九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

実地形を対象にした非定常風況・拡散シミュレータRIAM-COMPACTの紹介 ： 最新のインテルPentium4プロセッサ搭載Windows PCの製作と性能評価

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

田辺, 正孝
有限会社流体物理研究所

葛生, 和人
有限会社流体物理研究所

他

https://doi.org/10.15017/3555

出版情報：九州大学応用力学研究所所報. 127, pp.75-86, 2004-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

実地形を対象にした非定常風況・拡散シミュレータRIAM-COMPACTの紹介
—最新のインテルPentium4プロセッサ搭載Windows PCの製作と性能評価—

内田 孝紀*, 大屋 裕二*, 田辺 正孝**, 葛生 和人**, 橋本 晃慈***

(2004年7月30日受理)

Introduction of the Unsteady Numerical Model "RIAM-COMPACT"
—Manufacture and performance evaluation of the Windows PC that installed the latest Intel Pentium4 processor—

Takanori UCHIDA, Yuji OHYA, Masataka TANABE, Kazuto KUZUU and Teruyasu HASHIMOTO
E-mail of corresponding author: *takanori@riam.kyushu-u.ac.jp*

Abstract

We are developing the unsteady numerical model called the RIAM-COMPACT (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain).The RIAM-COMPACT is based on the LES (Large-Eddy Simulation) which is a kind of a turbulence model. The object domain of the RIAM-COMPACT is from several m to several km, and can predict the airflow and gas diffusion over complex terrain with high precision. The RIAM-COMPACT is sold from the Institute of Fluid Physics, Ltd. under cooperation of the Kyushu TLO (Technology Licensing Organization) Company, Ltd. in November, 2003. Moreover, trust analysis service using the RIAM-COMPACT is simultaneously carried out in the Institute of Fluid Physics, Ltd. In the present paper, the performance on the Windows PC, which installed the latest Intel Pentium4 processor, currently sold from the Institute of Fluid Physics, Ltd. is reported. In addition, the usage of the RIAM-COMPACT as a software package is described.

Key words : *RIAM-COMPACT, LES, Performance evaluation, Windows PC, Intel Pentium4 processor, Software package*

1. 緒 言

日本国内の地勢は欧米とは著しく異なり，平坦な地形は少なく，多様性に富む複雑地形がほとんどである．こうした状況下で，自然エネルギー有効利用に関連した風力タービン設置のための風況精査や，大気環境アセスメントに関連したスカラー濃度の移流・拡散現象の予測などを高精度に実施するためには，流れの衝突，剥離，再付着，逆流などの風に対する地形効果を再現することが極めて重要である．

上記の社会的・工学的要請を受け，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)と称する非定常風況・拡散シミュレータを開発している[1-3]．この数値モデルは，(有限)差分法に基づいたFORTRAN(FORmula TRANslator)プログラムである．乱流モデルには，LES(Large-Eddy Simulation)を採用している．これまで実用的な流体シミュレーションには，計算時間の問題からRANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes equation)と呼ばれるレイノルズ平均型乱流モデルが利用されてきた[4, 5]．しかしながら，近年のコンピュータ性能の向上は著しく，計算時間の問題も劇的に解消されつつある[6-9]．空間平均型の乱流モデルであるLESは，時々刻々と変化する非定常な風況場，あるいは，拡散場をシミュレーションすることが可能である．ここが時間平均型の乱流モデルであるRANSと大きく異なる点である．非定常な風況場，あるいは，拡散場がいったん得られれば，それらをアニメーションなどで視覚化することで，風の道などの風況特性が容易に理解される．非定常な風況特性を簡単に数値予測し，その結果をアニメーションなどで視覚的に捉えることが出来れば，多額の費用を要する風洞実験の代替ツールになるとともに，実用的な設計の一助になることが大いに期待される．

こうした観点から，我々はRIAM-COMPACTの実用化へ向けた検討をここ数年間行ってきた．そして，九大TLO(Technology Licensing Organization, 株式会社産学連携機構九州，URL : http://www.k-uip.co.jp/)の協力の下，RIAM-COMPACTは2003年11月より(有)流体物理研究所からWindows搭載のPC(Personal Computer)上で動作するソフトウエアパッケージとして販売される運びとなった．同社では，SCore型PCクラスタを使用した受託解析サービスも同時に開始された．そこで

* 九州大学応用力学研究所(〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1, URL : http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/)
** 有限会社流体物理研究所(〒206-0033東京都多摩市落合5-9-7-3, URL : http://www.ifpj.com/)
*** 有限会社ネットサイト(〒192-0046 東京都八王子市明神町1丁目8-13, URL : http://www.netsite.co.jp)

本報では，(有)流体物理研究所から販売されている，最新のインテルPentium4プロセッサを搭載したWindows PCの性能(計算時間)を報告するとともに，ソフトウエアとしてのRIAM-COMPACTの操作性などを紹介する．

2.　最新のインテルPentium4プロセッサを搭載したWindows PCの性能評価

2.1　ハードウエア

ここでは，(有)流体物理研究所から販売されている，最新のインテルPentium4プロセッサを搭載したWindows PCのハードウエアの構成(一例)を示す．表1に各種パーツのスペックを示す．写真1には，筐体の前面と後面の様子を示す．図1に示すように，Intel 865PEチップセット(Springdale-PE)の最大の特徴は，デュアルチャンネルのDDR400-SDRAMを用いた場合のメモリ帯域(バンド幅)と，プロセッサのシステム・バス(FSB)の帯域(バンド幅)の両者が，6.4GB/sと合致(同期)する点である．つまり，プロセッサの動作クロックの向上に伴い懸念されるシステム・バス帯域とメモリ帯域のボトルネックが解消されている．これが，科学技術演算の性能向上に大きく寄与している．なお，OS(Operating System)はWindows XPのOEM(Original Equipment Manufacturer)版である．

2.2　ソフトウエア(Fortranコンパイラ)

ここでは，Fortranプログラムの実行に関して記述す

CASE	Windy, RA300W(Ivory)
CPU (Central Processing Unit)	Intel Pentium4 processor 3.4GHz (Northwood)
M/B (Mother Board)	Intel D865PERLK: Intel(R) 865PE+ICH5R, Socket478, FSB800MHz, ATX, DDR(MAX:4GB), PCI×5, AGP8X, Audio, S-ATA, USB×4, Intel Pro1000CT (Gb LAN), IEEE, Optical Audio Out
MEMORY	Infineon, PC3200-512MB(DDR400)×4
HDD (Hard Disk Drive)	Seagate, ST340014A(40GB)×1, ST3160021A(160GB)×2
CD-RW (Compact Disk ReWritable)	CyberDrive, CW078D+Nero/Bulk, CD-R×40, CD-RW×16, CD×48
GRAPHICS CARD	InnoVISION (Inno3D),Tornado GeForceFX 5200 Ultra AGP8X (325/654MHz)/64MB (128bit), NVIDIA
FDD (Floppy Disk Drive)	Mitsumi, D359M3
MOBILE RACK	Owltech, OWL-MRS42A-UAE/133×2
DISPLAY	Nanao, FlexScan L557-R(Gray)
KEYBOARD	PFU, PD-KB210W/P(White)
OPTICAL MOUSE	Logicool, OM-45UPI

