

# 雨水氾濫計算格子データ 作成支援システムの開発

## DEVELOPING A ZOOMABLE IRREGULAR MESH EDITOR FOR FLOODING SIMULATION

市川 温<sup>1</sup>・水越 悠文<sup>2</sup>・川池 健司<sup>3</sup>・堀 智晴<sup>4</sup>・椎葉 充晴<sup>5</sup>  
Yutaka ICHIKAWA, Hisafumi MIZUKOSHI, Kenji KAWAIKE,  
Tomoharu HORI and Michiharu SHIIBA

<sup>1</sup>正会員 工博 京都大学大学院工学研究科 助教 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

<sup>2</sup>非会員 工修 三菱マテリアル株式会社 (〒 100-0004 東京都千代田区大手町 1-5-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 京都大学防災研究所 准教授 (〒 612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

<sup>4</sup>正会員 工博 京都大学防災研究所 教授 (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

<sup>5</sup>正会員 工博 京都大学大学院工学研究科 教授 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

A zoomable irregular mesh editor is developed which is capable of constructing irregular mesh networks for flooding simulations. The software is written in a computer programming language, Java. This means that it is independent of computer platforms and does not need proprietary (commercial) software. The software provides a graphical mouse-driven mesh editing environment with a zoomable user interface, in which the user can smoothly zoom in, to get more detailed information, and zoom out for an overview. The software also allows the user to suspend and resume the operation, by saving and reading text files which describe the network structure.

**Key Words :** *Flooding Simulation, Irregular Mesh, Delaunay Triangulation, Graphical/Zoomable User Interface, Java*

### 1. はじめに

都市域を中心とした低平地における雨水氾濫をシミュレートする手法については、かなりの研究成果が蓄積されつつある。とくに、平面二次元流モデルによる氾濫解析法に関しては非常に多くの研究が実施され、細かい部分での違いはあっても、その根幹部分についてはほぼ確立された感がある。これまでは、解析法そのものに関する研究が中心であったが、今後は氾濫解析を基礎として実際の治水対策を検討するフェーズに移行していくものと思われる。

そのような段階にあって、これから重要になってくると考えられるのは、氾濫解析技術の利用をサポートする仕組みを整備することである。たとえば、都市域の雨水氾濫は街区構造の影響を強く受けることから、その解析には街区構造を表現するのに適した非構造格子網が多く利用されている<sup>1),2)</sup>。しかし、非構造格子網はその作成作業に多くの手間と時間を要する。氾濫解析を一般的な技術として普及させていくためには、解析法(解析プログラム)だけではなく、多くの人がある解析法を容易に利用できるような基盤も整える必要が

ある。このようなことから、本研究では、低平地における雨水氾濫を計算するための非構造格子データの作成を支援するシステムを開発する。

### 2. 本研究で開発するシステムの特徴

本研究で開発するシステムの特徴としては、

- (a) プラットフォームに依存しないこと
  - (b) 特定の有償のソフトウェアが不要なこと
  - (c) 計算機画面上で格子網を作成すること
  - (d) マウスによる操作で格子点や格子の編集が容易にできること
  - (e) 作業画面を自由自在に拡大・縮小できること
  - (f) 作業状態の保存と作業の再開が自由にできること
- などが挙げられる。

(a) と (b) については、本システムの開発を Java<sup>3)</sup>で行なったことに由来する。Java の最大の特徴は、開発したプログラムが特定の OS やハードウェアに依存しないという点にある。ユーザの計算機環境がプログラム開発者の計算機環境と異なっても、プログラムは問題なく動作する。本研究で開発するシステムも、

Java で記述することによって、広く一般の利用に供することができる考えた。

(c) と (d) は、本システムがグラフィカルユーザインタフェイス (Graphical User Interface, GUI) を備えていることを意味する。Java には、AWT や Swing といった、GUI アプリケーションの作成を支援するパッケージ群が提供されており、GUI を備えたシステムを比較的簡単に開発することができる。このことも、本研究で Java を採用した理由の一つである。

(e) も GUI と関連するが、より具体的には、ズームブルユーザインタフェイス (Zoomable User Interface, ZUI) とよばれるものである。ZUI とは、ユーザが必要に応じて画面を拡大・縮小できるようなインタフェイスのことである。格子網データを作成する場合、あるときは街区形状を考慮した細かい作業が必要となるだろうし、またあるときは対象領域全体のバランスを見ながら作業したいということもありうる。こうしたことを考えると、本研究で開発するシステムは、単に GUI を備えているだけでは不十分であり、作業画面を自由自在に拡大・縮小できるようになっている必要がある。本研究では、ZUI アプリケーションの作成を支援する Piccolo Toolkit<sup>4),5)</sup> を使用した。

