

# 風況シミュレータRIAM-COMPACTによる インテルプロセッサ搭載ハイパフォーマンスコンピュータの性能評価

内田 孝紀(九州大学 応用力学研究所, E-mail : [takanori@riam.kyushu-u.ac.jp](mailto:takanori@riam.kyushu-u.ac.jp))

大屋 裕二(九州大学 応用力学研究所, E-mail : [ohya@riam.kyushu-u.ac.jp](mailto:ohya@riam.kyushu-u.ac.jp))

## 1. はじめに

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<sup>1)</sup>。この数値モデルは、非定常流体シミュレーションを目的としたFortranプログラムである。数値計算法は、(有限)差分法に基づいている。乱流モデルには、LES(Large-Eddy Simulation)を採用している。LESとは、乱流場の様々なスケールの渦運動の中で、計算格子で捉えられる大スケールの渦は直接数値シミュレーションを行い、計算格子で捉えることができない小スケールの渦はモデル化を行う手法である。既に風洞実験や野外観測データと比較し、RIAM-COMPACTの有効性と予測精度を確認している。

従来、ベクトル型計算機でないと困難であった200万点規模のLESによる非定常乱流数値シミュレーションは、4CPU程度の小規模なスカラー並列計算機(PCクラスタ, SMPクラスタ, SMP機)で実現可能になりつつある<sup>2-4)</sup>。特に、IA-32とIA-64ベースのスカラー並列計算機の性能向上は著しい。ここで、IA-32(Intel Architecture-32bit)とはIntelの32bitのx86アーキテクチャの名称であり、IA-64(Intel Architecture-64bit)とはIntelの64bitマイクロプロセッサアーキテクチャの名称である。

本報では、風況シミュレータRIAM-COMPACTを用い、スカラー並列計算機を構成する単体(1ノード)の演算性能に関して最新の知見を報告する。IA-32では、Intel Pentium4プロセッサおよびIntel Xeon DPプロセッサを調査対象とする。一方、IA-64ではMPおよびDP構成が可能であるIntel Itanium2プロセッサに注目する。本報では、開発コード名マディソン(Madison)のDPを調査対象とする。ここで、DP(Dual-Processor)とは1台のコンピュータに2個のマイクロプロセッサを搭載していることを意味する。一方、MP(Multi-Processor)とは4個以上のマイクロプロセッサを搭載していることを意味する。また、LinuxおよびWindows上における各種Fortranコンパイラを用いた場合の計算時間の差異についても報告する。

## 2. 風況シミュレータRIAM-COMPACTの計算対象

ここでは、RIAM-COMPACTによる数値流体シミュレーションの概要について示す。デカルト座標系のスタガード格子に基づいたRIAM-COMPACTを用い、地面上に置かれた構造物(一辺hの立方体)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<sup>5)</sup>を参照していただきたい。時間平均場に対して描いた流線図を図1に示す。この図から、構造物背後に形成された循環領域が明確に観察される。計算パラメータなどは以下に示す通りである。構造物の主流方向にx軸を、主流直交方向にy軸を、鉛直方向にz軸を設定する。メッシュサイズと、これに対応して使用するメモリサイズを表1に示す。なお、RIAM-COMPACTの計算コードは不等間隔スタガード格子に基づいているが、今回は入力データとして各方向ともに等間隔格子を設定した。これは、等間隔スタガード格子に基づいた計算コード(3次精度風上差分法)と計算時間を比較するためである。詳細はAppendixに示す。速度の境界条件に関して、流入境界面は一様流入条件、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。レイノルズ数は構造物の高さhと一様流入風速Uに基づいて $Re(=Uh/\nu)=10^3$ 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、構造物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。本報における全ての計算時間は、他のユーザ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。

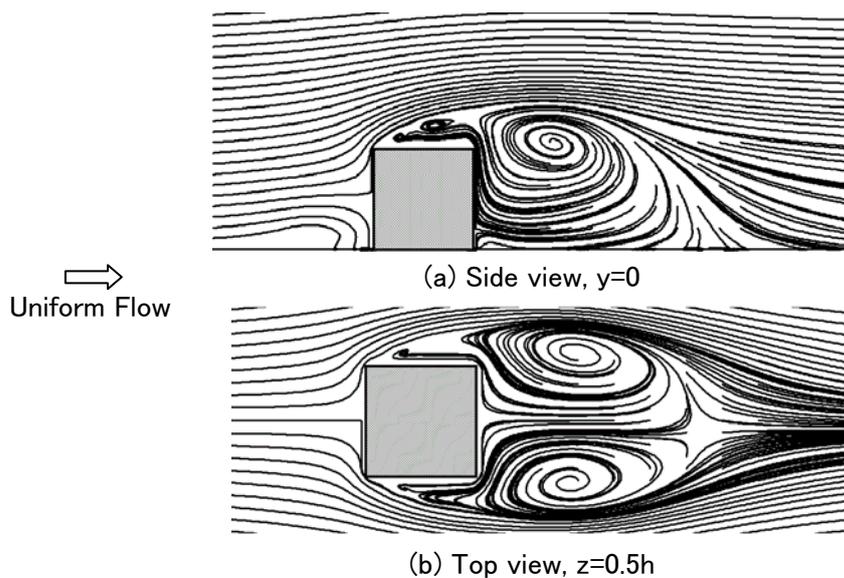


図1 地面上に置かれた立方体を過ぎる流れ場，時間平均場に対する流線図， $Re=10^3$

	メッシュサイズ (NX×NY×NZ)	メモリサイズ
ケース1	101×71×61 (約44万点)	60MB
ケース2	201×101×61 (約120万点)	160MB
ケース3	260×121×71 (約220万点)	290MB

