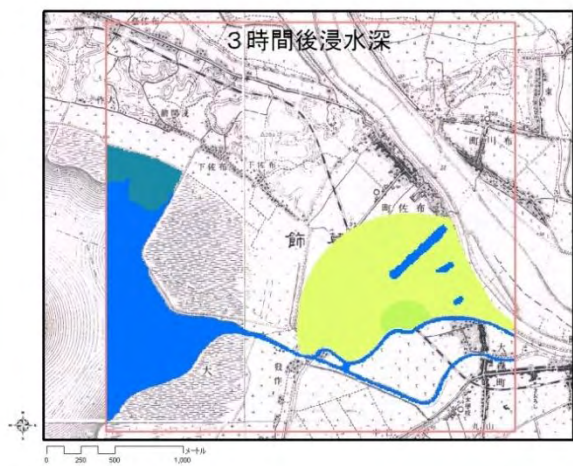


図 55 3 時間後浸水深分布

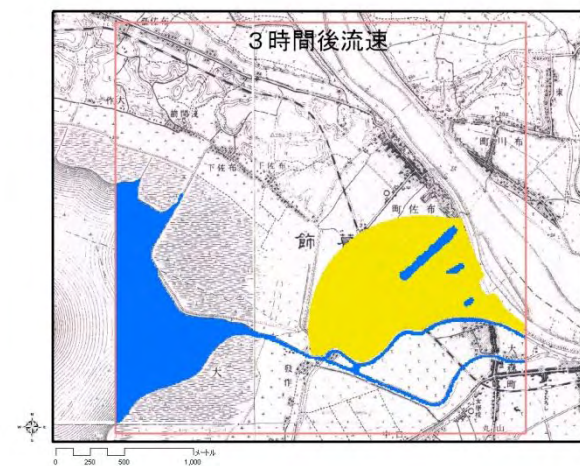


図 56 3 時間後流速分布

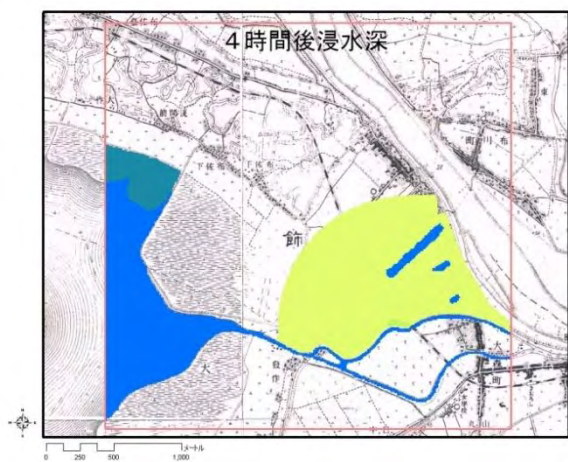


図 57 4 時間後浸水深分布

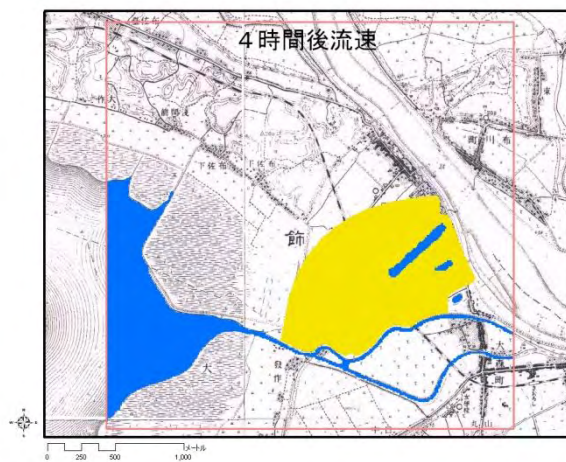


図 58 4 時間後流速分布



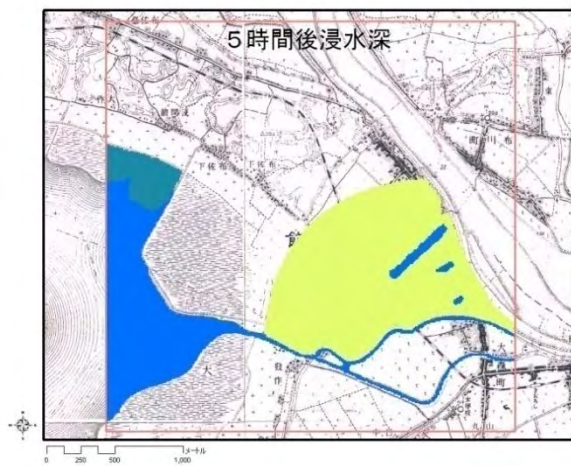


図 59 5 時間後浸水深分布

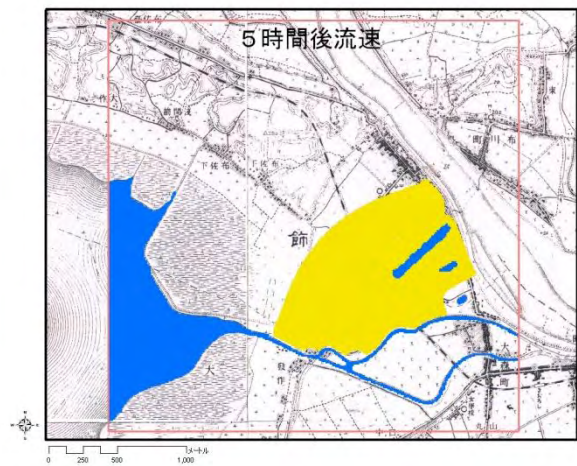


図 60 5 時間後流速分布