(f) は、一回の作業で対象地域の格子網を作成できない場合や一度作成した格子網をあとで修正する場合に対応したものである。具体的には、作業の結果をファイルに書き出し、それを再度読み込んで作業状態を復元できるようにしている。

### 3. データ作成の手順

図-1 は、本システムで非構造格子網を作成する手順をまとめたものである。おおまかに言えば、

- (1) 地図画像を計算機画面上に表示する
  - (2) 地図画像上に基準点を設置する
  - (3) 地図画像上に格子点を配置する
  - (4) 格子点を基に非構造格子網を作成する
  - (5) 非構造格子網を適宜修正する
  - (6) 格子点もしくは格子の標高値を入力する
  - (7) 非構造格子網のデータをファイルに出力する
- という流れとなる。以下、個々の手順について説明する。

#### (1) 地図画像の表示

本システムを起動すると、図-2 のようなウィンドウが現れる。このウィンドウの左上に位置する [ファイル] メニューからサブメニュー [新規作成] を選択すると、画像ファイルを選択するウィンドウが表示される。このウィンドウから、今後の作業の背景として使用する地図画像を選択する。

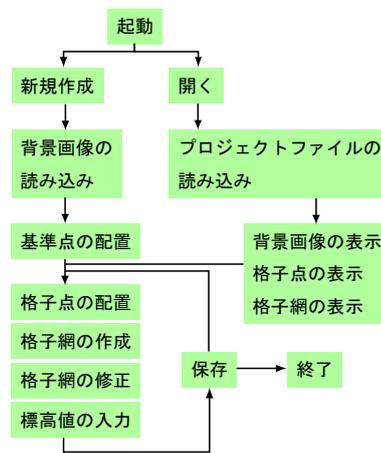


図-1 作業の流れ

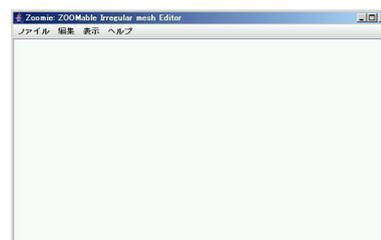


図-2 起動画面



図-3 基準点の設置

#### (2) 基準点の設置

背景画像を選択すると、その画像が本システムのウィンドウに表示されるので、画像をクリックすることによって基準点を設置する(図-3)。基準点とは、画像座標値と地上座標値(たとえば緯経度など)との対応が既知である点のことである。この点を基準として、格子点の地上座標値を算出する。具体的にはアフィン変換を用いて画像座標値と地上座標値を変換する。

#### (3) 格子点の配置

つぎに格子点を配置する。地図画像上でマウスをクリックすると、その点の画像座標値(と地上座標値)がメモリに記憶されると同時に、図-4 に示すように、格

子点を表す四角形が表示される．この四角形をマウスでドラッグすれば格子点の位置を変更することができる．また、この四角形を右クリックすると、その格子点の番号と標高が表示されるとともに、ポップアップメニューが表示され、格子点の削除、標高値の入力、格子の分割、新規格子の作成を行なうことができる(図-5)．

#### (4) 非構造格子網の作成

配置された格子点をもとに非構造格子網を作成する．本システムでは、まずデローニー(Delaunay)三角形分割法で対象領域を分割し、その後必要に応じて格子形状の修正や格子の追加・削除を行なうこととした．

非構造格子網を自動的に作成する手法としては、デローニー三角形分割法以外にも、アドバンスングフロント法、四分木法などの手法があるが<sup>6)</sup>、デローニー三角形分割法には、質のよい格子が生成されること、分割解が一意にかつ必ず存在すること、計算量が少ないことなどの利点があり、また、ユーザが指定した格子点に基づいて格子を生成するという本研究の立場と整合していることから、本手法を採用することにした．

デローニー三角形分割とは、「空間に任意に置かれた格子点群に対して、それらを結んでできあがった三角形の外接円内に、ほかのいずれの格子点も含まないような分割」のことである<sup>6)</sup>．デローニー三角形分割を行なう方法はいくつかあるが、本研究では三次元凸包を利用した方法<sup>7)</sup>を用いる．この方法は、逐次添加法などに比べて計算量が少ないという利点を持つ．

