

流体シミュレーション入門

追加レポ：応用キャビティ問題

第1章

数値実験

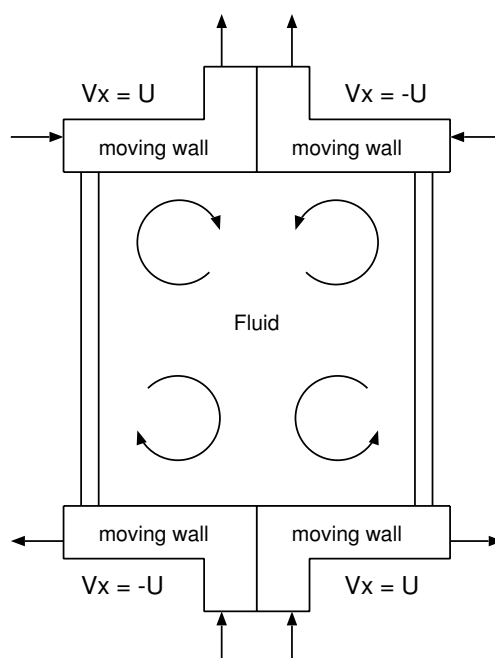


Fig.1 : 応用キャビティ問題

作成したシミュレータを利用して、もっと複雑なキャビティ問題についてシミュレーションを行い、検証することにする。一般的なキャビティ問題の応用として Fig.1 のような系を考える。上壁が系の中央に向かって速度 U でスライドしており、下壁は系の外に向かって同じく速度 U でスライドしている。系の内部には流体が満たされている。このとき内部の流体はどのような振る舞いをするのかシミュレーションを行う。

1.1 シミュレーションパラメータ

全方位に境界条件は自由すべり (Free-slip) 条件を採用している。Moving Wall の設定では境界上にある各速度格子点にタイムステップ毎に速度 U を付加している。乱流にならないよう速度 U は小さな値を採用した。これにより系内でおこる流体の振る舞いは

層流であることが期待される。流体の初期速度・圧力はゼロとした。タイムステップは5000回である。

Tab.1: シミュレーションパラメータ

キャビティ辺長	0.25 (m)
壁の速度 U	0.404×10^{-3} (m/s)
動粘性率	1.0×10^{-3}
時間刻み幅	1.0×10^{-3} (s)
セル数 ($x \times y$)	25×25
レイノルズ数	100

キャビティ問題から、予測される事柄を先に挙げておこう。キャビティ問題と同様に、Moving Wall 付近の流体はそのスライド方向への加速を支配的に受けることになる。今回の応用キャビティ問題では、上壁・下壁でそれぞれ4つの方向に壁が独立してスライドしている。そのため、そのスライド方向へ付近の流体が加速され Fig.1 のような4つの渦が生成されるであろうことが予想される。また、キャビティ問題のときのように十分な時間経過と共に内部の流体が定常状態に落ち着くことが期待される。

