

小規模スカラー並列計算機を用いた風況シミュレータRIAM-COMPACTの実用化へ向けた検討

内田, 孝紀
九州大学応用力学研究所

大屋, 裕二
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/4783576>

出版情報：九州大学情報基盤センター年報. 4, pp.19-30, 2004-03. 九州大学情報基盤センター
バージョン：
権利関係：



小規模スカラー並列計算機を用いた 風況シミュレータRIAM-COMPACTの実用化へ向けた検討

Examination towards Utilization of the RIAM-COMPACT by using Small Scalar Parallel Computers

内田 孝紀, 大屋 裕二

Takanori UCHIDA and Yuji OHYA

九州大学応用力学研究所

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

要旨 我々は数(十)km以下の局所域スケールに的を絞り、風に対する地形効果を高精度に再現する風況シミュレータRIAM-COMPACT(Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain)を開発している。現在はRIAM-COMPACTの実用化へ向け、小規模スカラー並列計算機の導入を検討している。本報では、最新のPC, SMP機, PCクラスタなどの性能評価を行った。その結果、最新の計算機環境(SMP機, PCクラスタ)は、スーパーコンピュータ1台並の性能を有することが明らかになった。

Abstract We are developing the numerical model called the RIAM-COMPACT (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain). The object domain of this numerical model is from several m to several km, and can predict the airflow over complex terrain with high precision. Since we put this numerical model in practical use, we are considering introduction of small scalar parallel computers. This research shows comparison of the elapsed time (CPU time) in various computers, such as PC, SMP and PC cluster. Consequently, it became clear that the newest computer environment (SMP and PC cluster) has about the same performance as a supercomputer.

1. 緒言

我々は数(十)km以下の局所域スケールに的を絞り、RIAM-COMPACT(Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain)と称する風況シミュレータを開発している¹⁾。この数値モデルは、(有限)差分法に基づいたFortranプログラムである。乱流モデルには非定常流体シミュレーションが可能なLESを採用している。既に風洞実験や野外観測データと比較し、RIAM-COMPACTの有効性を確認している。

現在はRIAM-COMPACTを実用化するため、小規模なスカラー並列計算機の導入を検討している²⁻⁶⁾。本研究では、同一条件の下で風況予測シミュレーションを実施し、最新の計算機性能を評価した。計算対象は、急峻な孤立峰を過ぎる流れ場(中立成層流)である。特にFortranコンパイラの最適化オプションと計算時間(経過時間)に注目し、それらの比較結果について報告する。

2. 検討した計算機環境

本研究で検討した計算機環境を表1～表17に示す。表1～表5がPC単体(Dual CPUも含む)、表6～表10がPCクラスタ, SMP機の小規模スカラー並列計算機, 表11～表17がサーバおよびスーパーコンピュータである。

3. 計算対象と数値計算手法

ここでは、RIAM-COMPACTによる数値シミュレーションの概要について示す。一般曲線座標系のコロケート格子に基づいたRIAM-COMPACTを用い、急峻な孤立峰を過ぎる流れ場の数値シミュレーションを行う。数値計算法などの詳細については、文献¹⁾を参照していただきたい。流跡線図によって視覚化した孤立峰周辺の流れパターンを図1に示す。この図から、孤立峰周辺は複雑乱流場を呈していることが見て取れる。計算パラメータなどの設定は後述する。

開発コード名	ノースウッド(第二世代)
クロック周波数	3.2GHz
主記憶容量	DDR400(PC3200) SDRAM 2GB (最大データ転送速度: バス幅64ビット×400MHz=3.2GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) (実行トレース・キャッシュ+データ・キャッシュ) レベル2: 512KB(オンダイ)
FSB	800MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (バス幅64ビット×800MHz=6.4GB/s)
チップセット	i875P
製造プロセス	0.13 μ m
OS	SuSE Linux 7.3
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1 PGI Fortran Compiler 4.02
備考	32ビットCPU(IA-32), 1-Way

表1 (株)HITのIntel Pentium4プロセッサ搭載のPC,
2003年6月24日

開発コード名	ノースウッド(第二世代)
クロック周波数	3.2GHz
主記憶容量	DDR400(PC3200) SDRAM 2GB (最大データ転送速度: バス幅64ビット×400MHz=3.2GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ) レベル3: 2MB(オンダイ)
FSB	800MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (バス幅64ビット×800MHz=6.4GB/s)
チップセット	i875P
製造プロセス	0.13 μ m
OS	Red Hat Linux 8.0
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1 PGI Fortran Compiler 4.02
備考	32ビットCPU(IA-32), 1-Way

表2 (株)HITのIntel Pentium4プロセッサ
エクストリーム・エディション搭載のPC, 2003年11月4日

開発コード名	プレストニア-1M(第二世代)
クロック周波数	3.06GHz
主記憶容量	DDR266(PC2100) SDRAM 2GB (バス幅64ビット×266MHz=2.1GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ) レベル3: 1MB(オンダイ)
FSB	533MHz(バンド幅: 4.2GB/s) (バス幅64ビット×533MHz=4.2GB/s)
チップセット	iE7505
製造プロセス	0.13 μ m
OS	SuSE Linux 7.3
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	32ビットCPU(IA-32), 2-Way

表3 (株)HITのIntel Xeon DPプロセッサ搭載のPC,
2003年7月15日

開発コード名	プレストニア-1M(第二世代)
クロック周波数	3.2GHz
主記憶容量	DDR266(PC2100) SDRAM 2GB (バス幅64ビット×266MHz=2.1GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ) レベル3: 1MB(オンダイ)
FSB	533MHz(バンド幅: 4.2GB/s) (バス幅64ビット×533MHz=4.2GB/s)
チップセット	iE7505
製造プロセス	0.13 μ m
OS	SuSE Linux 7.3
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1 PGI Fortran Compiler 4.02
備考	32ビットCPU(IA-32), 2-Way

表4 (株)HITのIntel Xeon DPプロセッサ搭載のPC,
2003年10月7日

開発コード名	スレッジハマー(モデル242)
クロック周波数	1.6GHz
主記憶容量	DDR333(PC2700) SDRAM 3GB (バス幅64ビット×333MHz=2.7GB/s)
キャッシュ	レベル1: 64KB+64KB(オンダイ) レベル2: 1MB(オンダイ)
FSB	200MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (ハイパートランスポート)
チップセット	AMD-8111
製造プロセス	0.13 μ m SOI(Silicon on Insulator)
OS	TurboLinux 8.0 for AMD64
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1 PGI Fortran Compiler 4.02
備考	64ビットCPU(AMD64), 2-Way