Table.1 Spec. of various PC parts

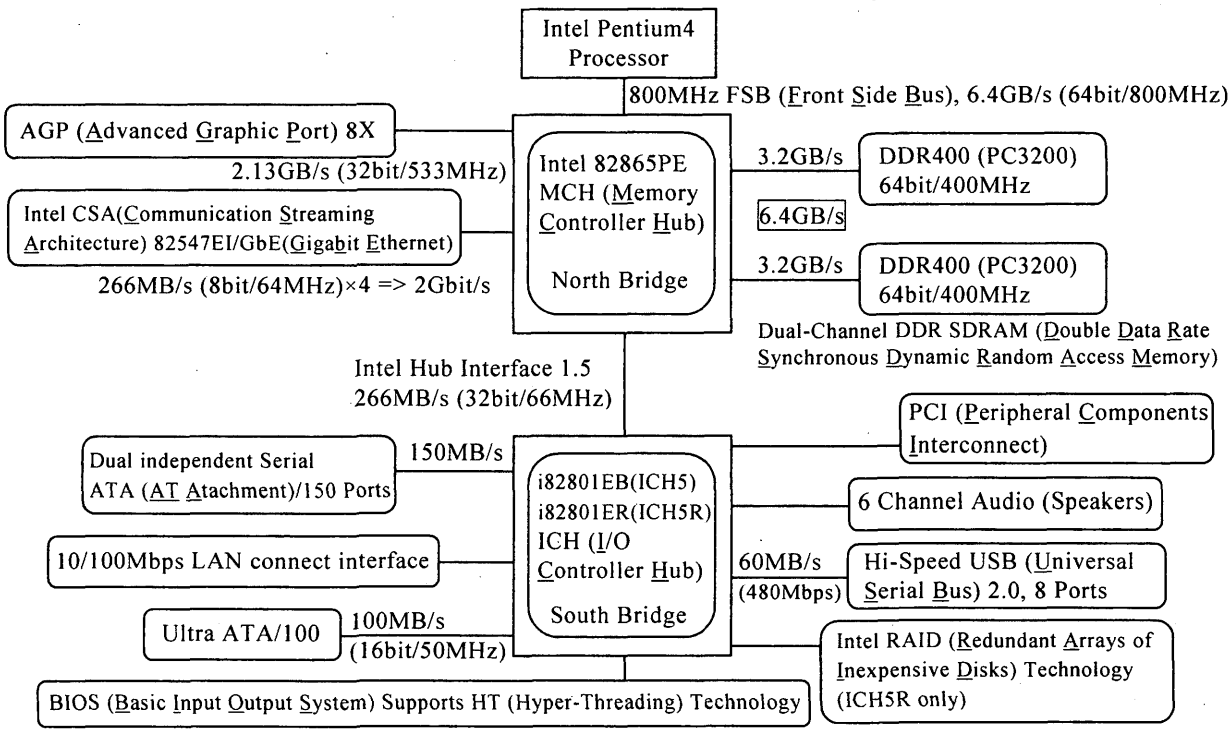
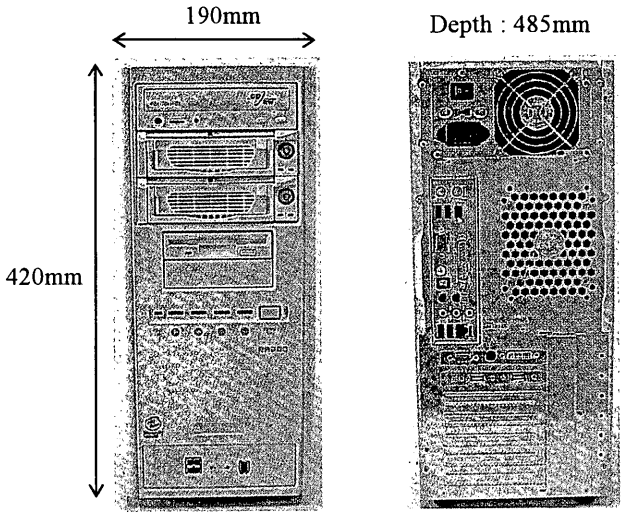


Fig.1 Intel 865PE chipset (Springdale-PE)



(a) Front view (b) Rear view

Photo.1 General view photograph of the Windows PC

る．Fortranコンパイラには，Windows版Intel Fortranコンパイラ(v.7.1.026)を使用した．実際には，上記のコンパイラが実装されているPC上でコンパイルを行い，対象とするWindows PCに実行バイナリを移し，それを実行した．後述するが，ソフトウエアとしてのRIAM-COMPACTの実行方法も同様である．使用したコンパイルコマンドと最適化オプション，また，その説明を表2に示す．

Compile command	Optimization options
ifl	/G7 /O3 /QxW

/G7：スケジューリング(幾つかのやらなければならない仕事がある場合，どういう順番で仕事を進めれば最も速いか，あるいは都合が良いかなど，その最適な仕事を行う順番を求める問題)をPentium4プロセッサ，Xeonプロセッサ向けに最適化する．

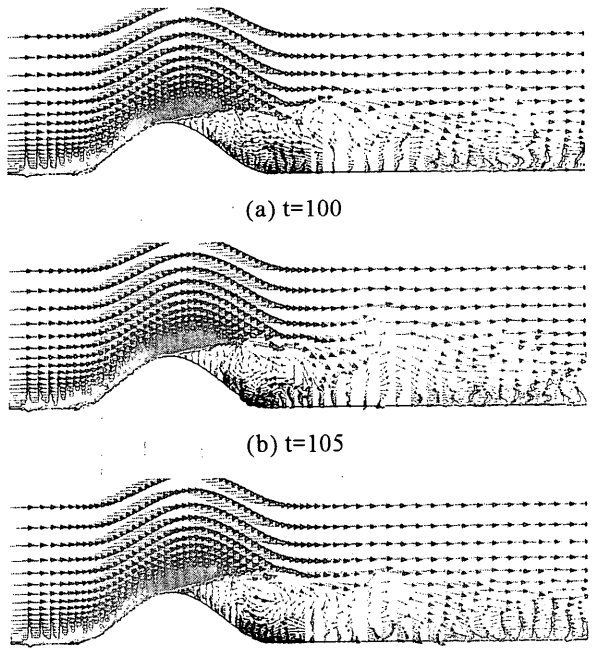
/O3：/O2オプションをさらに強力な最適化とともに有効にし，高レベル最適化(ループ変換など)を設定する．実行速度について最適化を行う．

/QxW：Pentium4プロセッサ，Xeonプロセッサでストリーミング SIMD 拡張命令2(SSE2 : Streaming SIMD Extensions 2)を使用するようにする．これは浮動小数点や倍精度の計算処理に優れたパフォーマンスを発揮する．実行バイナリは上記プロセッサ上でのみ動作可能となる．