1.2 シミュレーション結果 - 1

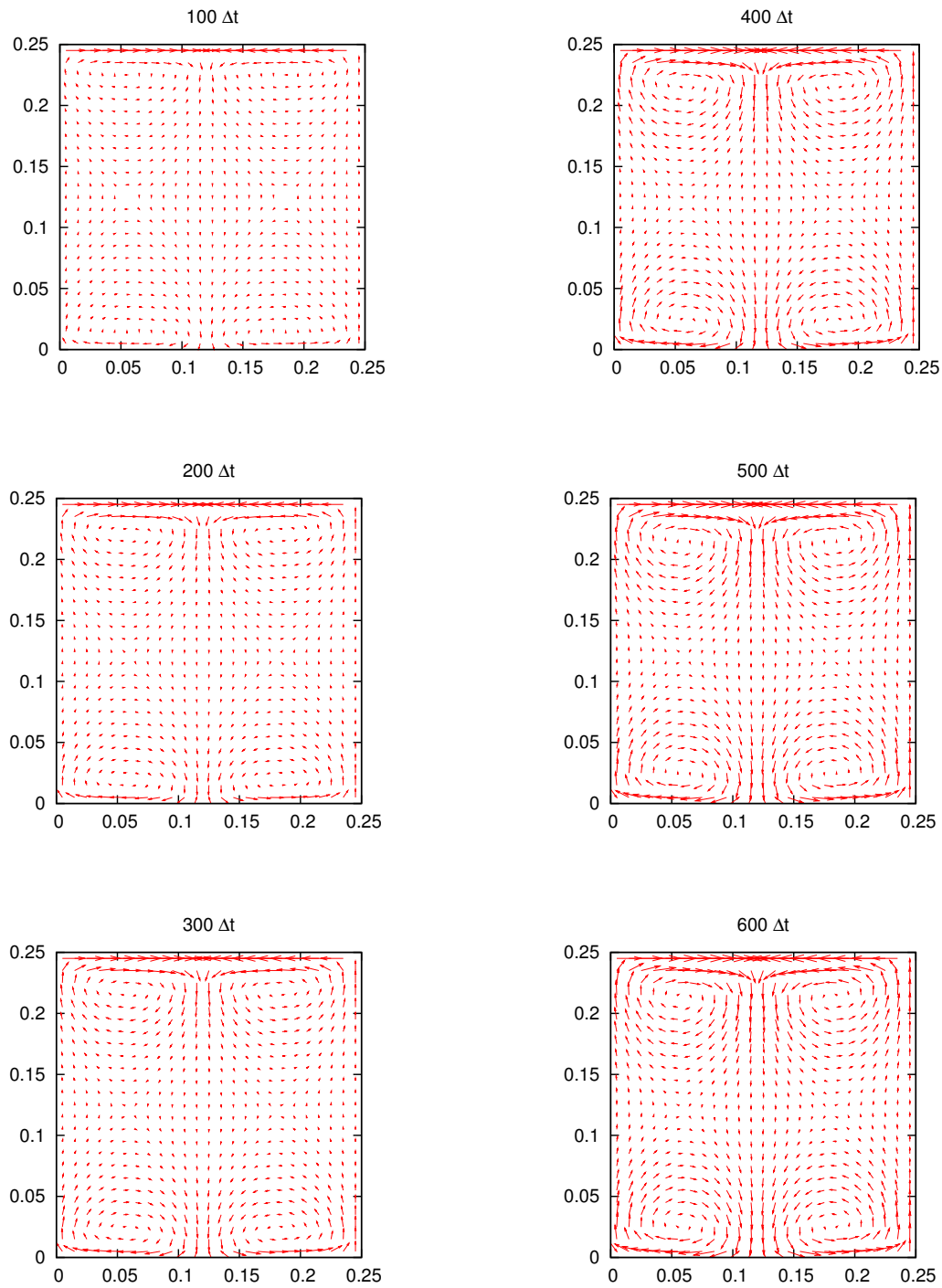


Fig.2 : 各時間における速度ベクトル場

1.3 シミュレーション結果 - 2

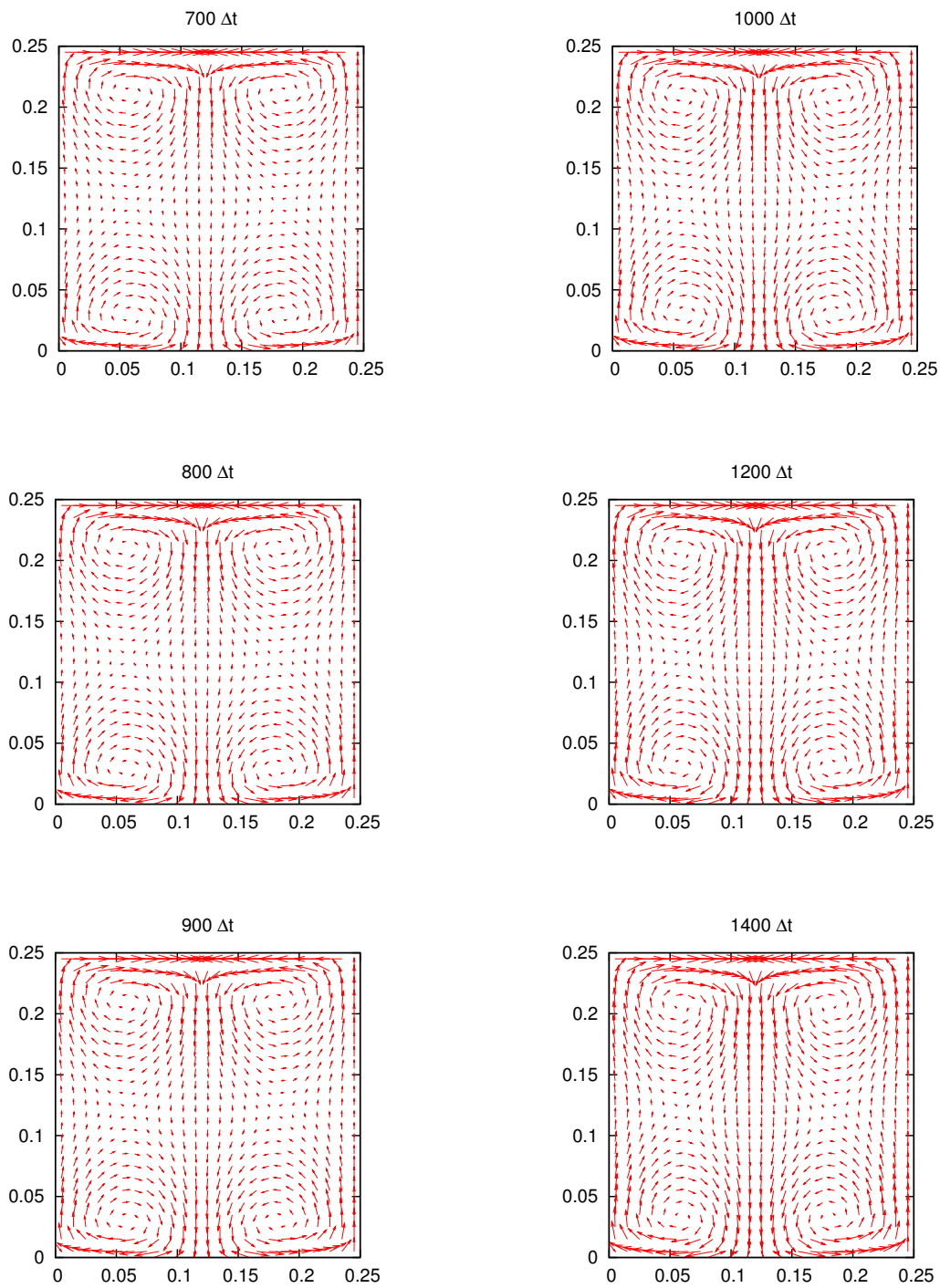


Fig.3 : 各時間における速度ベクトル場

1.4 シミュレーション結果 - 3

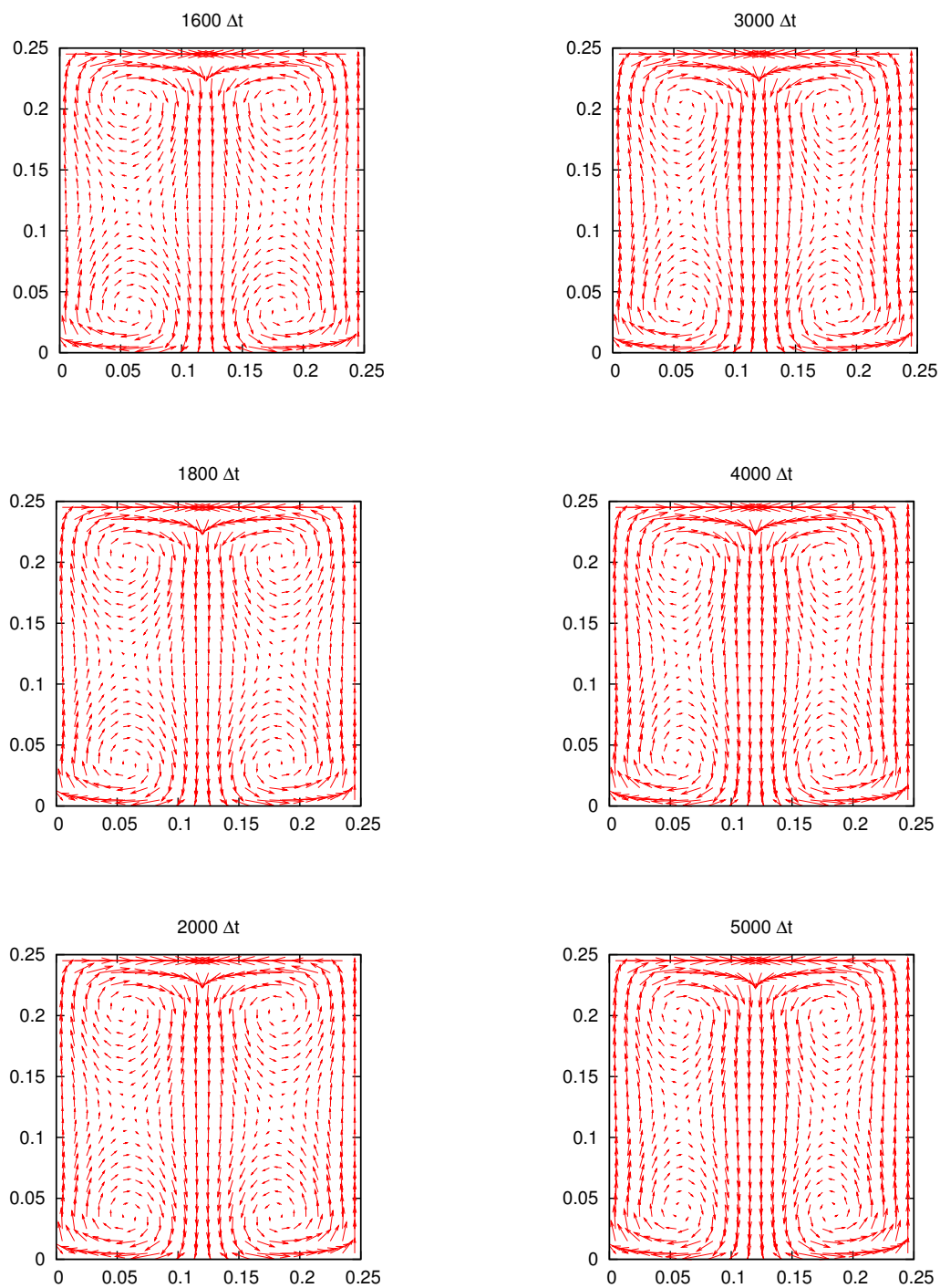