表5 (株)HITのAMD Opteron DPプロセッサ搭載のPC,
2003年4月23日

開発コード名	プレストニア-1M(第二世代)
クロック周波数	3.2GHz
ノード数	2台(4CPU)
ノード間通信 (NIC)	MPICH-P4(TCP/IP) ギガビット・イーサネット(全二重)
主記憶容量	DDR266(PC2100) SDRAM 2GB (バス幅64ビット×266MHz=2.1GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ) レベル3: 1MB(オンダイ)
FSB	533MHz(バンド幅: 4.2GB/s) (バス幅64ビット×533MHz=4.2GB/s)
チップセット	iE7505
製造プロセス	0.13 μ m
OS	SuSE Linux 7.3
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	32ビットCPU(IA-32)

表6 (株)HITのIntel Xeon DPプロセッサ搭載のPCクラスタ
(ベオウルフ型SMPクラスタ), 2003年10月7日

開発コード名	ノースウッド(第二世代)
クロック周波数	2.0AGHz
ノード数	4台(4CPU)
ノード間通信 (NIC)	MPICH-P4(TCP/IP) ギガビット・イーサネット(全二重)
主記憶容量(単体)	PC800(RIMM1600) RDRAM 1GB (16ビット×800MHz=1.6GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ)
FSB	400MHz(バンド幅: 3.2GB/s) (バス幅64ビット×400MHz=3.2GB/s)
チップセット	i850E
製造プロセス	0.13 μ m
OS	SuSE Linux 7.3
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	32ビットCPU(IA-32)

表7 (株)HITのIntel Pentium4プロセッサ搭載のPCクラスタ
(分散メモリ型のスカラー並列計算機), 2001年8月28日

開発コード名	ノースウッド(第二世代)
クロック周波数	3.2GHz
ノード数	4台(4CPU)
ノード間通信 (NIC)	MPICH-P4(TCP/IP) ギガビット・イーサネット(全二重)
主記憶容量(単体)	DDR400(PC3200) SDRAM 2GB (最大データ転送速度: バス幅64ビット×400MHz=3.2GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ) レベル3: 2MB(オンダイ)
FSB	800MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (バス幅64ビット×800MHz=6.4GB/s)
チップセット	i875P
製造プロセス	0.13 μ m
OS	Red Hat Linux 8.0
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	32ビットCPU(IA-32)

表8 (株)HITのIntel Pentium4プロセッサEE搭載のPCクラスタ
(分散メモリ型のスカラー並列計算機), 2003年11月4日

開発コード名	ノースウッド(第二世代)
クロック周波数	2.8GHz
ノード数	4台(4CPU)
ノード間通信 (NIC)	MPICH-SCore 1.2.4(PM) ギガビット・イーサネット(Intel PRO/1000MT)
スイッチングハブ	8ポートギガビット・スイッチングハブ
主記憶容量(単体)	PC1066(RIMM2100) RDRAM 1GB (16ビット×1066MHz=2.13GB/s)
キャッシュ	レベル1: 12K μ OPS+8KB(オンダイ) レベル2: 512KB(オンダイ)
FSB	533MHz(バンド幅: 4.2GB/s) (バス幅64ビット×533MHz=4.2GB/s)
チップセット	i850E
製造プロセス	0.13 μ m
OS	Red Hat Linux 7.3, SCore-D 5.4.0
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.0
備考	32ビットCPU(IA-32)

表9 研究室のIntel Pentium4プロセッサ搭載の
SCore型PCクラスタ(分散メモリ型のスカラー並列計算機),
2002年8月27日

開発コード名	ディアフィールド(第三世代)
クロック周波数	1.0GHz
主記憶容量	DDR200(PC1600) SDRAM 8GB (バス幅64ビット×200MHz=1.6GB/s)
キャッシュ	レベル1: 32KB(オンダイ) レベル2: 256KB(オンダイ) レベル3: 1.5MB(オンダイ)
FSB	400MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (バス幅128ビット×400MHz=6.4GB/s)
チップセット	iE8870
製造プロセス	0.13 μ m
OS	Red Hat Linux Advanced Server 2.1
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	64ビットCPU(IA-64), 2-Way 低電圧版, 最大電力62W

(a)Deerfield DP, 2003年9月9日

開発コード名	マディソン(第三世代)
クロック周波数	1.4GHz
主記憶容量	DDR200(PC1600) SDRAM 16GB (バス幅64ビット×200MHz=1.6GB/s)
キャッシュ	レベル1: 32KB(オンダイ) レベル2: 256KB(オンダイ) レベル3: 1.5MB(オンダイ)
FSB	400MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (バス幅128ビット×400MHz=6.4GB/s)
チップセット	iE8870
製造プロセス	0.13 μ m
OS	Red Hat Linux Advanced Server 2.1
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	64ビットCPU(IA-64), 2-Way

(b)Madison DP, 2003年9月9日

開発コード名	マディソン(第三世代)
クロック周波数	1.5GHz
主記憶容量	DDR200(PC1600) SDRAM 16GB (バス幅64ビット×200MHz=1.6GB/s)
キャッシュ	レベル1: 32KB(オンダイ) レベル2: 256KB(オンダイ) レベル3: 6MB(オンダイ)
FSB	400MHz(バンド幅: 6.4GB/s) (バス幅128ビット×400MHz=6.4GB/s)
チップセット	iE8870
製造プロセス	0.13 μ m
OS	Red Hat Linux Advanced Server 2.1
コンパイラ	Intel Fortran Compiler 7.1
備考	64ビットCPU(IA-64), 4-Way

(c)Madison MP, 2003年7月1日

表10 (株)HITのIntel Itanium2プロセッサ搭載のSMP機
(共有メモリ型のスカラー並列計算機)

プロセッサ	Alpha 21264 A(開発コード名:EV67)
クロック周波数	667MHz
プロセッサ数	12台(4CPU×3)
主記憶容量	9GB:MPI, 2GB:SMP (4CPU構成:3GB)
キャッシュ (1CPU単位)	レベル1:128KB(オンダイ) レベル2:8MB(オンボード、外部キャッシュ)
最大メモリ帯域幅	5.2GB/s(CPU-メモリ間)
チップセット	Tsunami21272 (クロスバースイッチアーキテクチャ)
OS	日本語 Tru64 UNIX
コンパイラ	Compaq Fortran Compaq KAP Fortran
ベンダ	COMPAQ(現在HP)
備考	スーパースカラRISC方式の 64ビットマイクロプロセッサ

