

河川の蛇行を考慮した準3次元直交型座標系流体解析プログラムに対する研究用計算システムの利用について

伊豫岡, 宏樹
九州大学大学院工学研究院環境都市部門

<https://doi.org/10.15017/1467671>

出版情報：九州大学情報基盤センター広報：全国共同利用版. 6 (2), pp.68-71, 2006-09. 九州大学情報基盤センター
バージョン：
権利関係：

河川の蛇行を考慮した準 3 次元直交型座標系流体解析プログラムに対する 研究用計算システムの利用について

伊豫岡 宏樹 (九州大学大学院工学研究院 環境都市部門)

概要

本稿では、直交型座標系流体解析プログラムによる蛇行を考慮した感潮河川の流況解析を対象に、研究用計算システムの性能を比較検討した結果を報告する。比較に用いた計算機は、スーパーコンピュータ(kyu-vpp)、高性能演算サーバ(kyu-cc)および研究室所有のデスクトップ PC(Pentium4 3.2GHz Compac Visual Fortran 6.6b)である。演算速度および計算コスト比較のため、それぞれの計算機による逐次計算、いくつかの最適化オプションの指定、高性能演算サーバについては自動並列化及び使用 PE 数の指定も試みた。

1. モデル概要

本稿で用いた流体解析プログラムは宮崎県の北川感潮域に適応した流動モデルで、密度の非一様性や流れの三次元性を考慮した解析法(1)(2)を用いている。基礎式は質量保存式・運動方程式・および塩分偏差に関する保存式から成る。なお、これらの基礎式を導く際の仮定は(1) 水は非圧縮性とみなす。(2) 流れの鉛直方向加速度は、重力加速度に比して小さく、鉛直方向の運動方程式は圧力の静水圧分布により近似される。(3) 密度の非一様性は重力項以外では無視するブーシネスク近似を適用する。基礎方程式はこれらの仮定から導かれた、質量保存式・運動方程式・および塩分・温度の保存式からなる。

水平方向の渦動粘性係数と渦動拡散係数についてはスマゴリンスキー型(SGS)モデルの概念をもとに、水平方向の流速勾配依存型の成分と鉛直方向の流速勾配型の成分とに分解できるとする仮定の元、各ステップ・格子毎に算出した。鉛直方向の渦動粘性係数と渦動拡散係数に関しては成層化された条件下でもっとも一般的な勾配型リチャードソン数を用いた関数モデルを適応した。

境界条件について、以下にまとめる。

- ・ 開境界における境界条件
 - a) 開境界を通じて運動量のフラックス伝達はない。
 - b) 鉛直方向の流速勾配はない。
 - c) 水位変動量として境界潮位振動を余弦関数にて与える。
- ・ 塩分・温度に関わる境界条件
 - a) 底面および壁面からの塩分フラックスの流入はない。
 - b) 開境界を通じての塩分および水温フラックスの伝達はないものとする。
- ・ 流入塩分・水温に関する条件
 - 上流端流入部における塩分・水温は常に一定の値を与える。