表1 メッシュサイズとメモリサイズ

### 3. 検討した計算機環境(スペック)

表2にIntel Pentium4プロセッサ搭載機のスペックを、表3にIntel Xeon DPプロセッサ搭載機のスペックを示す。両機種ともにOSはLinuxであり、FortranコンパイラにはIntel Fortranコンパイラ(v.7.0, v.7.1, v.8.0)とPGIコンパイラ(v.4.0-2, v.5.0-2)を使用した。表4にIntel

Itanium2 DPプロセッサ搭載機のスペックを示す。OSはLinuxであり、Fortranコンパイラには Intel Fortranコンパイラ(v.7.1)を用いた。表5には比較のために使用したスカラー型SMPサーバーES40, 表6には計算時間の基準に用いたベクトル型計算機VPP5000の1PEのスペックを示す。

	P1	P2	P3	P4	P5
開発コード名	Northwood				
動作周波数	2.0GHz	2.4GHz	2.8GHz	3.2GHz	3.4GHz
システムバス(FSB)	400MHz		533MHz	800MHz	
1次キャッシュ	12K $\mu$ OPS+8KB				
2次キャッシュ	512KB				
3次キャッシュ	無し				
メインメモリ	RDRAM 1GB			DDR400 SDRAM 2GB	
製造プロセス	0.13 $\mu$ m				

	P6	P7	P8
開発コード名	Northwood-2M		Prescott
動作周波数	3.2GHz	3.4GHz	3.2GHz
システムバス(FSB)	800MHz		
1次キャッシュ	12K $\mu$ OPS+8KB		
2次キャッシュ	512KB	1MB	
3次キャッシュ	2MB	無し	
メインメモリ	DDR400 SDRAM 2GB		
製造プロセス	0.13 $\mu$ m	0.09 $\mu$ m	

表2 Intel Pentium4プロセッサ搭載機のスペック, IA-32, (株)HIT, P3は研究室所有

	X1	X2	X3
開発コード名	Prestonia	Prestonia-1M	Prestonia-2M
動作周波数	2.8GHz	3.2GHz	
システムバス(FSB)	400MHz	533MHz	
1次キャッシュ	12K $\mu$ OPS+8KB		
2次キャッシュ	512KB		
3次キャッシュ	無し	1MB	2MB
メインメモリ	DDR200 SDRAM 4GB	DDR266 SDRAM 2GB	
製造プロセス	0.13 $\mu$ m		

表3 Intel Xeon DPプロセッサ搭載機のスペック, IA-32, (株)HIT

	Ita1	Ita2	Ita3
開発コード名	Madison		
動作周波数	1.4GHz		1.5GHz
システムバス(FSB)	400MHz		
1次キャッシュ	32KB(命令およびデータ)		
2次キャッシュ	256KB		
3次キャッシュ	1.5MB	4.0MB	6.0MB
メインメモリ	DDR200 SDRAM 8GB		DDR200 SDRAM 4GB
製造プロセス	0.13 $\mu$ m		

表4 Intel Itanium2 DPプロセッサ搭載機のスペック, IA-64, (株)HIT

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	4CPU
主記憶容量	2GB
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 V4.0F
コンパイラ	Compaq Fortran: 逐次計算用 KAP Fortran: 自動並列計算用
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5 スカラー型SMPサーバES40のスペック, 九州大学応用力学研究所

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)
主記憶容量	1.5GB
キャッシュ	レベル1: 128KB レベル2: 2MB
製造プロセス	0.22 $\mu$ 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6 ベクトル型計算機VPP5000の1PEのスペック, 九州大学応用力学研究所

#### 4. 結果および考察

ここでは, 最も計算規模の大きいケース3(メッシュサイズ:約220万点, メモリサイズ:290MB)を例にとり, 各計算機の演算速度について議論する. 計算時間の基準は, ベクトル型計算機VPP5000の1PEの逐次計算(経過時間)とし, これに対する比として表示する. ここで用いた数値データや, Fortranの最適化オプションなどについてはAppendixに示す.

##### 4-1. スカラー型SMPサーバES40の結果

図2にスカラー型SMPサーバES40の結果を示す. 逐次計算の場合では, VPP5000と比較して8倍程度の違いがある. 2CPUおよび4CPUを用いた場合の自動並列計算では, 良好な台数効果(並列化効率)を示し, 結果として4CPUを用いた場合では, 計算時間はVPP5000の3倍弱程度にまで短縮されている.