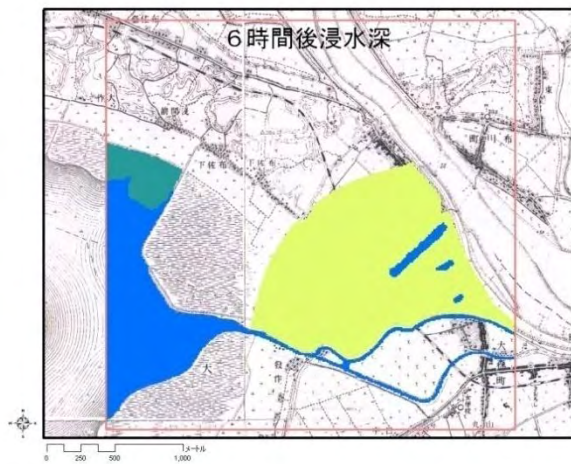


図 61 6 時間後浸水深分布

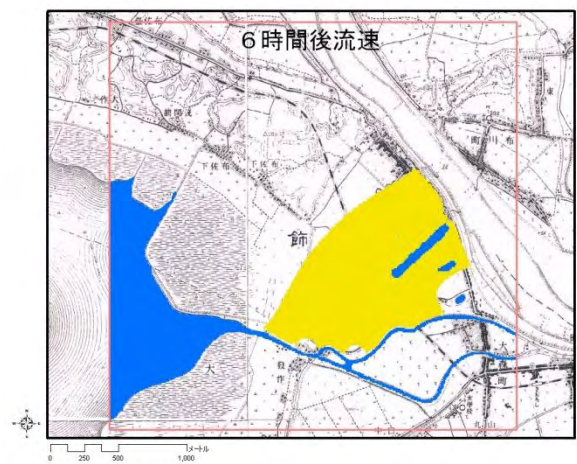


図 62 6 時間後流速分布

### 3. 3. 3. Area2(発作地区)

発作地区は、平常時の湖岸線と堤防との間に十分な距離があり、ここに多くの氾濫水が貯めこまれた。発作を含む手賀沼南部は、北部に比べ低地の部分が少ないことから、少ない低地に対して、なるべく安全な水田を多く確保しようとして、このように洪水時に貯水できる場所を広く確保していたものと考えられる。堤防が平常時の湖岸線に張り付いている場合は、平常時に多くの水田を利用することができるが、洪水による水位上昇時の被害も大きくなる。この堤防の位置が、洪水時と平常時の割合を示す一つの目安となっていると考えられる。