表11 九州大学応用力学研究所のAlphaServer ES40
(スカラーSMPサーバ), 2000年4月11日

プロセッサ	最大浮動小数点演算性能9.6GFLOPS (1PEの理論ベクトル性能)
PE台数	2台
主記憶容量(1PE)	1.5GB or 4GB
キャッシュ (1PE単位)	レベル1:128KB レベル2:2MB
製造プロセス	0.22 μ mのCMOS LSIテクノロジー
OS	UXP/V V20L10
コンパイラ	Fujitsu UXP/V Fortran V20L20
ベンダ	富士通株式会社

表12 九州大学応用力学研究所のスーパーコンピュータ
VPP5000/2(分散メモリ型のベクトル並列計算機),
逐次計算専用, 1999年4月20日

プロセッサ	SPARC64 V
クロック周波数	1.35GHz
プロセッサ数	16台
主記憶容量	24GB(16CPUで共有するUMA型)
キャッシュ (1CPU単位)	レベル1:256KB(プロセッサ内部) レベル2:2MB(プロセッサ内部)
システムバス性能 (FSB)	540MHz (バンド幅:40GB/s)
製造プロセス	0.13 μ m銅配線CMOSテクノロジー
OS	Solaris 8.0
コンパイラ	Fujitsu Fortran Compiler version 5.3
ベンダ	富士通株式会社
備考	64ビットアーキテクチャSPARC V9に 準拠したRISCマイクロプロセッサ

表13 九州大学情報基盤センターのミッドレンジHPCサーバ
PRIMEPOWER 850(スカラーSMPサーバ), 2003年5月21日

プロセッサ	最大浮動小数点演算性能9.6GFLOPS (1PEの理論ベクトル性能)
PE台数	64台
PE間通信	クロスバーネットワーク(1.6GB/s)
主記憶容量(1PE)	7GB or 15GB
キャッシュ (1PE単位)	レベル1:128KB レベル2:2MB
製造プロセス	0.22 μ mのCMOS LSIテクノロジー
OS	UXP/V V20L10
コンパイラ	Fujitsu UXP/V Fortran V20L20
ベンダ	富士通株式会社

表14 九州大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ
VPP5000/64(分散メモリ型のベクトル並列計算機),
1999年4月20日

プロセッサ	1CPUの最大ベクトル性能8GFLOPS (理論最大演算性能10.33GFLOPS)
CPU台数	8台(シングルノードシステム)
主記憶容量	64GB(8CPUで共有するUMA型)
製造プロセス	0.15 μ mのCMOS LSIテクノロジー 1チップベクトルプロセッサ (スカルユニット+ベクトルユニット)
OS	SUPER-UX R13.1
コンパイラ	FORTRAN90/SX Rev.285
ベンダ	日本電気株式会社

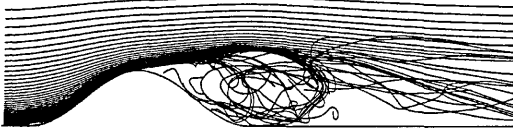
表15 NECのスーパーコンピュータSX-6/8A
(共有メモリ型のベクトル並列計算機), 2001年10月3日,
- 強化モデルの販売(2003年9月18日)

プロセッサ	Itanium2(開発コード名:マディソン)
クロック周波数	1.5GHz
プロセッサ数	8台(4CPU×2)
主記憶容量	32GB(4CPU 1モジュールのNUMA型)
キャッシュ	レベル1:32KB(オンダイ) レベル2:256KB(オンダイ) レベル3:6MB(オンダイ)
最大メモリ帯域幅	32GB/s
チップセット	HP sx1000
OS	HP-UX 11i v2.0 TCOE
コンパイラ	HP Fortran90コンパイラ v.2.7.2
ベンダ	日本ヒューレット・パッカード株式会社
備考	インテルの64ビットCPU(IA-64)

表16 HPのミッドレンジItaniumサーバHP Integrity rx7620
(スカラーSMPサーバ), 2003年11月6日

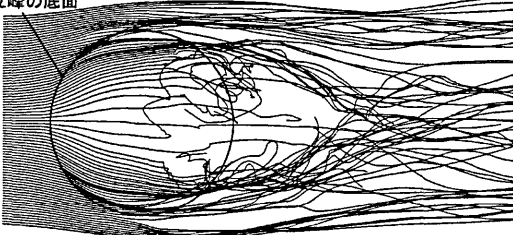
プロセッサ	POWER4+
クロック周波数	1.7GHz
プロセッサ数	16台(8CPU×2)
主記憶容量	32GB(8CPU 1モジュールのNUMA型) 24GBをラージページ(16MB/ページ)に設定
キャッシュ	レベル1: 64KB+32KB/1プロセッサ レベル2: 1.5MB/2プロセッサ レベル3: 32 MB/2プロセッサ
製造プロセス	0.13 μ m銅配線技術, SOI技術
OS	IBM AIX 5.2(5200-ML02)
コンパイラ	XL Fortran 8.1.1.1
ベンダ	日本アイ・ビー・エム株式会社
備考	64ビットRISCプロセッサ

表17 IBMのハイエンドUNIXサーバpSeries 690(レガッタ)
モデル681(スカラーSMPサーバ), 2003年5月7日



(a)Side view, 主流直交方向の中央断面($y=0$)

孤立峰の底面



(b)Top view, 地面近傍($z \approx 0.04h$)から粒子を放出

図1 孤立峰周辺の瞬間場, 流跡線図

パラメータなどの設定は以下の通りである。孤立峰の主流方向にx軸を、主流直交(スパン)方向にy軸を、鉛直方向にz軸を設定する。計算領域はx, y, z方向に $23h \times 16h \times 5h$ の空間領域を有する。ここで、hは孤立峰高さである。孤立峰は流入境界面から8h下流のスパン中央地面上に設置する。その形状は余弦の二乗であり、関数 $z(x, y) = h \times \cos^2(\pi(x^2 + y^2)^{1/2}/2L)$ で記述される。地形形状パラメータは $L=2h$ である。格子点数とメモリサイズを表18に示す。表18の完全版とは各方向の座標変換を全て考慮した場合であり、改良版とは z 座標系の場合である。速度の境界条件に関して、流入境界面は一樣流入条件、側方境界面と上部境界面は滑り条件、地面は粘着条件、流出境界面は対流型流出条件とする。レイノルズ数は孤立峰高さhと一樣流入風速Uに基づいて $Re = (Uh/\nu) = 10^4$ とした。時間刻みは $\Delta t = 2 \times 10^{-3}h/U$ とした。同一条件の下で計算時間を比較するため、孤立峰周辺の流れ場が十分に発達した無次元時間 $t=100$ の計算結果を入力データとし、 $t=100 \sim 110$ における計算(5,000ステップの時間積分)を各計算機で実施した。本研究における全ての計算時間は、他のジョブが実行されていない状態で計測された値である。