##### 4-2. IA-32(Intel Pentium4プロセッサ, Intel Xeon DPプロセッサ)搭載機の結果

図3にIntel Xeon DPプロセッサ搭載機の結果を示す. VPP5000の計算時間と比較して, 各ケースともに約5~6倍弱の違いがある. Intel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/プレストニア(Prestonia)-2Mでは, 2CPUを用いた自動並列計算において計算時間の短縮が見られた.

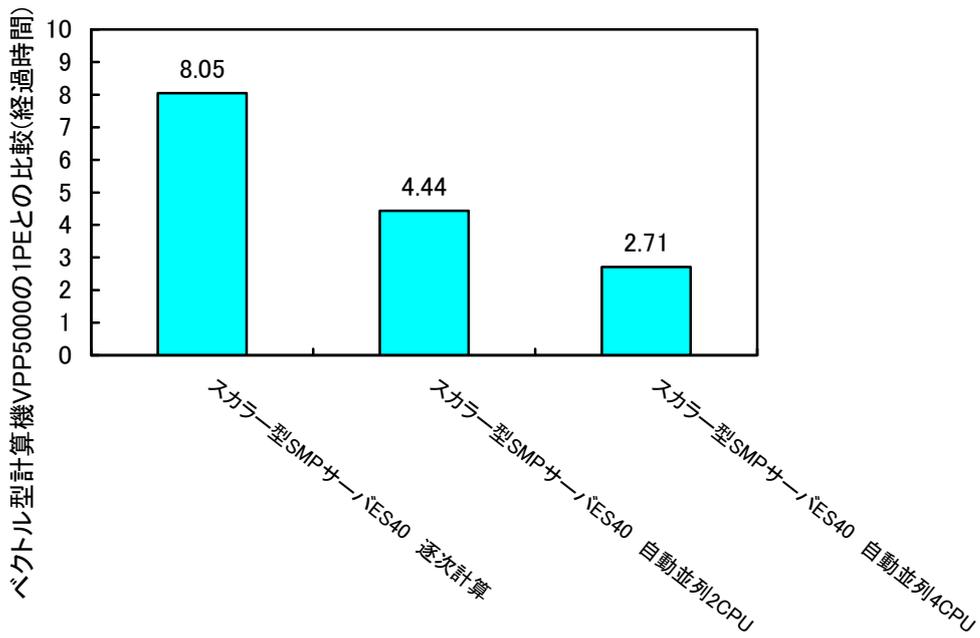


図2 スカラー型SMPサーバES40の結果, ケース3

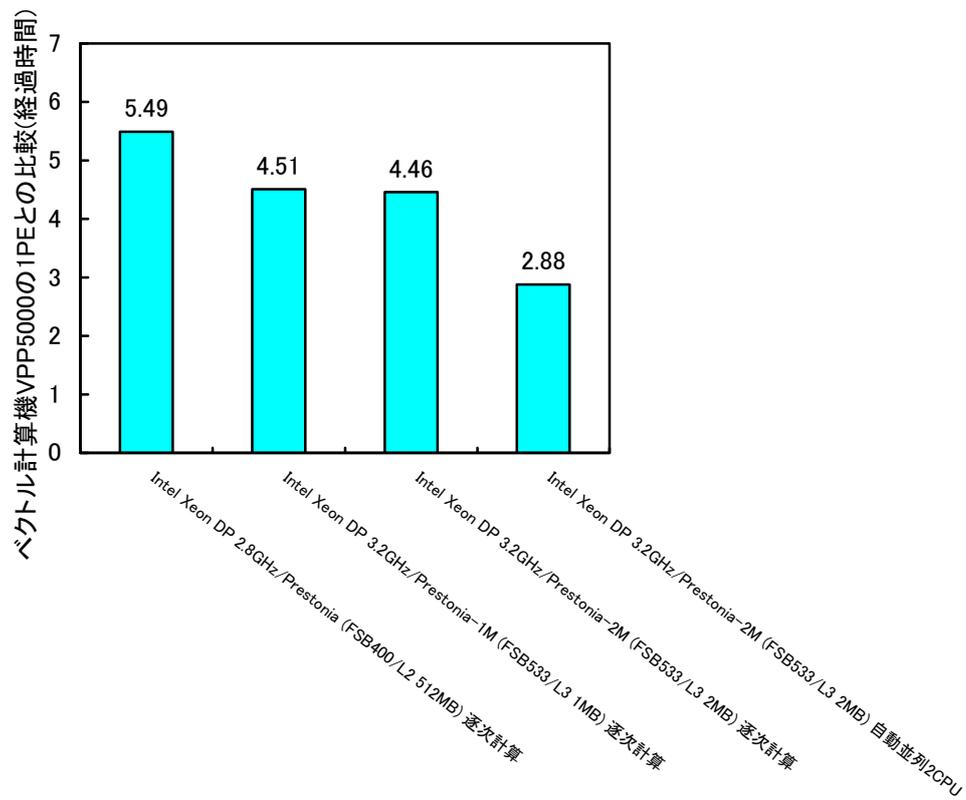


図3 Intel Xeon DPプロセッサ搭載機の結果, ケース3

これは、2MBのL3キャッシュの効果であると考えられる。Appendixに数値データを示すが、Intel Fortranコンパイラ(v.7.1)を用いた場合と、PGIコンパイラ(v.4.0-2)を用いた場合とを比較すると、後者の方が前者よりも2倍程度計算時間を要した。また、Intel Fortranコンパイラに関して、v.7.1とv.8.0を比較すると、後者の方が前者よりも2倍程度計算時間を要した。v.8.0において、v.7.1と同じ最適化オプションを使用した場合も上記とほぼ同様の結果を示した。以上から、現状ではIntel Fortranコンパイラ(v.7.1)が、計算時間に関して最も高速であると言える。また、等間隔スタガード格子に基づき、3次精度風上差分法を使用した計算コードでは、かなりの計算時間の短縮が見られた。これは、格子幅などを記憶するためのメモリ空間が必要でないことと、差分式が単純化されたことに起因している。今後、計算機環境が向上すれば、等間隔格子を使用した実用的な流体(風況)シミュレーションが可能になることも期待される。