氾濫水の挙動については、低地がすべて水田地帯であるために、同心円状に分布する様子が観察された。



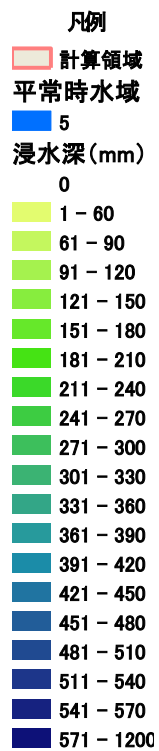


図 63 凡例

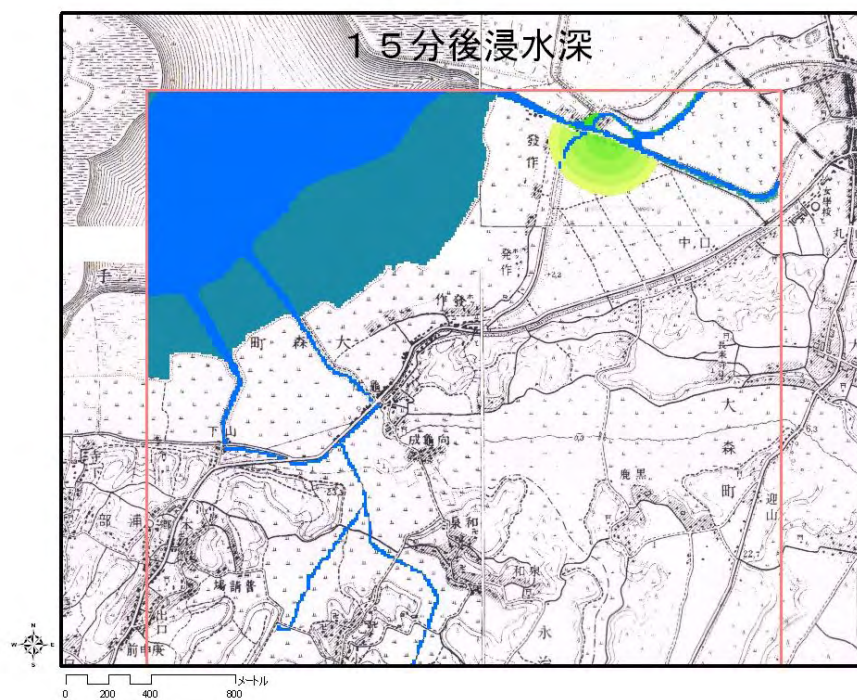


図 64 15分後浸水深分布

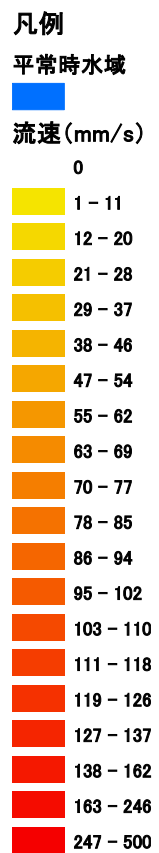


図 65 凡例

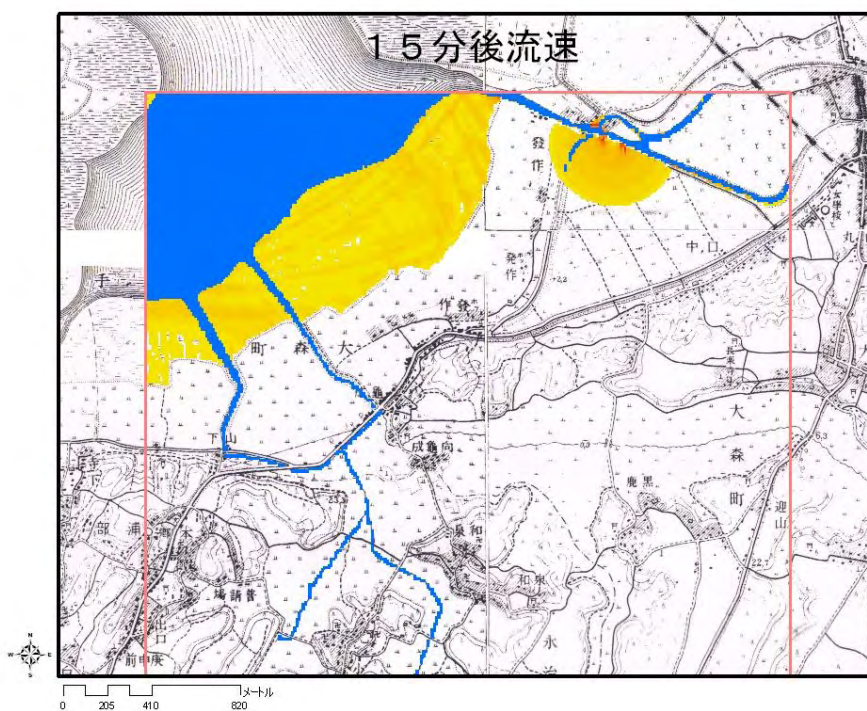


図 66 15分後流速分布