Fig.4 : 各時間における速度ベクトル場

1.5 シミュレーション結果 - 4

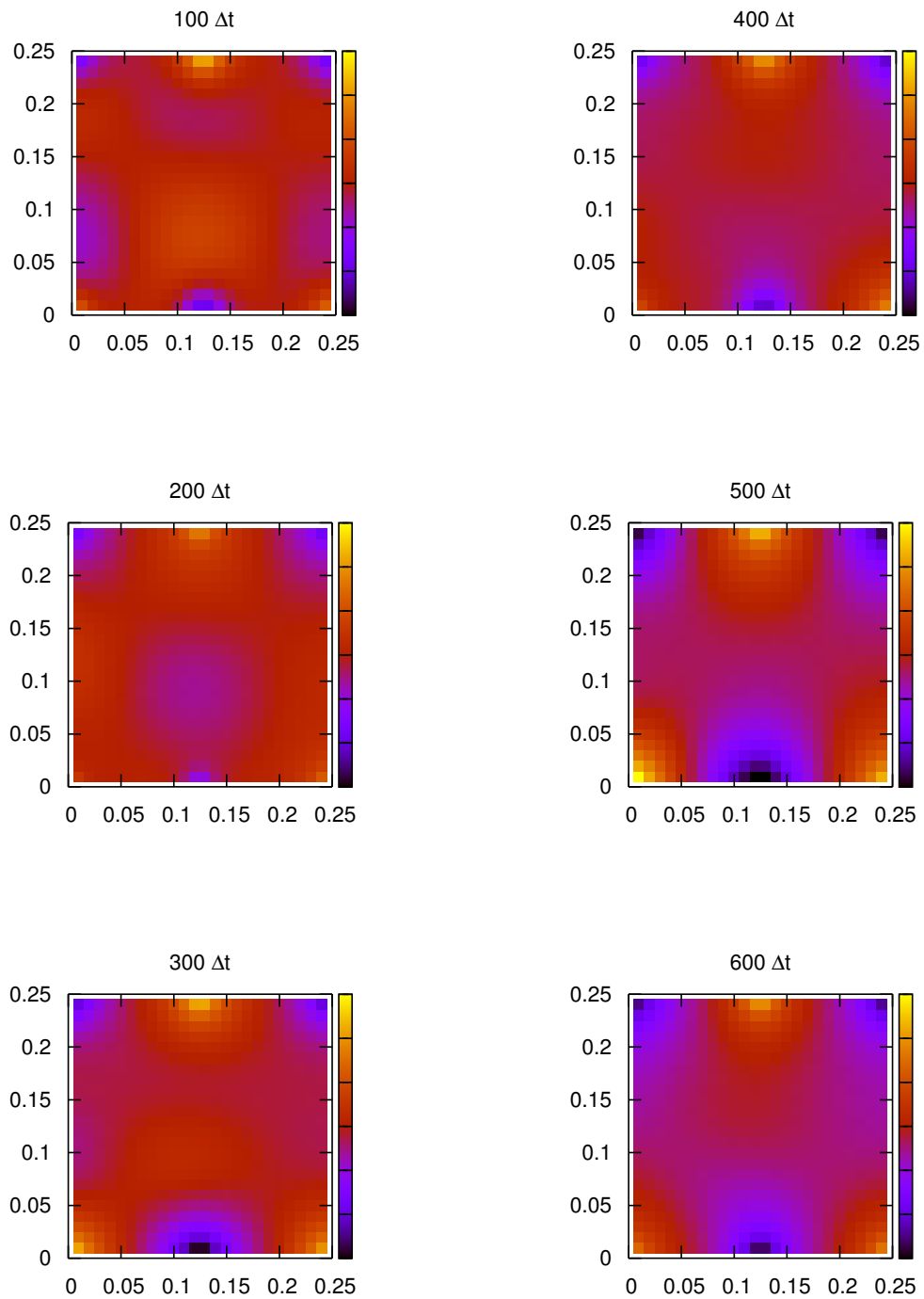


Fig.5 : 各時間における圧力場

1.6 シミュレーション結果 - 5

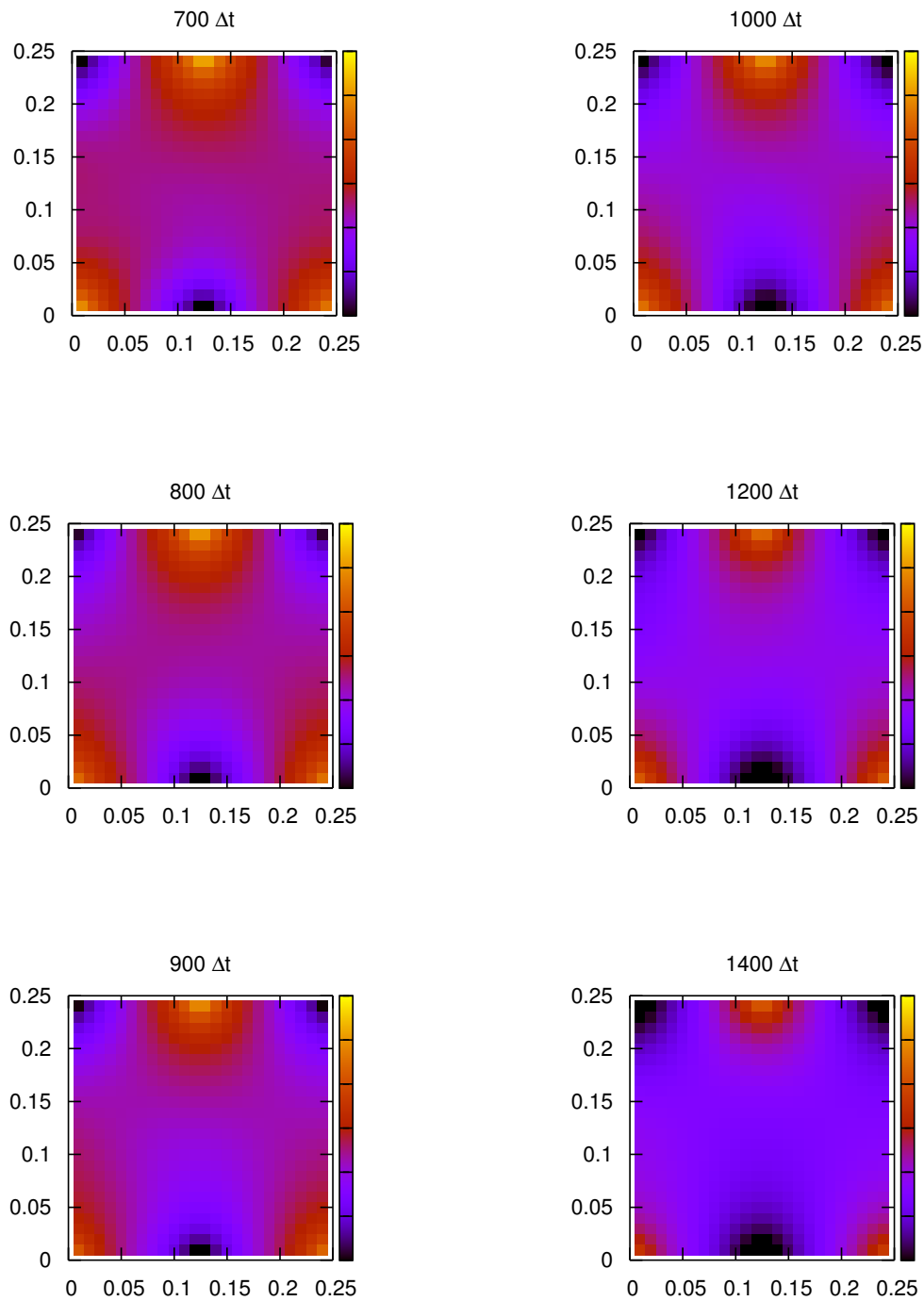


Fig.6 : 各時間における圧力場

1.7 シミュレーション結果 - 6