	NX × NY × NZ	記憶容量(逐次計算)	
ケース1	101 × 71 × 61 (約44万点)	スカラー改良版	132MB
		スカラー完全版	162MB
		ベクトル改良版	145MB
		ベクトル完全版	165MB
ケース2	201 × 101 × 61 (約120万点)	スカラー改良版	369MB
		スカラー完全版	454MB
		ベクトル改良版	406MB
		ベクトル完全版	463MB
ケース3	260 × 121 × 71 (約220万点)	スカラー改良版	661MB
		スカラー完全版	815MB
		ベクトル改良版	729MB
		ベクトル完全版	832MB

表18 メッシュサイズとメモリサイズなど

4. 計測結果と考察

4.1 PC単体の性能(表19～表23)

ここでは、表1～表5に示すPC単体性能について考察を行う。ここで、計算時間の基準は表12に示すスーパーコンピュータVPP5000/2のベクトル逐次計算の結果(表32)とし、結果はこれに対する比として表示する。

表1に示すIntel Pentium4プロセッサ3.2GHz(FSB800)の結果(表19)、表2に示すIntel Pentium4プロセッサ エクストリーム・エディション3.2GHz(FSB800/2.0MB L3キャッシュ)の結果(表20)に注目する。最新のIntel CPU搭載PCの性能は、スーパーコンピュータVPP5000/2の1台に迫りつつあることが見て取れる。また、Intel FortranコンパイラとPGI Fortranコンパイラを比較すると、前者の方が後者よりも1.2～1.3倍程度高速に計算を終了していることが分かる。さらに、I/O処理についてもIntel FortranコンパイラがPGI Fortranコンパイラよりも3倍程度高速であった。OSがWindowsの場合には、Intel FortranコンパイラとCompaq Visual Fortranコンパイラが主に使用される。この場合においてもIntel CPU搭載の計算機においては、前者の方が後者よりも1.2～1.3倍程度高速であった⁷⁾。なお、Compaq Visual FortranコンパイラはIntel Fortranコンパイラに移行する予定である。

表3に示すIntel Xeon DPプロセッサ3.06GHz/1.0MB L3キャッシュの結果(表21)、表4に示すIntel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/1.0MB L3キャッシュの結果(表22)に注目する。両者ともにIntel Pentium4プロセッサ搭載のPC

	コードの種類	計算の種類	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -O3 -static	1633.03 (3.43)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1618.53 (3.40)
ケース1	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	2117.47 (4.45)
ケース2	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -O3 -static	4830.50 (4.17)
ケース2	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4935.09 (4.26)
ケース2	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	6146.13 (5.31)
ケース3	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -O3 -static	9044.42 (4.35)
ケース3	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	8757.48 (4.21)
ケース3	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	11042.29 (5.31)

表19 Intel Pentium4プロセッサ3.2GHz(FSB800)の結果, 表1

	コードの種類	計算の種類	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -O3 -static	1554.13 (3.26)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1553.97 (3.26)
ケース1	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	2026.47 (4.26)
ケース2	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -O3 -static	4687.91 (4.05)
ケース2	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4778.60 (4.13)
ケース2	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	6029.89 (5.21)
ケース3	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -O3 -static	8874.92 (4.26)
ケース3	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	8615.27 (4.14)
ケース3	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	10858.27 (5.22)

表20 Intel Pentium4プロセッサ エクストリーム・エディション3.2GHz(FSB800/2.0MB L3キャッシュ)の結果, 表2

	コードの種類	計算の種類	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/Dual)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3	2147.67 (4.51)	1.11
ケース1	改良版	自動並列Dual	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3 -parallel	1939.09 (4.07)	
ケース2	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3	6541.22 (5.65)	1.11
ケース2	改良版	自動並列Dual	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3 -parallel	5911.76 (5.11)	
ケース3	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3	11399.79 (5.48)	1.15
ケース3	改良版	自動並列Dual	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3 -parallel	9919.77 (4.77)	

表21 Intel Xeon DPプロセッサ3.06GHz/1.0MB L3キャッシュの結果, 表3

と比較して, 若干演算速度は劣る. 自動並列化オプションを利用した計算においてもそれほど並列化効率は良くないことが分かった. また, 先の結果と同様, 演算速度はIntel FortranコンパイラがPGI Fortranコンパイラよりも1.2倍程度高速であった. しかしながら, 自動並列化オプションを利用した計算では, 並列化効率に関してPGI FortranコンパイラがIntel Fortranコンパイラよりも良好な結果を示した.

表5に示すAMD Opteron DPプロセッサ1.6GHz/1.0MB L2キャッシュの結果(表23)に注目する. ここの計算は, 32ビット環境で実行バイナリを生成し, これを実行した. 逐次計算および自動並列計算ともに, Intel Pentium4プロセッサとXeon DPプロセッサ搭載のPCよりも若干演算速度は劣るようである.

以上より, PC単体の構成を考えると, 現状ではIntel Pentium4プロセッサと, Intel Fortranコンパイラの組み合わせが最良の選択であると考えられる. 来年早々

には, ノースウッドコアのPetium4プロセッサ エクストリーム・エディション3.4GHz, プレスコットコアのPetium4プロセッサ3.4GHzが同時に発表される予定である. Xeon DPプロセッサにおいても, ノコナコアのCPUが開発予定であるが, 533MHzプラットフォームであることから, 今後ともPentium4プロセッサの優位は変わらないものと考えられる.

4.2 小規模スカラー並列計算機(SMPクラスタ, PCクラスタ)の性能(表24～表27)

ここでは, 表6～表9に示す小規模スカラー並列計算機(SMPクラスタ, PCクラスタ)の性能について考察を行う. 計算は全てMPI(Message Passing Interface)を利用して行った.

