

JAERI - M

82-040

緊急時環境放射能予測計算コード
ARACのM200への変換

1982年5月

高橋 國夫*・茅野 政道・本間 俊充
石川 裕彦・甲斐 倫明・今井 和彦
浅井 清

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

緊急時環境放射能予測計算コード ARAC の M200 への変換

日本原子力研究所東海研究所計算センター

高橋 國夫*・茅野 政道⁺・本間 俊充⁺⁺・石川 裕彦⁺

甲斐 倫明⁺・今井 和彦⁺・浅井 清

(1982年3月30日受理)

ローレンス・リバーモア国立研究所の開発した ARAC システムの MATHEW, ADPIC, およびそれらの付属コードを, CDC 7600 計算機版から FACOM M-200 計算機版に変換した。MATHEW は観測データを用いて, 質量保存則を束縛条件として変分法により 3次元風速場を計算するコードである。ADPIC は大気中に放出されたガスや粒子の 3次元濃度分布を Particle-in-cell 法により計算するコードである。

本報告では① MATHEW/ADPIC およびそれらの付属コードの計算方法, ② JAERIPIC モデルとガウスプルームモデルによる計算結果の比較, ③ CDC 7600 から FACOM M-200 への変換手順の 3点について述べた。

+) 環境安全研究部
++) 安全解析部
*) 外来研究員, 富士通 (株)

Translation of ARAC Computer Codes

Kunio TAKAHASHI,^{*} Masamichi CHINO,⁺ Toshimitsu HONMA⁺⁺
Hirohiko ISHIKAWA,⁺ Michiaki KAI,⁺ Kazuhiko IMAI⁺ and
Kiyoshi ASAI

Computing Center, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received March 30, 1982)

In 1981 we have translated the famous MATHEW, ADPIC and their auxiliary computer codes for CDC 7600 computer version to FACOM M-200's. The codes consist of a part of the Atmospheric Release Advisory Capability (ARAC) system of Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL).

The MATHEW is a code for three-dimensional wind field analysis. Using observed data, it calculates the mass-consistent wind field of grid cells by a variational method. The ADPIC is a code for three-dimensional concentration prediction of gases and particulates released to the atmosphere. It calculates concentrations in grid cells by the particle-in-cell method.

They are written in LLLTRAN, i.e., LLNL Fortran language and are implemented on the CDC 7600 computers of LLNL.

In this report, i) the computational methods of the MATHEW/ADPIC and their auxiliary codes, ii) comparisons of the calculated results with our JAERI particle-in-cell, and gaussian plume models, iii) translation procedures from the CDC version to FACOM M-200's, are described.

Under the permission of LLNL G-Division, this report is published to keep the track of the translation procedures and to serve our JAERI researchers for comparisons and references of their works.

Keywords : Atmospheric Release, ARAC, MATHEW, ADPIC, Wind Field,
Concentration, Reactor Accident, Computational Methods,
Translation

+) Division of Environmental Safety Research, Tokai Research Establishment, JAERI

++) Division of Reactor Safety Evaluation, Tokai Research Establishment, JAERI

*) On leave from FUJITSU, Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. ARAC システムとそのコード	3
2.1 ARAC システムの概要	3
2.1.1 ARAC システム開発の背景	3
2.1.2 ARAC システムの計算コード	3
2.1.3 ARAC の計算機システム	6
2.1.4 ARAC の今後の方向	6
2.1.5 ARAC 的システム開発維持に要する期間、人員	10
2.2 MATHEW/ADPIC 関連コードの概要	13
2.2.1 TOPOG コード	13
2.2.2 MEDIC コード	13
2.2.3 MATHEW コード	19
2.2.4 ADPIC コード	22
2.2.5 PLCNT コード	29
2.2.6 MATEDIT コード	29
3. テスト結果	30
3.1 変換版とオリジナルの比較	30
3.1.1 テストランに用いた入力データ	30
3.1.2 テスト結果	30
3.2 原研作成PICコード (PLUM10) との比較	37
3.3 ガウス・プルームモデルとの比較	37
4. 使用方法	43
4.1 入力データの説明	43
4.1.1 TOPIN データ	43
4.1.2 WINDY データ	44
4.1.3 SITE データ	44
4.1.4 MINV データ	44
4.1.5 PICIN データ	47
4.1.6 CPLIN データ	47
4.2 ジョブ制御文	50
5. 変換調査及び変換	54
5.1 変換方針と手順	54
5.2 データ・フロー	54
5.3 LLLTRAN 言語の調査と使用言語	56

5.3.1	LLLTRAN言語	56
5.3.2	使用言語	57
5.4	ランダムアクセス入出力	57
5.5	ビットオペレーション	58
5.6	システムルーチンの整備	58
6.	あとがき	62
	謝辞	62
	参考文献	63
	付録	64
A.	MATHEW/ADPICと関連コードのデータ・フロー図	64
B.	LLLTRANとFORTRANの比較	68
C.	ARACコードの未定義ルーチン一覧表	72
D.	新/旧出力例の相異点	74
E.	入力データ例	75

Contents

1.	Introduction	1
2.	ARAC system and its computer codes	3
2.1	Outline of ARAC system	3
2.1.1	Background for development of ARAC system	3
2.1.2	Computer codes for ARAC system	3
2.1.3	Computer systems for ARAC	6
2.1.4	Future trends of ARAC system	6
2.1.5	Necessary man-months and period for development of ARAC-like system	10
2.2	MATHEW/ADPIC and their auxiliary codes	13
2.2.1	TOPOG code	13
2.2.2	MEDIC code	13
2.2.3	MATHEW code	19
2.2.4	ADPIC code	22
2.2.5	PLCNT code	29
2.2.6	MATEDIT code	29
3.	Results of our tests	30
3.1	Comparison of original and translated ADPIC versions	30
3.1.1	Input data for test run	30
3.1.2	Result of test	30
3.2	Comparison of ADPIC with JAERI PIC code PLUM10	37
3.3	Comparison of ADPIC with gaussian plume model	37
4.	Use of ARAC codes	43
4.1	Explanations on input data	43
4.1.1	TOPIN data	43
4.1.2	WINDY data	44
4.1.3	SITE data	44
4.1.4	MINV data	44
4.1.5	PICIN data	47
4.1.6	CPLIN data	47
4.2	Job control language	50
5.	Conversion	54
5.1	Conversion procedures	54
5.2	Flow of data	54

5.3	LLLTRAN language and Fortran 77	56
5.3.1	LLLTRAN language	56
5.3.2	Fortran 77 language as a replacement of LLLTRAN	57
5.4	Random access input/output operations	57
5.5	Bit manipulations	58
5.6	LLLTRAN system library routines	58
6.	Afterword	62
Acknowledgement		62
References		63
Appendix		
A.	Data flow of MATHEW/ADPIC and their auxiliary codes	64
B.	Comparison of LLLTRAN and Fortran languages	68
C.	List of LLLTRAN system library routines	72
D.	Differences between sample outputs of old and new LLNL versions .	74
E.	Example of input data	75

1. はじめに

原研の環境放射能研究委員会の中の緊急時モニタリング・予測専門部会で検討された緊急時関連の研究5カ年計画の主要項目の一つに緊急時濃度・線量予測システムの開発がある¹⁾。

これは原子炉事故時など施設周辺環境に放射性物質が放出される緊急時に、放出源に関する情報と気象条件など環境の情報とに基づき放出放射性核種の空間濃度分布とそれによる被曝線量分布とを迅速に計算予測して防災対策に役立てるという目的で計算モデルを開発し必要データ等を整備してシステム化を行うものである。

研究は原研および気象研究所において分担して進められているが、それに先立ち昭和56年1月～2月に諸外国の開発状況の調査を行った。そのさい米国においてすでに実用化されているARAC (Atmospheric Release Advisory Capability) システムを重点的に調査し、これを開発し運営しているLLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) のスタッフと議論した。その結果参考資料としてLLNLからARACシステムの計算コード一式を収めた磁気テープを入手することができた。

この種の計算システムの開発には、周辺のソフトウェアの開発整備の時間と労力は中心となる物理モデルの開発に比して多大なものであり、かつ研究上のオリジナリティを競うほどもない技術の集積ではあるが極めて重要な部分を占める。

これらソフトウェアの開発整備の参考とするため、また実際のシステムを運用する上での問題点を具体的に知るため、入手したARACコードシステムを原研の大型計算機FACOM-M 200用に変換することを計画し提供元のLLNL側の了解を得た。ARACシステムに用いられている主要な計算モデルはすでに大気拡散実験等により実用性が実証されており^{2), 3)} またシステム自体の実用性はTMI-2事故時の濃度分布計算などで実証されている。今後原研および気象研が開発整備する物理モデルとその計算コードの検証用の比較コードシステムを予じめ得ておこうという意図もこれを変換する目的の一つである。

変換作業を進めるに当り、モデルやシステムの勉強も兼ねて所内にワーキング・グループを作った。打合せを重ねつつ作業を進め、また疑問点の問合せや試算用の入力データ送付依頼などLLNL側との連絡も行い、テスト計算の結果の検討を行なった。

以下はその成果としての解説と報告である。

分 担

高 橋	2.2.1	TOPOGコード	2.2.5	PLCNTコード
	2.2.6	MATEDITコード		
	3.1	変換版とオリジナルの比較		
	4.	使用方法	5.	変換調査及び変換
茅 野	2.2.4	ADPICコード		
	3.2	原研作成PICコード (PLUM10) との比較		

本 間	2.2.2	MEDICコード
	3.3	ガウス・ブルームモデルとの比較
石 川	2.2.3	MATHEWコード
浅 井	2.1	ARACシステムの概要
甲 斐		全体編集
今 井		監修と前書き

2. ARACシステムとそのコード

2.1 ARACシステムの概要

2.1.1 ARACシステム開発の背景

米国エネルギー省（DOE）の前身である米国原子力委員会（AEC）はその傘下の原子力施設の安全管理に当って、

- (1) 事故の結果が施設作業員と公衆の健康におよぼす影響の程度、より詳しく言えば、特定の環境と気象条件のもとで放出有害物質が拡散する速さと範囲、
- (2) 緊急時に適切な判断を下すために必要な情報の予測、
- (3) 環境への影響を最小にする平常時の有毒物質放出の方法

などを知る必要に迫られていた。

したがって大気中へ放出された放射性物質の輸送と拡散を実時間で推定する機能（capability）を開発すれば、事故時の対応が相当に改善でき、またその機能が各種の放射線測定システムと一体化されたなら、緊急時要員がおこなう放出結果の実時間評価を支援することができるだろうと考えられた。この考えがローレンス・リバモア国立研究所（LLNL）のARAC（Atmospheric Release Advisory Capability）として実現され始めたのが1972年頃であった。^{4), 5)}

ARACは、いくつかの物理的計算モデルを実現した計算コード群、それらを計算するための計算機、計算コードへの入力となる気象、地形データファイル、気象データ収集のためのミニコンとネットワーク、計算制御および結果表示の各種ソフトウェア、入力および計算結果評価のための専門家から成るシステムである。

このARACシステムを開発維持しているのは、LLNLの大気地球科学部（Atmospheric and Geophysical Sciences Division, 通称G-Division）である。G-Divisionには約40名の研究者が所属し、研究テーマによって5グループに分れている。このうちのM. H. Dickerson博士のひきいる地域評価（Regional Assessment）グループが主として現在のARACシステムの計算モデルの開発改良に当り、気象データ収集、通信、制御、図形表示などの計算機ソフトウェアの開発維持は、LLNL計算機科学部から借り出した1名の技術者（フルタイム）と数名のプログラマ（パートタイム）がおこなっている。

2.1.2 ARACシステムの計算コード

計算要請があったときはFig. 2.1のように計算モデルの使い分けがされている。図中の単純、中間、複雑モデルの分類はFig. 2.2のようになる。これらの物理モデルの計算目的は以下のとおりである。⁵⁾

CPS

連続点源放出ガウス型拡散・沈着モデルで迅速計算用、沈着速度、吹き上げ高さ、崩壊、洗浄等を考慮している。

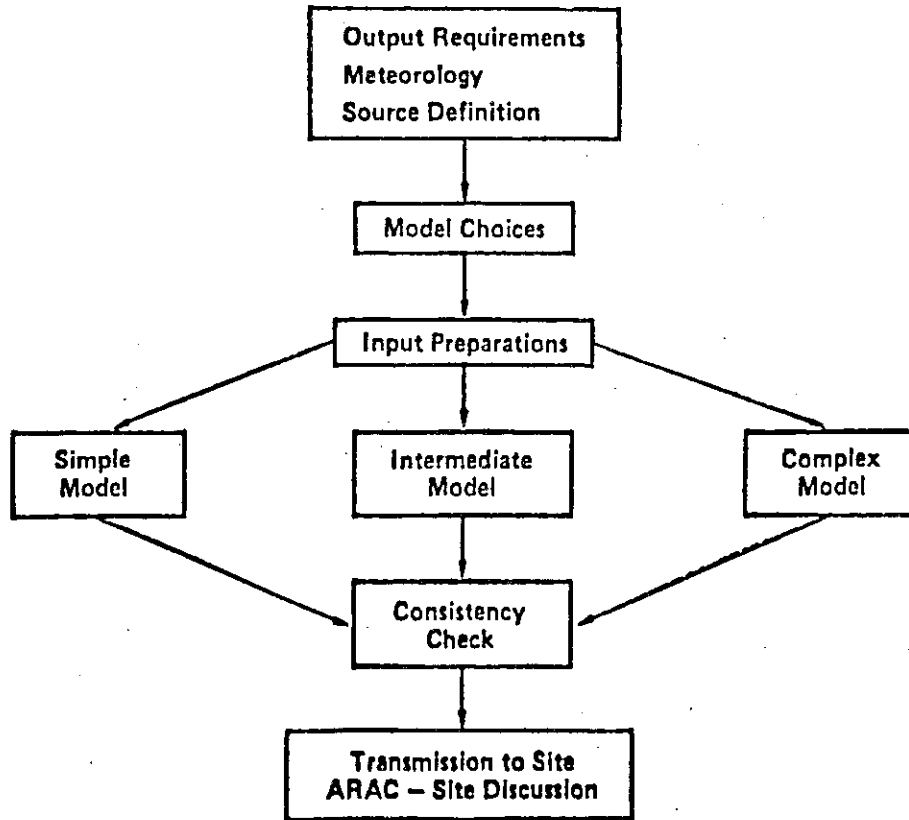


Fig. 2.1 Flow chart of calculation

	Long Range High Altitude	Short Range High Altitude	Long Range Low Altitude	Short Range Low Altitude
Simple	2BPUFF, GDEP	PUFFALL	2BPUFF	CPS, IPS, KDFOC2 2BPUFF
Intermediate	Long Range PATRIC	PATRIC	Long Range PATRIC	PATRIC
Complex				MATHEW/ADPIC

Fig. 2.2 Calculation models

IPS

瞬時点源放出ガウス型拡散・沈着モデルで迅速計算用機能はCPSに類似している。

MATHEW / ADPIC

この2つのモデルでガス状および粒子状物質の輸送，拡散，沈着を100 km までの範囲で3次元で計算する。

MATHEWは風速場計算モデルで，質量保存則と変分法を使い，観測値と計算値の差が極小になるように3次元の風速場を計算する。下側境界はサイトに固有な地形の特徴を考慮することができる。

ADPICはセル内粒子法により不活性放射性大気汚染物質の3次元時間依存拡散を計算するモデルで，成層シャール，静穏時，標高，乾燥・降水沈着を考慮することができる。

PATRIC

PATRICは200 km までの輸送・拡散を3次元のセル内粒子法によって迅速計算するモデルである。年間線量評価および事故時の迅速計算に使用する，このモデルは，拡散係数は格子に無関係とし，また標高，鉛直風速を考慮していないために，実時間の1000倍の速さで計算できる。

2BPUFF

2次元軸対称ラグランジュ型モデルで，粒子あるいはガス雲の中心と一緒に動く基準座標での非等方拡散を計算するモデルである。地表面はオイラー型格子を使い，放射性雲の位置と通過中の空気濃度決定のための基準枠がわかる。このモデルは数1000 kmの長距離の線量評価に使用する。

GDEP

成層圏で点源から放出された粒子状物質の地球規模の沈着を計算するために使用する。このモデルは1958～1960年初頭の空中核爆発テストによる地表面粒子状物質の測定に基づいている。

KDFOC 2

核爆発による放射性降下物を推定する計算モデルで，入力として注入量，核種組成，鉛直プロフィールを与える。汚染雲形状と粒子サイズを計算し，全身被曝線量等値線を出力する。

PUFFALL

与えられた高度で放出された粒子の地表における大きさと密度を計算する。KDFOC 2とは異なり，個々の粒子の地表面の位置を計算する。これら計算モデルの計算時間はTable 2.1のとおりである。

緊急時の濃度分布予測計算だけに限ってみると，これら計算モデルのうち複雑モデルのMATHEWとADPICがよく使用されている。その計算の流れを示すFig. 2.3のコード群のうちMATHEW，ADPIC以外は，この2つのコードを使用するための補助コードである。

2.1.3 ARACの計算機システム

ARACで使用されている計算機システムをFig. 2.4に示す。図からわかるとおりARACシステムでは4台の計算機が使用されている。このうち図中に陽に示されている3台のミニコンは、G-Divisionの管理する建家のなかに設置されている。それらミニコンの用途は図に示されているとおり、データ収集、処理、表示が主であって、計算コードのためではない。ARACシステムで使用されている計算コードの大部分はLLNL計算機部が管理する大型計算機CDC 7600で実行される。このCDC 7600は前記ARACのミニコンとは結合されていない。その理由は大型計算機側の機密保護のためである。Fig. 2.5に見られるようにARACミニコンにはLLNL 研以外の外部施設の端末機器が接続されている。ARACミニコンを大型計算機に接続すると、大型計算機の管理する情報が、このミニコンを介して外部施設に流れる潜在的な可能性が考えられる。したがってARACの計算コードを使用するときは、その計算コードが必要とするデータ（主として気象データ）をARAC ミニコンから大型機に移しておかねばならない。これはフロッピー・ディスクに入れた収集データを大型計算機のフロッピー・ディスク付の端末に読ませることで行われている。いずれにしても、この手作業に20～30分の時間は必要である。ARACシステムに関係している人々に取っては、これは緊急時においても、通常の研究においても、かなりの障害となっているものと推測される。Fig. 2.4のミニコンを含む各種機器はARAC システムの構築が始まった1973年頃は新鋭であったが、現在は古くなっており、したがってそこに盛りこまれたARACの各種ソフトウェアも古くなってきている。そこでG-Division は現在最新鋭のミニコン（図中破線のPDP 11/780, VAX 一語長32ビット、記憶容量百万バイト）を購入し、これにARACミニコン群のソフトウェアを移すことを計画している（1981年2月には設置されたばかりで、未だ動いていなかった）。ARACシステムの責任者Dr. Dickersonの話では、彼の希望としてはMATHEWやADPICなどの複雑な計算コードも、この巨大ミニコンで使えるようにしたいようである。そうするためには、筆者の予想では、風速場計算コードMATHEWではよく使われている地域メッシュ数 $X_m \times Y_m \times Z_n = 50 \times 50 \times 15$ を少なくとも10分の1程度にしなければならず、濃度計算コードADPICでは、同じく2万5千個の発生粒子数を10分の1程度に押えなければ、計算時間10分程度で結果を得ることはできないであろう。このようにしても、なおかつ精度を維持できるかどうかについては、実験の繰返しによる検証が必要であり、いますこしLLNLを中心としておこなわれている実験計画に注意しておく必要がある。これら複雑コードはサイト周辺10～100 kmの範囲をカバーすることを目的としているので、これを10～40 kmの範囲内に限定適用すれば、ガウス・プルーム・モデルよりは精度の良い濃度予測を、サイトに設置された巨大ミニコンで出来る可能性がある。

2.1.4 ARACの今後の方向

(1) 運用

ARAC システムの将来の方向は二段階で考えられている。第1段階として1983年までにサービスの対象を現在の5サイト（Fig. 2.5）から100サイトまで拡大する。第2段階ではシステムを再設計し運用は私企業あるいは公的機関と契約する。これは1985年頃を予定している。現在のシステムは12名の人員が関係しており、その内訳は研究者5名、技術者（プログラマ）5名、

Table 2.1 Code accuracy - individual release.