図-6に示すように、本システムの[編集]メニューから[格子網の生成]を選択すると、配置された格子点に基づいてデローニー三角形分割が行なわれる．

#### (5) 非構造格子網の修正

デローニー三角形分割は質のよい格子網を自動的に生成するという利点があるが、その一方で、ユーザの意図とは異なる格子を生成することもある．こうした場合には、必要に応じて手作業で修正する．修正作業としては、a) 格子点位置の修正、b) 格子点の削除、c) 格子線の削除、d) 新規格子の作成、e) 格子の分割が可能である．以下、それぞれについて説明する．

##### a) 格子点位置の修正

(3)でも述べたように、格子点をマウスでドラッグして位置を修正することができる．ただし、格子が凸になるように、また、格子と格子が重ならないようにしなければならない．このような格子形状に関する制限は、以下のb)~e)においても同様である．

##### b) 格子点の削除

これもすでに述べているが、格子点を右クリックしてポップアップメニュー[この格子点を削除]を選択す

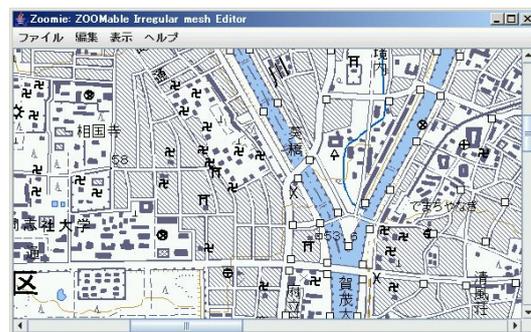


図-4 格子点の配置



図-5 格子点のポップアップメニュー

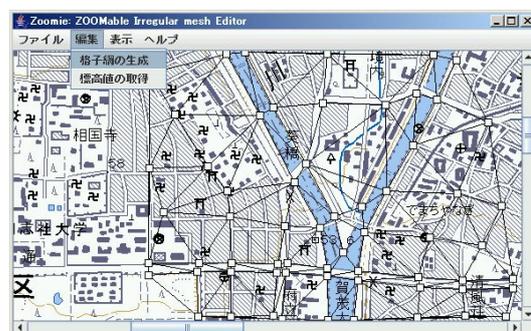


図-6 デローニー三角形分割

ると、当該格子点が削除される．これに伴って、関連する格子が統合あるいは削除される．図-7に示す例では、格子点番号21の格子点を削除することによって、この点を囲む四つの三角形格子が一つの四角形格子に統合されている．この例では、格子網の内部に位置する格子点を削除したため、関連する格子が統合されているが、格子網の一番外側に位置する格子点を削除した場合は、その格子点に関連する格子が削除される．

##### c) 格子線の削除

格子線上で右クリックすると[この格子線を削除]というメニューが現れ(図-8上)、これを選択すると、その格子線を削除することができる(図-8下)．削除対象の格子線を共有する格子が存在する場合は、それら

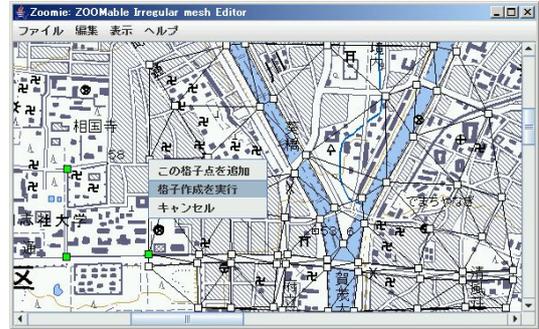
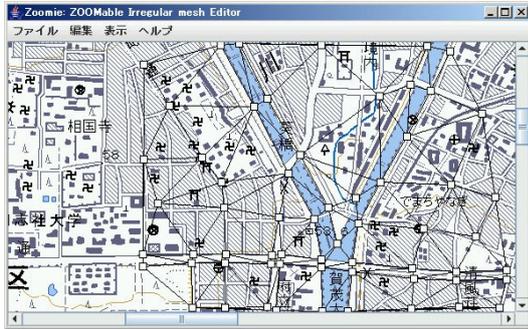
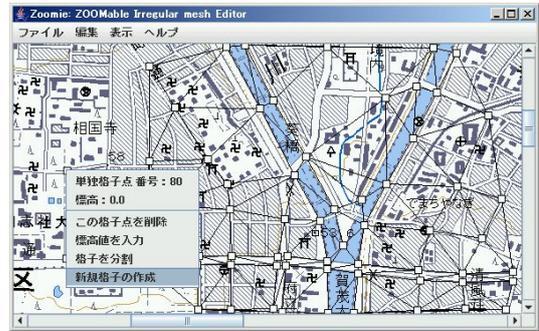
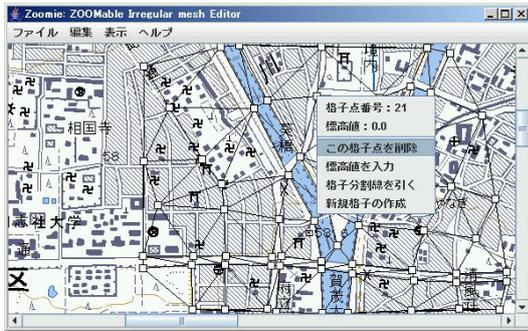