Table.2 Compile command, optimization options, and those explanation

2.3 計算対象

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．σ座標系のコロケート格子に基づいたRIAM-COMPACTを用い，複雑地形の最も典型的な幾何形状である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]を参照して頂きたい．速度ベクトル図によって視覚化した孤立峰周辺の流れパターンを図2および図3に示す．ここで，速度ベクトルの色が赤い領域は，最も流れが増速していることを意味する．一方，青い領域は最も流れが減速あるいは逆流していることを意味する．この図から，孤立峰下流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以下に示す通りである．孤立峰の主流方向に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．計算領域はx，y，z方向に40h×9h×10h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20h下流のスパン中央地面上に設置する．その形状はコサイン関数$z(x, y)=0.5h\times\{1+\cos(\pi(x^2+y^2)^{1/2}/a)\}$で記述される．地形形状パラメータはa=2hである．格子点数は101×71×61点(約44万点)と，260×121×71点(約220万点)の二種類である．これに伴い使用するメモリサイズは，約130MBと約660MBである．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(流入境界面から17hまでは滑り条件)，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と一様流入風速Uに基づいて$Re(=Uh/\nu)=10^4$である．時間刻みは$\Delta t=2\times10^{-3}h/U$である．同一条件で経過時間(=CPU時間+I/O

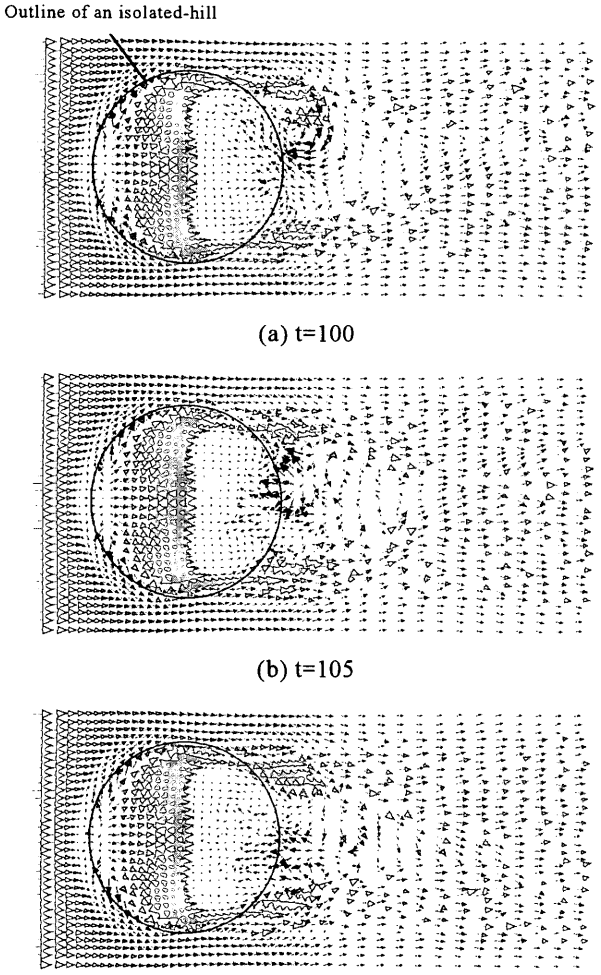


(a) t=100

(b) t=105

(c) t=110

Fig.2 Velocity vectors in the central plane (y=0), $Re=10^4$



(a) t=100

(b) t=105

(c) t=110

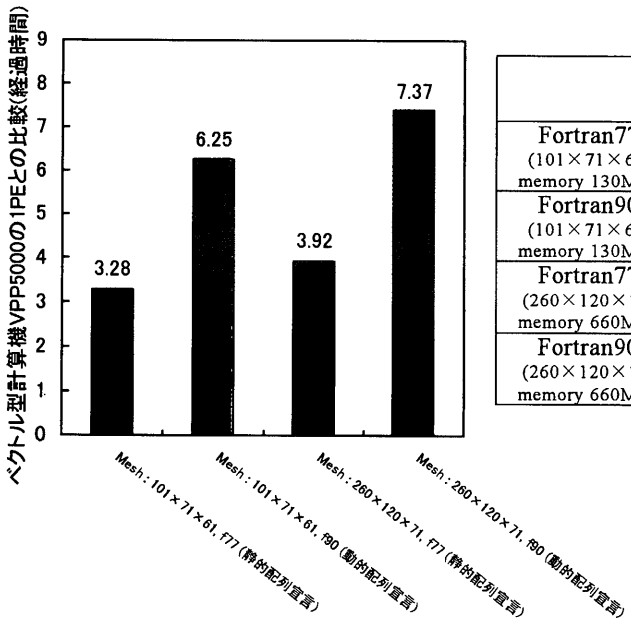
Fig.3 Velocity vectors near the ground, Re=10^4

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=100～110における計算(5,000ステップの時間積分)を実施した．本研究における全ての経過時間は，他のユーザー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．

2.4　結果と考察

ここでは，計算時間の結果と考察を示す．経過時間(elapsed time)は，ベクトル型計算機VPP5000(富士通(株)，最大浮動小数点演算性能9.6GFLOPS，主記憶容量1.5GB，コンパイラ：Fujitsu UXP/V Fortran V20L20)の1PE(Processing Element)の結果(ベクトル逐次計算)と比較した．すなわち，(PCによる経過時間)÷(VPP5000によるベクトル逐次計算の経過時間)として表示した．

図4にWindows PCの結果を示す．静的な配列宣言を用いたFortran77の結果と，動的な配列宣言を用いたFortran90の結果を示している．静的な配列宣言とは，コンパイル時に使用する配列の大きさをあらかじめ宣言しておくことである．Fortran90では，動的な配列宣言が可能になった．これは，実行時に任意の大きさの配列を動的に割付けて使用することである．つまり，動的にメモリを確保する．この配列は割付け配列と呼ばれる．格子点数が101×71×61点(約44万点)と，260×121×71点



	Elapsed time (s) (Ratio to VPP5000)	CPU time (s)	I/O time (s)
Fortran77 (101×71×61, memory 130MB)	1560.34 (3.28)	1555.85	4.49
Fortran90 (101×71×61, memory 130MB)	2974.29 (6.25)	2970.04	4.25
Fortran77 (260×120×71, memory 660MB)	8157.82 (3.92)	8136.39	21.43
Fortran90 (260×120×71, memory 660MB)	15330.25 (7.37)	15304.03	26.22

Fig.4 Result of the Windows PC, Intel Pentium4 3.4GHz/Northwood (FSB800/L2 512MB)

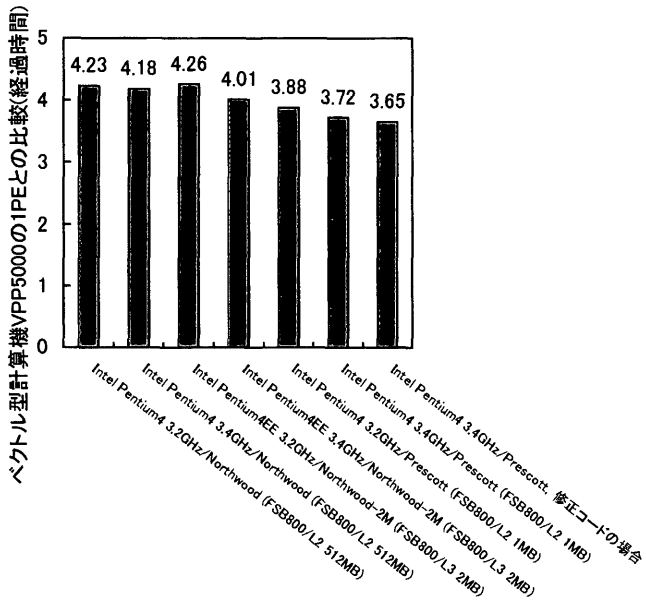


Fig.5 Result of the Linux PCs, 260×121×71mesh, memory 660MB

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Codename	Northwood		Northwood-2M Extreme Edition		Prescott	
Clock frequency	3.2GHz	3.4GHz	3.2GHz	3.4GHz	3.2GHz	3.4GHz
FSB	800MHz (Bandwidth : 64bit×800MHz=6.4GB/s)					
Level 1 cache	12KμOPS+8KB					
Level 2 cache	512KB				1MB	
Level 3 cache	none		2MB		none	
Memory	Dual channel DDR400 (PC3200) SDRAM 2GB (Bandwidth : 64bit×400MHz=3.2GB/s, total : 3.2GB/s×2=6.4GB/s)					
Chipset	Intel 875P					
Production process	0.13μm				0.09μm	
Fortran compiler	Intel Fortran compiler v.7.1 Build 20040309Z					