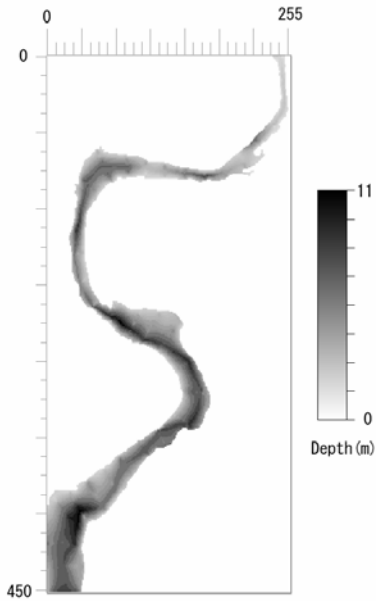


Fig. 1. Depth of the river

Table 1. Parameters

	Notation	Value	Unit
Number of grids in the transverse direction	id	255	-
Number of grids in the stream direction	jd	450	-
Number of grids in the vertical direction	ke	23	-
Increments of horizontal direction	dx,dy	10	m
Increments of vertical direction	dz(1)~dz(8)	1	m
	dz(9)~dz(11)	0.5	m
	dz(12)~dz(22)	0.25	m
	dz(23)	0.75	m
Bottom friction coefficient	γ_b^2	0.0026	-
Horizontal turbulent eddy viscosity	A_{h0}	10	m^2/s
Vertical turbulent eddy viscosity	A_{v0}	0.001	m^2/s
Increment of time	dt	1	s
Input flow rato	Q	4	m^3/s
Temperature of inflow	T_R	18.35	$^{\circ}C$
Salinity of inflow	S_R	0	-

スカラー量及びベクトル量はスタガードに配置した。計算格子サイズは $dx=dy=10m$ とし、 dz は層により異なる値を与えている。計算格子数は 255(東西方向)×450(南北方向)×23(鉛直方向)とした。計算ステップは $dt=1.0(s)$ とし、15 潮汐間(1 潮汐 12 時間)648000 ステップの計算を行う。計算に用いた流量・開境界における塩分および温度分布等は、過去に行われた調査結果を参考にしている。Fig.1 にモデル上の水深を、Table 1 に計算に用いたパラメーターを示す。

2. 比較方法

今回、デスクトップ PC(Pentium4 3.2GHz Compac Visual Fortran 6.6b), スーパーコンピュータ (kyu-vpp), 高性能演算サーバ (kyu-cc) を用いて対象プログラムの初め 1000 ステップ(一部 100 ステップ)の計算を行い、計算時間測定コマンドをもちいて計算速度を測定した。また、測定時間と情報基盤センターの課金表を元に、計算コストを算出した。パフォーマンス向上のため、コンパイル・実行にはいくつかの最適化・自動並列化のオプション、PE 数の変更も試している。いずれのケースでも塩分について最初 1000 ステップの計算結果を出力させ (高性能演算サーバ・オプションなしの場合は最初 100 ステップの結果)、デスクトップ PC の計算結果と比べたところ最適化・並列化の副作用は見られなかった。

3. 計算結果の比較

Table 2 に今回行った用いた計算の結果をまとめる。今回の計算はすべて対話型処理で実行したが、コストはバッチ処理で 15 分以上の計算を行ったと仮定して算出している。今回用

いたコードは MPI や OpenMP および HPF などの並列プログラムを含んでいない。そのため、自動並列化機能を持たないスーパーコンピュータでの実行は逐次計算となり、最適化を行ってもそれほどパフォーマンスの向上は認められなかった。高性能演算サーバは逐次計算では、最適化を行わない場合むしろデスクトップ PC よりパフォーマンスが低い。最適化を行ってもそれほどのパフォーマンス向上は認められないが、自動並列化機能を用いることで大幅な計算速度の向上が見られた。

計算速度の面から言えば、「高性能演算サーバによる自動並列化+最大限の最適化+アーキテクチャについての最適化+CPU についての最適化」が最もよい結果を示した。同時使用 PE 数については PE 数が増すほど速度が向上する傾向があるが、4PE の場合とそれ以上の場合を比べてもそれほどの効果は得られていないことが分かった。

コストの面から言えば、「高性能演算サーバによる最大限の最適化のみ」がもっとも良い結果であるが、前途の最速の場合と比べ 40 時間以上遅い。計算速度とトータル時間を考えると、「高性能演算サーバによる自動並列化+最大限の最適化+アーキテクチャについての最適化+CPU についての最適化、使用 PE 数 4」が最もパフォーマンスが高いといえそうだ。