図-7 格子点の削除 (上: 削除前, 下: 削除後)

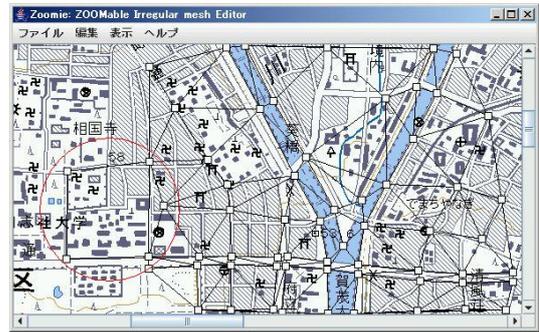
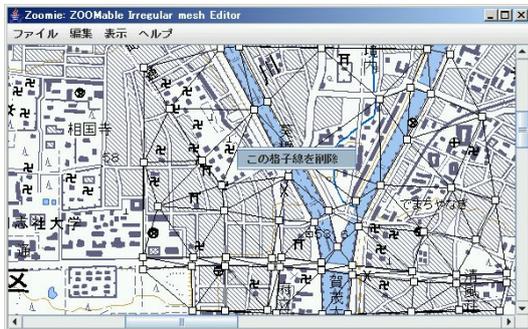


図-9 新規格子の作成

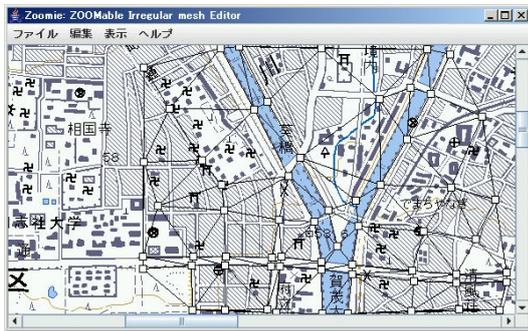


図-8 格子線の削除 (上: 削除前, 下: 削除後)

が一つの格子に統合される。削除される格子線が格子網の一番外側に位置する場合は、その格子線によって形成されていた格子が削除される。

#### d) 新規格子の作成

格子点を指定して新たに格子を作成することもできる。たとえば図-9では、ある格子点を右クリックしてポップアップメニュー[新規格子の作成]を選択し(図

上段)、その後、格子を形成する格子点を次々とクリックして(図中段: 緑色の格子点)、最後の格子点のところまで右クリックしてポップアップメニュー[格子作成を実行]を選択することによって(図中段)、新たに四角形の格子を作成している(図下段: 赤丸で囲んだ格子)。

#### e) 格子の分割

格子の分割には二種類の方法がある。一つは、格子の内部に設置された格子点から放射状に格子線を作成して当該格子を分割する方法、もう一つは、二つの格子点を結ぶ線を作成して当該格子を分割する方法である。

図-10, 11は、図-9で作成した格子を上記の二つの方法で分割した例を示したものである。図-10では、対象とする格子の内部に新たな格子点を設けて、その格子点を右クリックしてポップアップメニュー[格子を分割]を実行し、当該格子を四つの三角形格子に分割している。図-11では、対象格子の右上隅の格子点でポップアップメニュー[格子分割線を引く]を選択した後、対角方向にある格子点(赤い格子点)をクリックすることで格子線を作成し、当該格子を分割している。