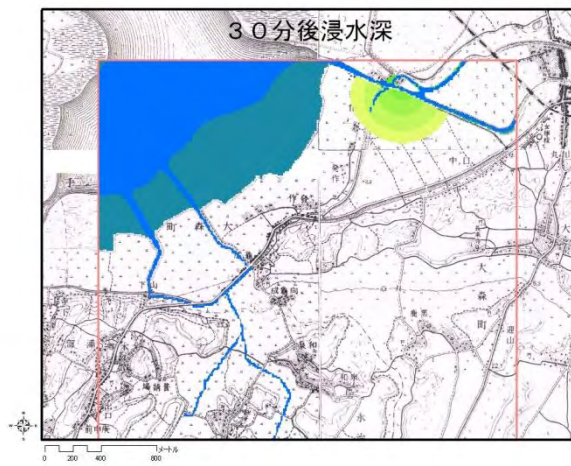


图 67 30 分後浸水深分布

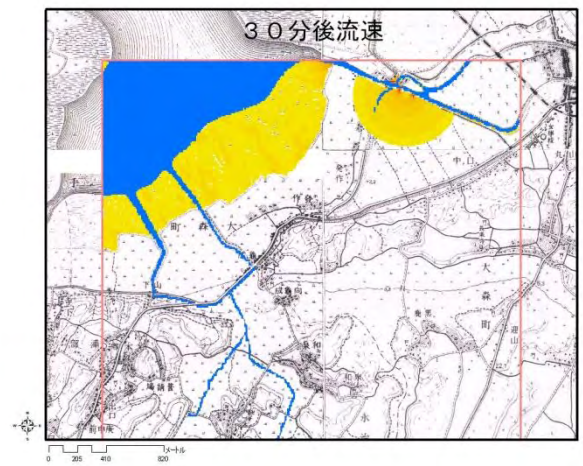


图 68 30 分後流速分布

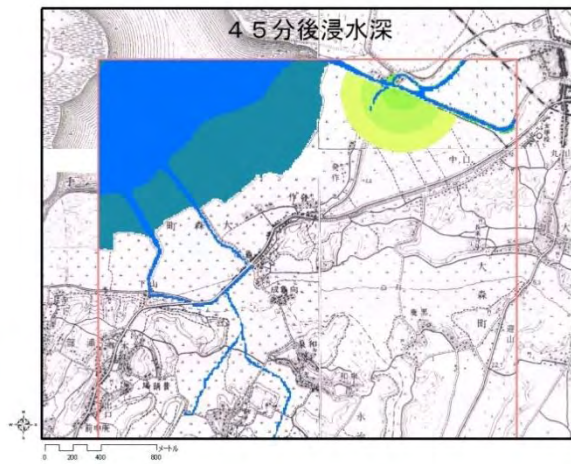


图 69 45 分後浸水深分布

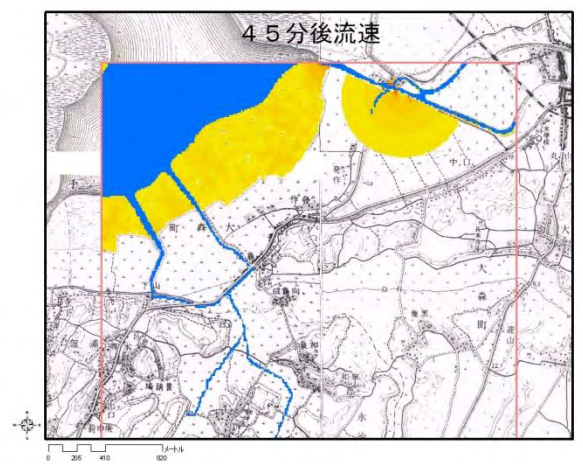


图 70 45 分後流速分布

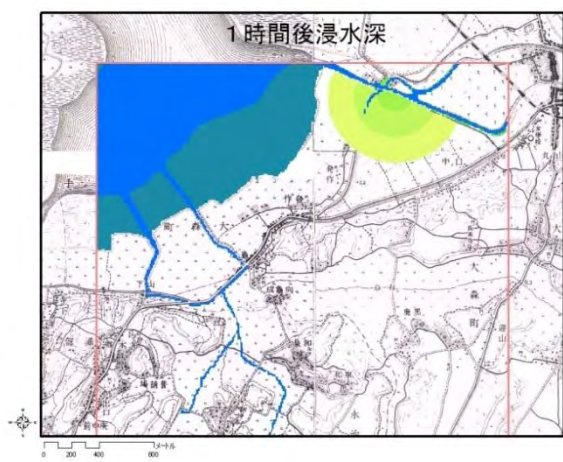


