1 L − 2

ヤンサンガン地域の流量シミュレーションのための格子生成法 *

星　仰[†]　鳥井　清司[‡]　千葉　賢[§]　高山　和英[†]
茨城大学[†]　京都大学[‡]　四日市大学[§]　茨城大学[†]

1　はじめに

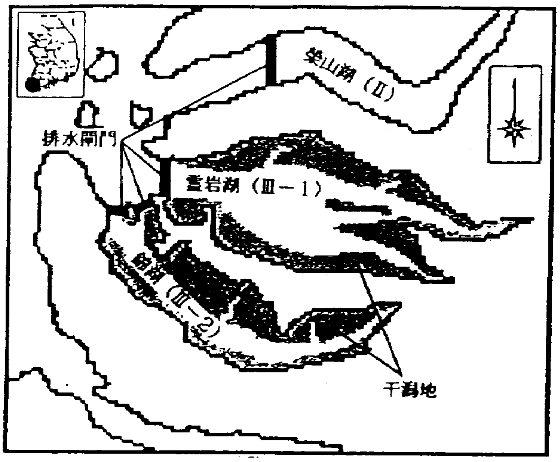
数値流体力学という学問が始まってしばらくの間、前処理と後処理はそれほど重要視されなかった。しかし、この学問が徐々に成熟していくと共にこの状況も変化するようになりCGの需要が高まってきた。

前処理の中心をなすものは格子生成であり、後処理の中心を構成するものはコンピュータグラフィックスであるといえよう。流体運動を支配する偏微分方程式を差分法や有限要素法で数値計算を行う時、解析空間を多数の格子点で離散化し、偏微分方程式を代数方程式に変換する。格子生成はこの解析空間の離散化手法のことで、流れの数値解析の前処理のうち最も重要な部分である。一般に数値流体力学において、ナビエ・ストークス方程式やその近似方程式をどのようにして解くかという計算法が中心となるが、実際には格子生成に多くの時間を要することになる。また、格子点数は計算精度に大きく影響を及ぼす。ある流れ場を数値解析する場合、ある程度以上の格子密度がなければ主要な物理現象を捉えることができない。一方、格子点数は計算時間や必要記憶容量に直接影響するため、計算機環境によって用いることのできる格子点数は、制限される。つまり格子の形成の仕方が流体解析における計算時間や精度に大きく影響するので、生成の際には注意を払う必要がある。

本研究は、近年大規模な淡水化事業が行われている大韓民国の西海岸で、ゲート内の環境変動を調査するために、対象領域を格子化して水流の数値シミュレーションを行う。また、格子生成の際に必要な諸条件を明らかにし、流出入を正確に与えられた時の流量解析を可能なようにした。これらの概要について述べる。

2　対象地域の概要

本研究の対象地域は、図−1のように韓国の南西部に位置する栄山江 (Yongsangang、ヤンサンガン) 3-1地区の霊岩湖 (Yongamho、ヨンアンホ) 地区である。全長約20km、幅約10kmで1972年から栄山湖地区の総合開発事業が始まり、霊岩湖地区は1991年4月8日に防潮堤の閉め切りが完了され、淡水湖化の過程が進行している。本研究では、この対象地域において防潮堤が閉め切られる前の状態を想定して解析を行う。



図−1　研究対象地域

3　格子生成

流れ場の解析領域は霊岩湖地区1カ所である。この解析領域に構造格子の境界適合曲線座標格子を適用し、Transfinite補間法で計算格子を生成した。

以下にTransfinite補間法について示す。図−2に示すような2次元場で、パラメータ $j,k(1\leq j\leq jmax, 1\leq k\leq kmax)$ で記述される格子点座標ベクトル $\vec{f}(j,k)=(x(j,k),y(j,k))$ を考える。$\vec{f}$ の境界での値 $\vec{f}(1,k),\vec{f}(jmax,k),\vec{f}(j,1),\vec{f}(j,kmax)$ が与えられているとし、これをもとに領域内の $\vec{f}$ を次の2ステップの式で補間する。

$$\begin{aligned}\vec{f}^{(1)}(j,k) &= \alpha_1(j)\vec{f}(1,k)+\alpha_2(j)\vec{f}(jmax,k)\\ \vec{f}(j,k) &= \vec{f}^{(1)}(j,k)\\ &\quad+\beta_1(k)[\vec{f}(j,1)-\vec{f}^{(1)}(j,1)]\\ &\quad+\beta_2(k)[\vec{f}(j,kmax)-\vec{f}^{(1)}(j,kmax)]\end{aligned}\tag{1}$$

ここで、$\alpha_1(j),\alpha_2(j),\beta_1(k),\beta_2(k)$ は混合関数と呼ばれるもので単調に変化し次の条件を満たすものである。

$$\alpha_1(1)=1,\qquad \alpha_1(jmax)=0,$$
$$\alpha_2(1)=0,\qquad \alpha_2(jmax)=1,$$

---

* "Grid generation to simulate flow in the Yongsangang area"

† Takashi Hoshi and Kazuhide Takayama, Ibaraki University 4-12-1 Naka-narusawa, Hitachi, Ibaraki 316, Japan