Computer code	Computer type	Running time of calculation (min/hr)	Accuracy statement
CPS	CDC 7600 (simplified form also on site terminal)	1	Within a factor of 10 for flat terrain, steady meteorology, and plume centerline.
IPS	CDC 7600	1	Insufficient data.
MATHEW	CDC 7600	2-3	No independent tests; resulting winds look reasonable.
PATRIC	CDC 7600	0.05	Same as ADPIC for flat terrain. No independent tests.
ADPIC	CDC 7600	1-2	Within a factor of 10 anywhere on the ADPIC grid; within a factor of 3 in the main part of the concentration area.
2BPUFF	CDC 7600	0.02	Within a factor of 3 in cloud center.
KDFOC2	CDC 7600	0.01	Within a factor of 3 for gamma dose along fallout centerline.
PUFFALL	CDC 7600	0.001	Similar to KDFOC2.
GDEP	CDC 7600	0.000001	Within a factor of 2 for annual deposition.

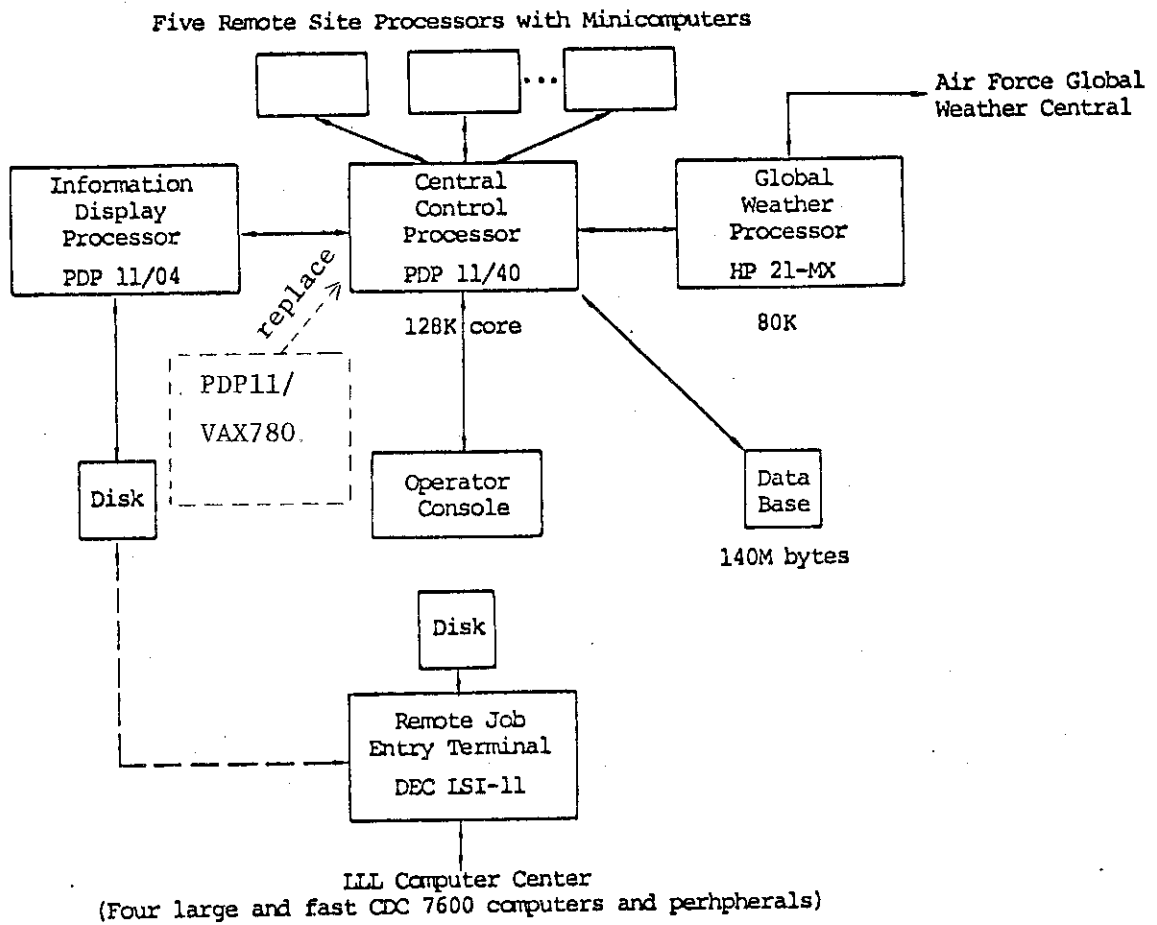


Fig. 2.4 ARAC network configuration

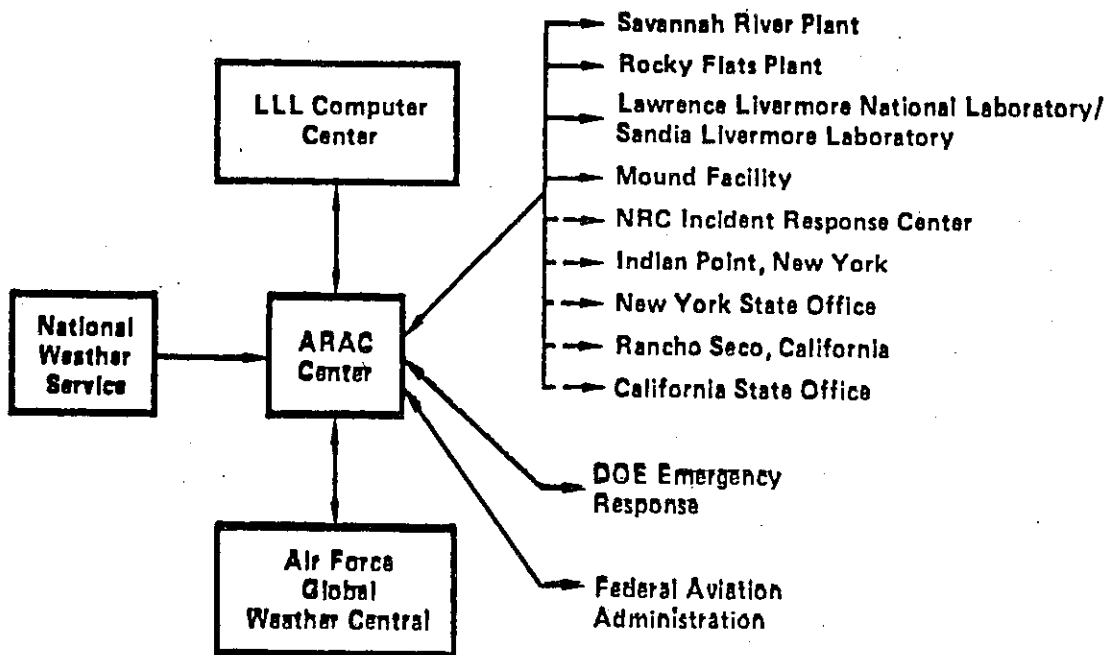


Fig. 2.5 ARAC network

操作員 2 名である。プログラマは計算機部から借り出してきた人員で、ARAC システムのためにフル・タイムで働いているようには見えなかった。1981 年現在の年間予算は 120 万ドルである。

(2) 計算コード

まず考えられるのは現在の延長として前述の巨大ミニコン用複雑モデルが出現する可能性があるということである。そうなるば原子力サイトに設置した巨大ミニコンで、平常時、緊急時拡散をガウス・プルーム・モデルよりは精度よく予測できるかもしれない。第 2 には新しいモデルの出現の可能性である。エネルギー省のプロジェクトとして全米の 10 以上の機関が参加し、1978 年から複雑地形における気象の研究 (ASCOT, Atmospheric Studies in Complex Terrain) がおこなわれており、10～50 km の狭い地域を対象として観測実験、計算モデルの開発、改良、検証などが継続的になされている。この研究の結果が新しい風速場、濃度予測計算モデルとして出現することも考えられる。ARAC システムの基礎が固まった頃の紹介論文において、Dr. Diekerson は線量評価計算コードも組込む予定として、他の研究所で開発したコードをいくつか挙げていた。しかし 1981 年現在では線量評価コードは ARAC システムに入っていない。今後の見通しについての質問にもはっきりした回答は得られなかった。第 3 には現在のコードが改良されて、適用範囲が拡大され、また精度が上がる事が考えられる。改良は頻繁におこなわれているようである。

(3) データ収集、計算結果表示等ユーティリティ・ソフトウェア

この部分の開発を担当した技術者の意見では、現在の ARAC ユーティリティ・ソフトウェアは急場の間に合せに作ったもので最近の進歩した技術に合わなくなりつつある。巨大ミニコンにソフトウェアを移植する際に、地図表示などのソフトウェアは商用のものに置き換えることも考えられているようだった。地域データベースは米国地理サービス (USGS) のメッシュ・データを使用している。

2.1.5 ARAC 的システム開発維持に要する期間、人員

ARAC システムの最初の応答時間は約 40 分である。これは、(i) ARAC の責任者が事故の通知を受け、(ii) 計算モデルに必要な気象、地域データを ARAC ミニコンのファイルから取り出し、(iii) それらデータをつけて計算コードを大型計算機の最優先ジョブとして投入するまでの時間である。MATHEW, ADPIC などの複雑モデルの計算結果を得るまでには、さらに 20 分程度の時間が必要である。ARAC システムのミニコンは、第 1 シフトは有人、第 2, 3 シフトは無人で 24 時間運転されている。これは緊急時に備えて常時気象データを収集しておくためと、ARAC システムに接続されている各施設の端末に、サイト周辺迅速濃度計算をサービスするためである。米国ではルーチンに予測計算をサービスしているところは、どこもこの種の機能を持つミニコンを 24 時間無人で運転している。このようにしても、予想されない地点での事故は大変で、気象、地形データを入手して利用可能となるまでにかかなりの時間が経過する。1979 年 3 月 28 日に発生したスリー・マイル島 (TMI) の原発事故は、ARAC システムにとっては予期せぬ地点であったようだ。このときの ARAC システムの計算結果は、(i) 地表、および空中測定をおこなうための測定機器の効果的な配置、(ii) 現場付近上空を通過する航空機の旅客と乗務員の潜在的放射線被曝か

らの防護、に貴重な指針になったと報告されている。

ARACシステムを使用したTMI事故の詳細解析は1979年7月～8月におこなわれた。その解析に15名の人員が5.5人月と、CDC 7600 演算装置時間24時間を費し、データの準備と計算機の入力、出力のチェックにかなりの人手がかかっている。計算には1シフトで3.5週間要した。ARACシステムでは濃度計算のみをおこない、その結果をもとにオークリッジ国立研究所で線量評価がおこなわれた。このTMI事故を含め、ARACシステムは1974年から1980年までに30件以上の事故、実験の予測、評価に参加している⁶⁾。

ARACシステム設計、構築、維持、実用化の過程を時間の経過と共に追ってみるとARAC的システムの開発維持に要する人員、期間がある程度予想することができる。予測計算システムとしてARACを見るとFig.2.6のように図示できる。矩形で仕切られた各部分のソフトウェアを開発・検証するのに簡単なもので2～3年、複雑なもので5～6年かかっている。人員は研究者5～6名、技術者5～6名である。

ARAC 的システムとは、通信ネットワークによるデータ収集、大規模気象、地域データベース、各種サービス・ユーティリティ等を基盤とする計算コード群、それらを動かす計算機とその操作員、そして前述のTMI事故の例からも容易に想像されるとおり、計算コードを開発、改良、検証評価する研究グループなどが一体となって動くものである。ARACシステムといえばMATHEW、ADPICの計算コードが有名であるが、それらのコードが有効に動く背景には以上のようなものがある。緊急時においては、これらの計算コードの重要性もさることながら、人、計算機、通信ネットワークが一体となって常時なめらかに動くことが大切で、この点についてはARACシステムはこれまでに多くの実験と本番を経験している。

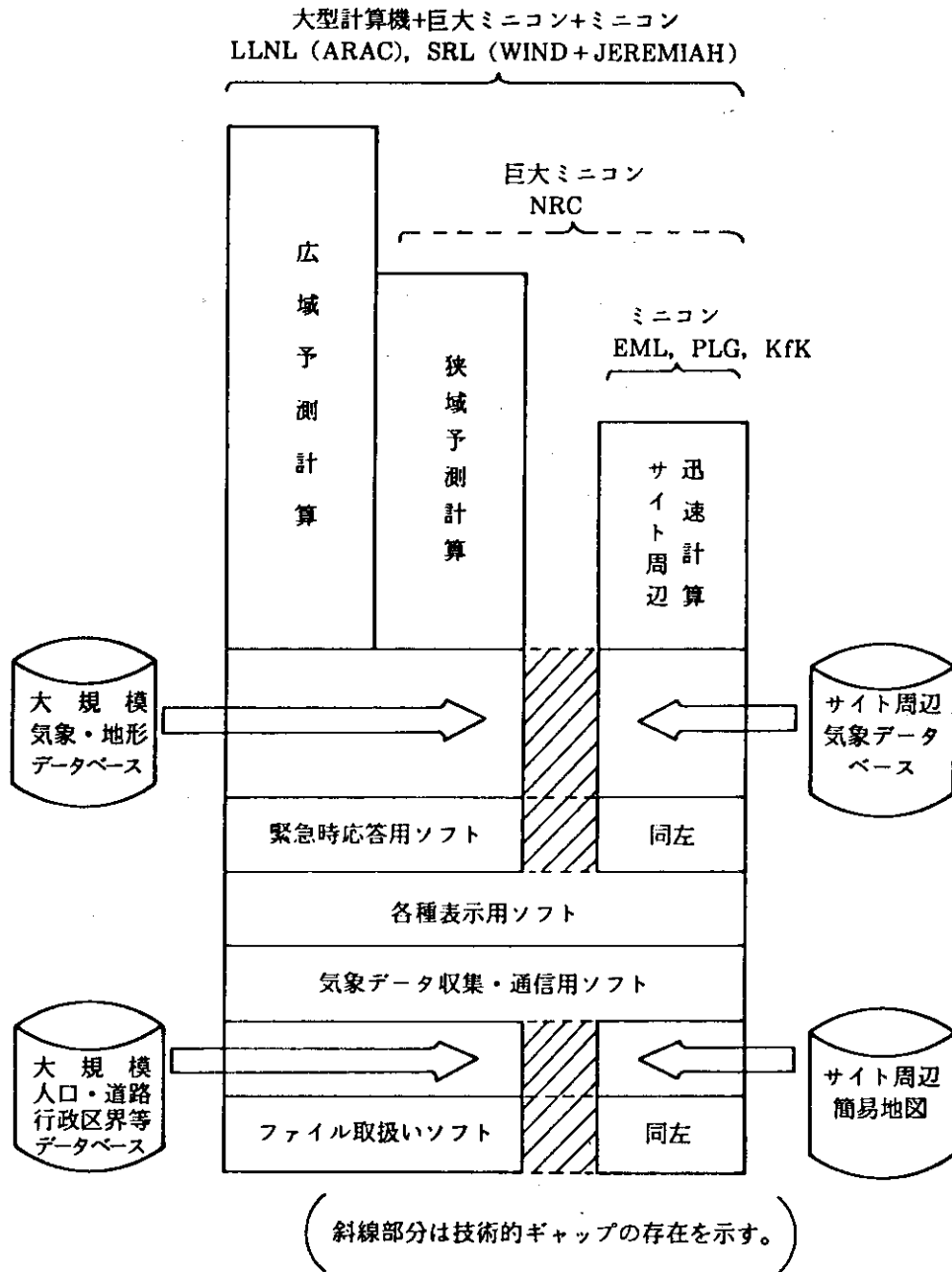


Fig. 2.6 Computer scale and its technical gap

2.2 MATHEW ADPIC 関連コードの概要

ここではARACシステムの計算コードのうち、今回FACOM M200 計算機に変換したMATHEW/ADPIC 関連コードについて説明する。これらのコードは6本のコードから成り立っており、地形情報の設定、観測風速データの処理、風速場の計算、濃度計算及びそれらの出力編集等を行なう。

2.2.1 TOPOG コード

TOPOG コードはARAC コードで環境予測計算を行なう時の地域の範囲、その標高及び地形パラメータを設定するために開発されたコードである。本コードで設定されるグリッドは、マスターグリッド、MATHEWグリッド及びADPICグリッドの3つである。マスターグリッドとは、計算すべき領域を完全に含んだ広範囲の基本地形データである。以下にTOPOGコードの計算手順を述べる。

TOPOG コードの計算概略流れ図をFig. 2.7 に示す。本コードはUTM (Universal Transverse Mercator) 地形データをTOPOファイルより読み込みマスターグリッドを作成し、各グリッドパラメータをTOPINデータより入力する。TOPINデータよりADPICグリッドとMATHEWグリッドの各原点、及びグリッドのセルサイズをNAMELIST文で読み込む。この時MATHEWグリッド原点を入力しなければ、本コードがADPICの計算領域をMATHEWグリッドのほぼ中央に配置するように、その原点を決定する。MATHEWグリッドとADPICグリッドの3次元メッシュ軸は一致しており、又 x 、 y 方向（水平面）のセルサイズは、マスターグリッドのセルサイズの整数倍でなくてはならない。この3種類のグリッドの関係をTable 2.2 に示す。

MATHEWグリッドの標高データは、 2×2 グリッドセルに含まれるマスターグリッドの標高値を平均して求めている。また、地表を含む z 方向セル番号はMATHEWグリッド内の最低標高位置を1として設定している。ADPICグリッドの標高、及び地表を含む z 方向セル番号は、MATHEWグリッドに対応するセルデータをコピーして用いる。

更に、MATHEWコードで風速場を計算する時に使用するセル記述子を求める。このセル記述子はMATHEWグリッドセルの属性（地中、地表、大気中及び境界）を示す3桁の整数値で、 x 、 y 、 z 方向の属性をそれぞれ100位、10位、1位で表現しており、この3桁の各位は1から8までの値を用いている。

TOPOGコードで求めたMATHEW/ADPICグリッド情報はGRIDINファイルに出力され、MEDICコード、MATHEWコード、ADPICコードで参照される。

2.2.2 MEDIC コード

MEDICコードは後述する3次元風速場計算コードMATHEWに先行し、対象とする地域の上層大気観測所及び地上観測所の気象データを入力して、同時に入力される大気の構造に関する様々なパラメータを用いて2種類の2次元風速場を計算するコードである。その1つは基準高度に於ける風速場で、他はMATHEWコードで対象とする領域の最上端の風速場である。

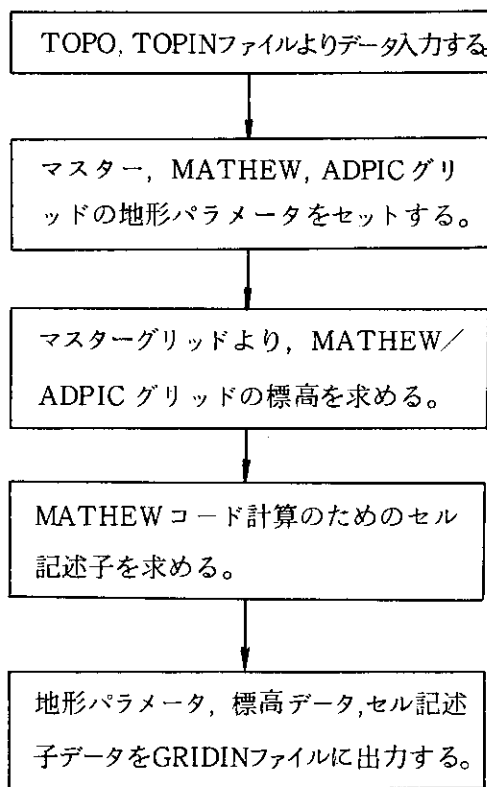


Fig. 2.7 TOPOG codes flow chart

Table 2.2 Grids used by ARAC codes.