图 71 1 時間後浸水深分布

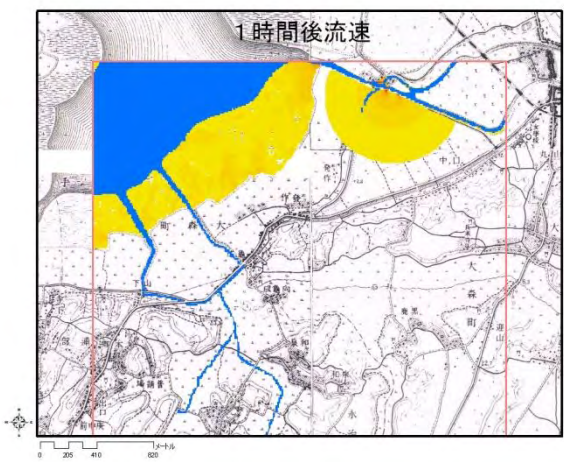


图 72 1 時間後流速分布



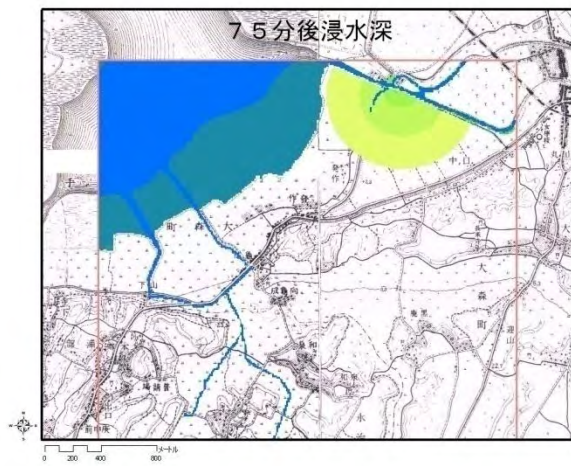


图 73 75 分後浸水深分布

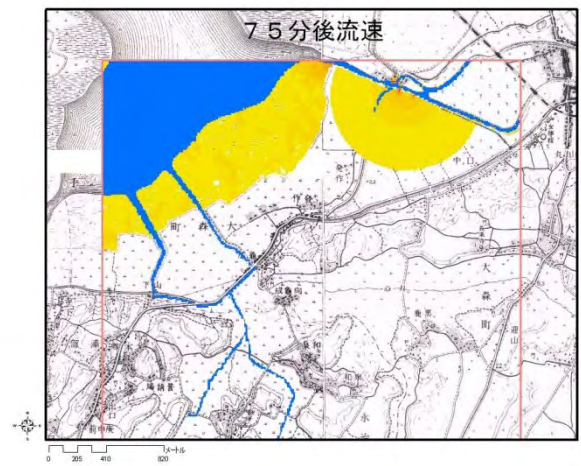


图 74 75 分後流速分布

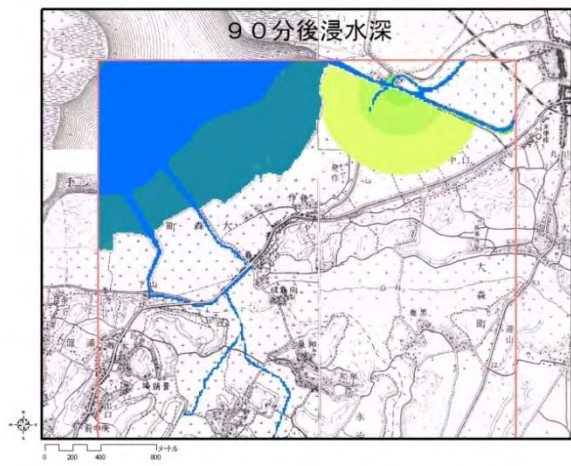


图 75 90 分後浸水深分布