図4にIntel Pentium4プロセッサ搭載機の結果を示す。スペックの進歩とともに演算性能は確実に向上している。特に、FSB800MHzの実行性能は驚異的である。Intel Fortranコンパイラ(v.7.1)を用いた場合では、VPP5000の1PEに迫る勢いである。以上より、PC単体(1ノード)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(v.7.1)の組み合わせが最良の選択であると考えられる。また、等間隔スタガード格子に基づいた計算コードの有効性、各種Fortranコンパイラの計算時間の差異に関しては、Intel

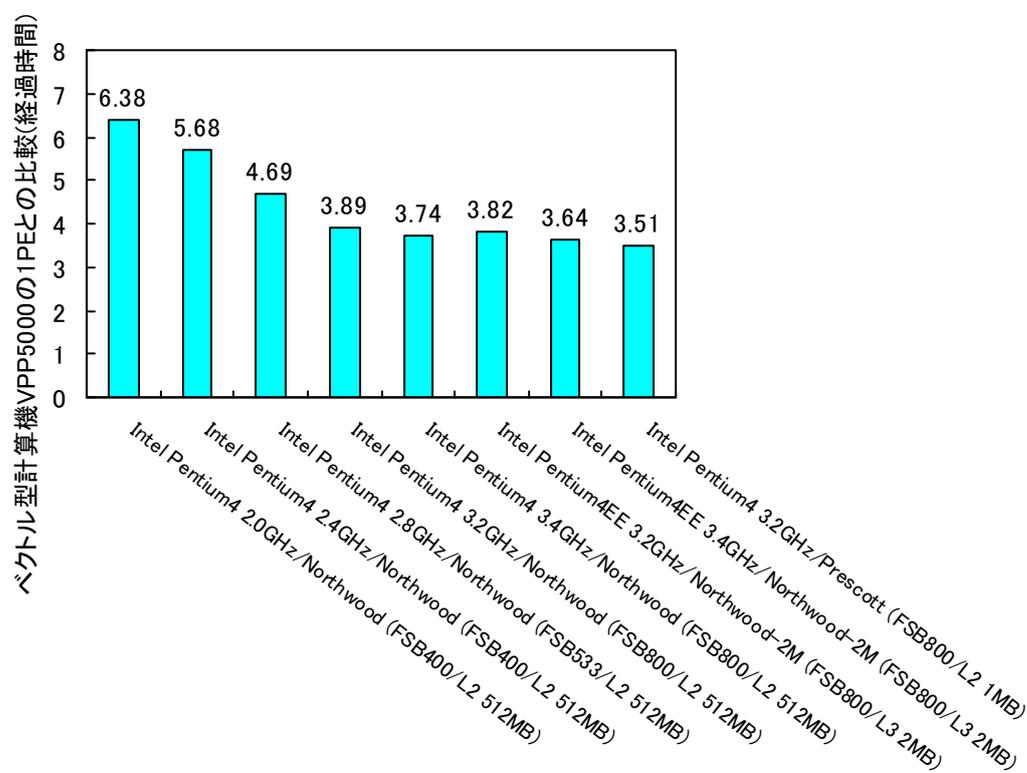


図4 Intel Pentium4プロセッサ搭載機の結果, ケース3

Xeon DPプロセッサと同様の傾向が示された。

今後のIA-32ファミリのロードマップによると、Intel Pentium4プロセッサでは、2004年早々にプレスコット(Prescott)コアの3.4GHz(0.09  $\mu$ m)が発表される。また同時に、0.13  $\mu$ m製造プロセスでノースウッド(Northwood)コアの高クロック版3.4GHz、エクストリーム・エクスペンシブ・エディション3.4GHzも発表予定である。これらの結果については、本報で示している。その後には、0.065  $\mu$ m製造プロセスのテージャス(Tejas)コア、シーダーミル(CedarMill)コア、ネハレム(Nehalem)コアが登場する。一方、Intel Xeon DPプロセッサでは、プレストニア(Prestonia)コアに続き、0.09  $\mu$ m製造プロセスのノコナ(Nocona)コアが登場する。その後には、ジェイフオーク(Jayhawk)、シーダーミル(CedarMill)コアが続く。今後とも、IA-32プロセッサの性能向上は急速に進んでいくものと考えられる。