Table.3 Spec. of the Linux PCs based on Intel Pentium4 processor (IA-32)

Specification	Compile command	Optimization options	Elapsed time (s) (Ratio to VPP5000)	CPU time (s)	I/O time (s)
Pentium4/3.2GHz Northwood (512KB : L2)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static	8803.71 (4.23)	8783.24	20.47
Pentium4/3.4GHz Northwood (512KB : L2)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static	8702.92 (4.18)	8683.60	19.32
Pentium4EE/3.2GHz Northwood-2M (2MB : L3)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static	8874.91 (4.26)	8854.82	20.09
Pentium4EE/3.4GHz Northwood-2M (2MB : L3)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static	8343.78 (4.01)	8323.07	20.71
Pentium4 3.2GHz Prescott (1MB : L2)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static	8066.89 (3.88)	8046.96	19.93
Pentium4 3.4GHz Prescott (1MB : L2)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static	7743.45 (3.72)	7723.79	19.66
Pentium4 3.4GHz Prescott (1MB : L2)	ifc (v.7.1, 32bit)	-tpp7 -xW -O3 -static (注意）修正コードを使用	7607.96 (3.65)	7588.63	19.33

Table.4 Result of the Linux PCs based on Intel Pentium4 processor (IA-32)

(約220万点)の両者ともに，静的な配列宣言を用いたFortran77の結果は，図5および表3，4に示す同程度の性能のLinux PC(Fortran77を使用)とほぼ類似した性能を示し，ベクトル型計算機に迫る結果を得た．ここで，Linux PCの計算条件はWindows PCと同じである．FortranコンパイラにはLinux版Intel Fortranコンパイラ(ifc)を用い，同じ最適化オプション(-tpp7 -O3 -xW)を課した(表4を参照)．なお，図5では，101×71×61点の結果は省略したが，Windows PCとほぼ同じ性能を示した．Windows PCに関して，割付け配列を用いたFortran90の結果は，二種類の格子ともにFortran77と比較して約2倍程度の計算時間の遅延が見られた．一方，ベクトル型計算機VPP5000では，Fortran77とFortran90における有意な違いは見られなかった．よって，これはIntel Fortranコンパイラのバージョンアップと併せて今後の課題であると言える．また，Windows PCにおいて，単精度計算と倍精度計算の比較を行ったが，これについては計算時間に両者の差異は見られなかった．

以上のように，Intel FortranコンパイラではFortran90の動的配列の使用に若干の課題が残るが，Fortran77ではベクトル型計算機1PEに迫る性能を有することが示された[6-9]．よって，従来，ベクトル型計算機ではないと困難であった非定常LES計算は，PCの単体性能の急速な向上とともに十分に実用に耐え得るものであると言える．

3.　ソフトウエアパッケージとしてのRIAM-COMPACTの紹介

ソフトウエアパッケージとしてのRIAM-COMPACTは，①前処理(Pre-processing)，②ソルバー(Solver)，③後処理(Post-processing)のプロセスから構成される．以下では，それぞれの操作方法について説明を行う．

3.1　前処理ソフトFLElevgen

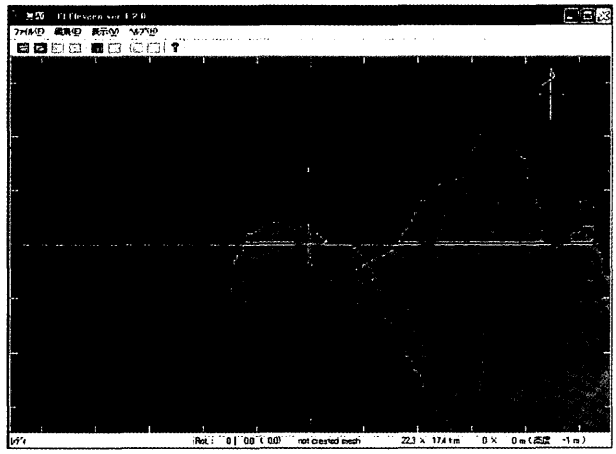
ここでは，前処理(グリッド生成)を行うFLElevgenの操作方法を説明する．FLElevgenは，OPEN GL(OPEN Graphics Library)という汎用API(Application Program Interface)を利用したソフトである．グリッドデータは国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)に基づいて生成する．数値地図50mメッシュ(標高)について説明する．詳細はhttp://www.jmc.or.jp/data/50m/50m.htmlを参照して頂きたい．

数値地図50mメッシュ(標高)は，国土地理院が刊行している2万5千分1地形図に描かれている等高線を計測してベクトルデータを作成し，それから計算によって求めた数値標高モデル(DEM:Digital Elevation Model)データである．収録されているデータは標高のみで，道路や行政界などの地図要素は含まれていない．2次メッシュ(2万5千分1地形図の区画)を経度方向および緯度方向に200等分して得られる格子(地図上約2mm四方)の中心点の標高値が記録されている．標高点の間隔は南北方向に1.5秒，東西方向に2.25秒であり，実距離では約50mである．標高値は5桁の数値で記録(標高1000mであれば「10000」)されているが，1桁目(0.1mの位)は0で切り捨てられている．最小単位は「m」である．海部には「-9999」というコードが振られている．販売元は(財)日本地図センターであり，全国が3枚のCD-ROMで刊行されている．CD-ROMは各7,500円(税込)であり，それぞれの収録範囲は以下の通りである．

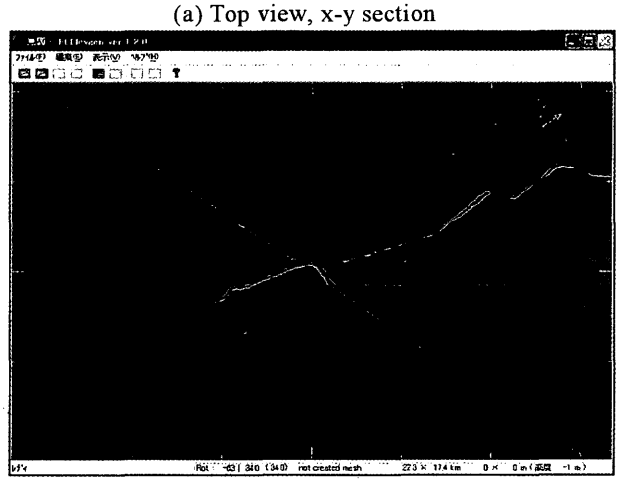
日本-1	北海道(北方を除く)
日本-2	東北・関東・北陸・中部(小笠原諸島含む)
日本-3	中部・近畿・中国・四国・ 九州(沖縄・南西諸島含む)