グリッド種類	x, y, z 方向格子点数	セルサイズ
マスターグリッド	最大 480 × 480	$\Delta x_T, \Delta y_T$ (km)
MATHEWグリッド	51 × 51 × 15	} $\Delta x = \Delta x_T \cdot n, \Delta y = \Delta y_T \cdot n$ (km) } Δz (m)
ADPIC グリッド	41 × 41 × 15	

(注意) n は正整数

(1) 入力ファイル

MEDICコードにはSite File とWINDYの2つの入力ファイルがある。Site File は地上及び上層の気象観測所の名称と位置，それに地上観測所の場合，測定高度を指定するファイルである。WINDYではSite File で定めた観測所の気象データを入力し，さらに大気境界層の鉛直構造を決める多くのパラメータを入力する。以下にそれらのうち重要なものについて詳述する。

SRH = 地面粗度 - m

これはかなり主観的なパラメータなので，Fig. 2.8の「大気境界層のモデル化」のグラフに一般的な値を与えておく。

PWRSL = 接地層に対するベキ乗則の指数

この値は，風の鉛直プロファイルと地面粗度（SRH）によって定められる。そして，

(i) 風速を測定高度からREF（後述）まで外挿

(ii) 風速をSRHから接地層上端（TOPSL）まで外挿

を行うために用いられる。

PWRSLは地面粗度と大気安定度がわかれば，Fig. 2.8のグラフを用いて定められる。

例. 10m樹木，安定大気状態

$$h_0 = 10\text{m}$$

$$Z_0 = .15 (10 = 1.5)$$

$$P = .34 \text{ で安定}$$

安定度による修正を考慮して， $.34 + .1 = \text{PWRSL} = .44$ として，以下のように用いる。

$$U_z = U_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^P$$

$$P = \text{PWRSL}$$

$$U_z = \text{接地層中の高さ } Z \text{ に於ける風速}$$

$$U_0 = \text{SRH に於ける風速}$$

$$Z_0 = \text{SRH}$$

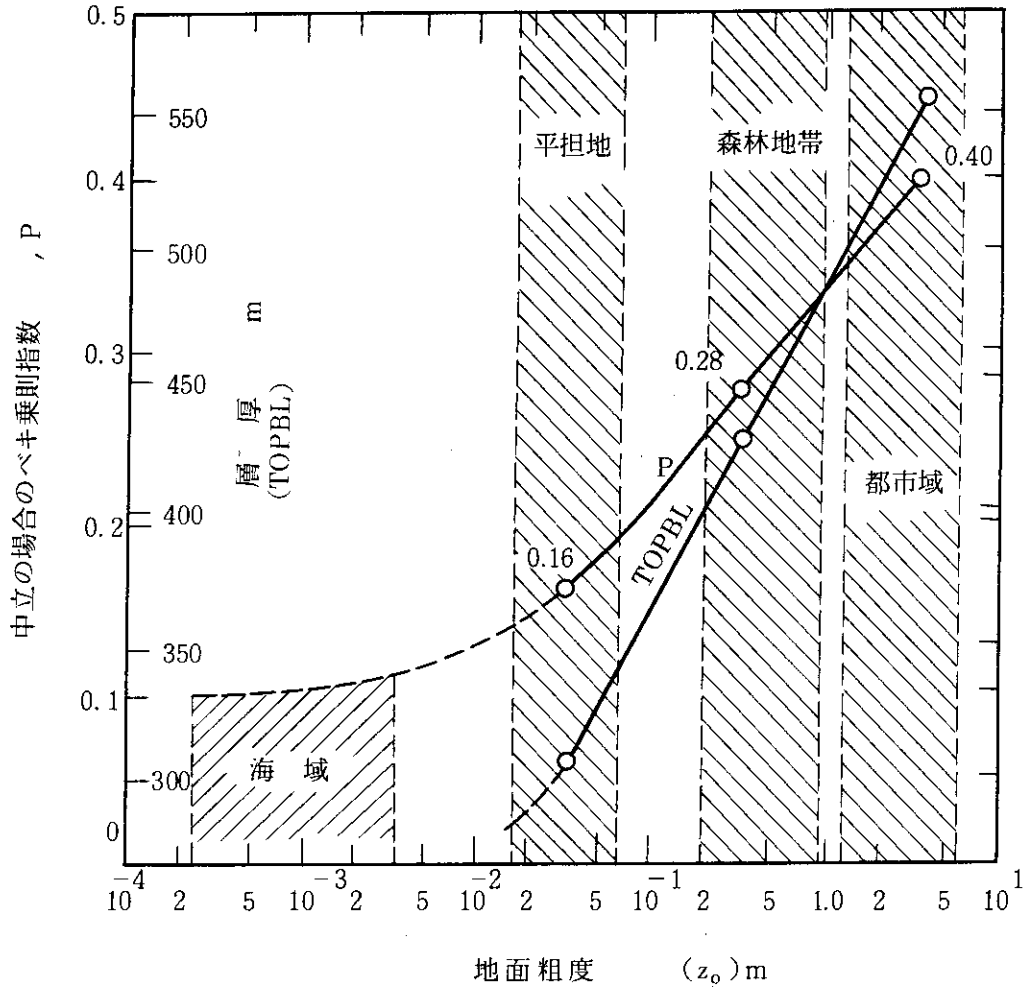
PWRBL = 境界層に対するベキ乗則の指数

この成分は境界層中の風速を内挿するために使われるもので，接地層上端（TOPSL）と境界層上端（TOPBL）の間で適用される。普通，情報不足のためPWRBLをPWRSLと等しくするが，情報が入れば以下の式を用いる。

$$U_z = U_0 + (U_T - U_0) \left(\frac{Z - Z_0}{Z_T - Z_0} \right)^P$$

$$U_z = \text{高さ } Z \text{ の風速}$$

$$U_0 = \text{接地層上端の風速}$$



地面粗度及び地表面の状態の関数としてのベキ乗則指数と境界層の高さ。

Pに対する安定度による補正

安定 : +0.1

中立 : 補正なし

不安定 : -0.1

h_0 = 最も突出した地表面の平均高さ (建物, 樹木, 草地, 等)

z_0 = 地面粗度 - m

$z_0 = .15 h_0$

TOPBL は z_0 の関数

TOPSL $\approx .1$ TOPBL

ベキ乗則指数は z_0 の関数

PWRSL は適当な z_0 を用いグラフから求め必要なら安定度による補正をほどこす。

PWRBL は他に評価する方法がなければ一般に PWRSL と同じ値を用いる。

Fig. 2.8 Modelling atmospheric boundary layer

U_T = 境界層上端の風速
 Z_0 = 接地層の高さ (TOPBL + 標高)
 Z_T = 境界層の高さ (TOPBL + 標高)
 P = PWRBL

REF = 地上観測値の内挿基準高度 (地表から) - m

MATHEW格子点 (ΔZ) に内挿するために、地上風の観測値を接地層に対するベキ乗則によって調整を行う基準高度。普通、対象地域に於ける地上観測所の標準的な測器の高さをこの値とする。

TOPBL = 境界層の高さ - m

境界層上端とは、風速と風向が高さにかかわらず一定となる所で、ここでは地衡風を仮定する。

TOPBLの決定には近傍の上層大気観測所のデータが最良の情報源となる。観測所がない場合は、Fig. 2.8のグラフを用いて決めればよい。TOPBLは地面粗度 (Z_0) と大気安定度の関数で、グラフは中立の場合を示しており、一般には不安定でより高く、安定で低くなる。

TOPBLあるいはTOPSLの入力が-1の場合、最初のUPR (後述) で与える鉛直プロフィールを用いて基準高度 (REF) から格子層上端までの風を内挿する。さらに基準高度とTOPBLの風の違いを考慮してこのプロフィールに修正を加える。

TOPSL = 接地層の高さ - m

接地境界層は大気境界層内で運動量、熱及びエネルギー流束が一定の部分として定められる。およそ大気境界層の10%がこの部分で、高さと共に風が変化し始める所がTOPSLである。

TOPML = 混合層の高さ - m

混合層の高さは混濁した大気とその上部の汚れない大気の境界位置になる。普通300 mから3000 mの範囲にあり、基本的には温度の逆転が起こる高さとする。TOPMLは近傍の上層大気測定から定め、MATHEWでは鉛直方向の大気の運動を制限するために用いる。

ZMOLI = Monin-Obukhovの長さの逆数。Monin-Obukhovの長さは普通Lで示され、力学的な乱れと熱的な乱れが同等に重要である部分の地表からの高さとなる。WINDYの入力としては、 $\pm 1/L$ の形で入り地面粗度 Z_0 と大気安定度を決めてFig. 2.9のグラフの値から入力を行う。

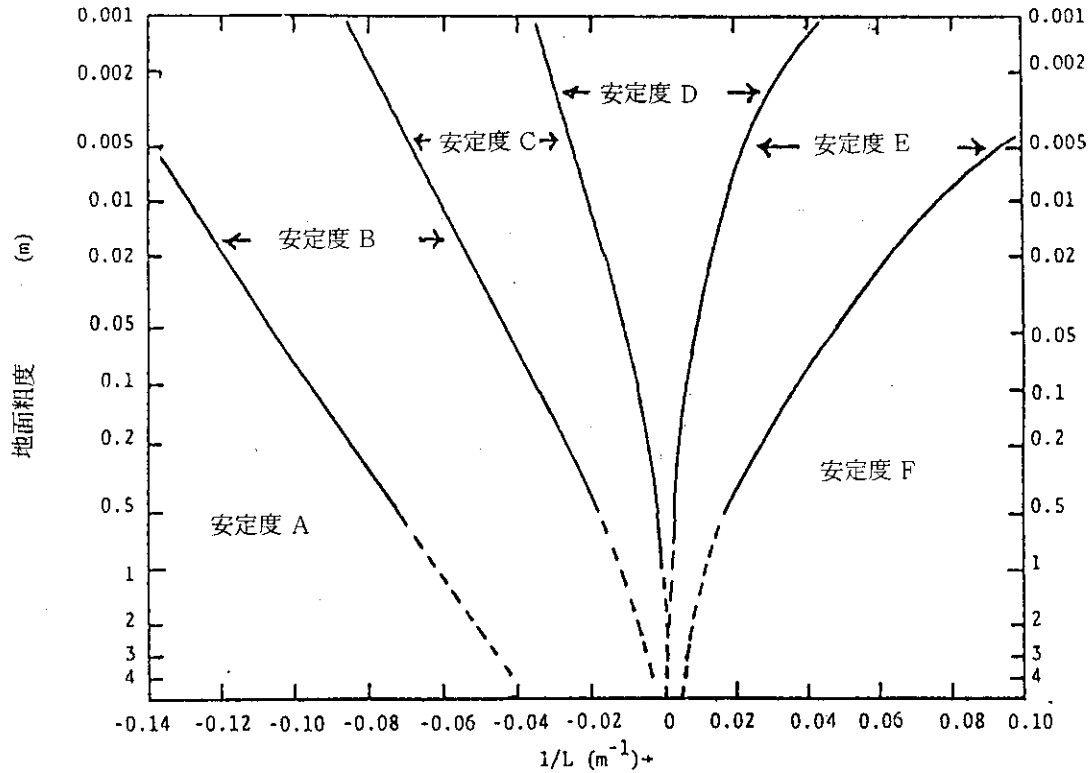


Fig. 2.9 Relationship between Monin-Obukhov length and surface roughness height according to Pasquill stability categories

ISTAB = 垂直拡散に対しては、Pasquill-Gifford の安定度分類、 σ_θ (後述) が入力されない時は水平拡散に関しても同様。

UPR = 3 H _____ 鉛直プロファイル観測所名
 観測高度 - m
 風 向 - 度
 風 速 - m/sec
 σ_θ - 度

ここで σ_θ は水平方向の風向変動の標準偏差の観測値であり、安定度及び拡散パラメータを決める際に用いる。観測値がなければ-1を入力し、ISTABで水平方向の拡散パラメータを決める。

SFC = 3 H _____ 地上観測所名
 風 向 - 度
 風 速 - m/sec

(2) 計算方法

基準高度の風を計算する場合、全ての地上観測所の風の観測値が用いられる。各観測所に対して風速はPWRSLを指数としてベキ乗則を用いて基準高度REFの位置での値に調整する。すな

わち、

$$S_{ref} = S_n (REF/Z_n)^{PWRSL}$$

ここで S_{ref} は基準高度で調整された風速で、 S_n は観測所に於ける観測値を示し、 Z_n は地上観測所の観測高度である。風向については観測された風向を基準高度に於いても変化させずに用いる。調整されたデータは東西南北に軸をもつ2次元の直交座標上の全ての格子点に外挿される。格子点の値はその格子点に最も近い3点の観測所の観測値に格子点から観測所までの距離を R として $1/R^2$ の重みを付けて平均する。風速、風向の正弦及び余弦が各々内挿されて、以下の式によって計算を行う。

$$U_{ref}(i,j) = -speed(i,j) * \sin angle(i,j)$$

$$V_{ref}(i,j) = -speed(i,j) * \cos angle(i,j)$$

ここで $speed(i,j)$ は内挿された風速の配列、 $\sin angle(i,j)$ 、 $\cos angle(i,j)$ は各々内挿された風向の正弦、余弦の配列である。

格子点の最上端の風も同様な方法によって計算される。風速と風向の値は各鉛直プロフィールから $ZMAX$ (格子点最上端位置)に内挿される。 $ZMAX$ が鉛直プロフィールの最下端位置より下にある場合は、最下端の風速、風向を上層観測所のものとし、最上端位置より上にある場合は最上端の風速、風向を用いる。2つの観測高度の間に $ZMAX$ が位置する場合は線形内挿を行う。このようにして調整された上層観測所に於ける値は、地上観測所の場合と同じく2次元格子の U 、 V 成分に内挿される。

上層の風速及び風向観測値は少なくとも1つは必要であるが、同じ高さである必要はない。また基準高度の風を計算するには少なくとも1つの地上風速及び風向の測定値が必要である。唯一点のデータしか入力されない場合、計算される風速場は明らかに一定である。

2.2.3 MATHEWコード

MATHEW/ADPICで用いられる風速場モデルの条件として、非圧縮の仮定のもとで質量保存則を満たすこと、風速場に対する地形の影響を表現できることがあげられる。Shermann (1978)³⁾により開発された風速場計算コードMATHEW(The mass-adjusted, three-dimensional wind field)は、質量保存則を束縛条件として変分法(例えばSasaki, 1979)⁷⁾を用いることにより、上記の条件を満たす風速場を計算するコードである。

計算手順の概略図をFig. 2.10に示した。まず前半(step. 1)では気象観測データをもとにして、計算領域内の各格子点での風速ベクトルを単純な内外挿によって求める。次にstep. 2ではstep. 1で得られた格子点データが最適な推定値であるという仮定のもとに、この風速場に最小量の修正を施すことにより、質量保存則を満たす風速場を作り出す。この際に、地表面に接するグリッドセルに生ずる見かけ上の発散を修正することにより、地形の影響が風速場に反映される。

格子点の内外挿は以下のように計算される。まず基準とする高さの水平面内の格子点での風速ベクトルが、MEDICコード(前述)で内挿され求まる。MATHEWコードではMEDICコードで作られた基準高度と境界層上端での風速ベクトルのデータと、接地層、境界層の高さ及び大気

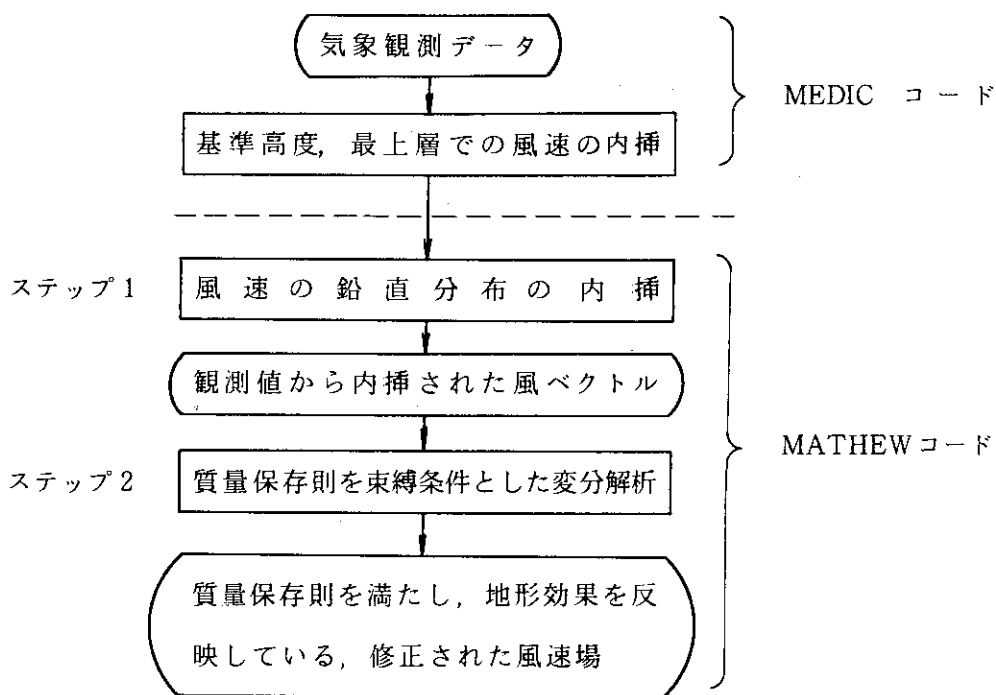


Fig. 2.10 Outlook of variational adjustment of wind field

安定度のデータを用いて、ベキ乗則に従って風速の鉛直分布を計算する。風速の計算式は、

$$U(Z) = \begin{cases} U(Z_{ref}) \cdot \left(\frac{Z}{Z_{ref}}\right)^{P_{SL}} & \text{(接地層)} \\ U(h) + (U(H) - U(h)) \cdot \left(\frac{Z-h}{H-h}\right)^{P_{BL}} & \text{(境界層)} \end{cases} \quad (1)$$