表6に示すベオウルフ型SMPクラスタ(Intel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/1.0MB L3キャッシュ搭載, 通信に

	コード の種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/Dual)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3	2065.48 (4.34)	1.11
ケース1	改良版	自動並列Dual	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3 -parallel	1857.33 (3.90)	
ケース1	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	2490.46 (5.23)	1.23
ケース1	改良版	自動並列Dual	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic -Mconcur	2028.26 (4.26)	
ケース2	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3	6115.94 (5.29)	1.10
ケース2	改良版	自動並列Dual	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3 -parallel	5569.00 (4.81)	
ケース2	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	7305.11 (6.31)	1.25
ケース2	改良版	自動並列Dual	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic -Mconcur	5827.91 (5.04)	
ケース3	改良版	逐次	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3	10996.34 (5.42)	1.13
ケース3	改良版	自動並列Dual	ifc	-tpp7 -xW -axW -O3 -parallel	9767.86 (4.69)	
ケース3	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	12862.00 (6.18)	1.23
ケース3	改良版	自動並列Dual	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic -Mconcur	10480.59 (5.04)	

表22 Intel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/1.0MB L3キャッシュの結果、表4

	コード の種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/Dual)
ケース1	改良版	逐次	ifc	-static -O2 -xKW	2574.53 (5.41)	1.20
ケース1	改良版	自動並列Dual	ifc	-static -O2 -xKW -parallel	2143.88 (4.50)	
ケース1	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	2912.83 (6.12)	1.72
ケース1	改良版	自動並列Dual	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic -Mconcur	1697.23 (3.56)	
ケース2	改良版	逐次	ifc	-static -O2 -xKW	7863.88 (6.80)	1.10
ケース2	改良版	自動並列Dual	ifc	-static -O2 -xKW -parallel	7180.41 (6.20)	
ケース2	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	8386.99 (7.25)	1.67
ケース2	改良版	自動並列Dual	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic -Mconcur	5034.53 (4.35)	
ケース3	改良版	逐次	ifc	-static -O2 -xKW	13837.15 (6.65)	1.64
ケース3	改良版	自動並列Dual	ifc	-static -O2 -xKW -parallel	8425.51 (4.05)	
ケース3	改良版	逐次	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	14229.29 (6.84)	1.58
ケース3	改良版	自動並列Dual	pgf90	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic -Mconcur	8977.61 (4.31)	

表23 AMD Opteron DPプロセッサ1.6GHz/1.0MB L2キャッシュの結果、表5

はMPICH-P4を利用)の結果(表24)に注目する。最新のクロック速度を有するDP構成であるにも関わらず、並列化効率はそれほど良くない。これに対し、表7に示す分散メモリ型PCクラスタ(Intel Pentium4プロセッサ2.0AGHz搭載、通信にはMPICH-P4を利用)の結果(表25)、表8に示す分散メモリ型PCクラスタ(Intel Pentium4プロセッサEE3.2GHz/2.0MB L3キャッシュ搭載、通信にはMPICH-P4を利用)の結果(表26)では、良好な並列化効率を示している。特に、最新のIntel Pentium4プロセッサEE3.2GHzに基づいたPCクラスタでは、4CPUを使用した場合においてスーパーコンピュータVPP5000/2の1台とほぼ同程度の性能を有する

ことが明らかになった。表9に示すSCore型PCクラスタ(Intel Pentium4プロセッサ2.8GHz搭載、通信にはMPICH-SCoreを利用)の結果(表27)においても、4CPUを使用した場合にはスーパーコンピュータVPP5000/2の1台に対して2倍弱の計算時間となり、ほぼ同程度の性能を有することが示された。

以上から、小規模なPCクラスタを考えた場合には、Intel Xeon DPプロセッサよりもIntel Pentium4プロセッサを選択した方が有効であると考えられる。最近では、Gbit Ethernet がオンボードで載っている MicroATX 仕様のマザーボードが発表され始めている。これを使用すればコンパクトな並列マシンを構築することが出

	コードの種類	計算の種類 (分割指定)	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4CPU)
ケース1	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	2156.41 (4.53)	-
ケース1	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	1858.41 (3.90)	1.16
ケース1	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	1255.07 (2.64)	1.72
ケース2	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	6231.59 (5.39)	-
ケース2	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	5500.35 (4.75)	1.13
ケース2	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	3926.12 (3.39)	1.59
ケース3	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	10782.19 (5.18)	-
ケース3	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	9455.16 (4.54)	1.14
ケース3	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	6591.14 (3.17)	1.64

表24 ベオウルフ型SMPクラスタ(Intel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/1.0MB L3キャッシュ搭載, MPICH-P4を利用)の結果, 表6

	コードの種類	計算の種類 (分割指定)	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4CPU)
ケース3	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif77	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	13745.54 (6.61)	-
ケース3	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif77	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	8446.14 (4.06)	1.63
ケース3	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif77	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	6098.49 (2.93)	2.25
ケース3	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	13692.89 (6.58)	-
ケース3	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	8509.23 (4.09)	1.61
ケース3	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	6079.93 (2.92)	2.25

表25 分散メモリ型PCクラスタ(Intel Pentium4プロセッサ2.0AGHz搭載, MPICH-P4を利用)の結果, 表7

	コードの種類	計算の種類 (分割指定)	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4CPU)
ケース3	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif77	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	8030.00 (3.86)	-
ケース3	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif77	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	4930.00 (2.37)	1.63
ケース3	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif77	-tpp7 -xW -axW -O3 -static	3375.02 (1.62)	2.38

表26 分散メモリ型PCクラスタ(Intel Pentium4プロセッサEE3.2GHz/2.0MB L3キャッシュ搭載, MPICH-P4を利用)の結果, 表8

	コードの種類	計算の種類 (分割指定)	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4CPU)
ケース1	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	2028.95 (4.26)	-
ケース1	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	1225.37 (2.57)	1.66
ケース1	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	812.08 (1.71)	2.50
ケース2	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	-	-
ケース2	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	3416.99 (2.95)	-
ケース2	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	2191.24 (1.89)	-
ケース3	改良版	MPI-1CPU(1×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	-	-
ケース3	改良版	MPI-2CPU(2×1)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	-	-
ケース3	改良版	MPI-4CPU(2×2)	mpif90	-tpp7 -xW -axW -O3	3622.09 (1.74)	-

表27 SCore型PCクラスタ(Intel Pentium4プロセッサ2.8GHz搭載, MPICH-SCoreを利用)の結果, 表9

来る。近い将来, 4CPL 程度で卓上スーパーコンピュータを実現することが可能になると予想される。

4.3 小規模スカラー並列計算機(SMP機)の性能(表28～表30)

ここでは, 表10に示すIA-64のIntel Itanium2プロセッサを搭載した小規模スカラー並列計算機(SMP機)の性能について考察を行う。先に示したIA-32のIntel