### 4-3. IA-64(Intel Itanium2 DPプロセッサ)搭載機の結果

IA-32のIntel Pentium4プロセッサおよびIntel Xeon DPプロセッサと並んで、IA-64のIntel Itanium2 MP, DPプロセッサにおいても急速な性能向上が見られる<sup>4)</sup>。先に示したIA-32の

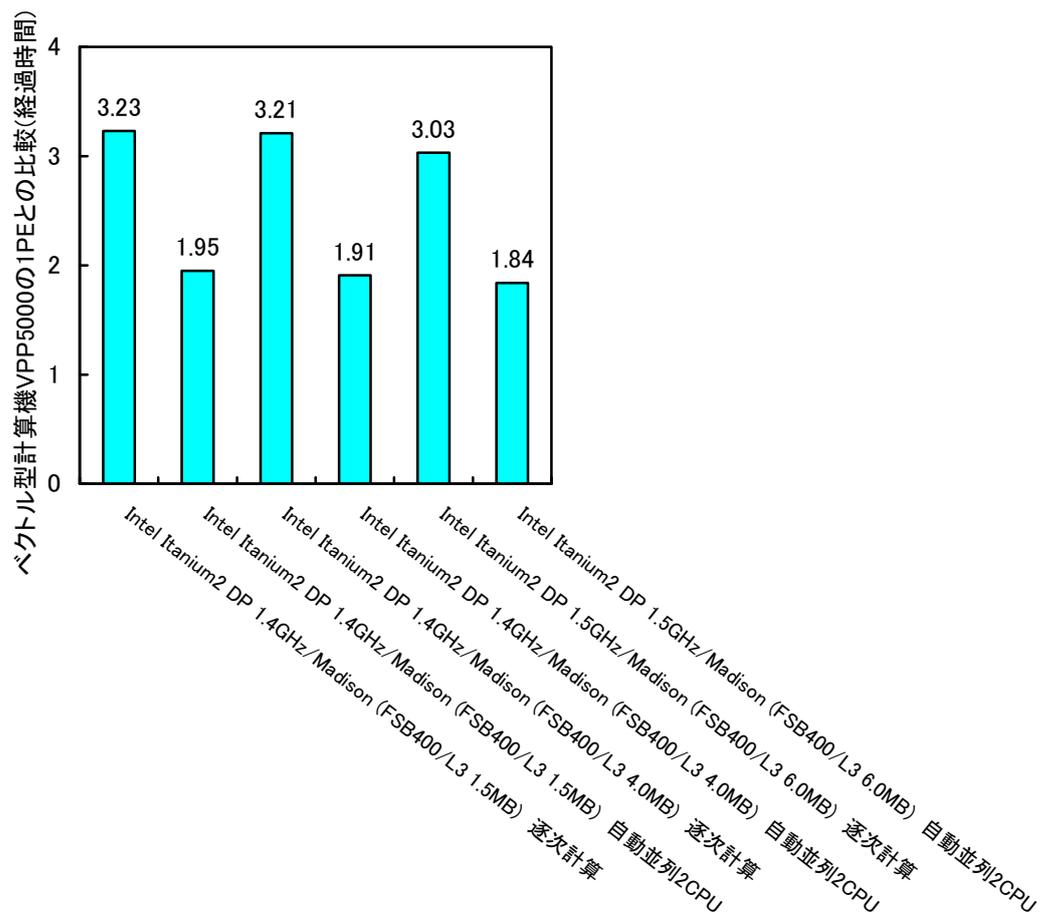


図5 Intel Itanium2 DPプロセッサの結果, ケース3

Intel Pentium4プロセッサおよびIntel Xeon DPプロセッサでは、2GB以上のメモリ空間を使用することが出来ない。これに対し、IA-64のIntel Itanium2 MP, DPプロセッサでは、2GB以上の大容量メモリ空間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1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、Fortranコンパイラの自動並列化オプションを利用した並列計算の有効性に注目している。

図5にIntel Itanium2 DPプロセッサ搭載機の結果を示す。全ての計算機において良好な台数効果を示し、その結果として2CPUを用いた場合では、計算時間はVPP5000の2倍弱にまで短縮されている。4CPU構成のSMP(Symmetric Multi-Processor)機においても、良好な台数効果を示すことが確認されている<sup>4)</sup>。コスト面を考慮すると、Dual CPU搭載のSMP機を2ノード並列に接続し、2ノード4CPUのSMPクラスタを構築することも選択肢の一つであると言える。但し、この場合にはMPI(Message Passing Interface)の利用が必要になる。

Itaniumプロセッサ・ファミリ(IPF)のロードマップによると、2003年に登場した0.13  $\mu$  m製造プロセスによる第三世代のマディソン(Madison, MPおよびDP)と、その低電圧版でDP構成のディアフィールド(Deerfield)に続き、2004年には0.13  $\mu$  m製造プロセスでオンダイ3次キャッシュを9MBに拡張したマディソン-9M(Madison-9M, Madisonの強化版)が登場する。2005年には、デュアル・コアに基づき、0.09  $\mu$  mプロセスで製造される第4世代のモンテシト(Montecito)が発表予定である。その後には、マルチコアのタングルウッド(Tanglewood)がリリースされる。

