

Title	オブジェクト指向に基づくナビエ・ストークス方程式の数値シミュレーション
Author(s)	上田, 隆宏
Citation	
Issue Date	1997-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1063">http://hdl.handle.net/10119/1063</a>
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男, 情報科学研究科, 修士

# オブジェクト指向に基づく ナビエ・ストークス方程式の数値シミュレーション

上田 隆宏

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997年2月14日

キーワード: オブジェクト指向、クラス、オブジェクト (インスタンス)、属性、メソッド.

## 要旨

### 背景と目的

流れのシミュレーションでは、複雑形状や熱を伴う流れ等の複雑な流れの解析を行なうために、プログラミングに大変な労力を必要とする。その上、出来上がった既存のプログラムを使って別の問題を解くということは非常に困難である。また、プログラムの信頼性についても疑問が残る。これらの問題に対処するのに近年オブジェクト指向をシミュレーションに用いるということが行なわれているが、まだまだこれらの問題を解決するのに十分な成果はあげられていないようである。

畠山らは格子点をオブジェクトにした差分法を行ない、オブジェクト指向を差分法に取り入れる理論的方法を確立した。しかし、彼らのモデルで複雑形状や熱を伴う流れ等の複雑流れを解析するための対処法は示されていない。

そこで本研究では、複雑な流れ、つまり熱移動を伴う流れや複雑形状流れ、移動境界の流れ、あるいはそれらの複合問題に対して柔軟かつ信頼性の高いシミュレーションを行なうことを目的とし、その為にオブジェクト指向の概念を数値シミュレーションに用いた。

### モデリング方法

本研究では、畠山らと同様、格子点をオブジェクトとすることによりモデリングを始めた。流れ場を離散化し各格子点を微小体積を持つオブジェクトと設定すると、オブジェク

トは周囲のオブジェクトとメッセージ通信を行ない自己の持つ属性である物理量を自己の持つメソッドにより変化させるということを行なう。これを各々全ての格子点オブジェクトについて行なうことによりオブジェクト指向差分法が駆動される。本研究では、まず格子点をオブジェクトに取り、ポアソン方程式の熱伝導問題について解析を行なうことで、オブジェクト指向によるモデルがシミュレーションに用いられることを確認した。

次に流体の基礎方程式となる非線形のナビエ・ストークス方程式をシミュレーションする為に、格子点オブジェクトから、物理量という関係でサブクラスを導出し、メソッドにMAC法により離散化された式を持つモデルを構築した。更に熱への問題を取り扱うことを狙い、新たに温度クラスを追加してオブジェクトモデルを拡張した。この段階では、複雑形状流れの取り扱いが面倒であり、格子点オブジェクトの数が増えるとシミュレーションにかかる時間も増大するという一般的な問題もある。そこで新たに複雑形状流れへの柔軟な対応と並列化による高速化を意図して領域をオブジェクトに取った。そして領域オブジェクトが格子点オブジェクトと集約関係にあるモデルを提案した。モジュール化による複雑処理の軽減により、信頼性があり柔軟でしかも高速なシミュレーションの実行を目指した。

## 得られた成果

本研究で得られた成果を以下に述べる。

- (1) 格子点クラスから物理量の関係でサブクラスを導出することによる信頼性の高いモデルの構築
- (2) 上記のモデルの熱を考慮した問題への柔軟な拡張
- (3) 拡張されたモデル(2)は、(1)のモデルから再利用の恩恵を受け、従来法との比較において信頼性が向上
- (4) 領域オブジェクトの提案により、領域クラスと格子点クラスのモジュール化による複雑な処理の軽減が実現
- (5) 複数の領域オブジェクトによる比較的複雑形状流れへも柔軟に対応
- (6) 上記に関して局所的な加熱も可能
- (7) 領域オブジェクトをプロセッサに割り当てれば並列化が容易に行なわれる可能性

(1)はMAC法による離散化式をメソッドに持たせた場合のオブジェクトモデルによるモデリングが、物理量単位で細分化されているために不正な処理が行なわれる確立を低下させていることを述べている。従来法において、物理量を表す変数の自由な変更による不正な処理を行なう危険性が高いのに対して、本モデルの信頼性の高さを実証している。

更に、畠山らの提案した格子点クラスに物理量すべての属性を持たせるモデルよりも、本モデルが信頼性において優れていることを同様に示した。更に速度オブジェクトから  $x$ 、 $y$  方向のサブクラスを導出することで、3次元問題への拡張容易性についても示唆した。

(2) は上述モデルが熱問題へ拡張する場合にも、柔軟に拡張でき、モデルの信頼性は損なわれないということを示している。従来法では、物理量の数と方程式の数が増えると信頼性が低下する。このため上述のオブジェクトモデルの派生クラスが多くなればなるほど、従来法に比べて信頼性が増加するということを述べた。このことは同時にプログラミングが容易に行なわれることも意味している。

(3) は(2)に関連して、オブジェクトモデルが拡張に際して、オブジェクト指向のメリットである再利用の恩恵を拡張モデルが受けるということの意味している。

(4) は、領域クラスから格子点クラスを集約としてモデル化することで、複雑な処理、つまり格子点オブジェクト間の関係をリンクするという操作にかかる手間が軽減されるということの意味している。

(5) は、領域オブジェクトから内部の格子点オブジェクトが行なう処理が隠蔽される為に、領域オブジェクト間のメッセージ交換により、比較的複雑形状の流れであっても容易にシミュレーションできるということの意味している。

(6) については、(4)、(5)の場合と同様に、領域オブジェクトモデリングに拡張された格子点オブジェクトモデリングの概念が含まれている為に、流れに対して柔軟に、熱の影響を加えることができるということである。

(7) の並列化については、領域オブジェクトごとの処理を各プロセッサに割り当てることで比較的容易に達成されると考えられる。プロセッサには一つの領域を割り当てると決まっておらず、負荷を均等にするために複数の領域オブジェクトを割り当てることも考慮しなければならないと考えられる。ここでは並列化のための一つの指針を示したといえる。

本研究で提案した領域オブジェクトモデルは、格子点オブジェクトモデルを集約することにより、格子点モデルの持つメリットを保持したまま、更に領域オブジェクトの設定により自身の柔軟性が加えられたモデルであるといえる。結果的に提案したモデルは従来法と比較して非常に信頼性において優れており、柔軟であることを実証したといえる。以上から、従来法で問題であった複雑流れの解析、プログラム構築、変更に伴う問題が改善され、既存のモデルによる問題解析から、別の問題の解析への移行が柔軟に行なわれる一つのアプローチを提案したといえる。

## 検討課題

本研究では柔軟なオブジェクト指向に基づくモデルを提案したが、移動境界流れや圧縮性流体のようなより複雑で動的に変化する流れに対してシミュレーションを行なうのは困難であり、他のオブジェクトを取ることに伴うモデル化について検討する必要がある。また、解法を高速化するために並列化についても考える必要がある。