である。ここで、 Z は鉛直座標、 Z_{ref} , h , H はそれぞれ基準高度、接地層の高さ、境界層の高さである。また P_{SL} , P_{BL} は各々の層内でのベキ指数であり、大気安定度、地面粗度により異なる値をとる。風向は接地層内では Z_{ref} と同じであるとし、その上の境界層では、

$$\theta = (\theta_H - \theta_h) \cdot \left(\frac{Z-h}{H-h}\right)^{P_{BL}} + \theta_h \quad (2)$$

によって計算される。ここで θ_h , θ_H は各々接地層の上端、境界層の上端での風向である。MATHEW コードではこの他に、実測された鉛直プロファイルを用いて風速の鉛直プロファイルを計算するオプションが用意されている。なおstep. 1での風速ベクトルの計算は、水平方向のみ行なわれ、鉛直成分は0とされている。この理由は、通常の気象観測では風速の鉛直成分は測定できないためで、また精度の良い測器で測定したとしても局地対流等の影響により、地域代表性に乏しいと考えられるためである。風速の鉛直成分は変分調整の結果より現われる。

質量保存式を満たし、かつ観測風速値 (u^0, v^0, w^0) に加える修正が最小であるような風速値

(u, v, w) は, 汎関数,

$$E(u, v, w, \lambda) = \int_V \left[\alpha_1 (u - u^0)^2 + \alpha_1 (v - v^0)^2 + \alpha_2 (w - w^0)^2 + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] dx dy dz \quad (3)$$

を極小にする様な (u, v, w) を求める変分解析の問題となる。ここで (u⁰, v⁰, w⁰) は step. 1 の内外挿で求まった風速観測値のメッシュデータ, (u, v, w) は求める修正された風速場である。λ はラグランジの未定乗数で, ここでは修正成分の速度ポテンシャルとしての意味を持つ。α₁, α₂ はガウスの精度係数と呼ばれ, この2数の比は修正量の鉛直成分と水平成分の相対的な大きさを規定する。ARAC コードのマニュアルでは大気安定度によりこの比を使い分けることを勧めている。また, 混合層上端でこの値を変えることにより, 温度逆転の効果を表現できる。

E の変分が 0 となる条件を求めると, x, y, z 方向境界条件,

$$\begin{aligned} n_x \lambda \delta(u) &= 0, \\ n_y \lambda \delta(v) &= 0, \\ n_z \lambda \delta(w) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

のもとに, 4つのオイラー・ラグランジュ方程式

$$u = u^0 + \frac{1}{2\alpha_1} \frac{\partial \lambda}{\partial x} \quad (5)$$

$$v = v^0 + \frac{1}{2\alpha_1} \frac{\partial \lambda}{\partial y} \quad (6)$$

$$w = w^0 + \frac{1}{2\alpha_2} \frac{\partial \lambda}{\partial z} \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

を得る。さらに(8)式に(5), (6), (7)式を代入すると, λ についてのポアソン型偏微分方程式

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = -2\alpha_1^2 \left(\frac{\partial u^0}{\partial x} + \frac{\partial v^0}{\partial y} + \frac{\partial w^0}{\partial z} \right) \quad (9)$$

を得る。結局この問題は境界条件(4)式のもとに(9)式を解くことに帰着する。求まったλを(5)~(7)へ代入すれば修正された風速場 (u, v, w) が得られる。境界条件(4)式は, 地形表面では n_x δ(u) = 0, n_y δ(v) = 0, n_z δ(w) = 0 と同値である ∂λ/∂x = 0, ∂λ/∂y = 0, ∂λ/∂z = 0 を用い, その他では λ = 0 として適用する。なお MATHEW コードでは計算領域の上端で ∂λ/∂z = 0 を用いるオプションも組み込まれている。

計算は Fig. 2.11 に示した格子を用いて行なわれる。図中の立方体は, 単格子 (i, j, k) を表わしている。観測値の内挿では, 直方体の8つの頂点での風速3成分 (u⁰, v⁰, w⁰) が与えら

れる。1つの面を構成する4頂点の風速値より、面に垂直な風速成分の平均値が計算される。風速場の発散と λ は単位格子の中央で計算される。(9)式に対応する差分式は、

$$\begin{aligned} & \frac{\lambda_{i-1, j, k} - 2\lambda_{i, j, k} + \lambda_{i+1, j, k}}{(\Delta x)^2} + \frac{\lambda_{i, j-1, k} - 2\lambda_{i, j, k} + \lambda_{i, j+1, k}}{(\Delta y)^2} \\ & + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^2 \frac{\lambda_{i, j, k-1} - 2\lambda_{i, j, k} + \lambda_{i, j, k+1}}{(\Delta z)^2} \\ & = -2\alpha_1^2 \left[\frac{u_{i+1, j, k}^0 - u_{i, j, k}^0}{\Delta x} + \frac{v_{i, j+1, k}^0 - v_{i, j, k}^0}{\Delta y} + \frac{w_{i, j, k+1}^0 - w_{i, j, k}^0}{\Delta z} \right] \quad (10) \end{aligned}$$

となる。

但し(10)式は境界に接していない格子に適用される差分式で、境界に接する格子では境界条件によって2次微分の項(10式の左辺3項)が変わる。x方向の2次微分の項

$$\frac{A\lambda_{i-1} + B\lambda_i + C\lambda_{i+1}}{(\Delta x)^2} \quad (11)$$

を例にした場合の境界条件と差分式の型を Table 2.3 に示した。

λ は緩和法(収束計算)を用いて解かれる。収束の判定は、 λ の変化率が基準値より小さいか否かで行なわれる。面平均の値として求めた修正された風速は、平均操作により、再び立体格子の頂点での風速ベクトルに変換された後、ADPICコードへ引き渡される。

2.2.4 ADPICコード

ADPIC (The Atmospheric Diffusion Particle-in-Cell)コード²⁾は、三次元直交座標を用い種々の条件のもとで大気汚染の時間依存の分布を考察できる粒子拡散コードである。本コードで取り扱う条件は、空間的・時間的に変化する風速場、静穏、地面粗度、沈着、放射性崩壊及び拡散パラメータの変化である。基本的には本コードは、三次元の移流-拡散方程式を仮想速度(pseud-velocity)の概念を導入して解くものである。この時、汚染雲をラグランジュアン粒子群で置き換えたセル内粒子(Particle-in-Cell PIC)モデルを用いて解き、汚染雲濃度の広がりや決定している。

(1) 物理モデル

仮想速度(\vec{U}_p)の導入は以下の様にして行なう。移流-拡散方程式は、

$$\frac{\partial \chi}{\partial t} + \vec{U}_A \cdot \nabla \chi - \nabla \vec{K} \cdot \nabla \chi = 0 \quad (1)$$

で表わされる。 χ は濃度、 \vec{U}_A は移流速度、 \vec{K} は拡散速度である。

(1)式に非圧縮の仮定、

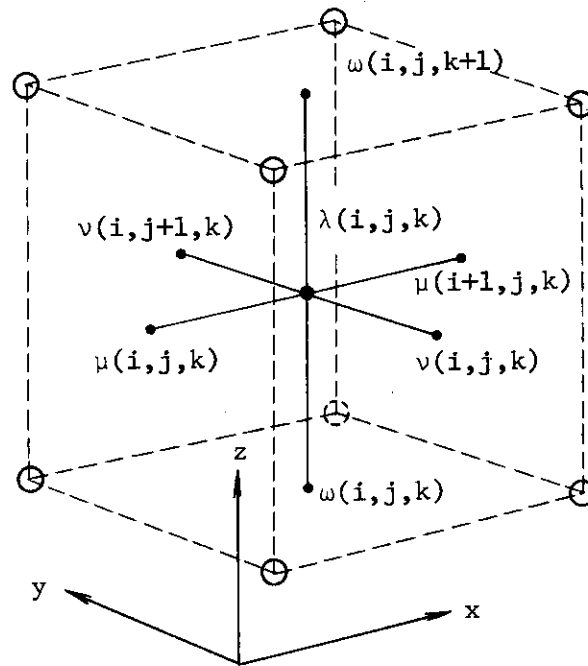


Fig. 2.11 An unit of 3-dimensional staggered network used in the calculation of λ . The circles represent the grids where the 3-dimensional wind vectors are composed from the flux form

Table 2.3 Coefficients of expression (11) for various combination of boundary condition.

righthand boundary condition	A	B	C	lefthand boundary condition
regular point	1	-2	1	regular point
rigid boundary	0	-1	1	regular point
regular point	1	-1	0	rigid boundary
rigid boundary	0	0	0	rigid boundary
flow through boundary	0	-4	4/3	regular point
regular point	4/3	-4	0	flow through boundary
flow through boundary	0	-8/3	0	rigid boundary
rigid boundary	0	-8/3	0	flow through boundary

$$\nabla \cdot \vec{U}_A = 0 \quad (2)$$

を用い、拡散速度を次式のように定義する。

$$\vec{U}_D \equiv -\vec{K} \cdot (\nabla \chi / \chi) \quad (3)$$

(8)式を(1)式に代入すると、

$$\frac{\partial \chi}{\partial t} + \nabla \cdot (\chi \cdot (\vec{U}_A + \vec{U}_D)) = \frac{\partial \chi}{\partial t} + \nabla \cdot (\chi \cdot \vec{U}_P) = 0 \quad (4)$$

となる。ここで \vec{U}_P は仮想速度と呼ばれ、移流速度と拡散速度の和で表わされる。移流速度 \vec{U}_A はMATHWコードのような三次元の質量保存風速場計算コードで与えられ、拡散速度は拡散係数及び空間的に設けたオイラーセル内の粒子濃度から求まる。空間メッシュは一定の大きさの三次元長方形セルからなるオイラーグリッドにより表わされる。濃度 χ はセルの中心で定義され、速度 \vec{U}_A 、 \vec{U}_D 、 \vec{U}_P はセルのコーナーで定義される。

コードにおける粒子移動の時間経過サイクルは、オイラー的扱いとラグランジュ的扱いに分けられ次のように(i)~(iii)のステップで進む。

(i) オイラーステップ

タイムサイクルの計算開始の段階で、それぞれのセルに与えた濃度 χ から拡散速度 \vec{U}_D を求め、これに移流速度 \vec{U}_A を加えて、仮想速度 \vec{U}_P を各セルのコーナーで決める。

$$\vec{U}_D = -\vec{K} \cdot (\nabla \chi / \chi)$$

$$\vec{U}_P = \vec{U}_D + \vec{U}_A$$

(ii) ラグランジュステップ

セル内に含まれる各粒子は時間ステップ ΔT の間に、速度 \vec{U}_P^∇ で移動し、この \vec{U}_P^∇ は粒子が含まれるセルのコーナーでの \vec{U}_P から内挿される。新しい粒子位置 $\vec{R}_{T+\Delta T}$ は古い位置 \vec{R}_T から次式で計算される。

$$\vec{R}_{T+\Delta T} = \vec{R} + \vec{U}_P^\nabla \cdot \Delta T \quad (5)$$

(iii) 粒子群濃度の決定

発生させた全粒子について1サイクルが終了すると、新しい粒子位置から粒子群濃度分布を求める。セル内粒子モデルは3つの重要な特徴をもっている。第1に汚染濃度を表わす粒子は、仮想速度流によって移動拡散するため、差分法による濃度計算等で生じる架空(fictional)拡散が除かれる。第2に各粒子がそれぞれの発生からの経過時間、質量、放射能、大きさ、半減期等の特徴としてもてることである。第3に3次元のセル内粒子モデルのコードは、計算対象が粒子を含むセルのみに限られるので、比較的計算時間が短くてすむことである。

ADPICコードは速度 U と拡散係数 K がセルのコーナーで決まる一方、濃度 χ はセルの中心で決まるスタガードグリッドを用いている。このことは次の2つの重要な利点を持っている。一次元で考えるとADPICコードにおける拡散速度は、次のようになる。

$$U_{D, i+\frac{1}{2}} = \frac{K_{i+\frac{1}{2}}(\chi_{i+1} - \chi_i)}{\Delta x \cdot \frac{1}{2}(\chi_i + \chi_{i+1})} \quad (6)$$

ここで $U_{D, i+\frac{1}{2}}$, $K_{i+\frac{1}{2}}$ はセルのコーナー $i + \frac{1}{2}$ での拡散速度と拡散係数, χ_i と χ_{i+1} はセル i 及び $i + 1$ の濃度, Δx はセルサイズである。

スタガードグリッドでない方式では,

$$U_{D, i} = \frac{K_i(\chi_{i+1} - \chi_{i+1})}{2 \Delta x \cdot \chi_i} \quad (7)$$

となる。(7)式に対する(6)式の利点は, 第1に $\chi_i = 0$ のときでも U_D は無限大にならないことであり, 第2に計算に必要なセルの個数が少ない点である。

粒子モデルにおける境界条件は大変簡単であり, 粒子がある時間サイクルで境界を横切った場合, 境界のタイプ及び粒子の性質によって, 反射, 沈着等の処理を行なう。

(2) 計算手法

ADPICコードで用いられている計算手法を以下に述べる。

(a) 粒子発生

粒子の発生は乱数を用いて, 一様分布やガウス分布で行なう。瞬時(パフ型)放出の場合, 数千個の粒子数が用いられるが, 連続(プルーム型)放出では1ステップに数百個の粒子の発生しかない。プルーム型の場合サイクル毎にパフを連続放出してゆくが, 各パフの粒子数は,

$$M_n = \frac{Q_0 \cdot \Delta T}{PM} \quad (8)$$

で与えられる。ここで M_n はサイクル n での粒子数, Q_0 は放出率, PM は粒子1個がもつ放射エネルギー, ΔT はタイムステップ幅である。プルーム型の粒子発生法で生じる初期のなめらかでないガウス分布型雲は, 拡散とオーバーラップにより平滑化される。

PICモデルでは, 同一個所から発生した粒子は同じ軌跡をたどるので, 拡散をシミュレートするためには初期分布の標準偏差を入力する必要がある。

(b) セルサイズに対して充分成長していないパフ型雲の予備的扱い。

ADPICコードにおいて, パフ型線源が固定セルのスケールに比べて小さい場合, セル内濃度により粒子分布の偏差が正しく決定されず, 拡散が遅くなる。したがって初期には, なんらかの仮定を導入して, 粒子分布がいくつかのセル濃度で扱える広がりを与えることが大切である。この取り扱いの目的はPICモデルを用いるのに充分な広がりを与えることであり, そこで使われる仮定自体はそれほど風下に波及しない。

本コードでは, 線源はその偏差 σ がグリッドセルサイズと同等になるまでガウス分布で広がると仮定し, その後はPICモデルにより, 濃度勾配によって拡散するものとする。この仮定による拡散速度の求め方を次に示す。

一次元で考えるとガウス分布は,

$$\chi = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{x^2}{\sigma^2}\right) \quad (9)$$

である。ここで χ は濃度、 Q は線源、 x は中心からの距離である。拡散速度を示す(3)式は、次の様に変形できる。

$$U_D = -K \nabla \chi / \chi = -K \frac{\partial \chi}{\partial x} / \chi = -K \frac{\partial (\ln \chi)}{\partial x} \quad (10)$$

(10)式に(9)式を代入して、

$$U_D = K (x/\sigma^2) \quad (11)$$

を得る。(11)式はオイラーグリッドには無関係に決まる値であり、この時拡散係数 K は、時間依存又は一定値で与える。

(c) 拡散係数の決定法

前述のオイラー・ラグランジュステップにより、セルサイズに比べて充分大きい粒子雲の移流-拡散を行なうが、拡散速度を求める(6)式中の拡散係数 K は、次の様に決定する。本コードでは3種類の決定法が用意されており、(i)~(iii)で説明する。

(i) Pasquill-Gifford の拡散偏差 $\sigma_z(x)$ 、 $\sigma_H(x)$ を用いて K_z 、 K_H を求めるもので K は、

$$K = \frac{1}{2} \frac{d \sigma(x)^2}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dx}{dt} \cdot \frac{d \sigma(x)^2}{dx} = U \cdot \sigma(x) \frac{d \sigma(x)}{dx} \quad (12)$$

で表わされる。ここで $\sigma_H(x)$ はメアンダを考慮した修正値が入っている。添字 z 、 H はそれぞれ鉛直方向、水平方向を示している。この方法による K_z 、 K_H の求め方はADPICコードのデフォルト値となっており、平面に近い地形での拡散に適している。この時必要なデータは大気安定度である。

(ii) 風向の水平方向のゆらぎの偏差 σ_θ や、地面粗度、混合層の高さ、大気安定度、風速の鉛直プロファイルから求める方法で、 K_H は、Taylorの理論から σ_H を求め(12)式により計算する。 σ_H は、

$$\sigma_H = \sigma_\theta |r|^\alpha \quad (13)$$

となる。ここで α は大気安定度より求まる定数、 r はブルーム軸にそった線源からの距離である。 K_z はMonin-Obukhov理論により次の様に求める。

$$K_z = U_* kZ / \phi_m = \left(\frac{KZ}{\phi_m}\right)^2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \quad (14)$$

ここで U_* はまさつ速度、 k はカルマン定数、 $\phi_m = \frac{KZ}{U_*} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z}$ は無次元ウィンドジャー、 \bar{U} は平均水平速度、 Z は高さである。ここで ϕ_m は大気安定度別に、次の3つをとる。

$$\text{安定} ; \phi_m = 1 + r_1 \xi, \quad \xi = 0, L > 0. \quad (15)$$

$$\text{中立} ; \phi_m = 1, \quad \xi = 0, L \rightarrow \infty \quad (16)$$

$$\text{不安定; } \phi_m = (1 - r_2 \xi)^{-1/2}, \quad \xi < 0, \quad L < 0. \quad (17)$$

ここで、 r_1 は 4~5, r_2 は 14~16 の定数である。 ξ は $\xi = Z/L$ で表わされ、 L は Monin-Obukhov の長さと呼ばれ以下で表わされる。

$$L = - \frac{U_*^3 \cdot C_p \rho T}{kgH} \quad (18)$$

ここで C_p は空気の定圧比熱、 ρ は密度、 T は気温、 g は重力加速度、 H は熱流束を示す。この拡散係数は中程度の高所連続放出に適している。

(iii) K_z を(ii)と同様に Monin-Obukhov 理論から求め、 K_H は渦エネルギー消散率を基礎にして求めるもので、以下の式になる。

$$K_H = C \varepsilon^{1/3} (\sigma_H)^{4/3} \quad (19)$$

ここで ε はエネルギー消散率、 σ_H は水平方向偏差値、 C は定数である。 ε は高さの関数で近似的に、

$$\varepsilon \propto [\bar{U}(Z)]^3 / Z \quad (20)$$

である。この方法はパフ型拡散の場合や、プルーム型の初期設定の時の(11)式で用いる。

(d) タイムステップの取り扱い

ADPICコードの計算の安定性には、タイムステップ幅は敏感ではないが、 ΔT が大きすぎると拡散が早くなる。これを回避する方法として、全粒子のうち平均の速度をもつ粒子が、1つのセルの $1/8$ 以上移動しないようにタイムステップ幅を決めている。(このことは次元でみると、セルの $1/2$ 以下の移動距離に相当する。)

$$\Delta T = F \cdot \text{MIN} \left(\frac{\Delta x}{U_{PM}}, \frac{\Delta y}{V_{PM}}, \frac{\Delta z}{W_{PM}} \right)$$

ここで $0 < F \leq 0.5$, Δx , Δy , Δz は x , y , z 方向セルサイズ、 U_{PM} , V_{PM} , W_{PM} はそれぞれ x , y , z 方向の平均仮想速度である。