#### 4-4. Windows上における各種Fortranコンパイラの検討

ここでは、Windows上における各種Fortranコンパイラを用いた場合の計算時間の違いを示す。計算機環境は表7に示す通りである。また、検討した各種Fortranコンパイラと、その結果などを表8、表9に示す。それぞれのコンパイラの位置づけは以下の通りである。コンパ

プロセッサ	Intel Pentium4 (Northwood)
クロック周波数	2.2GHz
システムバス(FSB)	400MHz
キャッシュ	レベル1 : 12K $\mu$ OPS+8KB レベル2 : 512KB
主記憶容量	SDR(Single Data Rate) SDRAM 1.5GB PC133 (133MHz $\times$ 64bit=1.06Gbytes/s)
OS	Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 1
チップセット	Intel 845
製造プロセス	0.13 $\mu$ m
ベンダ	日本IBM
マシン名	NetVista A22p (6823-41J)

表7 Windowsマシンのスペック

パイラ2はコンパイラ1のアップグレード版である。コンパイラ3はコンパイラ2との互換性を強化したものである。現在は、コンパイラ1のDigital Visual Fortranとコンパイラ2のCompaq Visual FortranはIntel Fortranコンパイラに移行統合され、コンパイラ4に示すIntel Visual FortranコンパイラWindows版となっている。計算時間に注目する。コンパイラ1, 2, 3の順に計算時間は明確に短縮しているのが分かる。しかしながら、コンパイラ4ではコンパイラ3と比較して約2倍弱の差異が生じた。これは、先に述べたLinuxの場合とほぼ同様である。よって現状では、Linuxの場合と同様、Windowsの場合においてもIntel Fortranコンパイラ(v.7.1)が最も計算時間が速いと言える。

	コンパイル コマンド	最適化オプション
コンパイラ1	f90	/arch:host /tune:host /fast /optimize:4 (注意)前の2つのオプションはIntelプラットフォームでは無視される
コンパイラ2	f90	/arch:host /tune:host /fast /optimize:4
コンパイラ3	ifl	/G7 /O3 /QaxW /QxW
コンパイラ4	ifort	/optimize:4 /fast /G7 /QaxW /QxW /tune:pn4 /architecture:pn4

表8 各種Fortranコンパイラにおけるコンパイルコマンドと最適化オプション

	Fortranコンパイラ	経過時間(s) (VPP5000に対する比)	CPU時間(s)	I/O時間(s)
コンパイラ1	DIGITAL Visual Fortran Optimizing Compiler (v.5.0)	4293.79 (8.20)	4283.26	10.53
コンパイラ2	Compaq Visual Fortran Optimizing Compiler (v.6.6)	3633.68 (6.94)	3625.40	8.28
コンパイラ3	Intel(R) Fortran Compiler for 32-bit applications (v.7.1.023)	3176.64 (6.07)	3168.14	8.50
コンパイラ4	Intel(R) Fortran Compiler for 32-bit applications (v.8.0.036)	5855.21 (11.19)	5846.54	8.67

表9 各種Fortranコンパイラによる計算時間の比較, ケース1

## 5. おわりに

本報では、風況シミュレータRIAM-COMPACTを用い、スカラー並列計算機を構成する単体(1ノード)の演算性能に関して以下の知見を得た。最新のIntel Pentium4プロセッサ、Intel Xeon DPプロセッサ(IA-32)およびIntel Itanium2 DPプロセッサ(IA-64)では、Intel Fortranコンパイラ(v.7.1)を用いることでVPP5000の1PEに迫る驚異的な演算性能を発揮することが示された。

今後ともIntel系CPUとFortranコンパイラの性能向上は期待され、近い将来これらを構成ノードとした4~8CPU程度の小規模なスカラー並列計算機(PCクラスタ, SMPクラスタ, SMP機)による実用的な風況シミュレーションが可能になるであろう。

## 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(Super Computing Center)をご提供頂いた。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) 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報, 第125号, 2003, pp.5-20
- 3) 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2. スカラー並列計算機における経過時間の比較—, 九州大学応用力学研究所報, 第126号, 2004, pp.1-8
- 4) 内田孝紀, 大屋裕二: 小規模なスカラー並列計算機を用いた風況予測シミュレータRIAM-COMPACTの実用化へ向けた開発, 九州大学情報基盤センター年報, 第4号, 2004, 印刷中
- 5) 内田孝紀, 杉谷賢一郎, 大屋裕二: 3次元数値モデルによる九大新キャンパスの風況予測シミュレーション—第2報 建物群まわりの風環境予測—, 九州大学情報基盤センター年報, 第3号, 2003, pp.57-66

## Appendix

### 1. ベクトル型計算機VPP5000の1PEの結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s)	CPU時間(s)	I/O時間(s)
ケース1	frtpx	-Kfast	523.43	491.44	31.99
ケース2	frtpx	-Kfast	1267.92	1179.52	88.40
ケース3	frtpx	-Kfast	2493.08	2339.04	154.04