Table.5 Inclusion range of CD-ROM

FLElevgenの操作方法について説明する．PCのデスクトップ上にFLElevgen.exeのショートカットを作成してお



(a) Top view, x-y section



(b) Bird's-eye view

Fig.6 Screen which inputted elevation data

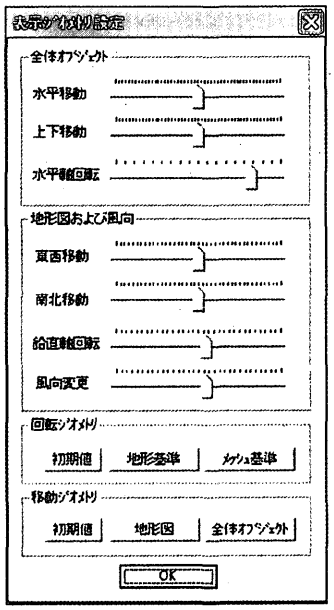
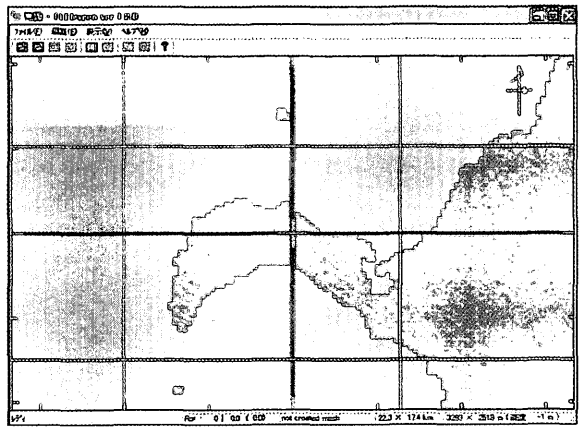


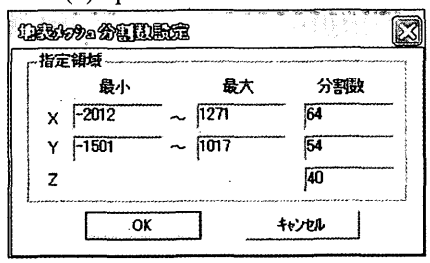
Fig.7 Display setup

き，これをダブルクリックして起動する．FLElevgenの操作はウィンドウのプルダウンメニュー(pull-down menu)から行う．CD-ROMに同封されている標準地域メッシュ・コード一覧図に基づき，計算の対象地域の標高データ(例：図6の鹿児島県野間岬の場合：473000.MEM, 473001.MEM, 473010.MEM, 473011.MEM)を入力する．標高データを入力したウィンドウの様子を図6に示す．ウィンドウに表示される地形データや，後述する生成したグリッドデータは，マウスによる視界操作(拡大縮小，平行移動，回転)が可能である．上記の移動や回転は，図7に示すメインメニューの[表示—表示ジオメトリ設定]を開き，スライドバーの操作でも同様に可能である．

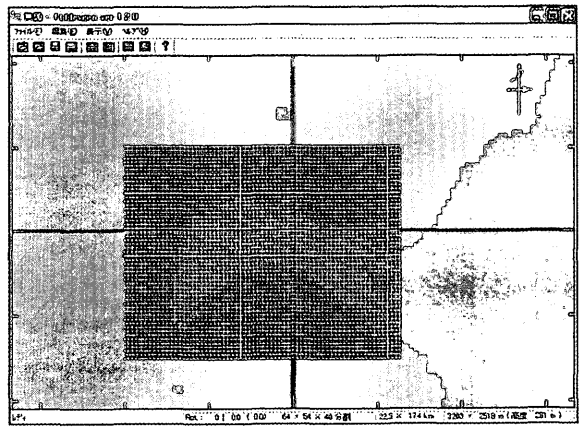
グリッドデータの生成は以下のように行う．標高データを入力した後，メインメニューの[編集—初期メッシュの作成]を選択すると，ウィンドウ上に十字の白いラインが現れる．この状態から，図8(a)に示すようにマウスドラックによりグリッドの水平方向(x-y)の範囲を指定する．分割数などの設定は，図8(b)に示すパネルで行う．これは図8(a)で領域内をダブルクリックすることで現れる．なお，図8(b)では，水平方向の領域の範囲を数値で指定することも可能である(単位はm)．この一連の作業は何度でも繰り返して行うことが可能である．以上の操作で図8(c), (d)に示すような水平方向には直交で，鉛直方向には地形形状に適合した3次元構造格子が簡単に生成される．なお，基本グリッドの生成では，高度領域は対象地域内の最大標高の約2倍に設定されている．よって，高度領域を変更したい場合には，図9に示す，メインメニューの[編集—高度領域の変更]を選択し，新たな数値を設定する．FLElevgenでは，水平方向(x-y方向)と鉛直方向(z方向)におけるメッシュ集中度の編集が可能である．こ



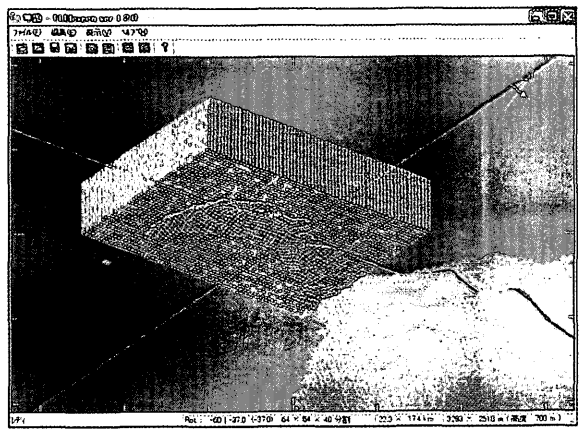
(a) Specification of a domain



(b) Setup of the number of division etc.



(c) Top view, x-y section



(d) Bird's-eye view

Fig.8 Initial grid generation

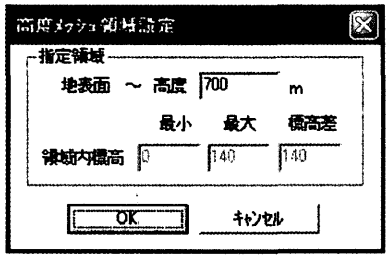
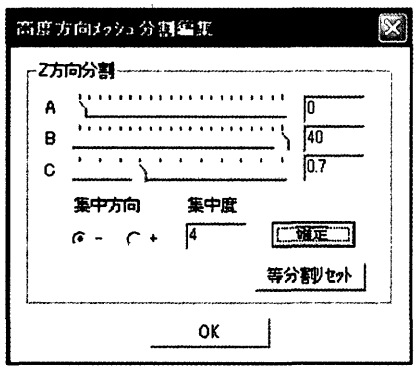
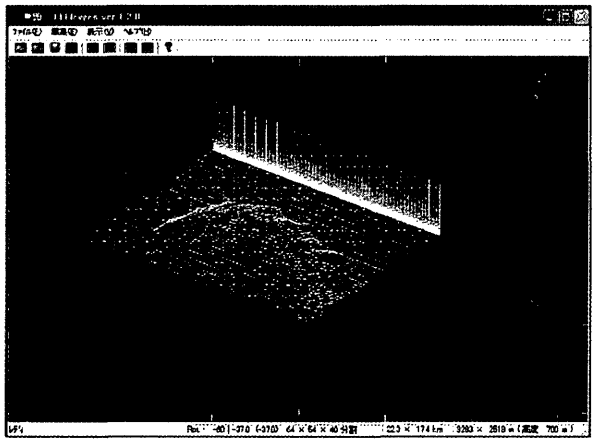