(e) 沈着

ADPICコードでは粒子の沈着についても考慮することができ、乾燥沈着及び降水による洗浄(wash out)について扱われている。沈着過程は各タイムステップ毎に計算され、二次元配列に記録される。沈着速度は対象核種に固有で、洗浄係数は粒子半径によって決まる。

(3) 入力データ

ADPICコードには、MATHEWコードからメッシュに風速場が与えられ、TOPOGコードから対象地域の地形データが与えられる。また、入力ファイルPICINから以下のデータを与える。

ISRT: ADPICの計算を始める時刻で入力ファイルWINDYで与える気象データ入力時間

NTIMEと同じでなくてはならない。(yymm ddhhmm)

IRUNTIM: ADPICがランしてから何時間何分計算を続けるか示すもので最高6時間まで入力できる。計算は対象地域から粒子がなくなった時にもランを終了する。(hhmm)

IDUMP: 計算結果をダンプファイルに落す時間間隔を示す。ダンプファイルには記録後計算を再開する時に必要なすべてのデータが入っており、粒子は計算再開後、ファイルに記録された位置から稼働をはじめめる。(hhmm)

IRST: 計算再開の時間で、これはIDUMPと対応していなくてはならない。ADPICがはじめて動き出す時=0とする。(yymmdd hhmm)

DELTO: APPICの第1ステップの時間幅で、このステップからあとは自動的に時間ステップは決定される。DELTOはランの中での時間ステップの最小値として使われる。もし自動的に決まる値がDELTOよりも小さい時は、無視されDELTOが用いられる。この場合には、粒子が1ステップで3セルにまたがることを示すワーニングメッセージが出力される。(sec)

IDIF: 拡散係数の決定式の選択パラメータで、=2でPasquill-Gifford型、=4でTaylor理論とMonin-Obukhov理論型、=5はエネルギー消散率とMonin-Obukhov理論から得ることを示している。1, 3, 6は現在使用されていない。

SPECIES: 核種名で5種まで入力可能である。

SIGX, SIGY, SIGZ: 粒子群の初期分布を与える偏差でスタックの径のような源に関する値である。

XR, XL: 線源初期分布のx方向の半径を示すもので、例えば、スタックの半径と同径にする。分布の中心を0として、XRを正にXLを負にとる。(m)

YR, YL: Y方向の初期分布半径を示す符号で、YRを正にYLを負にとる。(m)

ZT, ZB: 鉛直方向の半径を示し、ZTを正に、ZBを負にとる。(m)

ZSCH: 線源の中心の地表面からの高さ(m)

XSC: 線源の中心の原点からのx方向の距離(km)

YSC: 線源の中心の原点からのy方向の距離(km)

ISSRT: ISTRTを規準とした放出開始時刻でISTRTが1400で放出が1410から始まったとするとISSRT=10と入力する。(hhmm)

ISSTP: ISTRTを規準とした放出終了時刻(hhmm)

SRATE: 放出率で、連続放出では通常単位放出を仮定して計算がおこなわれ、結果放出率を乗じて濃度を求める。(Ci/s)

ITOT: 計算に用いる粒子群の総数で25000まで入力できる。放出時間が長く粒子数がITOTを超えるとコード内で自動的に放射能をITOTの数で再分布できるようになっている。

HALF: 半減期で放射性物質の場合は半減期を正の値で入力し長時間半減期のガスは=0とする。(hour)

VDEP: 沈着速度(m/s)で、いくつかの実験から値が核種別に用意されている。

SAVE: 粒径分布の平均値で、放出物質が粒子状でない時=0とする。(μm)

SGD: 粒子の標準幾何偏差で下式で与える。

$$\frac{\text{radius at 50 \%}}{\text{radius at 16 \%}} \quad \text{or} \quad \frac{\text{radius at 84 \%}}{\text{radius at 50 \%}}$$

ただし、SAVE = 0 のときSGDはセットしない。

SMAX : 最大粒径の値で、通常SAVEより2オーダー大きい値がとられる。SMAX の値は本モデルの性質上、100 μm とする。SAVE = 0 のときSMAXはセットされない。

SMIN : 最小粒径の値、SAVEより2オーダー低い値がとられる。SAVE = 0 でSMINはセットされない。(μm)

ADPICのアウトプットはPLCNTコードで出力されるがアウトプットのパラメータが3つ用意されている。

ISPEC: ISPECを1~5まで与えることでSPECIESで与えた5種の核種のそれぞれの濃度を出力できる。またISPEC = 123 と与えると核種番号1, 2, 3の積算値を出力できる。

IOPT : 3種の濃度分布を表示できる。= 1で大気中積算濃度分布、= 2で瞬時濃度分布、= 3で地表面沈着量である。

SAMHGT: 着目高を地表面からの距離で与える。SAMHGTの設定で任意の高度の分布を知ることができる。

2.2.5 PLCNTコード

PLCNT (Plot contour)コードは、ADPICコードで計算された濃度をリスト及びプロット図として編集出力するプログラムである。PLCNTコードは、プロット出力機能を持っており、これらはすべてLTSS (Livermor Time Sharing System)のシステムルーチンを用いて成り立っている。このため、この機能は変換できず、代用として簡単な等高線出力用プロットルーチンを作成した。

ADPICコードより出力された濃度データは三種類あり、(i)計算開始から指定された時間までに積算された濃度データ、(ii)指定されたある時間の瞬時の濃度データ、(iii)計算開始から指定された時間までの地表への沈着量データである。これらのデータは指定核種毎に出力されており、対応する単位と共にPLCNTコードでリスト出力する。

2.2.6 MATEDITコード

MATEDITコードは、MEDICコードで計算された基準の高さとタワーでの風速内挿データ、及びMATHEWコードで計算された風速場データを入力オプションに従って編集出力するプログラムである。PCNTコードと同様プロット出力機能を有しているが、LTSSシステムルーチンを変換できないため、この部分は変換から除いた。

3. テスト結果

3.1 変換版とオリジナルの比較

56年5月にソースリスト，サンプルデータ及びサンプルアウトプットがLLNLより送られて来た。このデータを使用して変換版のテストランを行なった。この結果とサンプルアウトプットを比較したところ，明らかにソースと出力例が一致していないことが判明した。この点をLLNLに問い合わせた結果，指摘したとおりであり変換したソースと一致した新しい出力リストが送られて来た。以下では，入力データの概要，新しい出力例との比較を述べる。なおソースプログラムの違いによる新/旧出力例の違いを付録Dにのせた。

3.1.1 テストランに用いた入力データ

ARACコードのテストランに用いた入力データは，付録E，「入力データ例」にのせた。また入力データの詳細は4.1節「入力データの説明」にのせた。ここではテストランに用いた入力データの概要を1) 地形データ，2) 観測風速データ，3) 濃度計算用データに分けて述べる。

1) 地形データ

用いた地形データは海拔20mの平坦な地形である。マスターグリッド，MATHEWグリッド及びADPICグリッドの座標をTable 3.1に，また，グリッドサイズ等のパラメータをTable 3.2にのせた。

2) 観測風速データ

用いられた観測点はタワーステーション1点，地上ステーション6点である。ほぼ南東の風で地表では約3 m/s，上空700 m地点では約12 m/sの風速分布である。この鉛直分布はべき法則に従って計算されている。なお風速ベクトルの鉛直成分は0である。

観測データは1時間毎に3回入力されているが，風向風速共ほとんど一定のデータである。1回目の観測データをTable 3.3，Table 3.4にのせた。

3) 濃度計算用入力データ

拡散物質の放出地点は1点で，放出核種は5種類である。粒子数は25000個で核種毎に5000個を有している。連続して1.5個/secの割合で粒子が放出され，タイムステップ幅は最小値1分で，3時間計算した。放出粒子の入力データをTable 3.5にのせた。

3.1.2 テスト結果

6本のコード(TOPOG, MEDIC, MATHEW, ADPIC, PLCNT, MATEDIT)を3.1.1節のデータを用いて，ロードモジュールより実行した時の計算機資源使用状況をTable 3.6にの

せた。

実行結果を新しいサンプルアウトプットと比較すると良い一致をみた。地形情報（地表を含むセル番号，境界セルなどを表現するセル記述子など）は完全に一致し，風速内挿値は5桁，風速調整値は3桁一致している。オリジナル版の風速はPacked-word を用いており，22ビット（指数部12ビット，仮数部10ビット）で表現されているため，10進数4桁以上は保障されないことによっている。この程度の精度を用いた理由は観測データの精度と密接に関連している。この風速調整値はADPICコードで移流速度に用いられる。

濃度結果は入力オプションにより，瞬時濃度，積算濃度，沈着量の3つが選択され出力される。各々の結果を比較すると，最高濃度地点は一致しているが，最高濃度値に±1割程度の違いがある。これは発生粒子の初期分布に一様乱数を用いているためである。サンプルアウトプットと新しく作成した乱数発生ルーチンRNFL及びシステム乱数発生ルーチンRANDOM(0)を用いて計算した時の濃度最高値をTable 3.7にのせた。濃度の拡散分布はほぼ一致しているが，希薄領域に近づくにつれオーダに差が出ている。濃度の等値線図をFig. 3.1～3.5にのせた。

TABLE 3.1 UTM COODINATES (KM)

GRID	XLEFT	XRIGHT	YBOTTOM	YTOP
MASTER	525.00	775.00	4185.00	4435.00
MATHEW	613.75	676.25	4248.75	4311.25
ADPIC	620.00	670.00	4255.00	4305.00

TABLE 3.2 PARAMETER OF THREE GRIDS

GRID	GRID SIZES			DEL X (KM)	DEL Y (KM)	DEL Z (M)
	X	Y	Z			
MASTER	400	400	--	0.625	0.625	--
MATHEW	51	51	15	1.250	1.250	50.00
ADPIC	41	41	15	1.250	1.250	50.00

TABLE 3.3 VERTICAL WINDS (TOWER DATA)
 NAME : ' OAK ' COORDINATE (584.014, 4141.145)

NO.	1	2	3	4	5	6	7
LEVEL (M)	11.	121.	302.	607.	912.	1217.	1468.
SPEED (M/S)	4.	7.	10.	12.	15.	17.	17.
DIRECT(DEG)	140.	140.	140.	150.	160.	160.	160.

TABLE 3.4 SURFACE WINDS

NAME	UTM COORDINATES		HIGHT	SPEED	DIRECT
TST	665.00	4257.00	50.0	4.2	140.0
SAC	631.35	4263.14	6.0	5.1	140.0
SMF	621.66	4283.86	6.0	5.1	140.0
MCC	639.11	4280.34	6.0	5.1	120.0
MHR	648.01	4260.34	6.0	2.5	140.0
SUU	593.25	4235.53	6.0	2.5	110.0
SCK	654.90	4194.73	6.0	2.5	130.0

TABLE 3.5 PARTICLE SOURCE INFORMATION & LOCATION

NAME	S01	S02	S03	S04	S05
UTM X (KM)	665.00	665.00	665.00	665.00	665.00
UTM Y (KM)	4257.00	4257.00	4257.00	4257.00	4257.00
HEIGHT (M)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
RATE	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
START(H:M)	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
STOP (H:M)	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00
HALF L (H)	1.E5	1.E4	1.E3	-1.E5	-2.E2
DEP V(M/S)	0.10	0.00	0.00	0.10	0.10
PARTICLE	5000	5000	5000	5000	5000
MASS/ACT	3.33	6.66	9.99	13.33	16.66

TABLE 3.6 USED COMPUTER RESOURCES

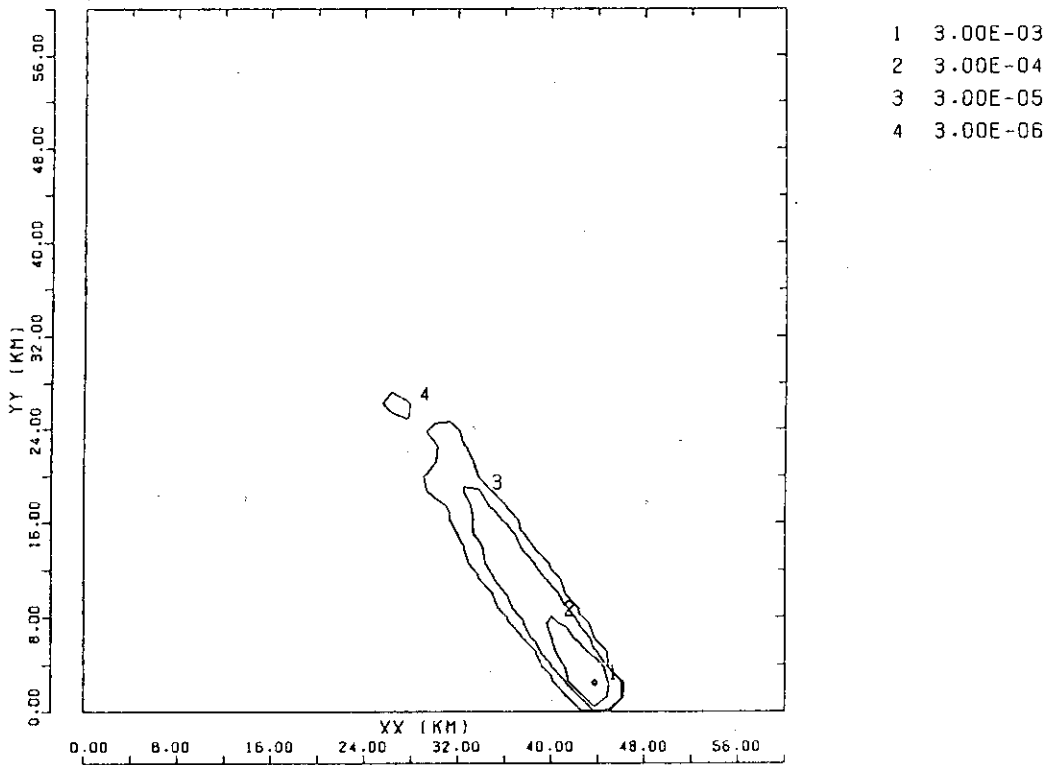
CORD NAME	MEMORY (KB)	CPU (SEC)	I/O (TIMES)	PAGE
TOPOG	1560	4.	70	75
MEDIC	570	5.	15	120
MATHEW	1740	1700.	320	10
ADPIC	2560	315.	90	15
PLCNT	560	2.	40	40
MATEDIT				

TABLE 3.7 THE LISTING OF THE MAX-CONCENTRATION VALUES FOR ORIGINAL AND TWO DIFFERENT RANDOM NUMBER ROUTINES

TIME ROUTINE	AFTER ONE HOUR			AFTER THREE HOURS		
	ORIGINAL	RNFL	RANDOM	ORIGINAL	RNFL	RANDOM
* 1)	3.9E-3	3.6E-3	3.8E-3	1.2E-2	1.1E-2	1.3E-2
2)	8.3E-3	7.4E-3	7.8E-3	2.5E-2	2.5E-2	2.6E-2
3)	1.1E-2	1.2E-2	1.1E-2	3.7E-2	3.8E-2	3.9E-2
4)	1.5E-2	1.5E-2	1.4E-2	4.8E-2	4.7E-2	4.6E-2
5)	2.0E-2	1.7E-2	1.8E-2	6.0E-2	5.7E-2	5.6E-2
6)	5.9E-2	5.5E-2	5.8E-2	6.0E-2	6.0E-2	6.8E-2
7)	1.7E-6	1.6E-6	1.5E-6	1.8E-6	1.8E-6	1.8E-6
8)	7.6E-5	8.4E-5	8.2E-5	2.6E-4	2.3E-4	2.9E-4

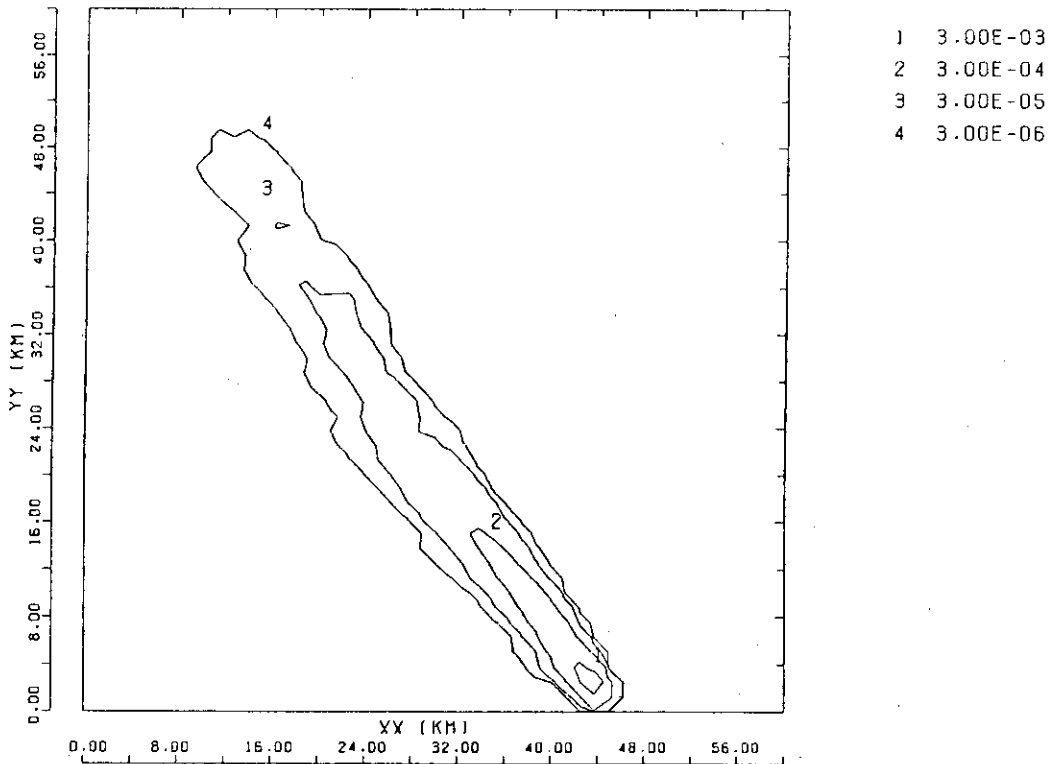
(*)

- 1) S01 ITEGRATION AIR AT 2.M
- 2) S02 ITEGRATION AIR AT 2.M
- 3) S03 ITEGRATION AIR AT 2.M
- 4) S04 ITEGRATION AIR AT 2.M
- 5) S05 ITEGRATION AIR AT 2.M
- 6) S01 ITEGRATION AIR AT 25.M
- 7) S01 INSTANTANEOUS AIR AT 25.M
- 8) S01 DEPOSITION