表10 ベクトル型計算機VPP5000の1PEの結果

### 2. スカラー型SMPサーバES40の結果

	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に対する比)	台数効果 (1CPU/2, 4CPU)
ケース3	逐次計算	f90	-tune host -arch host -O -fast	20077.56 (8.05)	-
ケース3	自動並列 1CPU	kf90	-tune host -arch host -O -fast -fkapargs='-concurrent'	20083.85 (8.06)	-
ケース3	自動並列 2CPU	kf90	-tune host -arch host -O -fast -fkapargs='-concurrent'	11077.26 (4.44)	1.81
ケース3	自動並列 4CPU	kf90	-tune host -arch host -O -fast -fkapargs='-concurrent'	6767.05 (2.71)	2.97

表11 スカラー型SMPサーバES40の結果

	逐次計算	自動並列1CPU	自動並列2CPU	自動並列4CPU
経過時間(s)	20077.56	20083.85	11077.26	6767.05
CPU時間(s)	19946.45	19939.21	10942.06	6632.03
I/O時間(s)	131.11	144.64	135.20	135.02

表12 スカラー型SMPサーバES40の経過時間の内訳, ケース3

### 3. IA-32(Intel Pentium4プロセッサ, Intel Xeon DPプロセッサ)搭載機の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1985.32 (3.79)
ケース2	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	6101.18 (4.81)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	13690.15 (5.49)

表13 Intel Xeon DPプロセッサ2.8GHz/プレストニア(FSB400)の結果

	コード 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に対する比)
ケース1	等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	783.94 (1.50)
ケース1	不等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1616.87 (3.09)
ケース1	不等間隔	ifort (v.8.0)	-fast -tpp7 -axW -xW -tune pn4 -arch pn4	3860.47 (7.38)
ケース1	不等間隔	pgf90 (v.4.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	3838.07 (7.33)
ケース2	等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	2577.37 (2.03)
ケース2	不等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	5016.64 (3.96)
ケース2	不等間隔	ifort (v.8.0)	-fast -tpp7 -axW -xW -tune pn4 -arch pn4	11033.82 (8.70)
ケース2	不等間隔	pgf90 (v.4.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	11119.28 (8.77)
ケース3	等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4988.47 (2.00)
ケース3	不等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	11234.76 (4.51)
ケース3	不等間隔	ifort (v.8.0)	-fast -tpp7 -axW -xW -tune pn4 -arch pn4	20653.78 (8.28)
ケース3	不等間隔	pgf90 (v.4.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	20157.96 (8.09)

表14 Intel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/プレストニア-1M(FSB533)の結果

	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に対する比)	台数効果 (1CPU/2CPU)
ケース1	逐次計算	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1560.32 (2.98)	1.37
ケース1	自動並列2CPU	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static -parallel	1135.23 (2.17)	
ケース2	逐次計算	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4722.29 (3.72)	1.38
ケース2	自動並列2CPU	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static -parallel	3424.12 (2.70)	
ケース3	逐次計算	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	11117.68 (4.46)	1.55
ケース3	自動並列2CPU	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static -parallel	7169.60 (2.88)	

表15 Intel Xeon DPプロセッサ3.2GHz/プレストニア-2M(FSB533)の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	2428.73 (4.64)
ケース2	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	6879.85 (5.43)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	15908.39 (6.38)

表16 Intel Pentium4プロセッサ2.0GHz/ノースウッド(FSB400)の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	2063.28 (3.94)
ケース2	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	6080.43 (4.80)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	14155.72 (5.68)

表17 Intel Pentium4プロセッサ2.4GHz/ノースウッド(FSB400)の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.0)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1707.34 (3.26)
ケース1	pgf90 (v.5.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	4524.14 (8.64)
ケース2	ifc (v.7.0)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	5055.10 (3.99)
ケース3	ifc (v.7.0)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	11680.90 (4.69)

表18 Intel Pentium4プロセッサ2.8GHz/ノースウッド(FSB533)の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1456.32 (2.78)
ケース2	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4324.59 (3.41)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	9688.62 (3.89)

表19 Intel Pentium4プロセッサ3.2GHz/ノースウッド(FSB800)の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1407.42 (2.69)
ケース2	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4094.95 (3.23)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	9329.28 (3.74)

表20 Intel Pentium4プロセッサ3.4GHz/ノースウッド(FSB800)の結果

	コンパイル コマンド	最適化 オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1417.88 (2.71)
ケース2	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4087.62 (3.22)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	8752.99 (3.51)

表21 Intel Pentium4プロセッサ3.2GHz/プレスコット(FSB800)の結果

	コードの種類	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース1	等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	568.31 (1.09)
ケース1	不等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1385.38 (2.65)
ケース1	不等間隔	ifort (v.8.0)	-fast -tpp7 -axW -xW -tune pn4 -arch pn4	3765.93 (7.19)
ケース1	不等間隔	pgf90 (v.4.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	3694.28 (7.06)
ケース2	等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	1710.14 (1.35)
ケース2	不等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	4158.94 (3.28)
ケース2	不等間隔	ifort (v.8.0)	-fast -tpp7 -axW -xW -tune pn4 -arch pn4	10726.18 (8.46)
ケース2	不等間隔	pgf90 (v.4.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	10621.52 (8.38)
ケース3	等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	3615.92 (1.45)
ケース3	不等間隔	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	9526.41 (3.82)
ケース3	不等間隔	ifort (v.8.0)	-fast -tpp7 -axW -xW -tune pn4 -arch pn4	20048.76 (8.04)
ケース3	不等間隔	pgf90 (v.4.0-2)	-fast -Mcache_align -Mvect=sse -Bstatic	19266.22 (7.73)