Fig.9 Change of a height domain



(a) Setup of the parameter



(b) Bird's-eye view of the grid edited in the vertical direction

Fig.10 Edit work of an initial grid

こでは，鉛直方向の編集について説明する．一般に，風に対する地形効果を精度良く再現するためには，地形近傍にグリッドを引き付ける必要がある．この作業は図10(a)に示す，メインメニューの[編集—メッシュ集中度(k方向)]を選択して行う．鉛直方向の編集作業を行ったグリッドの様子を図10(b)に示す．この作業も対話的に何度でも繰り返して行うことが可能である．

FLElevgenでは，任意の風向設定が可能である．すなわち，地形に対してグリッドを任意に回転させることができる．これは図7に示す，メインメニューの[表示—表示ジオメトリ設定]の風向変更で行う．スライドバーをマウスでクリックするごとに22.5度間隔で回転する．それより細かい操作はキーボードの矢印キーで行い，その回転角

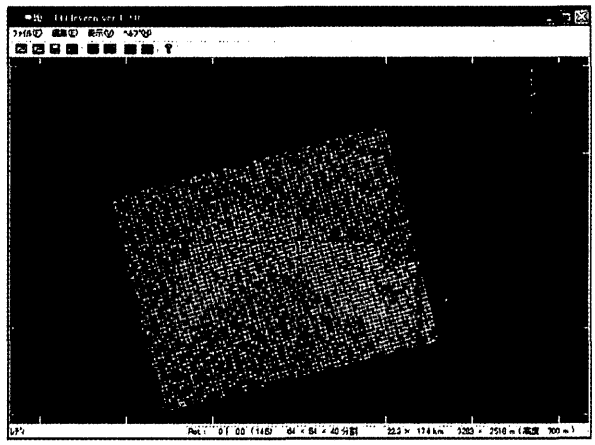


Fig.11 Setup of arbitrary wind directions

度は0.5度間隔である．図11にグリッドを回転させた例を示す．図中右上の赤い矢印が風向を意味している．

生成されたグリッドに対して，マウス操作によって領域内の複数の標高データを強制的にゼロにすることが可能である．これは，計算を安定に進行させるため，対象領域の隅部に位置する地形を削除する際などに非常に有効である．

上記のように生成されたグリッドデータは，後述するソルバーのRIAM-COMPACTに入力するためのデータと，後処理ソフトのFLScopeで使用するためのデータとして保存される．

3.2　ソルバーRIAM-COMPACT

非定常風況・拡散シミュレータRIAM-COMPACTの主な特長は以下に示す通りである(詳細はhttp://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/takanori/を参照)．

1) 国土地理院などの標高数値データに基づいて複雑地形を再現する際，二つの格子系を適宜選択することが可能である．一つは，直交座標系のスタガード格子である．ここでは，実地形の起伏形状に関係なく直線的な計算格子を設定し，実地形は計算格子の集合体で階段状に近似される．もう一つは，一般曲線座標系のコロケート格子である．これは座標変換に伴う記憶容量が必要であるが，地形近傍の流動現象を高精度に数値予測する際には非常に有効である．本報では，一般曲線座標系のコロケート格子を対象に説明を行う．
2) 1)の直交座標系のスタガード格子に基づいたRIAM-COMPACTでは，建物群あるいは市街地の風環境シミュレーションが可能である．これについては別の機会に報告する．
3) 乱流モデルのLES(Large-Eddy Simulation)を採用することで，非定常な高レイノルズ数複雑乱流場を解析することが可能である．非定常に変化する風

況場が得られるため，特に風力エネルギー有効利用に関連して風力タービンに対する気流変動の影響などを別途調査することが可能である．さらには，複数台の風力タービンにおける後流の干渉問題を調査することも可能になる．

4) 種々の大気安定度(中立時，不安定時，安定時)を考慮した計算が可能である．特に安定時の場合には，局地強風を利用した風力発電に関して，高精度な風況精査(適地選定)が可能である．
5) 地域気象モデルの解析結果との接続により，局所風況場のリアルタイムシミュレーションが可能である．これは大型ウィンドファーム建設後の日々の発電量予測などに非常に有効である．
6) ネスティング手法(one-way nesting)を導入することにより，多段階的に解像度を上げた同時並行計算が可能である．
7) 流入変動風を生成するためのドライバ部を計算領域の上流側に設定し，そこで非定常流体計算を行い，これを流入条件として用いることが可能である．
8) 非定常に変化する風況場に基づき，大気汚染物質などのスカラー濃度の拡散場シミュレーション(大気環境アセスメント)が可能である．
9) 入力データや境界条件を変更すれば，円柱などのブラフボディ周辺流れのDNS(Direct Numerical Simulation)，あるいは，LESが可能である．

以下では，ソルバーの実行方法について説明する．ソルバーはコマンドプロンプトから実行する．ユーザーは数個のパラメータを指定するのみで良い．具体的には，ファイル名infile.datとpara.datの二つのファイルを編集する．infile.datでは，前処理ソフトFLElevgenで生成したメッシュデータのファイル名と，継続計算するためのフィールドデータのファイル名を指定する．para.datでは以下に示すパラメータの設定を行う(図11を参照)．

UVEC	主流方向(x)の風速(m/s). 今の場合には，5(m/s)である．
BEKI	べき乗則の指数. 今の場合には，1/7乗則である．
NSTEP	計算のステップ数. 今の場合には，10000ステップである．
NSOR	計算の進捗状況をディスプレイに出力する間隔．今の場合には，10ステップおきに出力する．
ICON	計算を初期から始めるのか，あるいは，継続するのかを示すパラメータ．ICON=0は初期からの計算，ICON=1は継続計算を示す．この際，上記のinfile.datの編集が必要である．
IPROG	可視化ソフトFLScopeに入力するためのデータの出力間隔．今の場合には，100ステップおきに出力する．