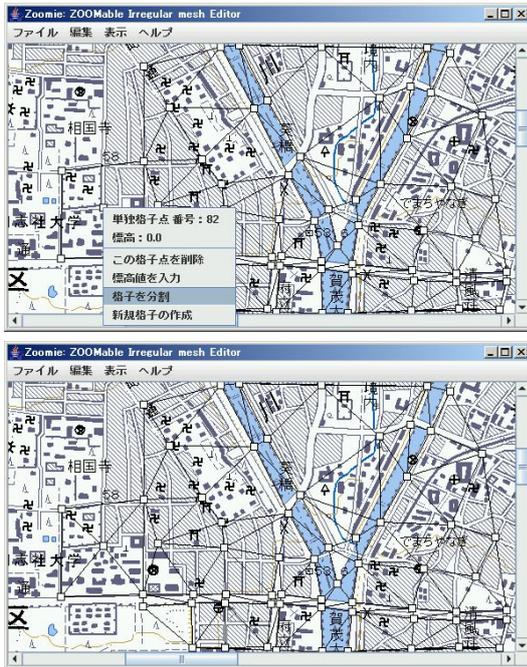


図-10 格子の分割：格子内部の点を用いて分割

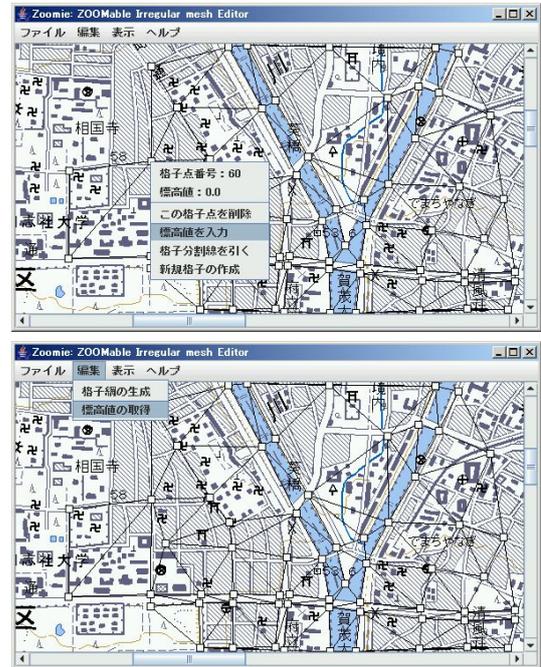


図-11 格子の分割：格子線を作成して分割

#### (6) 格子点 / 格子標高値の入力

格子点の標高値の入力は二種類の方法で行なうことができる。一つは格子点を右クリックしてポップアップメニュー [ 標高値を入力 ] を選んで手作業で標高値を入力する方法 ( 図-12 上段 ) , もう一つは編集メニューから [ 標高値の取得 ] を選んで、別途用意した標高データのファイルから自動的に格子点の標高値を内挿する



図-12 格子点 / 格子の標高値の入力

方法である ( 図-12 中段 ) . 後者の方法では、対象地域の点ベースの標高データからデローニー三角形網を作成し、格子点を囲む三点で決定される平面の式を用いて格子点の標高値を内挿する。

格子の標高値を与える場合は、格子上で右クリックしてポップアップメニュー [ 格子に標高値を入力 ] を選択し、手作業で標高値を入力する ( 図-12 下段 ) .

#### (7) 格子網データの出力

格子網のデータをテキストファイルで出力する。データを出力するには、ファイルメニューからサブメニューの [ 名前をつけて保存 ] を選択する。出力されるファイルは、プロジェクトファイル、格子点データファイル、格子データファイルの三種類である。

プロジェクトファイル ( 図-13 ) は、格子網の基本的な情報を収録したものであり、基準点の個数、地上座標系の種別、基準点の画像座標値と地上座標値、背景画像ファイル名、格子点データファイル名、格子データファイル名を記録する。# で始まる行はコメント行である。

図-14 は格子点データファイル( 図左 )と格子データファイル( 図右 )を示したものである。格子点データファイルには、一行目に格子点の総数と地上座標系の種別を、二行目以降に格子点の情報を記述する。二行目以降は、第一列が格子点番号、第二列が格子点の  $x$  座標か経度の値、第三列が  $y$  座標か緯度の値、第四列が標高値となっている。格子データファイルには、一行目に格子の総数を、二行目以降に格子の情報を記述する。二行目以降は、第一列が格子番号、第二列がその格子の頂点の数( 三角形なら “3”, 四角形なら “4” ), 第三列から  $(n+2)$  列(  $n$  は第二列の数値 )が格子を形成する格子点の番号、最後の列が標高値となっている。