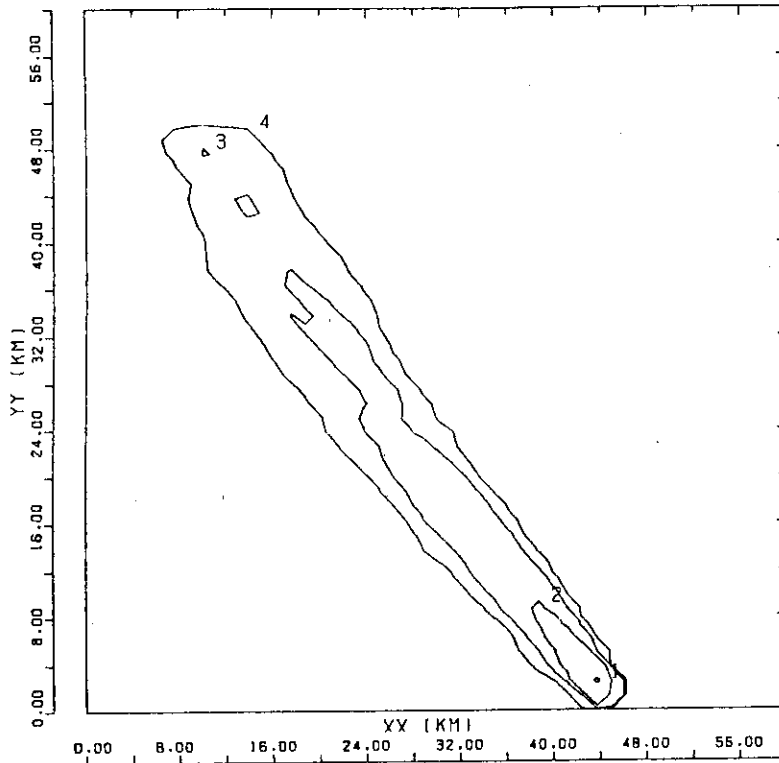
ARAC TEST NO. 1
 TEST RUN #1 MAX= 3.608E-03
 S01 DATE 11/20/78 ISOPLETHS 3.000E-03 3.000E-04 3.000E-05 3.000E-06S**2/M**3
 INTEGRATED AT 2.M EXPECTED AT 100Z

Fig. 3.1 Integrated air concentration 1 hour after release



ARAC TEST NO. 9
 TEST RUN #1 MAX= 7.404E-03
 S01 DATE 11/20/78 ISOPLETHS 3.000E-03 3.000E-04 3.000E-05 3.000E-06S**2/M**3
 INTEGRATED AT 2.M EXPECTED AT 200Z

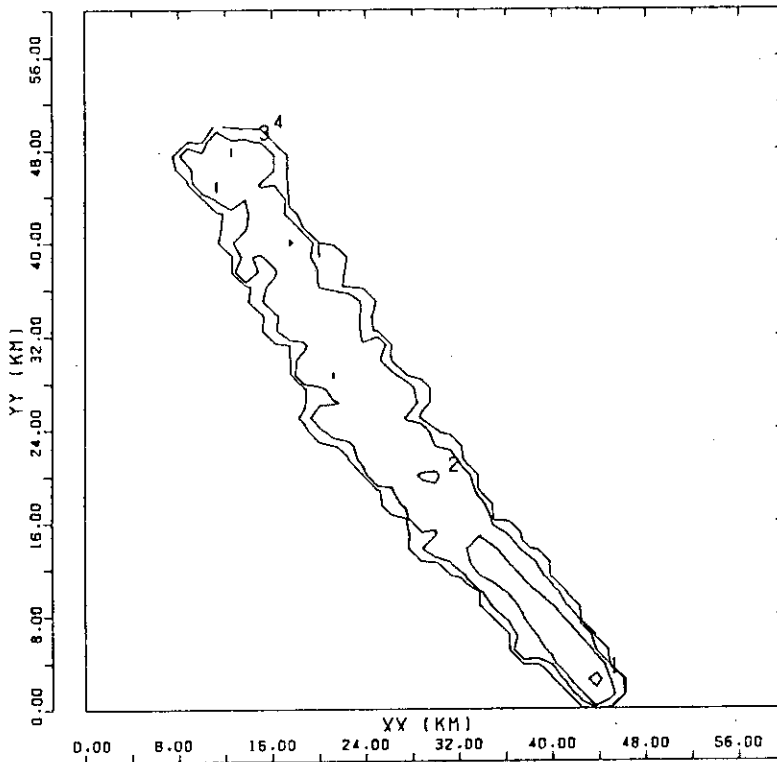
Fig. 3.2 Integrated air concentration 2 hours after release



- 1 1.00E-02
- 2 1.00E-03
- 3 1.00E-04
- 4 1.00E-05

ARAC TEST NO.17
 TEST RUN #1 MAX= 1.123E-02
 S01 DATE 11/20/78 ISOPLETHS 1.000E-02 1.000E-03 1.000E-04 1.000E-05**2/M**3
 INTEGRATED AT 2.M EXPECTED AT 300Z

Fig. 3.3 Integrated air concentration 3 hours after release



- 1 1.00E-06
- 2 1.00E-07
- 3 1.00E-08
- 4 1.00E-09

ARAC TEST NO.15
 TEST RUN #1 MAX= 1.524E-06
 S01 DATE 11/20/78 ISOPLETHS 1.000E-06 1.000E-07 1.000E-08 1.000E-09S/M**3
 INST AIR AT 25.M EXPECTED AT 200Z

Fig. 3.4 Instantaneous air concentration 2 hours after release

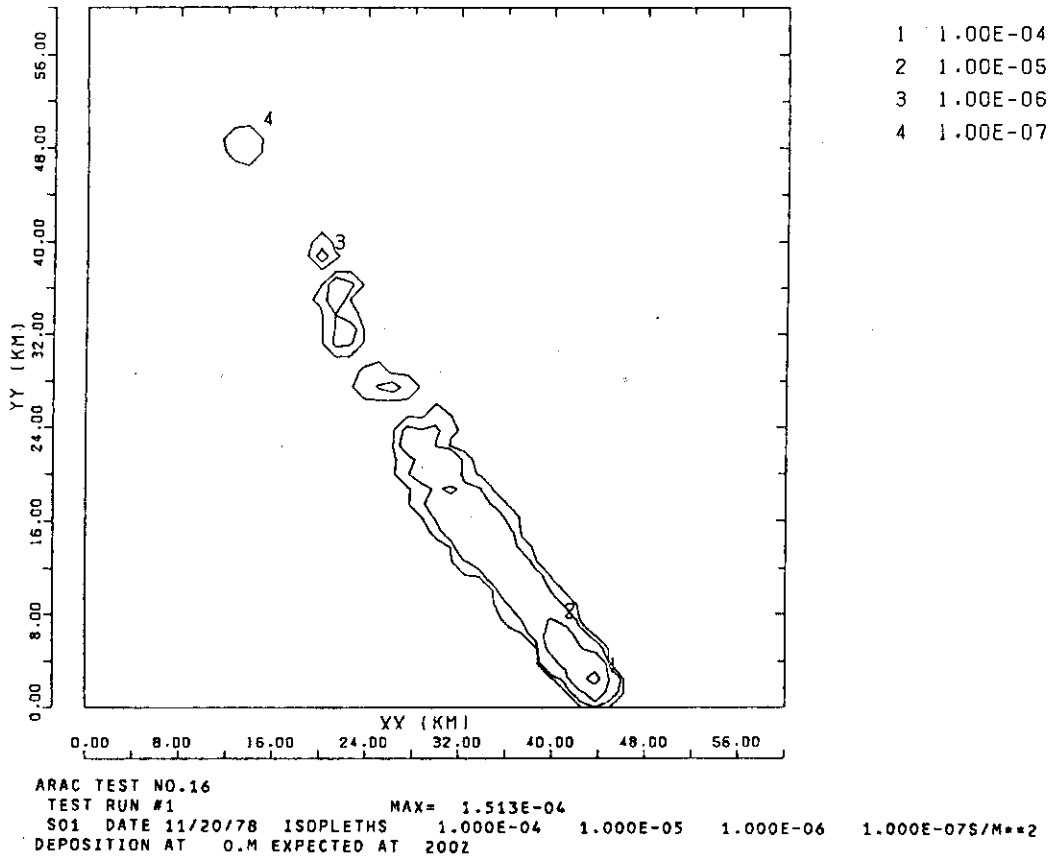


Fig. 3.5 Surface deposition 2 hours after release

3.2 原研作成PICコードとの比較

原研でParticle-in-Cellモデルにより作成した拡散コードと結果を比較した。ADPICコードとの違いの主な所は、次の様な点である。

① ADPICが、連続放出をある時間幅で放出されるパフで近似しているのに対して、ある時間幅の初期分布をランダムウォークモデルで与えている。

② 放出が連続でも、濃度勾配計算セルを地形に対して固定せず、煙とともに大きさがかわる。

③ 拡散係数の計算に用いる分布の標準偏差に、Pasquill-Chartの値を用いている。

他にも、細かい違いがあるが、結果の相違に大きく関与する点は上記3項目と考えられる。このうち①については、ADPICが中～広域に適用されるという点から考えると、取扱い自体に問題はないが、サイト周辺での比較は不適當である。また③については、現在発表されている標準偏差式が一長一短であることから、特に優劣は議論しないが、この項目は両モデルの結果に大きく関与する。

両結果は、次の条件で比較した。放出高さは100m、風速は高さ10mで3.0m/sでありベキ指数 $P = 0.22$ のベキ乗則に従うこととした。また大気安定度は中立のDとした。放出率は 1 Ci/S 、放出継続時間は1時間で、地形は平坦、拡散係数の計算はADPICでは、デフォルトを用いた。比較する濃度分布は、放出開始から1時間の積算濃度を用いた。濃度積算用セルは $250 \text{ m} \times 250 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ としてある。比較結果をFig. 3.6及びFig. 3.7に示す。Fig. 3.6は風下方向の濃度分布を示した図で主軸から125mずれている。高さは88mと12.5mの2種で比較した。Fig. 3.7は、風下6.875kmにおける主軸に直角方向の分布を高さ88mで比較した図である。両図に共通にいえることは、原研モデルの方が拡散が過小であるということで、このことは拡散係数によるものと考えられる。

3.3 ガウス・ブルームモデルとの比較

ここでは、まずADPICコード変換の検証をサポートする目的で平坦地形、一様風速場中の連続放出の問題を拡散係数一定として計算し、解析解との比較を行う。次に同様に平坦地形、一様風速場中の連続放出をADPICコード内に用意されているPasquill-Gifford型の拡散パラメータを用いて計算し、同じ拡散パラメータによるガウス・ブルーム式と比較を行い若干の考察を加える。

(1) 拡散係数一定の場合

Lange⁸⁾にあるように、ADPICでは連続放出をある時間ステップ毎に放出される一連のパフ(粒子群)で模擬している。そこで、拡散係数が一定の場合の瞬時放出(パフ型)に対する移流拡散方程式の解析解

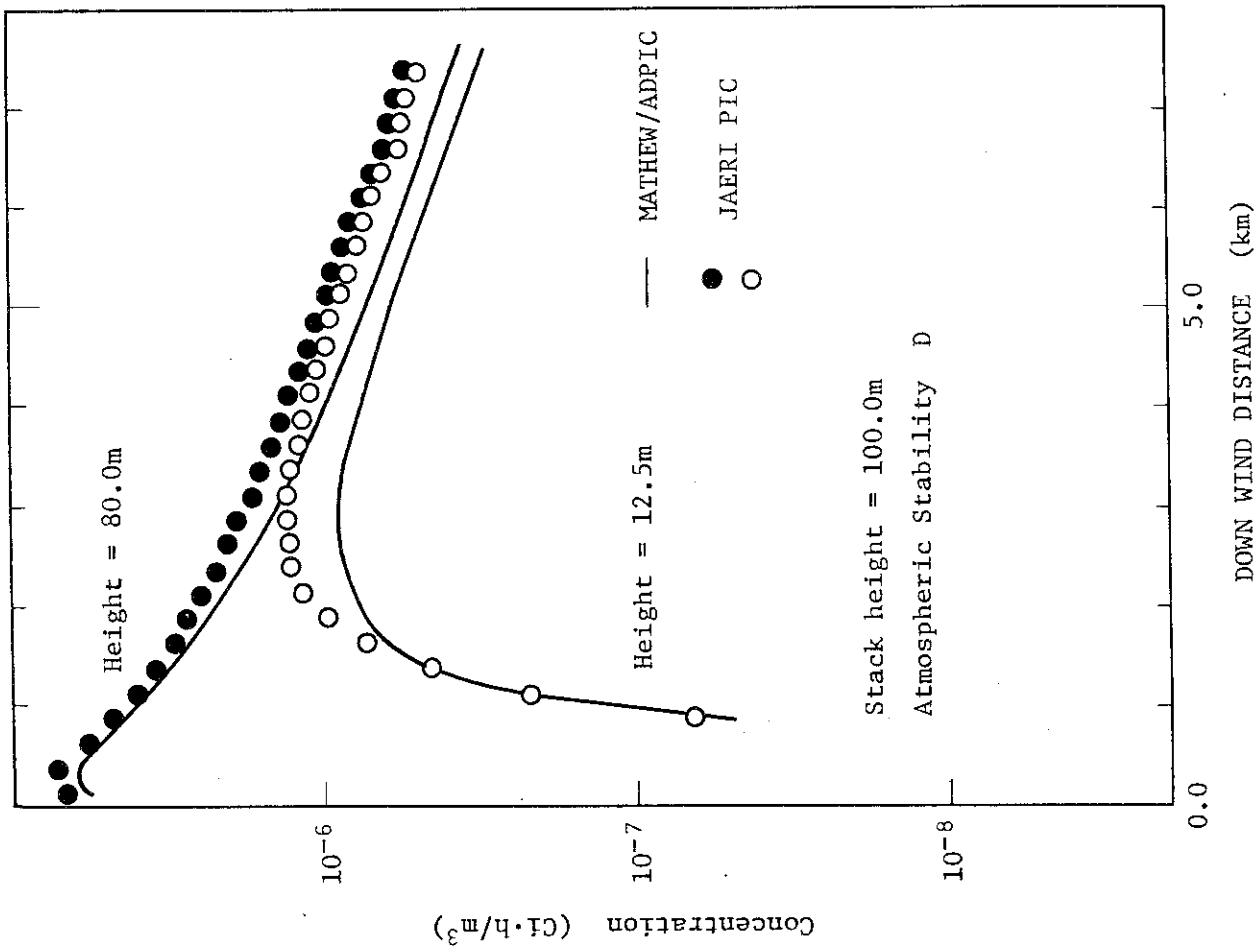


Fig. 3.6 Comparison of down wind direction concentrations obtained by ADPIC code with those obtained by JAERI PIC code

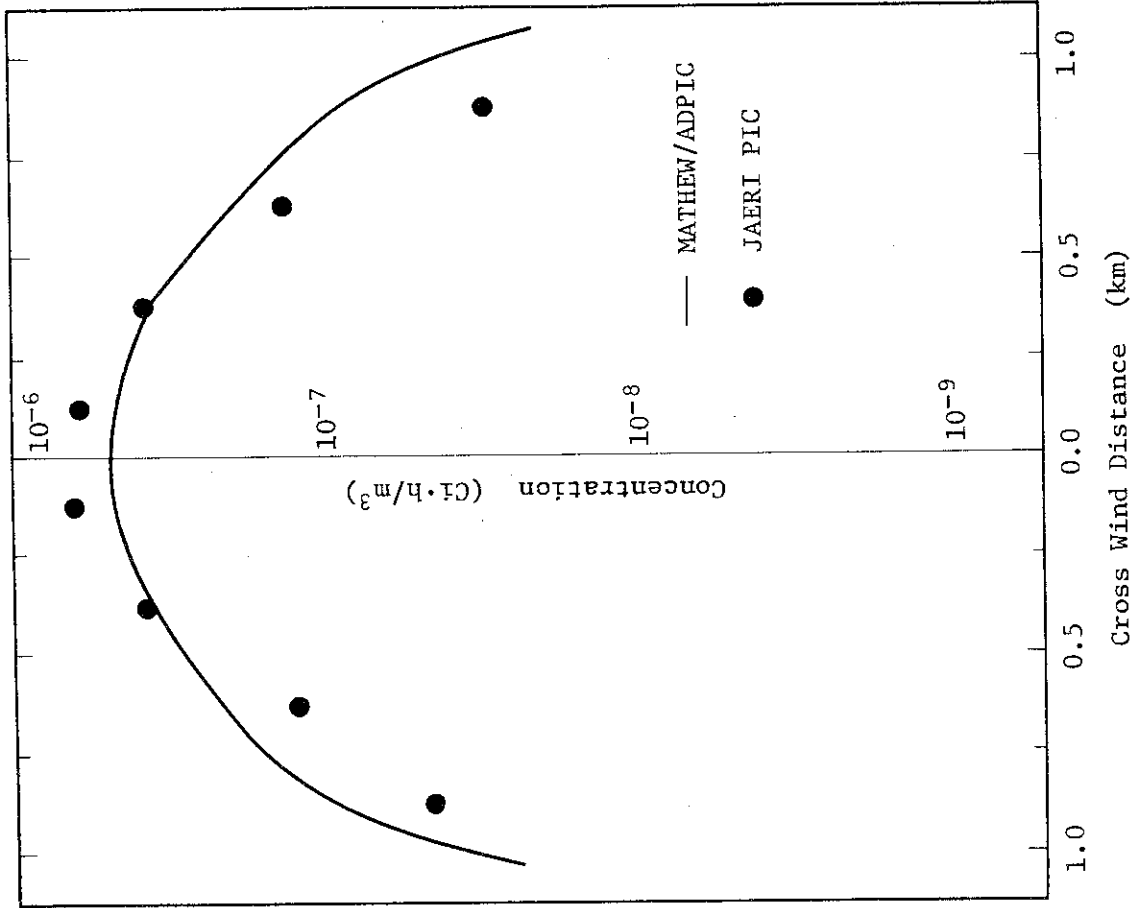


Fig. 3.7 Comparison of cross wind direction concentrations obtained by ADPIC code with those obtained by JAERI PIC code

$$\chi(x, y, z, t) = \frac{\dot{Q}}{(2\pi)^{3/2} (\sigma_{x_0}^2 + 2K_{xx}t)^{1/2} (\sigma_{y_0}^2 + 2K_{yy}t)^{1/2} (\sigma_{z_0}^2 + 2K_{zz}t)^{1/2}} \\ \times \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-ut)^2}{\sigma_{x_0}^2 + 2K_{xx}t} + \frac{y^2}{\sigma_{y_0}^2 + 2K_{yy}t} + \frac{z^2}{\sigma_{z_0}^2 + 2K_{zz}t} \right) \right]$$

を $t = 0$ から $t = T$ まで積分を行って得られる時刻 T に於ける瞬時濃度分布と ADPIC による時刻 T の瞬時濃度分布との比較を行った。ADPIC の計算では、セルの大きさを $\Delta X = \Delta Y = 1$ km, $\Delta Z = 100$ m とし、 x 軸方向に移流速度 $u = 2$ m/s の一様風を仮定した。放出率 $\dot{Q} = 1$ unit/s とし初期の放出粒子の広がり $\sigma_{x_0} = \sigma_{y_0} = 20$ m, $\sigma_{z_0} = 2$ m, 拡散係数は $K_{xx} = K_{yy} = 10^3$ m²/s, $K_{zz} = 10$ m²/s とした。

時刻 $T = 3$ 時間に於ける各セル中の粒子数を解析解と比較したのが Fig. 3.8 及び Fig. 3.9 である。この時間までの全放出粒子数は 20000 個である。Fig. 3.8 は横軸に風下距離、縦軸にセル中の粒子数をとり、 $y = 500$ m の位置での解析解と比較したものである。図から明らかなように、放出源近傍を除いては良い一致を示している。この放出源近傍の不一致は、ADPIC がセルの大きさの分解能しか持ち得ないためセル濃度を計算する時に平滑化を行っていることが原因と推測される。セル濃度を求める際 ADPIC では各粒子が 1 セルの大きさを持っていると仮定して、その粒子が位置しているセルの周囲の 8 つのセルに濃度を振り分けているため、粒子自体が各方向に $\Delta/2$ (Δ は各方向のセルの長さ) の仮想的な拡散を行っていることにより、放出源近傍では特に拡散を過大化して図のように風上側にもかなりの濃度分布を示し、全体として放出源近傍で解析解よりも低い濃度分布を表わすと思われる。しかしながら、放出初期の粒子の拡散速度の決定には特別な扱いをして放出源近傍のセル濃度の勾配を用いず、また十分風下では $\Delta/2$ に比べ $\sigma^2 = \sigma_0^2 + 2Kt$ が十分大きくなるので解析解と良い一致を示している。Fig. 3.9 は放出源から風下 $x = 16.5$ km の位置に於ける y 軸方向の粒子数分布で、解析解と良く一致している。以上の結果は Lange⁸⁾ の報告書の検討結果とも同様の傾向を示している。