Table.5 Parameters specified in para.dat

infile.datとpara.datの二つのファイルの編集が終了すると，後は“go”と入力すれば計算は開始される．図11に実際のディスプレイの表示を示す．

```
C:¥RIAM-COMPACT¥demo>go
C:¥RIAM-COMPACT¥demo>3dtopo-win.exe

//////////////////////////////////////////////////
//                                              //
//  ===<< Welcome to the RIAM-COMPACT ! >>===   //
//                                              //
//  (Research Institute for Applied Mechanics,  //
//   Kyushu University,                         //
//   Computational Prediction of Airflow over   //
//   Complex Terrain)                           //
//                                              //
//  # LES of airflow over complex terrain       //
//  # Generalized curvilinear collocated grid   //
//  # Windows edtion : Ver.1.0                  //
//  # Max grid number = 181(x)*181(y)*61(z)     //
//                                              //
//                          T.Uchida & Y.Ohya   //
//                                              //
//////////////////////////////////////////////////
Input file name check!
File name of input  grid data = grid.dat
File name of input field data = 3d-field.dat
Continue(1) or not(2) ?
1

**************************************************
Grid data reading !
Complete !
**************************************************

Wind speed (m/s)            =          5.0
Index number of power law   =          7.0
Step number of calculation  =        10000
Step number of display      =           10
Step number of FLScope3D    =          100
Mesh points NX,NY,NZ            =                  65
55          41
Total mesh points NX*NY*NZ =        146575
Calculation condition       = from the specified time
Continue(1) or not(2) ?
1

**************************************************
Field data reading !
Complete !
**************************************************

**********************************************
Time=  50.020  Uin(m/s)=     5.0 Istep=     10
Iteration number of Poisson equation=      1
Root mean square error=   3.22965705444747D-004
**********************************************
**********************************************
Time=  50.040  Uin(m/s)=     5.0 Istep=     20
Iteration number of Poisson equation=      1
Root mean square error=   3.25716635494464D-004
**********************************************
                    .
                    .
                    .
```

Fig.11 Progress situation of the RIAM-COMPACT

3.3　後処理ソフトFLScope

ここでは，前処理ソフトFLElevgenで作成したグリッドデータと，ソルバーから出力されたフィールドデータを用いて，計算結果を視覚化する後処理ソフトFLScopeの特長や操作方法について簡単に説明する．

FLScopeは前処理ソフトのFLElevgenと同様，OPEN GLという汎用APIを利用した流れ場の可視化ソフトである．この流体可視化ソフトは，流体計算における後処理に特化しており，また計算機に対する負荷が極めて小さいのが大きな特長である(ファイルサイズは600KB程度)．起動方法や操作方法は，基本的にFLElevgenと同様である．すなわち，PCのデスクトップ上にFLScope.exeのショートカットを作成しておき，これをダブルクリックして起動する．FLScopeの操作はウィンドウのプルダウンメニューから行う(図12を参照)．

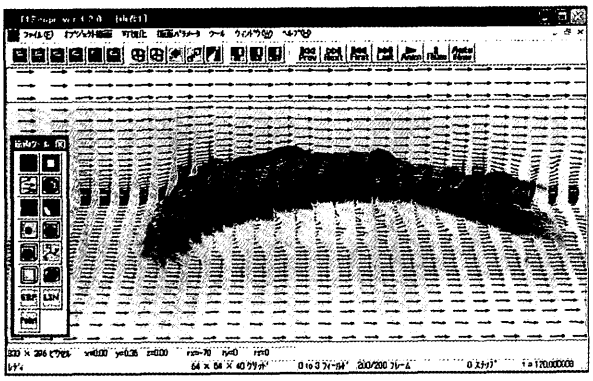
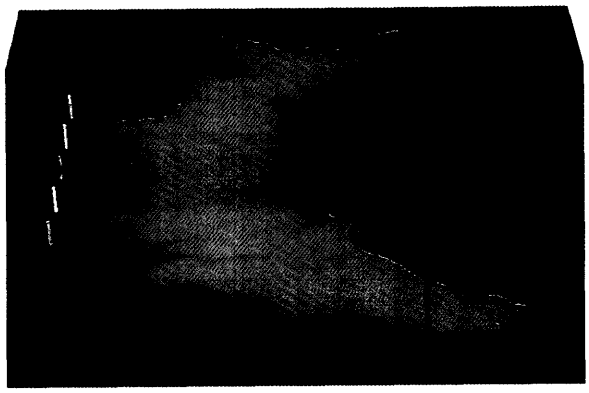


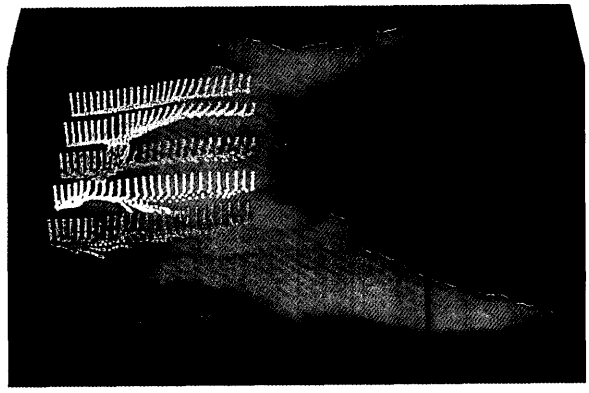
Fig.12 Window screen of the FLScope

ソルバーから出力される各節点上の変数の数は，風速3成分，圧力，温度，スカラー濃度，基本物理量から派生する渦度や圧力のラプラシアンなど5～7つ程度である．FLScopeは，計算メッシュ，速度ベクトル，等値線，カラーシェーディング，等値面，流線，パーティクルパス，ボリュームレンダリング，サーフィスパスレンダリングなど，流体計算における一般的な可視化手法は全て網羅されている．また，数多くの表示オプション(例えば，速度ベクトル表示における矢羽の開き角度の変更など)が用意されており，ユーザーの目的に応じてきめ細やかな可視化が可能である．前処理ソフトのFLElevgenと同様，マウスと簡単なキーボード操作により，画面表示を見ながら対話的に可視化することができ，ユーザーフレンドリーなGUI(Graphical User Interface)環境が整備されている．

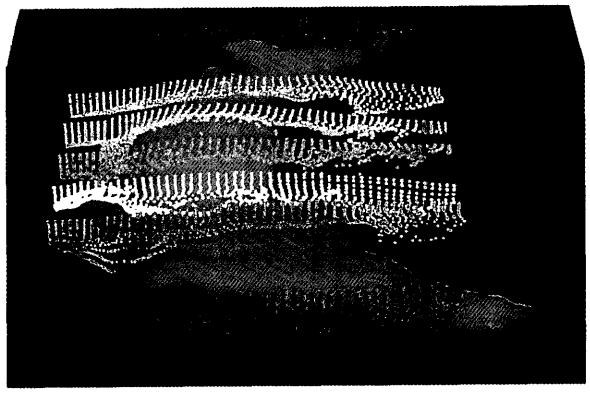
以下では，鹿児島県野間岬周辺の風況場を例にとり，FLScopeを用いた代表的な可視化例を紹介する．



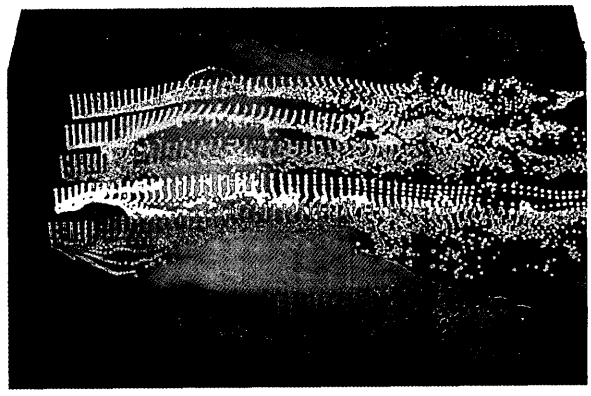
(a) t=t1



(b) t=t1+4.8 (non-dimensional time)