Table 2. Calculation time and cost

(first 1000 steps calculation, except (*):first 100 steps calculation)

	option	real(s)	user(s)	sys(s)	real(s)/1step	real(h)/648000step	total step cost	cost/1(h)
P4 3.2GHz Compac Visual Fortran 6.6B	architecture:pn4 /optimize:5/tune:pn4 他	1149.30	1148.98	0.31	1.1493	206.87	0	0.00
kyu-vpp		732.45	710.27	0.86	0.7325	131.84	184325	1398.08
kyu-vpp	-O5	744.86	685.56	4.42	0.7449	134.07	178843	1333.90
kyu-vpp	-O5 -KA32	701.77	676.70	1.06	0.7018	126.32	175675	1390.73
kyu-cc(*)		952.17	945.43	0.00	9.5217	1713.91	123401	72.00
kyu-cc	-O5	736.87	730.55	0.00	0.7369	132.64	9550	72.00
kyu-cc	4PE: -qsmp=auto	590.03	971.95	2.40	0.5900	106.21	12628	118.90
kyu-cc	8PE: -qsmp=auto	546.71	1064.29	6.18	0.5467	98.41	13873	140.98
kyu-cc	16PE: -qsmp=auto	516.87	1258.90	10.87	0.5169	93.04	16456	176.88
kyu-cc	32PE: -qsmp=auto	508.87	1336.54	24.19	0.5089	91.60	17635	192.53
kyu-cc	-O3 -qarch=pwr5 - qtune=pwr5 -qsmp=auto	449.46	1231.14	34.21	0.4495	80.90	16399	202.70
kyu-cc	4PE: -O5 -qarch=pwr5 - qtune=pwr5 -qsmp=auto	484.76	783.38	2.49	0.4848	87.26	10185	116.72
kyu-cc	16PE: -O5 -qarch=pwr5 - qtune=pwr5 -qsmp=auto	440.46	1070.51	13.26	0.4405	79.28	14046	177.16

4. 考察および今後の課題

今回、情報基盤センターの利用で、対象計算（1 週間程度）における演算時間が現実的な範囲内に収まることが分かった。しかし、今後計算対象時間スケールの拡大（数ヶ月から数年）や、対象領域の拡大の可能性も考えると、更なる計算速度向上が求められることになる。計算速度向上のためには、以下に示したようないくつかのアプローチが考えられる。

- (1) 計算格子数の減少
- (2) 計算ステップの延長
- (3) MPI, HPF, OpenMP などの利用により並列化率を上げる

それぞれについて少し詳しく述べると、

- (1) 今回の計算は Fig. 1 に示したとおり全領域には多くの陸域を含み、陸域の部分は計算を飛ばしているため実際の計算対象格子数は半分以下である。メモリには、計算に不

要な値がそれだけ多く格納されており、配列を参照する時間が計算速度に大きく影響している可能性がある。また、並列化により複数 PE で計算させていても、まったく計算対象ではない部分に PE が割り振られているということもありうる。水平方向の計算格子サイズを 2 倍にするだけでも格子数は 4 分の 1 となるので、今後の計算目的に応じて格子を大きく取る必要性もある。また、蛇行を多く含む河川の流れ解析に特化すれば、大幅なコードの書き換えが必要となるが、直交曲線座標を用いれば、流下方向と横断方向のスケールの大きく異なる河川の問題を効率よく解くことができる。

(2) については、計算ステップを大きく取ることにより総計算ステップ数が減る。ただし、計算結果が発散してしまったり、陰的に解いている部分の収束計算に時間がかかったりすることで単純に計算速度の向上につながらない可能性もある。

(3) については、今回は並列化率を自動並列化以上にすることが可能なため、計算速度の向上につながる。特に、今回はスーパーコンピュータによる並列計算は試していないため、今後試してみたい。

今後は (1) ~ (3) のアプローチを複合的に実施、調整していく必要がある。

(参考文献)

- [1] Y., Hiu: Natural change in number and habitat characteristics of *Deiratonotus japonicus* in the Kita River, Japan, *Proceedings of Asian Waterqual*, CD-ROM, 1Q5A07, 2003.
- [2] 伊豫岡宏樹: 北川感潮域での水理水質変動シミュレーション, 平成 14 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 第 2 分冊 VII-55, pp. 498-499, 2003