Xeon DPプロセッサ, Intel Pentium4プロセッサでは, 2GB以上のメモリを使用することが出来ない。これに対し, IA-64のIntel Itanium2プロセッサでは2GB以上の大容量メモリを使用することが可能になる。一般にはこの点が注目されているが, 表18に示すように, 本研究で対象にしている実用的な風況シミュレーションでは, 2GB以上のメモリ空間を必要とすることはほとんど無い。むしろ, SMP機における自動並列化オプションの有効性に注目して考察を進める。

	コードの種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/Dual)
ケース1	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	2409.84 (5.06)	1.69
ケース1	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	1427.72 (3.00)	
ケース2	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	7070.60 (6.11)	1.76
ケース2	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	4015.78 (3.47)	
ケース3	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	12036.08 (5.78)	1.81
ケース3	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	6665.51 (3.20)	

表28 低電圧版Intel Itanium2プロセッサ1.0GHz/1.5MB L3キャッシュの結果, Deerfield DP, 表10(a)

	コードの種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/Dual)
ケース1	改良版	逐次	efc	無し	3348.50 (7.03)	1.70
ケース1	改良版	自動並列Dual	efc	無し	1970.96 (4.14)	
ケース1	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	2092.92 (4.40)	1.67
ケース1	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	1254.02 (2.63)	
ケース2	改良版	逐次	efc	無し	9971.44 (8.62)	1.65
ケース2	改良版	自動並列Dual	efc	無し	6043.96 (5.22)	
ケース2	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	6136.81 (5.30)	1.73
ケース2	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	3540.12 (3.06)	
ケース3	改良版	逐次	efc	無し	17946.95 (8.62)	1.72
ケース3	改良版	自動並列Dual	efc	無し	10451.97 (5.02)	
ケース3	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	10264.61 (4.93)	1.78
ケース3	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	5752.31 (2.76)	

表29 Intel Itanium2プロセッサ1.4GHz/1.5MB L3キャッシュの結果, Madison DP, 表10(b)

	コードの種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4CPU)
ケース1	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	1827.70 (3.88)	-
ケース1	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	1093.58 (2.30)	1.67
ケース1	改良版	自動並列Quad	efc	-O3 -tpp2 -parallel	728.25 (1.53)	2.51
ケース2	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	5239.11 (4.53)	-
ケース2	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	3155.25 (2.73)	1.66
ケース2	改良版	自動並列Quad	efc	-O3 -tpp2 -parallel	2189.32 (1.89)	2.39
ケース3	改良版	逐次	efc	-O3 -tpp2	9274.50 (4.46)	-
ケース3	改良版	自動並列Dual	efc	-O3 -tpp2 -parallel	5399.53 (2.59)	1.72
ケース3	改良版	自動並列Quad	efc	-O3 -tpp2 -parallel	3898.40 (1.87)	2.38

表30 Intel Itanium2プロセッサ1.5GHz/6MB L3キャッシュの結果, Madison MP, 表10(c)

	コード の種類	計算の種類 (分割指定)	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4, 8CPU)
ケース3	改良版	逐次	f90	-tune host -arch host -O5 -fast	22912.79 (11.01)	-
ケース3	改良版	自動並列2CPU	kf90	-tune host -arch host -O5 -fast -fkapargs='-concurrent'	13493.29 (6.48)	1.70
ケース3	改良版	自動並列4CPU	kf90	-tune host -arch host -O5 -fast -fkapargs='-concurrent'	8964.67 (4.31)	2.56
ケース3	改良版	MPI-1CPU (1×1)	f90	-tune host -arch host -O5 -fast -lfmpi -lmpi -lrt -pthread	23972.26 (11.52)	-
ケース3	改良版	MPI-2CPU (2×1)	f90	-tune host -arch host -O5 -fast -lfmpi -lmpi -lrt -pthread	12749.49 (6.13)	1.88
ケース3	改良版	MPI-4CPU (2×2)	f90	-tune host -arch host -O5 -fast -lfmpi -lmpi -lrt -pthread	7684.57 (3.69)	3.12
ケース3	改良版	MPI-8CPU (4×2)	f90	-tune host -arch host -O5 -fast -lfmpi -lmpi -lrt -pthread	28287.66 (13.59)	0.85

表31 九州大学応用力学研究所のAlphaServer ES40の結果, 表11

	コードの種類	計算の種類	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)
ケース1	完全版	逐次	frtpx	-Kfast	530.10 (1.11)
ケース1	改良版	逐次	frtpx	-Kfast	基準値 476.13 (1.00)
ケース1	改良版	逐次	frtpx	-O4 -Wv,-Me	466.29 (0.98)
ケース1	改良版	逐次	frtpx	無し	474.44 (1.00)
ケース2	完全版	逐次	frtpx	-Kfast	1283.57 (1.11)
ケース2	改良版	逐次	frtpx	-Kfast	基準値 1157.20 (1.00)
ケース2	改良版	逐次	frtpx	-O4 -Wv,-Me	1141.13 (0.99)
ケース2	改良版	逐次	frtpx	無し	1155.68 (1.00)
ケース3	完全版	逐次	frtpx	-Kfast	2323.08 (1.12)
ケース3	改良版	逐次	frtpx	-Kfast	基準値 2080.99 (1.00)
ケース3	改良版	逐次	frtpx	-O4 -Wv,-Me	2075.84 (1.00)
ケース3	改良版	逐次	frtpx	無し	2096.20 (1.01)

表32 九州大学応用力学研究所のスーパーコンピュータVPP5000の結果, 表12

	コードの種類	計算の種類	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4, 8CPU)
ケース3	改良版	逐次	frt	-KV9,fast_GP2=2,striping=11	20533.91 (9.87)	-
ケース3	改良版	自動並列1CPU	frt	-KV9,fast_GP2=2,striping=11,parallel	36810.61(17.69)	-
ケース3	改良版	自動並列2CPU	frt	-KV9,fast_GP2=2,striping=11,parallel	19243.85 (9.25)	1.91 (1.07)
ケース3	改良版	自動並列4CPU	frt	-KV9,fast_GP2=2,striping=11,parallel	10541.61 (5.07)	3.49 (1.95)
ケース3	改良版	自動並列8CPU	frt	-KV9,fast_GP2=2,striping=11,parallel	6154.90 (2.96)	5.98 (3.34)