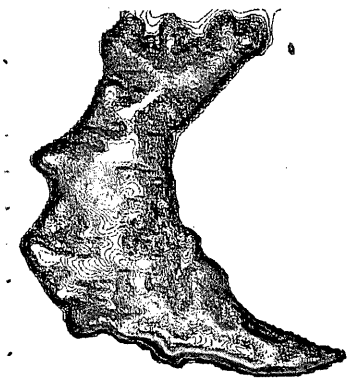


(c) t=t1+9.8 (non-dimensional time)

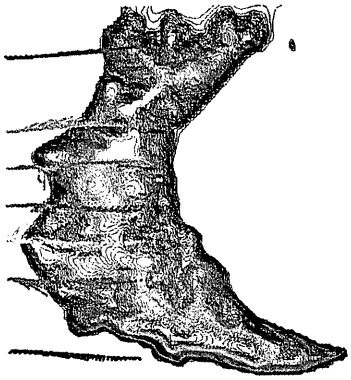


(d) t=t1+14.8 (non-dimensional time)

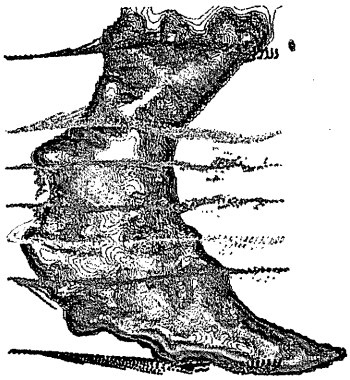
Fig.13 Bird's-eye view of the passive particles simulation



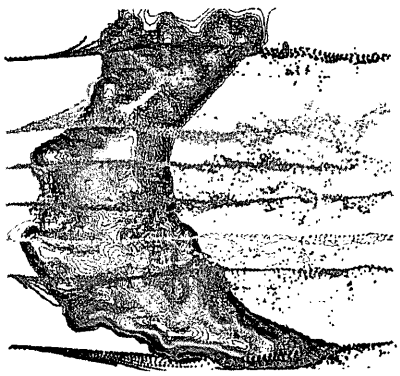
(a) t=t1



(b) t=t1+4.8 (non-dimensional time)



(c) t=t1+9.8 (non-dimensional time)



(d) t=t1+14.8 (non-dimensional time)

Fig.14 Top view of the passive particles simulation

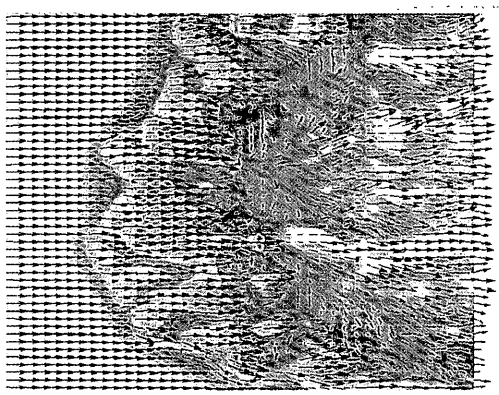


Fig.15 Top view of the velocity vectors and shading map of the streamwise velocity component

FLScopeの詳細な操作方法や，種々の流れ場の可視化例については，文献[10]を参照して頂きたい．

RIAM-COMPACTは，乱流モデルLESに基づいており，時々刻々と変化する非定常な風況場，あるいは，拡散場をシミュレーションすることが可能である．このような非定常な風況場は，図13，14に示すパッシブ粒子追跡法で視覚化するとその風況特性が容易に理解される[11]．図13，14では，流れの衝突，剥離，再付着，逆流などの風に対する地形効果が明確に再現されている．また同時に，風の道なども観察される．これらはアニメーションを作成して眺めることでさらに臨場感が増し，風況特性の把握に役立つものと考えられる．FLScopeでは，アニメーションの作成も容易に行うことができ，これらのファイルはプレゼンテーションの資料としても活用できる．図15には，地形近傍の速度ベクトルと，流れ方向の速度成分のカラーシェーディングを重ね合わせた例を示す．カラーシェーディングの赤い地域が周りに比べて局所的に風速が増加していることを意味し，一方，青い地域が周りに比べて局所的に風速が減速，あるいは，逆流していることを意味する．このように異なる物理量を重ね合わせて可視化することも，流動現象を理解する上では非常に重要である．FLScopeでは，このような可視化も極めて簡単に行うことができる．

4. 結 言

狭域の実地形を対象にした非定常風況・拡散シミュレータRIAM-COMPACTを用い，(有)流体物理研究所から販売されている，最新のスカラー型ハイパフォーマンスコンピュータ(インテルPentium4プロセッサを搭載したWindows PC)の演算性能を評価した．その結果，PCの単体性能はベクトル型計算機に迫る結果を示し，非定常風況・拡散シミュレータRIAM-COMPACTは十分に実用に耐え得ることが示された．また，ソフトウエアとしてのRIAM-COMPACTの操作性などを紹介した．

既に，流体テクノ有限会社，三井造船株式会社，石川島播磨重工業株式会社，三菱重工業株式会社，九州電力株式会社，西日本技術開発株式会社に対して，RIAM-COMPACTの一部提供，受託解析，ソフトウエア販売を実施している．

非定常風況・拡散シミュレータRIAM-COMPACTの予測精度や操作性の向上などを今後とも継続して行い，少しでも多くの方に利用して頂ければ幸いである．ハードウエアに関しても，現在，(有)流体物理研究所で高密度に設計されたSCore型PCクラスタが開発中である．近い将来，パーソナルな卓上スーパーコンピューティング環境が実現するものと確信している．また，建物群や市街地を対象にしたRIAM-COMPACTも既に完成しており，これについては別の機会に報告する予定である．

謝　辞

九大TLO（株式会社産学連携機構九州）の平田徳宏氏には，RIAM-COMPACTの実用化に関連して，多くの助言と協力を頂いた．(株)エッチ・アイ・ティーには，Linux PCの性能評価に関して，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：風況シミュレータRIAM-COMPACTによる拡散場シミュレーション―その1．不安定時の場合―，九州大学応用力学研究所所報，第126号，2004, pp.9-15
3) 内田孝紀，大屋裕二：風況シミュレータRIAM-COMPACTによる拡散場シミュレーション―その2．安定時の場合―，九州大学応用力学研究所所報，第126号，2004, pp.17-22
4) 村上周三，持田灯，加藤信介，木村敦子，局所風況予測システムLAWEPSの開発と検証，日本流体力学会誌“ながれ”，Vol.22，No.5，2003，pp.375-386
5) 石原孟，非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその実用化，日本流体力学会誌“ながれ”，Vol.22, No.5, 2003, pp.387-396
6) 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
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所報，第126号，2004，pp.1-8
8) 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, pp.19-30
9) 内田孝紀，大屋裕二：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，九州大学情報基盤センター広報，Vo.4，No.1，2004，pp.1-14
10) 内田孝紀：ブラフボディまわりの数値流体シミュレーションとその可視化―マイクロスケールからメソスケールまで―，九州大学情報基盤センター広報，Vol.3, No.2, 2003, pp.135-148
11) 内田孝紀，大屋裕二：パッシブ粒子法による三宅島火山ガス挙動の可視化，可視化情報学会論文集，Vol.23, No.7, 2003, pp.58-65