#### 4. 松江市域への適用

本システムを用いて、島根県松江市中心部に対する格子網を作成した。背景画像には、国土地理院の地図閲覧サービス<sup>8)</sup>からダウンロードした 2 万 5 千分 1 地図( 松江 )を使用した。この画像上に格子点を配置し、デローニー三角形分割で格子網を生成したのち、道路網や水路網が格子によって適切に表現されるように修正を施した。最終的に得られた格子網を 図-15 に示す。格子点数は 1468 個、格子の数は 2098 個となった。本システムに備えられている諸機能はすべて正常に動作したが、格子点や格子が増えてくるにしたがってシステムの動作が緩慢になるという課題と、直前の操作を取り消す「undo 機能」の必要性が明らかとなった。

#### 5. おわりに

本研究では、低平地における雨水氾濫を計算するための非構造格子データの作成を支援するシステムを開発した。本システムは Java で記述されているため、特定の OS、ハードウェア、有償のソフトウェアに依存しないという利点を持つ。また、マウスによる操作で格子点や格子の編集が容易にできること、作業画面を自由自在に拡大・縮小できること、作業状態の保存と作業の再開が自由にできることなどの特徴を有している。本システムを松江市域に適用して、格子点数約 1500 個、格子数約 2000 個の格子網を作成し、本システムに備えられている諸機能が正常に動作することを確認した。

#### 参考文献

- 1) 川池 健司, 井上 和也, 戸田 圭一: 非構造格子の都市氾濫解析への適用, 水工学論文集, 第 44 巻, pp. 461-466, 2000.
- 2) 川池 健司, 井上 和也, 林 秀樹, 戸田 圭一: 都市域の氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集, No. 698/II-58, pp. 1-10, 2002.
- 3) Sun Microsystems: <http://java.sun.com/>.

```
# 基準点の個数 地上座標系 (1: 経緯度 / 0: それ以外)
3 0
# 基準点の画像座標値 地上座標値
481.0 120.0 481.0 -120.0
225.0 232.0 225.0 -232.0
479.0 257.0 479.0 -257.0
# 画像ファイルの名前
C:\home\ichikawa\workspace\zoomie\52354600.png
# 格子点データファイルの名前
node.dat
# 格子データファイルの名前
face.dat
```

図-13 プロジェクトファイル

429 0	258
1 31.8 52.7 81.1	1 3 2 5 7 10.0
2 10.3 43.2 82.9	2 3 5 9 14 11.5
3 58.3 20.3 79.2	3 3 28 13 40 10.5
...	...
429 3.9 6.0 78.4	258 3 87 65 68 9.0

図-14 格子点データファイルと格子データファイル

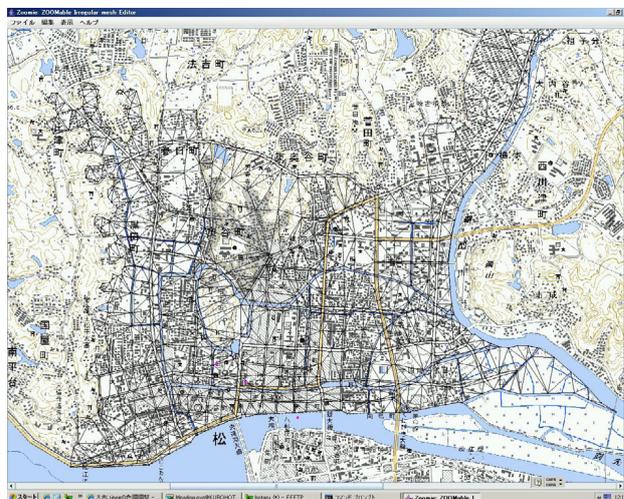


図-15 松江市域の格子網

- 4) Bederson, B. B., Grosjean, J., and Meyer, J.: Toolkit Design for Interactive Structured Graphics, IEEE Transactions on Software Engineering, 30 (8), pp. 535-546.
- 5) Human-Computer Interaction Lab, University of Maryland: <http://www.cs.umd.edu/hcil/jazz/>.
- 6) 小林 敏雄 編: 数値流体力学ハンドブック, 丸善株式会社, 2003.
- 7) 杉原 厚吉: FORTRAN 計算幾何プログラミング, 岩波書店, 1998.
- 8) 国土地理院: 地図閲覧サービス( 試験公開 ), <http://watchizu.gsi.go.jp/>.

(2007. 9. 30 受付)