表22 Intel Pentium4プロセッサEE3.2GHz/ノースウッド-2M(FSB800)の結果

	コンパイルコマンド	最適化オプション	経過時間(s) (VPP5000に対する比)
ケース3	ifc (v.7.1)	-tpp7 -axW -xW -O3 -static	9085.65 (3.64)

表23 Intel Pentium4プロセッサEE3.4GHz/ノースウッド-2M(FSB800)の結果

#### 4. IA-64(Intel Itanium2 DPプロセッサ)搭載機の結果

	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に対する比)	台数効果 (1CPU/2CPU)
ケース1	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	1901.66 (3.63)	1.69
ケース1	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	1122.17 (2.14)	
ケース2	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	5957.51 (4.70)	1.71
ケース2	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	3492.32 (2.75)	
ケース3	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	8062.87 (3.23)	1.66
ケース3	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	4871.05 (1.95)	

表24 Intel Itanium2 DPプロセッサ1.4GHz/マディソン(1.5MB L3キャッシュ)の結果

	ケース1		ケース2		ケース3	
	逐次計算	自動並列 2CPU	逐次計算	自動並列 2CPU	逐次計算	自動並列 2CPU
経過時間(s)	1901.66	1122.17	5957.51	3492.32	8062.87	4871.05
CPU時間(s)	1889.60	1110.00	5923.50	3457.70	8001.70	4809.90
I/O時間(s)	12.06	12.17	34.01	34.62	61.13	61.15

表25 Intel Itanium2 DPプロセッサ1.4GHz/マディソン(1.5MB L3キャッシュ)の経過時間の内訳

	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に対する比)	台数効果 (1CPU/2CPU)
ケース1	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	1879.07 (3.59)	1.72
ケース1	自動並列1CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	1865.97 (3.56)	
ケース1	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	1092.76 (2.09)	
ケース2	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	5454.82 (4.30)	1.69
ケース2	自動並列1CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	5474.74 (4.32)	
ケース2	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	3235.35 (2.55)	
ケース3	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	8005.22 (3.21)	1.65
ケース3	自動並列1CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	7969.33 (3.20)	
ケース3	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	4840.75 (1.94)	

表26 Intel Itanium2 DPプロセッサ1.4GHz/マディソン(4.0MB L3キャッシュ)の結果

	ケース1			ケース2			ケース3		
	逐次計算	自動並列 1CPU	自動並列 2CPU	逐次計算	自動並列 1CPU	自動並列 2CPU	逐次計算	自動並列 1CPU	自動並列 2CPU
経過時間(s)	1879.07	1865.97	1092.76	5454.82	5474.74	3235.35	8005.22	7969.33	4840.75
CPU時間(s)	1871.40	1858.12	1084.84	5433.28	5452.96	3213.59	7966.87	7930.93	4802.18
I/O時間(s)	7.67	7.85	7.92	21.54	21.78	21.76	38.35	38.40	38.57

表27 Intel Itanium2 DPプロセッサ1.4GHz/マディソン(4.0MB L3キャッシュ)の経過時間の内訳

	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に対する比)	台数効果 (1CPU/2CPU)
ケース1	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	1780.33 (3.40)	1.75
ケース1	自動並列1CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	1766.92 (3.38)	
ケース1	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	1017.92 (1.94)	
ケース2	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	5178.24 (4.08)	1.70
ケース2	自動並列1CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	5203.96 (4.10)	
ケース2	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	3068.66 (2.42)	
ケース3	逐次計算	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2	7545.06 (3.03)	1.65
ケース3	自動並列1CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	7505.88 (3.01)	
ケース3	自動並列2CPU	efc (v.7.1)	-O3 -tpp2 -parallel	4574.87 (1.84)	

表28 Intel Itanium2 DPプロセッサ1.5GHz/マディソン(6.0MB L3キャッシュ)の結果

	ケース1			ケース2			ケース3		
	逐次計算	自動並列 1CPU	自動並列 2CPU	逐次計算	自動並列 1CPU	自動並列 2CPU	逐次計算	自動並列 1CPU	自動並列 2CPU
経過時間(s)	1780.33	1766.92	1017.92	5178.24	5203.96	3068.66	7545.06	7505.88	4574.87
CPU時間(s)	1772.65	1759.53	1010.64	5157.34	5183.28	3048.09	7507.81	7469.06	4538.59
I/O時間(s)	7.68	7.39	7.28	20.90	20.68	20.57	37.25	36.82	36.28

表29 Intel Itanium2 DPプロセッサ1.5GHz/マディソン(6.0MB L3キャッシュ)の経過時間の内訳