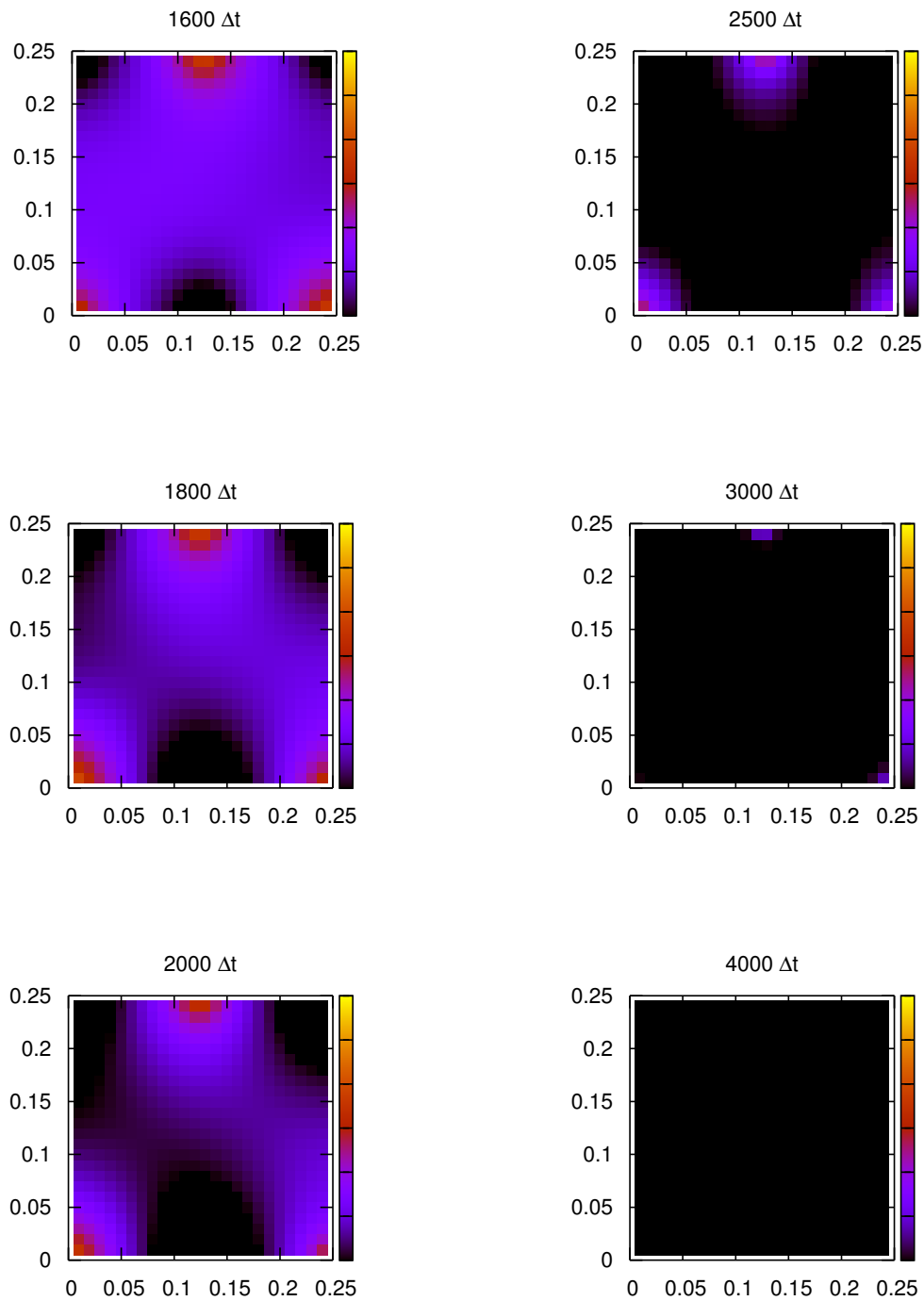


Fig.7 : 各時間における圧力場

1.8 考察

まずは、速度ベクトル場から見ていく。予想したように各 Moving Wall 付近に渦が形成されているのが分かる。渦はすでに $200\Delta t$ 付近から観測され始め、時間と共に成長を続ける。しかし、 $1000\Delta t$ を超えた辺りから、顕著な渦の成長は見られなくなり、定常状態に落ち着いている様が見受けられる。