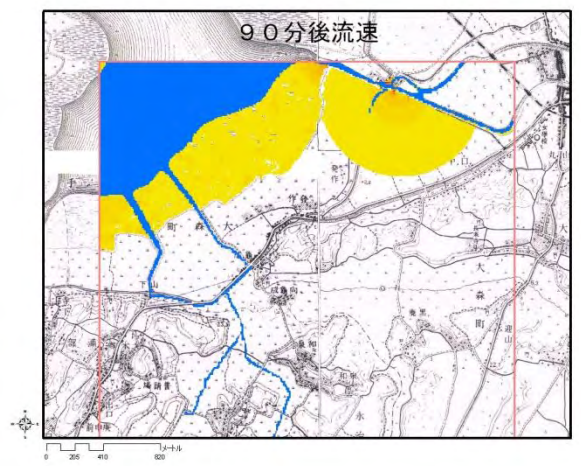


图 76 90 分後流速分布

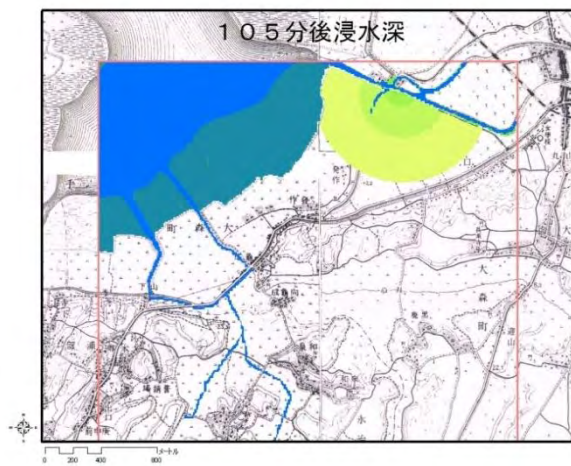


图 77 105 分後浸水深分布

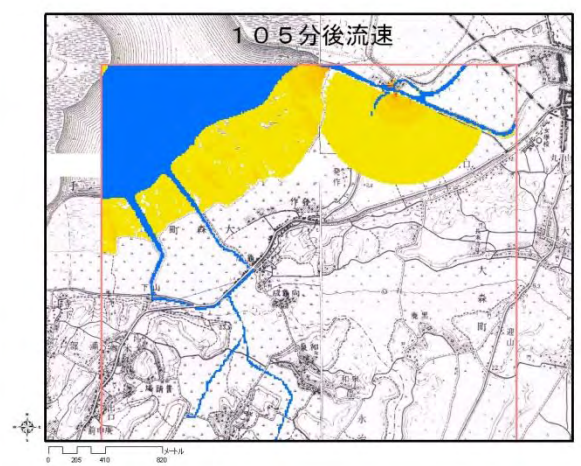


图 78 105 分後流速分布



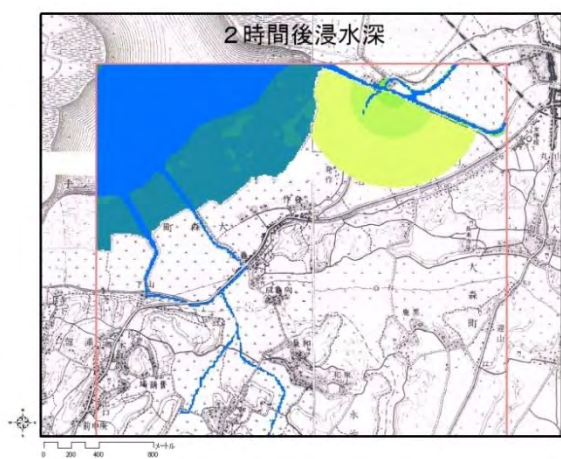


図 79 2 時間後浸水深分布

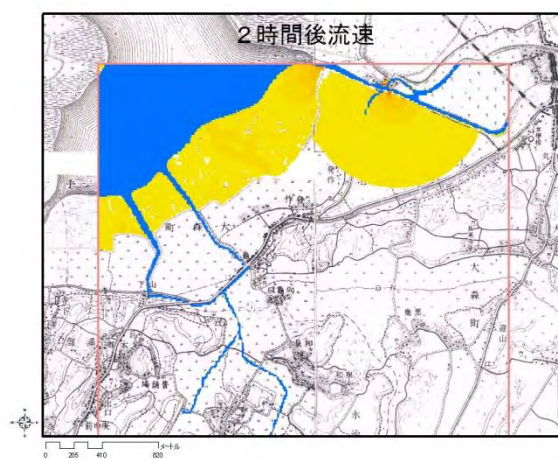