(2) Pasquill-Gifford 型の拡散パラメータの場合

ADPIC コードの概要の所で述べられているように、このコード内では拡散係数の決定について 3 種類の方法が組み込まれている。その内、ガウス・プルームモデルに用いられる Pasquill-Gifford 型の拡散パラメータ $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$ から拡散係数を定める方法で (1) と同様な連続放出の問題について計算を行い、この拡散パラメータを直接ガウス・プルームモデルに用いた値と比較した。ガウス・プルームモデルによる定常状態の濃度は、

$$\chi(x, y, z) = \frac{\dot{Q}}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left\{ e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right\}$$

で与えられる。ここで \dot{Q} は放出率、 H は放出高である。ADPIC 計算に用いたセルの大きさは $\Delta X = \Delta Y = 1$ km, $\Delta Z = 50$ m, (1) と同様に $u = 2$ m/s, $\sigma_{x_0} = \sigma_{y_0} = \sigma_{z_0} = 2.5$ m, $\dot{Q} = 1$ unit

/s, $H = 100$ mとした。Fig. 3.10は $z = 100$ m軸上で, $y = 0$ kmと $y = 1$ kmの地点の瞬時濃度を横軸を風下距離としてプロットしたものである。ADPICの計算値は放出開始後3時間の瞬時濃度であるので $X = 20$ km以遠では到達粒子が少なく濃度が急に下がっている。放出点近傍ではプルーム軸上 ($y = 0$ km)でプルーム式より値が低く, $y = 1$ kmでは逆に高い値を示している。これは(1)でも指摘したように, セル濃度算出の際, 各粒子が1セルの大きさの広がりを持つとしているためで, 例えば $x = 1.5$ kmでは $\sigma_y = 175$ m程度にしかならないのに拡散をそれ以上に過大に評価している影響が顕著に現われていると思われる。一方風下方向では濃度に対するこの影響は放出時刻の異なる粒子間で相殺されてほとんど現われず, 風下方向の濃度減少の傾向はプルーム式とよく一致している。

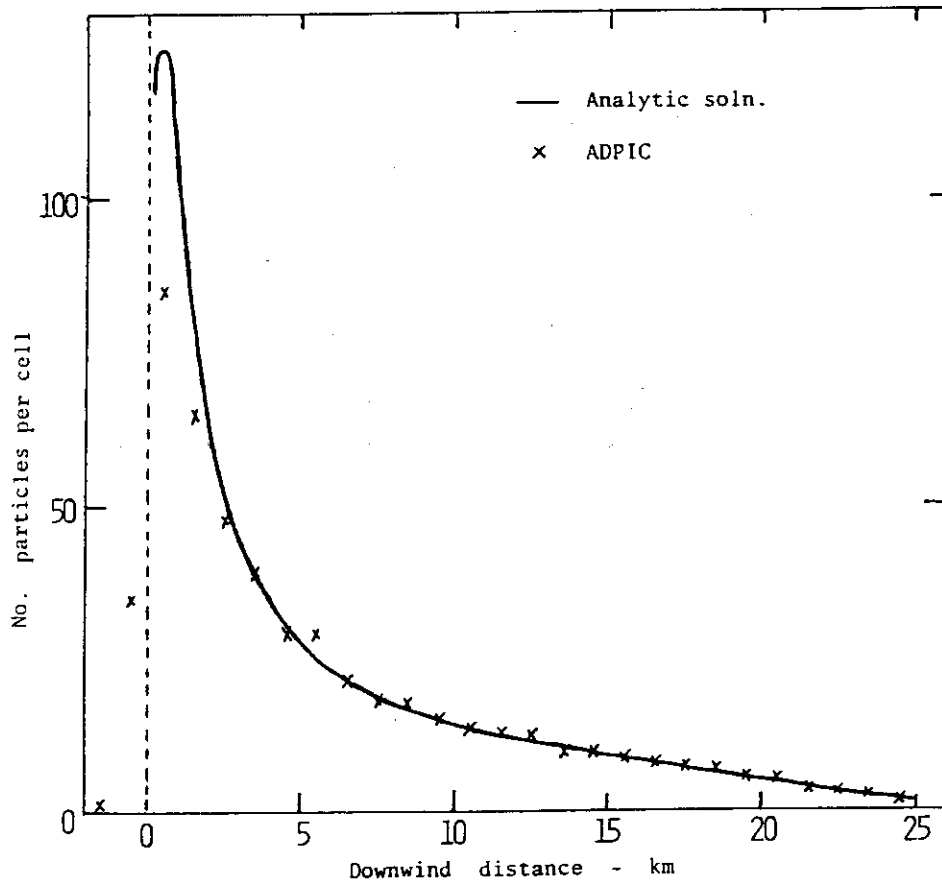


Fig. 3.8 Plot of cell concentrations along X

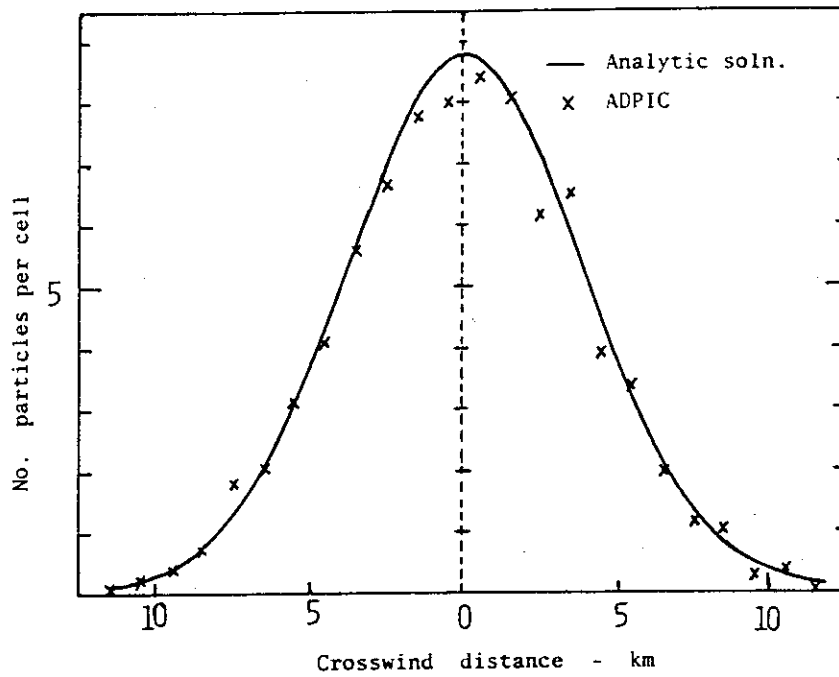


Fig. 3.9 Plot of cell concentrations along Y

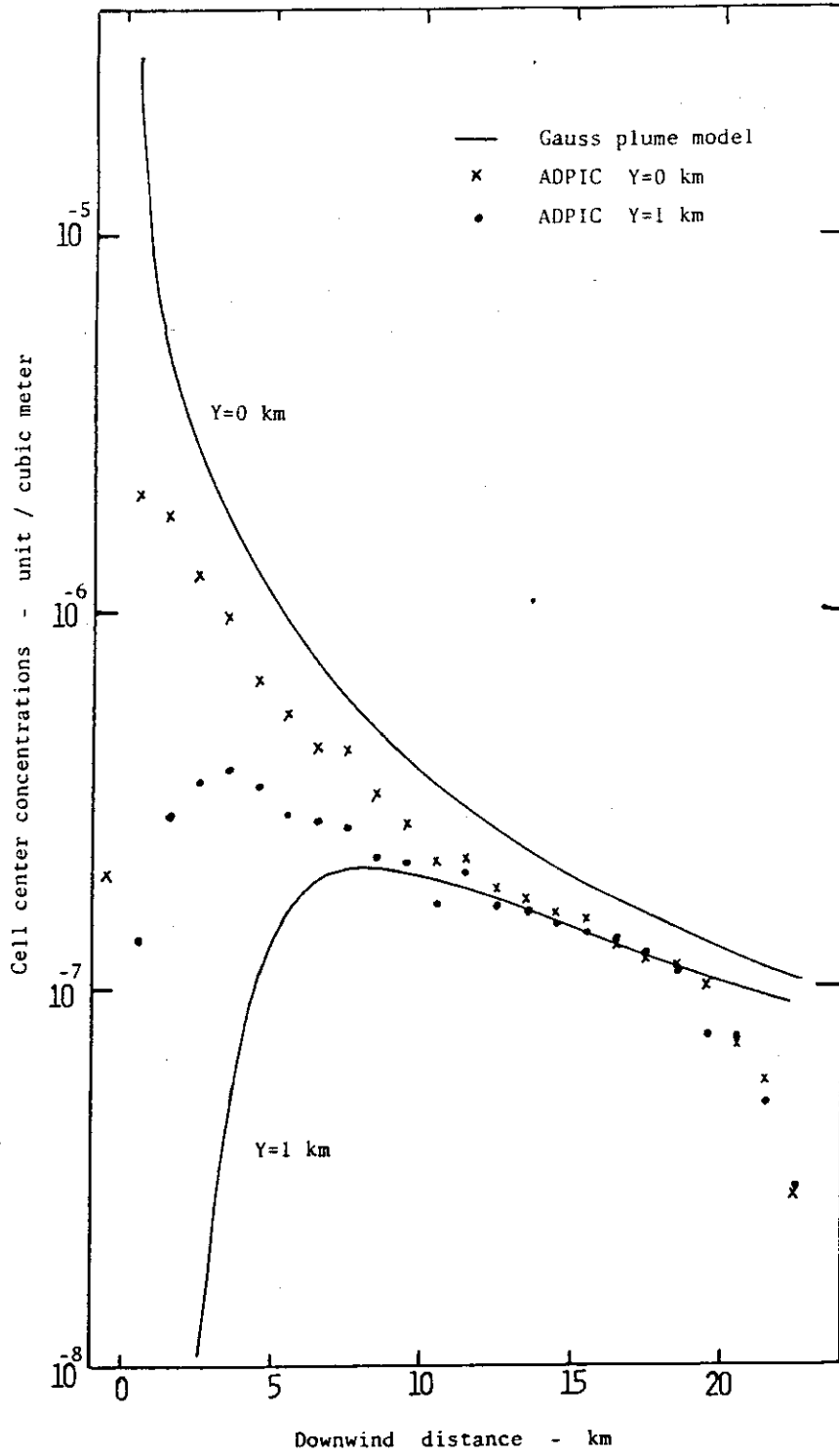


Fig. 3.10 Plot of cell concentrations along X

4. 使用方法

入力データの説明を 4.1 に、ジョブ制御文の説明を 4.2 に述べる。入力データの例は付録 E にのせた。

4.1 入力データの説明

ARAC コードのデータ入力は、すべて NAMELIST 文による入力処理されるため、デフォルト値を変更したい変数のみ入力すれば良い。

4.1.1 TOPIN データ

コード名 ; TOPOG
 NAMELIST ブロック名 ; / TO ¥148 /

TOPIN は TOPOG コードの基本情報とグリッドサイズを含む。この入力により、TOPOG コードは MATHEW コードと ADPIC コードに対するグリッドの位置とサイズを選択する。TOPIN は TOPOG コード以外のコードにも、大きく影響するため、入力に充分注意を要する。例えば、ADPIC コードで用いる計算領域は、濃度計算を行う時間や、風速を考慮に入れ、その内に少なくとも 90% の粒子がとどまる様に決めなければならない。

計算すべき地形は鉛直方向グリッドの決定に重要である。地形の最下部をグリッドの最下部に合わせ、グリッドの上端は地形の最高点より上にとるべきである。ただし、山頂が計算すべき付近より充分高い場合などは例外である。大気安定度は垂直グリッドの高さの決定に大変重要であり、地表と山頂とグリッドの上端の選択に注意しなければならない。入力データは Table 4.1 に記す。

Table 4.1 Input data for TOPOG code

インプットデータリスト

データブロック名 ; TOPIN コード名 ; TOPOG

No.	変数名	タイプ	説明	default
1	TO¥088	A	サイト定義名、3文字	
2	UT¥029	R	ADPIC の UTM x 座標 (km)	-1
3	UT¥030	R	" y 座標 (km)	-1
4	DELX	R	x 方向セルサイズ、0.25 の整数倍 (km)	-1
5	DELY	R	y 方向セルサイズ、0.25 の整数倍 (km)	-1
6	DELZ	R	z 方向セルサイズ、(m)	-1
7	NDELX	I	x 方向 1 移流セルあたりのサンプリングセル数	1
8	NDELY	I	y 方向 "	1
9	NDELZ	I	z 方向 "	1
			1 を入力すること	

No.	変数名	タイプ	説明	default
10	IGOOF	I	= 1	0
11	JUY 078	L	= T の時 GRIDIN ファイルにデータ出力しない。	F
12	JUS ¥¥¥	I	= 1 の時 ADPIC を実行しない。	0
13	UT ¥027	R	MATHEW の UTM x 座標 (km)	- 1
14	UT ¥028	R	" y 座標 (km) = - 1 の時コード内部で計算される。	- 1

4.1.2 WINDY データ

コード名 ; MEDIC
NAMELIST ブロック名; / WINDYF /
 / WINDYS /

WINDY データは、MEDIC コードの入力ファイルである。SITE データ (4.1.3) と一致した特定領域に対する気象データを含み、一般的には1時間毎に、データを作成する。

WINDY データは地表から境界層への広がりをもった大気の鉛直方向の構成に主に焦点を合わせている。鉛直方向の構成は多くのパラメータで成りたっているが、主なものは地表と上層における風速と風向の1時間毎の観測データである。

NAMELIST ブロック名が2つあり、最初の入力には / WINDYF / を用い、それ以後の入力には / WINDYS / を用いる。入力データは Table 4.2 に記す。

4.1.3 SITE データ

コード名 ; MEDIC
NAMELIST ブロック名; / SITEF /

SITE データはMEDIC コードの入力ファイルである。地上及び上層の気象観測点の名前、場所及び観測位置を定義する。SITE データの観測点に関する情報はWINDY データのそれと一致しなければならない。入力データをTable 4.3 に記す。

4.1.4 MINV データ

コード名 ; MATHEW
NAMELIST ブロック名; / MINVF /

MINV データはMATHEW コードへの必要な入力値を規定する。例えば、気象データセットの数や計算すべきデータセット番号などである。MINV はMATHEW の1実行あたり、6つの気象データセットまで指定できる。

またMINV は3次元風速場計算を行うための、付加情報(水平及び垂直方向測定誤差など)を与えている。更にMINV データはWINDY データと一致していなければならない。入力データをTable 4.4 に記す。

Table 4.2 Input data for MEDIC code

インプットデータリスト

データブロック名; WINDYF, WINDYS コード名; MEDIC

No.	変数名	タイプ	説明	default
1	SITE	A	サイト名 3文字	
2	NTIME (1)	I	観測年月日 yymmdd	
	(2)	I	時分 hhmm	
3	NRUN	I	観測データ番号 1~36まで早順に番号をつける。	
4	IA ¥ 112 (IAVTIME)	I	観測時間間隔 (分)	
5	SRH	R	地面粗度 (m)	
6	PWRSL	R	接地層に対するベキ乗則の指数 $u_z = u_o \left(\frac{z}{z_o} \right)^{PWRSL}$	
7	PWRBL	R	境界層に対するベキ乗則の指数 $u_z = u_o + (u_T - u_o) \left(\frac{z - z_o}{z_T - z_o} \right)^{PWRBL}$	
8	REF	R	基準高度 (m)	
9	TOPBL	R	境界層の高さ (m)	
10	TOPSL	R	接地層の高さ (m)	
11	TOPML	R	混合層の高さ (m)	
12	ZMOLI	R	Monin-Obukhov length の逆数	
13	ISTAB	I	鉛直拡散に対するPasquill-Gifford 安定度	
14	UPR (1)	A	鉛直プロフィール観測所名 3文字	- 2
	(2)	R	測定高度 (m)。設定不要の時 - 1 を入力	}
	(3)		風向 (度)。 "	
	(4)		風速 (m/sec)。 "	
	(5)		水平風向の標準偏差(度)。 "	
	!		} (2)~(5)の組を測定点の数だけくり返す。	
	(29)			
15	SFC (1)	A	地上観測所名 3文字	- 2
	(2)	R	風向 (度) 設定不要の時 - 1 を入力	}
	(3)		風速 (m/sec) "	
	!		} (1)~(3)の組を地上観測所の数だけ入力する。	
	(25)			
16	SRATE (1)	R	放出率 (Curies/sec or gram/sec)	
	!			
	(5)			
17	RRATE	R	降水率 (mm/hr)	
18	IGOOF	R	= 1 = 999999 ; データ入力の終了時に指定する。	0

Table 4.3 Site data for MEDIC code

インプットデータリスト

データブロック名; SITEF コード名; MEDIC

No.	変数名	タイプ	説明	default
1	NUPR	I	鉛直プロファイル・観測所の数 最大値 5	
2	UPRSTN(1) (2) (3) / (5)	A R R	鉛直プロファイル・観測所名。3文字 UTM座標上の位置 x (km) " y (km) / (1)~(3)のくり返し	
3	NSFC	I	地上観測所の数 max 25	
4	SFCSTN(1) (2) (3) (4) / (100)	A R R R	地上観測所名 3文字 UTM座標上の位置 x (km) " y (km) 観測点の高さ (m) / (1)~(4)のくり返し	
5	IGOOF	I	= 1	

Table 4.4 Input data for MATHEW code

インプットデータリスト

データブロック名; MINVF コード名; MATHEW

No.	変数名	タイプ	説明	default
1	IRFST	I	最初のデータセット番号	
2	IRNOW	I	カレントデータ番号	
3	IREND	I	最後のデータセット番号	
4	SIGH	R	垂直方向測定誤差 (m/sec)	-1
5	IGOOF	I	= 1	0
6	IT ¥ 106	I	収束計算	8000
7	IT ¥ 107	I	収束計算途中	50
8	IC ¥ 108	L	=Tの時、グリッドトップを1下げる	F
9	IS ¥ 109	I	正常終了チェック用変数	0
10	SI ¥ 049	R		- 2
11	RCERR	R	収束判定値	0.01
12	OMEGA	R	加速係数	1.78
13	IT ¥ 050	I	加速係数を取り除く時の収束計算途中の回数	650

4.1.5 PICIN データ

コード名 ; ADPIC
 NAMELIST ブロック名; /CML/

PICIN データはADPIC コードの入力ファイルである。このデータは濃度計算のためのソース情報や出力情報を含んでいる。ソースは5種類まで入力可能である。入力データをTable 4.5に記す。Table 4.5のNo.2～No.6は時間情報, No.7は拡散係数オプション, No.9～No.31までは5種類のソース情報, No.32～No.34は濃度の出力オプションであり10種類まで指定できる。No.36以後のデータは付加入力値でありデフォルト値を使用できる。