‡ Kiyoshi Torii, Kyoto University

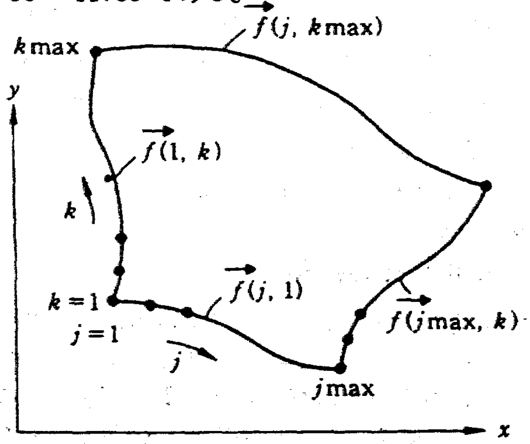
§ Satoshi Chiba, Yokkaichi University

$$\beta_1(1)=1,\qquad \beta_1(kmax)=0, \qquad (2)$$
$$\beta_2(1)=0,\qquad \beta_2(kmax)=1,$$

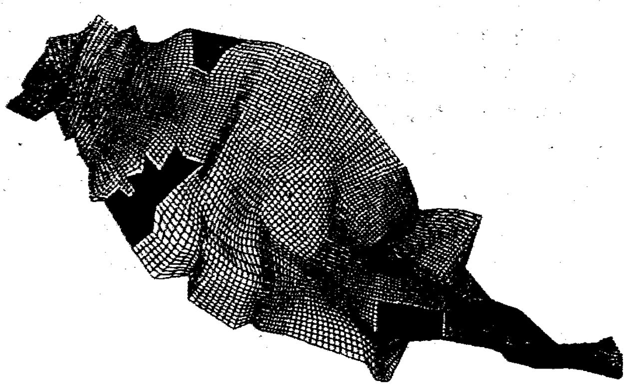
これらの条件を満たす最も単純な混合関数として線形補間で与えると、

$$\alpha_1(j)=\frac{jmax-j}{jmax-1},\qquad \alpha_2(j)=1-\alpha_2(j) \qquad (3)$$
$$\beta_1(k)=\frac{kmax-k}{kmax-1},\qquad \beta_2(k)=1-\beta_2(k) \qquad (4)$$

となる。また、格子間隔に偏りを持たせるとき（ストレッチングをかけるとき）には Robert の式を用いる。格子生成は次のようにして行う。まず、研究対象領域から地形的特徴のある地点を代表点とする。次に、対応する代表点を繋ぐ代表辺を決定して対象領域をいくつかの小領域に分割する。最後に、小領域内の格子点を Transfinite 補間法により生成し、全領域に平滑化処理を行う。対象領域内で特に地形的特徴の見られるところ（半島などの計算領域内に入り込んでいるところ）は、計算領域外（マスク領域）とする。上記の方法で生成した計算格子を図－3に示す。格子数は河口面に垂直方向に 210、河口面に平行方向に 56 とし、全部で $210\times56=11760$ である。



図－2　2次元場での格子生成



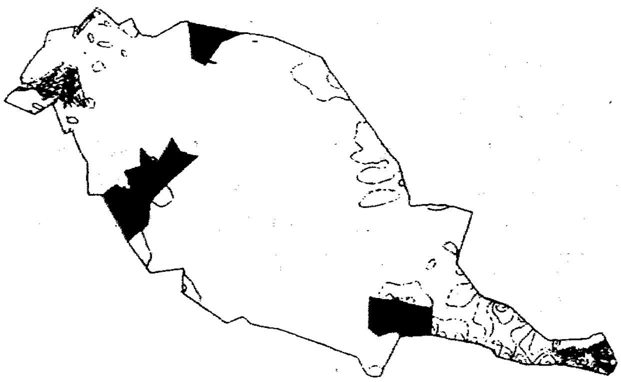
図－3　計算格子

4　シミュレーション結果の可視化

数値解析法は時間積分法に4段階の Runge-kutta 法と完全陰解法を組み合わせた方法を採用し、空間偏微分係数の離散化には差分法を用いた。使用した計算格子はレギュラー系格子である。

流入量と流出量は流域面積とその地域の年平均降水量より計算した。この対象地域に流れ込む河川は、数多く存在し1つ1つの河川の流量を計算するのは困難なので流入口を5ヶ所にした。流出口については、流量を一定にしているため水深の浅い部分ほど流速が速くないるので断面平均流速を算出して流速で与えた。プログラムでは無次元線流量で与えているので、求めた各流量を毎秒の流量に変換し、それを水深で除して線流量とし、線流量を代表長さと代表速度の積で除して無次元線流量とした。

数値解析を実行し可視化した様子を図－4に示す。この図内の黒パターンは、マスクを示している。



図－4　流量シミュレーションの様子

5　おわりに

格子生成の際に必要とする諸条件を明らかにし、流出入を正確に与えられたときの流量解析を可能なようにすることができた。今後は、質の良い格子生成法の研究や流量解析のより深い理解を必要とする。なお、対象領域の年間降水量データは茨城大学理工学研究科の Choi,Moon-Soo 氏より入手したものである。

参考文献

[1] 中橋　和博、藤井　孝蔵：" 格子形成法とコンピューターグラフィックス"，東京大学出版会, *pp*.11～37, 1995.4.

[2] 田中　正興、千葉　賢、武本　行正：" カルマン渦と自由表面波の自励振動現象について", 四日市大学論文集, 第9巻, 第1号, *pp*.249～262, 1996.

[3] Choi,Moon-Soo、鳥井　清司、星　仰：" 韓国ヤンサンガン地区の河口付近の水質パターン"，リモートセンシングシンポジウム講演論文集, *pp*.67～70, 1997.10.