表33 九州大学情報基盤センターのミッドレンジHPCサーバPRIMEPOWER 850の結果, 表13

	コードの種類	計算の種類 (分割指定)	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1PE/2, 4, 8, 16PE)
ケース1	改良版	逐次	frt	-Kfast	469.52 (0.99)	-
ケース1	改良版	MPI-1PE (1×1)	mpifrt	-Kfast	475.52 (1.00)	-
ケース1	改良版	MPI-2PE (2×1)	mpifrt	-Kfast	279.59 (0.59)	1.70
ケース1	改良版	MPI-4PE (2×2)	mpifrt	-Kfast	174.95 (0.37)	2.72
ケース1	完全版	MPI-4PE (2×2)	mpifrt	-Kfast	187.15 (0.39)	-
ケース1	改良版	MPI-8PE (4×2)	mpifrt	-Kfast	118.58 (0.25)	4.01
ケース1	改良版	MPI-16PE (4×4)	mpifrt	-Kfast	93.33 (0.20)	5.10
ケース2	改良版	逐次	frt	-Kfast	1141.86 (0.99)	-
ケース2	改良版	MPI-1PE (1×1)	mpifrt	-Kfast	1151.36 (0.99)	-
ケース2	改良版	MPI-2PE (2×1)	mpifrt	-Kfast	654.13 (0.57)	1.76
ケース2	改良版	MPI-4PE (2×2)	mpifrt	-Kfast	410.59 (0.35)	2.80
ケース2	完全版	MPI-4PE (2×2)	mpifrt	-Kfast	442.77 (0.38)	-
ケース2	改良版	MPI-8PE (4×2)	mpifrt	-Kfast	285.51 (0.25)	4.03
ケース2	改良版	MPI-16PE (4×4)	mpifrt	-Kfast	216.92 (0.19)	5.31
ケース3	改良版	逐次	frt	-Kfast	2056.51 (0.99)	-
ケース3	改良版	MPI-1PE (1×1)	mpifrt	-Kfast	2098.99 (1.01)	-
ケース3	改良版	MPI-2PE (2×1)	mpifrt	-Kfast	1211.92 (0.58)	1.73
ケース3	改良版	MPI-4PE (2×2)	mpifrt	-Kfast	730.38 (0.35)	2.87
ケース3	完全版	MPI-4PE (2×2)	mpifrt	-Kfast	777.73 (0.37)	-
ケース3	改良版	MPI-8PE (4×2)	mpifrt	-Kfast	493.05 (0.24)	4.26
ケース3	改良版	MPI-16PE (4×4)	mpifrt	-Kfast	369.57 (0.18)	5.68

表34 九州大学情報基盤センターのスーパーコンピュータVPP5000の結果, 表14

	コードの種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4, 8CPU)
ケース3	改良版	逐次	sfxf90	-Chopt	2044.00 (0.98)	-
ケース3	改良版	自動並列2CPU	sfxf90	-Chopt -Pauto	1224.00 (0.59)	1.67
ケース3	改良版	自動並列4CPU	sfxf90	-Chopt -Pauto	793.00 (0.38)	2.58
ケース3	改良版	自動並列8CPU	sfxf90	-Chopt -Pauto	576.00 (0.28)	3.55

表35 NECのスーパーコンピュータSX-6/8Aの結果, 表15

	コード の種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PEに対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4, 8CPU)
ケース3	改良版	自動並列1CPU	f90	+Ofast +O3 +Oparallel	8304.31 (3.99)	-
ケース3	改良版	自動並列2CPU	f90	+Ofast +O3 +Oparallel	5320.88 (2.56)	1.56
ケース3	改良版	自動並列4CPU	f90	+Ofast +O3 +Oparallel	3651.81 (1.75)	2.27
ケース3	改良版	自動並列8CPU	f90	+Ofast +O3 +Oparallel	2841.31 (1.37)	2.92

表36 HPのミッドレンジItaniumサーバHP Integrity rx7620の結果, 表16

	コード の種類	計算の種類	コンパイル コマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000の1PE に対する比)	スケーラビリティ (1CPU/2, 4, 8, 16CPU)
ケース3	改良版	逐次	xlf	-q64 -blpdata -O5	12272.53 (5.90)	-
ケース3	改良版	自動並列1CPU	xlf	-q64 -blpdata -O5 -qsmp=auto	13767.99 (6.62)	-
ケース3	改良版	自動並列2CPU	xlf	-q64 -blpdata -O5 -qsmp=auto	7414.61 (3.56)	1.86 (1.66)
ケース3	改良版	自動並列4CPU	xlf	-q64 -blpdata -O5 -qsmp=auto	4248.99 (2.04)	3.24 (2.89)
ケース3	改良版	自動並列8CPU	xlf	-q64 -blpdata -O5 -qsmp=auto	2606.52 (1.25)	5.28 (4.71)
ケース3	改良版	自動並列16CPU	xlf	-q64 -blpdata -O5 -qsmp=auto	1870.63 (0.90)	7.36 (6.56)

表37 IBMのハイエンドUNIXサーバpSeries 690 モデル681の結果, 表17

表10(a)に示す低電圧版Intel Itanium2プロセッサ 1.0GHz/1.5MB L3キャッシュの結果(表28), 表10(b)に示すIntel Itanium2プロセッサ1.4GHz/1.5MB L3キャッシュの結果(表29)に注目する。両者ともに、並列化効率は非常に優れており、RIAM-COMPACTに対して、Intel Fortranコンパイラの自動並列化オプションは非常に有効であることが分かる。その結果、Dual CPUの自動並列計算では、どのメッシュサイズにおいてもスーパーコンピュータVPP5000/2の1台に対して3倍程度に迫る計算結果を示している。また特筆すべきは、表29における最適化オプションの有無の違いである。この結果から、最適化オプションを付加することで計算時間が劇的に短縮していることが分かる。

表10(c)に示すIntel Itanium2プロセッサ 1.5GHz/6MB L3キャッシュの結果(表30)に注目する。ここでは、4CPU(MP)のSMP構成が可能になっている。4CPUを使用した自動並列計算においても、先のDual CPUの計算結果と同様、優れた並列化効率を示し、結果として、スーパーコンピュータVPP5000/2の1台に対して2倍弱の演算性能を有することが明らかになった。コスト的な面を考慮すると、Dual CPU搭載のSMP機を2台並列に接続し、小規模なSMPクラスタ(MPIを利用)を構築することも選択肢の一つであると言える。

いずれにしても、IA-64のIntel Itanium2プロセッサ

を搭載した小規模スカラー並列計算機(SMP機, SMPクラスタ)は、IA-32ベースのPCクラスタと並んで非常に有効な計算機環境になると考えられる。来年以降には、マディソン-9M、モンテシコアのItanium2プロセッサが次々と発表される予定である。Intel Fortranコンパイラの改良と併せて今度とも大いに期待される。