今回のシミュレーションでは 5000 ステップまでだが、これ以上計算を続けても渦はほとんど変化することはなかった。次に定常状態 ($5000\Delta t$) 時の速度ベクトル場に注目する。系の中央に下向きの流れ場が形成され、左右を両断しているのが分かる。 $1000\Delta t$ 時の図と比較すれば、左右の渦 (左側の上下の渦・右側の上下の渦) が、結合しそれぞれがまるで1つの渦になっているのようにも見える。設定した系ではこれ以上の発展はなかったが、系の設定によっては、実際に渦が結合し、渦が4つから2つへと変化している様を観測できるかもしれない。

次に圧力場を見ていく。圧力場の見方は「黄色」の領域が圧力が高く、「黒」の領域が圧力が低くなっている。 $100\Delta t$ の上壁の中央付近が黄色になっており、最も圧力が高くなっているのが分かる。これは、左右から中央へと加速された流体がぶつかることが原因だと考えられる。逆に下壁では中央付近が最も圧力が低く角に行くほど、高くなっている。初期圧力場は、あちらこちらに不均一な圧力が存在するが、時間経過と共に全体的に色が「黄色」から「黒」へと変わり、全体的な圧力が低下しているのが分かる。特に速度ベクトル場が定常状態に入ったと見受けられる $2000\Delta t$ を過ぎてからは、圧力場においても領域全体が黒で塗りつぶされていく様子が観測できる。このように圧力場が均一になることで流体が感じる圧力がなくなり、流体の運動が定常状態に入るよう見受けられる。