図 80 2 時間後流速分布

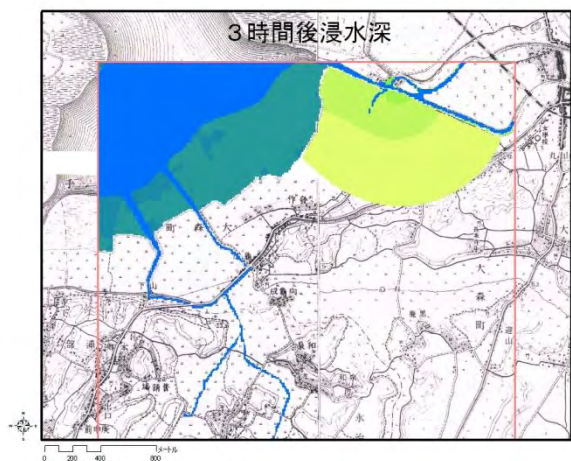


図 81 3 時間後浸水深分布

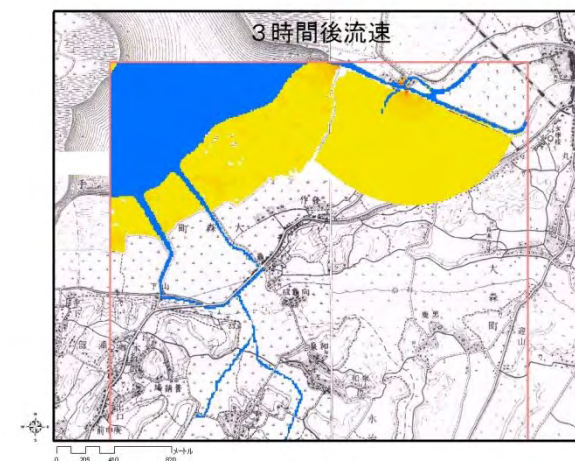


図 82 3 時間後流速分布

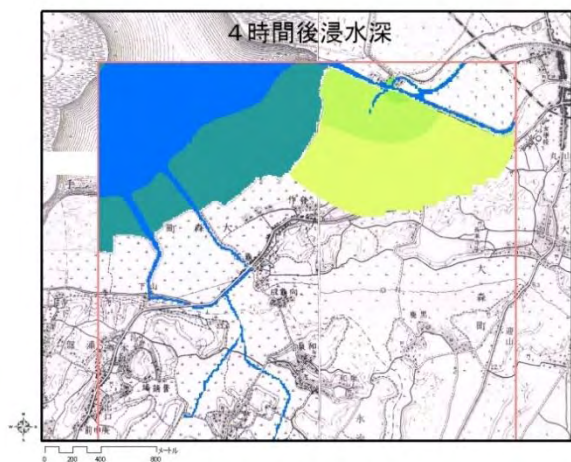


図 83 4 時間後浸水深分布

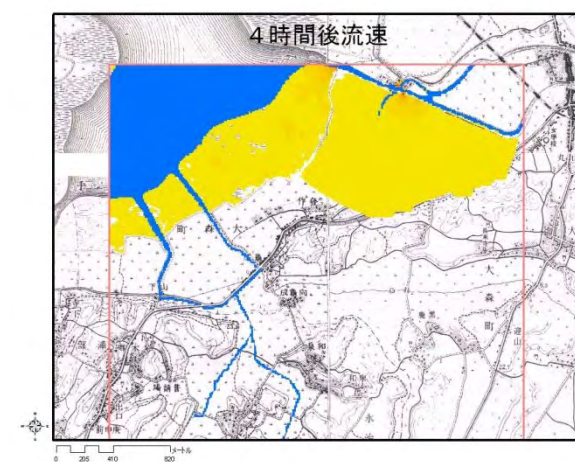


図 84 4 時間後流速分布