4.4 サーバ、スパコンの性能(表31～表37)

ここでは、表11～表17に示すサーバ、スーパーコンピュータの性能について考察する。

表11に示す九州大学応用力学研究所のAlphaServer ES40の結果(表31)に注目する。演算速度に関して、自動並列計算とMPIを利用した並列計算の両者はほぼ同程度であり、後者の方が若干速い結果を示した。この結果から、RIAM-COMPACTに対してCompaq KAP Fortranコンパイラにおける自動並列化オプションは極めて有効であることが明らかになった。また、8CPUを利用したMPIの計算では、通信速度の遅延から演算速度が極端に低下した。

表12に示す九州大学応用力学研究所のスーパーコンピュータVPP5000の結果(表32)に注目する。先に述べたが、この結果を計算時間の基準とした。また、種々の最適化オプションを試したが、計算時間に関し

て顕著な差異は見られず、オプションを付けなくてもかなりの高速演算が行われていることが確認された。

表13に示す九州大学情報基盤センターのミッドレンジHPCサーバPRIMEPOWER 850の結果(表33)に注目する。ミッドレンジサーバということで、それほど演算速度は速くない。また、逐次計算と1CPU自動並列計算では、計算速度にかなりの差異が見られた。自動並列の効率は良好なようである。

表14に示す九州大学情報基盤センターのスーパーコンピュータVPP5000の結果(表34)に注目する。ここでは、MPIを利用した並列計算を試みた。全てのケースともに良好な並列化効率が得られている。また、ベクトル計算機であるため、計算規模が大きくなるにつれて演算性能は明確に向上している。

表15に示すNECのスーパーコンピュータSX-6/8Aの結果(表35)に注目する。ベクトル逐次計算に関して、表32と表34に示すスーパーコンピュータVPP5000の結果と比較すると、若干、SX-6/8Aの方が演算速度は速い。しかしながら、表34に示すVPP5000におけるMPIを利用したベクトル並列計算の結果と、SX-6/8Aにおける自動並列計算の結果を比較すると、前者が後者を逆転した結果になった。

表16に示すHPのミッドレンジItaniumサーバHP Integrity rx7620の結果(表36)に注目する。表30で述べた(株)エッチ・アイ・ティーのIntel Itanium2プロセッサ1.5GHz/6MB L3キャッシュ搭載のSMP機と比較すると、同じプロセッサではあるが、HPの方が若干演算速度は速い。これはマザーボードとFortranコンパイラの違いに起因するものである。しかし、HPのマシンでは8CPUでの並列化効率は著しく低下している。

表17に示すIBMのハイエンドUNIXサーバpSeries 690 モデル681の結果(表37)に注目する。特筆すべきは、並列化効率である。8、16CPUにおいても良好な効率を示している。その結果、表36に示したHPのミッドレンジItaniumサーバHP Integrity rx7620の結果と比較すると、8CPUでの演算速度はIBMのマシンがHPのマシンを逆転している。

最後に、64ビットマイクロプロセッサの動向について述べる。現在、表38に示すマイクロプロセッサが各ベンダから製造および販売されている。しかしながら、今

後は演算速度に関して、IntelのItanium2およびIBMのPOWERが有効であると考えられる。

5. 結言

従来、スーパーコンピュータでないと困難であったLES乱流数値シミュレーションが近年の計算機性能の急速な向上に伴い、小規模なスカラー並列計算機で実現可能になりつつある。分散メモリ型のPCクラスタでは、Intel Pentium4プロセッサに基づいたマシンが有効になると考えられる。Gbit Ethernetがオンボードで載っているMicroATX仕様のマザーボードも発売され始め、コンパクトな桌上スパコンの構築も可能になる。但し、計算コードに対してMPIを使用するためのチューニングが必要である。一方、共有メモリ型のSMP機では、Intel Itanium2プロセッサを搭載したマシンが有効になると考えられる。ここでは、計算コードに並列化手法に関するチューニングは全く必要ではなく、Fortranコンパイラの自動並列化オプション一つで並列計算が可能になる。今後、計算機性能の向上とともに、RIAM-COMPACTによる実用的な風況シミュレーションが可能になる。

謝 辞

本報をまとめるにあたり、(株)エッチ・アイ・ティーにはOpen-SCC(Open Super Computing Center)をご提供頂いた。特に、吉田雅彦氏には大変貴重な助言を頂いた。また、九州大学情報基盤センターの南里豪志先生、(有)流体物理研究所の田辺正孝氏、富士通(株)の上野潤一郎氏、日本電気(株)の藤山浩行氏には色々のご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 内田孝紀，大屋裕二：風況予測シミュレータRIAM-COMPACTの開発—風況精査とリアルタイムシミュレーション—，日本流体力学会誌「ながれ」，Vol.22，No.5，2003，pp.417-428
- 2) 矢木雅敏，矢木早苗：情報基盤センターの今後を考える，九州大学情報基盤センター広報，Vol.2，No.3，2002，pp.173-176
- 3) 姫野龍太郎：21世紀に生き残る計算機センターを目指して，九州大学情報基盤センター広報，Vol.2，No.3，2002，pp.181-193
- 4) 小特集：PCクラスタを作ってみませんか？，Journal of Plasma and Fusion Research，Vol.79，No.8，2003，pp.750-789
- 5) 北沢充弘，伊藤早苗：PCクラスタの性能評価と今度の計算機シミュレーション，九州大学情報基盤センター年報，第3号，2003，pp.15-20
- 6) 渡部善隆，南里豪志，藤野清次：Himeno BMTによるハイパフォーマンスコンピュータの性能評価，情報処理学会研究報告，2003-HPC-95，2003，pp.137-142
- 7) 内田孝紀，大屋裕二：PCクラスタを用いた風況予測シミュレータRIAM-COMPACTの開発—その1. 種々の計算機におけるCPU時間の比較—，九州大学応用力学研究所所報，第125号，2003，pp.5-20

ベンダ	プロセッサ名
Intel	Itanium, Itanium2
AMD	Athlon64, Opteron
HP	Alpha, PA-RISC
IBM, Motorola, Apple	POWER, PowerPC(Power MAC G5など)
SGI	MIPS
SUN	SPARC, UltraSPARC
Fujitsu	SPARC64 GP, SPARC64 V

表38 64ビットマイクロプロセッサ