PICIN で指定した出力オプションとCPLIN データは1対1で対応しなければならない。

4.1.6 CPLIN データ

コード名 ; PLCNT
 NAMELIST ブロック名; /CML/

CPLIN データはPLCNT コードの入力ファイルである。PLCNT コードのオリジナルソースはADPIC の結果をプロット出力するが、原研版はこの部分の機能をとりぞいており、濃度の出力のみ行う。

CPLIN データは瞬時、積算濃度及び沈着量を出力するための等値線値、単位、線量等値線、時間間隔等の入力値を含んでいる。インプットデータシートのNo.7～No.16のSLOTn の値はPICIN データの出力オプションと対応している。また放出率が1 (PICIN データのSRATE=1) の時は、No.5のDCON 値が重要で、No.6の単位変更変数UNIT を入力しなければならない。入力データはTable 4.6に記す。

Table 4.5 Input data for ADPIC code

インプットデータリスト

データブロック名; PICIN コード名; ADPIC


No	変数名	タイプ	説明	default
1		A	タイトル 70文字以内 READ 文で入力される	
2	ISTRT	R * 8	計算開始の年月日時分 yymmddhhmm	- 1
3	IR ¥ 039	I	実行時間, 時分 hhmm	- 1
4	IDUMP	I	リスタートダンプ時間間隔 hhmm = 0; ダンプしない	
5	IRST	I	リスタート時間 yymmdd hhmm = 0; リスタートしない	- 1
6	DELT 0	R	タイムステップ巾初期値 (sec) 最小タイムステップ巾	0
7	IDIF	I	拡散係数オプション = 2; アイダホ・ホールに於けるMESODIFモデル = 4; σ_{θ} が利用できる場合 = 5; σ_{θ} が利用不可能な場合	2
8	NVEL	I	VEL file の風力データ群の数 max 6	0
9	SP ¥ 040 (5)	A	核種の名前。4文字まで 5核種	- 1
10	SIGX (5)	R	ガウス分布のx方向標準偏差 (m) 5核種	- 1
11	SIGY (5)	R	” y方向 ”	- 1
12	SIGZ (5)	R	” z方向 ”	- 1
13	XR (5)	R	核種放出点でのx正方向の広がり (m) 5核種	- 1
14	XL (5)	R	” x負方向 ”	- 1
15	YR (5)	R	” y正方向 ”	- 1
16	YL (5)	R	” y負方向 ”	- 1
17	ZT (5)	R	” z正方向 ”	- 1
18	ZB (5)	R	” z負方向 ”	- 1
19	ZSCH (5)	R	核種放出点z座標 (m) 5核種	- 1
20	XSC (5)	R	” x ” (km)	- 1
21	YSC (5)	R	” y ” (km)	- 1
22	ISSRT (5)	I	放出開始時間。時分 hhmm	- 1
23	ISSTP (5)	I	放出停止時間 ”	- 1
24	SRATE (5)	R	放出率 (curies/sec or grams/sec)	- 1
25	ITOT (5)	I	放出粒子数 $\sum_i ITOT_i \leq 25000$	
26	HALF (5)	R	放射能の標識 (hr) + = 放射性物質半減期 0 = 不活性物質 - = 雲安定時間	- 1

No.	変数名	タイプ	説明	default
27	VDEP (5)	R	沈着速度 (m/sec) 0.01 ~ 0.05	- 1
28	SAVE (5)	R	粒子の中間半径 (μm) 0 = 粒子サイズの分布がない時	- 1
29	SGD (5)	R	標準幾何偏差 SAVE (n) = 0 の時は不要	- 1
30	SMAX (5)	R	最大粒子半径 (μm)	- 1
31	SMIN (5)	R	最小粒子半径 (μm) SAVE (n) = 0 の時は不要	- 1
32	ISPEC (10)	I	出力する核種番号。出力オプションは10まで可。 1 ~ 5	0
33	IOPT (10)	I	出力タイプ 1 = 積算濃度 2 = 瞬時濃度 3 = 沈着量	0
34	SUMHGT (10)	R	サンプリング高さ (m)	0
35	IGOOF	I	= 1	0
36	IEDIT	I	出力編集間隔。時分 hhmm	100
37	IPLT	I	プロット間隔 hhmm	100
38	PVEL	R	> 0 の時編集毎に全風速出力	0
39	PTOP	R	> 0 の時計算開始時に地形データ出力	0
40	PCONC	R	> 0 の時編集毎にセル濃度を出力	0
41	PADV	R	> 0 の時入力された移流速度を出力	0
42	FA ¥ 006	R	ストークス落下速度スペクトルの上限値 (μm)	100
43	FRACT	R	1タイムステップ間に粒子が平均速度で動くことのできるセル	0.4
44	DROP	R	粒子の消滅する時の質量又は放射能の比率	0.001
45	OQNSH	R	QNSH の乗数	1.
46	OQNSV	R	QNSV の乗数	1.
47	VISC	R	動的粘性係数 (MKB)	1.75E - 5
48	GGGG	R	重力加速度 (MKS)	9.8
49	ZUB	R	摩擦速度用平均速度の高さ (m)	10
50	PRC 1	R	} プルーム上昇計算に使用される係数 ↓	} ↓
51	PRC 2			
52	PRC 3			
53	PRC 4			
54	IOUT	I	データセットへの出力間隔。時分 hhmm	100
55	QLAM	R	洗浄係数 (sec^{-1})	0
56	IRSRT		雨の降り始め時間 hhmm	0
57	IRSTP		雨のあがった時間 hhmm	0

Table 4.6 Input data for PLCNT code

インプットデータリスト

データブロック名; CPLIN / CMC / コード名; PLCNT

No	変数名	タイプ	説明	default
1		A	等高線プロットのラベル。50文字以内 このラベルのみ READ 文で入力される。	
2	PL¥033(1) (5)	R	積算濃度表示のための等値線の値	0
3	PL¥034(1) (5)	R	瞬時濃度表示のための等値線の値	0
4	PL¥035(1) (5)	R	付着を表示するための等値線の値	0
5	DCON	R	線量変換係数	1
6	UNITS	A	等値線の単位	
7	SLOT 1 (1) (2)	R*8 	プロット 1 回目の年月日時分 yymmddhhmm プロット間隔 (hr) SLOT 1 ~ SLOT 1 φ は ADPIC コードの出力オプション に対応する。	0 
8	SLOT 2 (1) (2)			
:				
16	SLOT 10 (1) (2)			
17	IGOOF	I	= 1	0

4.2 ジョブ制御文

ここでは ARAC コードを、FACOM-M200 計算機で実行する時のジョブ制御文 (JCL) を、例をあげて説明する。(1)に FORTRAN 77 ソースをコンパイルして、ロードモジュールに登録する JCL, (2)~(7)にそれぞれ TOPOG, MEDIC, MATHEW, ADPIC, PLCNT 及び MATEDIT コードのロードモジュールより実行する時の JCL を示す。JCL 例の先頭にある T.n₁, W.n₂, I.n₃, C.n₄ は計算機システム資源情報を示している。ここで指定した n₁, n₂, n₃, n₄ の値は付録 E で示した入力データを用いて実行した時のシステム資源使用量である。またこの例の中の J#### はユーザー番号であり、各データセットの内容説明は 5.2 章で述べ、コードのデータフロー図は付録 A にのせた。

(1) ロードモジュール作成 JCL

TOPOG コードを例にとりあげた。この例にある DD 名 SYSINC で割りあてられた区分データセットより、必要なメンバを取り出しソースプログラム中に展開する INCLUDE オプションを用いている。

```

T.1  W.0  I.3  C.1
/**
/** *****
/** *****      FORT77      *****
/** *****
/**
//FT01  EXEC  FORT77,SO='J####.ARACGEM',Q='.FORT',
//      B='NOPRINT,TERM,LC(O)',
//      A='ELM(TOPOG),INCLUDE',ELVL=W,OPT=0
//SYSINC DD DSN=J####.ARACCOM.FORT,DISP=SHR
//FT02  EXEC  FORT77,SO='J####.ARACELM',Q='.FORT',
//      B='NOPRINT,TERM,LC(O)',
//      A='ELM(*)',DISP=MOD,ELVL=W,OPT=0
//LINK   EXEC  LKED77,A=MAP
//SYSLMOD DD DSN=J####.ARAC.LOAD(TOPOG),DISP=SHR

```

- J####.ARACGEM.FORT(TOPOG) ; ソースプログラム (コード名)
- J####.ARACCOM.FORT ; 共通プログラムソース部分をこの区分データセットに登録する
- J####.ARACELM.FORT ; 変換時に作成した各コード共通ルーチン

Fig. 4.1 Job Control Language used for making load module

(2) TOPOG コードの実行 JCL

```

T.2  W.4  I.3  C.4
/**
/** *****
/** *****      TOPOG      *****
/** *****
/**
// EXEC LMGO,LM='J####.ARAC',PNM=TOPOG
//FT10F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(TOPIN),DISP=SHR
//FT15F001 DD DSN=J####.TOPO.DATA,DISP=SHR
//FT20F001 DD DSN=J####.GRIDIN.DATA,DISP=SHR
//FT33F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT59F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT99F001 DD DUMMY

```

Fig. 4.2 Job Control Language used for executing TOPOG code

(3) MEDIC コードの実行 JCL

```

T.2  W.4  I.3  C.2
/**
/** *****
/** *****      MEDIC      *****
/** *****
/**
// EXEC LMGO,LM='J####.ARAC',PNM=MEDIC
//FT15F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(SITEF),DISP=SHR
//FT10F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(WINDY),DISP=SHR
//FT08F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(GEOG),DISP=SHR
//FT20F001 DD DSN=J####.GRIDIN.DATA,DISP=SHR
//FT25F001 DD DSN=J####.MVEL.DATA,DISP=SHR
//FT33F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT59F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT99F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)

```

Fig. 4.3 Job Control Language used for executing MEDIC code

(4) MATHEWコードの実行JCL

```

T.10   W.0   I.2   C.5
/**
/** *****
/** *****      MATHEW      *****
/** *****
/**
// EXEC LMGO,LM='J####.ARAC',PNM=MATHEW
//FT10F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(MINVF),DISP=SHR
//FT15F001 DD DSN=J####.GRIDIN.DATA,DISP=SHR
//FT20F001 DD DSN=J####.MVEL.DATA,DISP=SHR
//FT25F001 DD DSN=J####.EVEL.DATA,DISP=SHR
//FT30F001 DD DSN=J####.VEL.DATA,DISP=SHR
//FT33F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT59F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT99F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
++
//

```

Fig. 4.4 Job Control Language used for executing MATHEW code

(5) ADPICコードの実行JCL

```

T.6    W.4    I.3    C.6
/**
/** *****
/** *****      ADPIC      *****
/** *****
/**
// EXEC LMGO,LM='J####.ARAC',PNM=ADPIC
//FT02F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(PICIN),DISP=SHR
//FT04F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(GEOG),DISP=SHR
//FT07F001 DD DSN=J####.VEL.DATA,DISP=SHR
//FT08F001 DD DSN=J####.GRIDIN.DATA,DISP=SHR
//FT10F001 DD DSN=J####.DPOUT.DATA,DISP=SHR
//FT12F001 DD DUMMY
//FT03F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT59F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT99F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)

```

Fig. 4.5 Job Control Language used for executing ADPIC code

(6) PLCNTコードの実行JCL

```

T.3  W.4  I.3  C.2
/**
/** *****
/** *****          PLCNT          *****
/** *****
/**
// EXEC LMGO,LM='J####.ARAC',PNM=PLCNT
//FT02F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(CPLIN),DISP=SHR
//FT04F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(GEOG),DISP=SHR
//FT09F001 DD DSN=J####.DPOUT.DATA,DISP=SHR
//FT29F001 DD DSN=J####.CONT.DATA,DISP=SHR
//FT07F001 DD DUMMY
//FT08F001 DD DUMMY
//FT10F001 DD DUMMY
//FT12F001 DD DUMMY
//FT03F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT59F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT99F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)

```

Fig. 4.6 Job Control Language used for executing PLCNT code

(7) MATEDITコードの実行JCL

```

T.2  W.4  I.3  C.4
/**
/** *****
/** *****          MATEDIT          *****
/** *****
/**
// EXEC LMGO,LM='J####.ARAC',PNM=MATEDIT
//FT08F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(GEOG),DISP=SHR
//FT10F001 DD DSN=J####.ARAC.DATA(MINEF),DISP=SHR
//FT15F001 DD DSN=J####.GRIDIN.DATA,DISP=SHR
//FT25F001 DD DSN=J####.EVEL.DATA,DISP=SHR
//FT33F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT59F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)
//FT99F001 DD SYSOUT=*,DCB=(LRECL=137,BLKSIZE=19043,RECFM=FB)

```

Fig. 4.7 Job Control Language used for executing MATEDIT code

5. 変換調査及び変換

5.1 変換方針と手順

ARACコードはローレンスリバモア国立研究所(LLNL)で開発された緊急時環境予測計算コードである。使用プログラミング言語はFORTRAN 拡張言語(LLLTRAN)であり、開発計算機はCDC 7600である。LLLTRAN言語はLLNLで独自に開発、使用されており、極めてシステム依存度が高く他計算機との互換性に乏しい。FACOM-M200計算機に変換する際、特に注意を配った点はランダムアクセス入出力処理、ビットオペレーション処理、変数の型宣言、未定義変数の初期値化、及びシステムルーチンである。

変換においては、既存のCDC計算機版プログラム変換ソフトウェアを一部修正して用いたが、それでもなお、手作業による変換ステートメントが数多く残った。LLLTRAN言語はFORTRANよりもFORTRAN 77に比較的近い言語であるため、FORTRAN 77を用いて変換した。またCDC 7600は、1語60ビットから成っており、M200は1語32ビットであるため計算精度の面から見ると倍精度計算が必要であるが、コードの特性、気象観測データの精度面、データ転送、ADPICコードのpacked word等の点から単精度計算で処理した。

ARACコードの変換手順はFig. 5.1に従って行った。

変換したステートメントはオリジナル文をコメント化して残し、変換後のステートメントと対応できる様にした。また、変換した文の73カラム以後に特殊文字を挿入し、変換箇所を把握できる様にした。変換表示記号をTable 5.1に示す。

5.2 データ・フロー

MATHEW/ADPICと補助コードのデータの受け渡しは、ランダムアクセス入力機能(BUFFER IN)、出力機能(BUFFER OUT)により、ファイル渡りしでデータ転送を行う。各コードのコントロール・データ及びMEDICコードの風速観測データはNAMELISTインプットで行っている。

ARACコード全体のデータ・フロー図はFig. 2.3に示した。また各コード毎のデータ・フロー図は付録A Fig.A. 1~Fig. A. 6に示した。図中には各ファイルの入出力方法、I/O機番、データセット名等を記号で示した。

次に各コードで入出力されるデータセットの内容を物理レコード単位に説明する。

(i) TOPOファイル; マスターグリッドの地形データ

(1) グリッドサイズ, メッシュ数等の地形データ情報(20語)。

(2) 各グリッドセルの標高データ(単位m)

4項目/1語のpacked-word(1項目15ビット)の整数値で表示されており、このデータは1項目/1語に変換した。

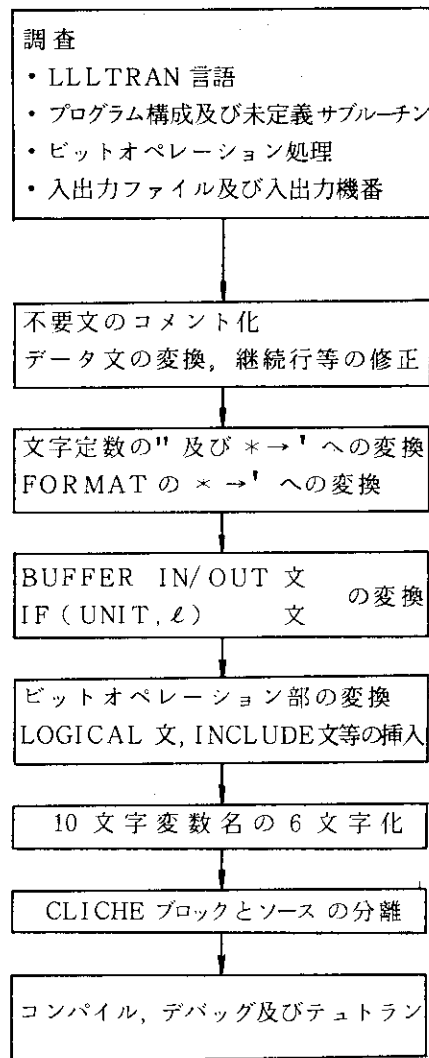


Fig. 5.1 Procedure for converting ARAC codes from CDC 7600 into FACOM-M200

Table 5.1 Symbols representing conversion statement .

変換表示記号の意味		コメント文 (1, 2カラム)	変換文 (73カラム以降)
ビット・オペレーション部の手作業による変換		C%	%%%
上記以外の手作業による変換		C#	###
ソフトウェアツール CONV 3L による変換	実行文	C¥	¥3L
	非実行文	C&	&3L
ソフトウェアツール JAERI 10 による変換	実行文	C¥	¥JA
	非実行文	C&	&JA

(ii) GRIDIN ファイル; MATHEW, ADPIC グリッドのデータ

- (1) コントロールデータ。すべてのコードで用いられる情報で、以下IDBLOCK と呼ぶ。
- (2) ADPIC の地形データ。
- (3) MATHEW の地形データ。
- (4) セル記述子。境界面、地表などのセルの情報を 3 ケタの整数で表示する。

(iii) MVEL ファイル; 風速観測値データ

- (1) コントロールデータ (IDBLOCK)
- (2) 風速内挿データ。地表及び上空 (タワー) での x, y 方向風速内挿値。
物理レコード(1), (2)は観測毎に (一般には 1 時間毎) に, MVEL ファイルに出力される。

(iv) VEL ファイル; 風速調整値

- (1) コントロールデータ (IDBLOCK)
- (2) 逆転層の高さデータ
- (3) x 方向風速の 3 次元データ
- (4) y 方向風速の 3 次元データ
- (5) z 方向風速の 3 次元データ

物理レコード(3), (4), (5)は 2 項目 / 1 語の packd-word で処理されており, 1 項目 / 1 語に変換した。

(v) EVEL ファイル; 風速をプロット出力するためのデータ

- (1) コントロールデータ (IDBLOCK)
- (2) 逆転層データ
- (3) 風速内挿値データ
- (4) 風速調整値データ

(vi) DPOUT ファイル; 濃度の計算結果をプロット出力するためのデータ

- (1) コントロールデータ (IDBLOCK)
- (2) 積算濃度, 瞬時濃度及び沈着量データ

5.3 LLLTRAN 言語の調査と使用言語

5.3.1 LLLTRAN 言語

ARAC コードは拡張 FORTRAN 言語 LLLTRAN を用いて作成されているため, 6 つのコードを調査し, 標準 FORTRAN がない特殊機能をリストアップした。主な相異点は (i) 変数名が 10 文字まで使用可能であり, その多くは 7 ~ 8 文字で使用されていること, (ii) ソースプログラムの共通部分を CLICHE 文以下に定義し, USE 文の所に展開する機能があること, (iii) 定数を変数名で定義する PARAMETER 文を多用していること, (iv) ビット操作機能 (AND, OR, SHR, SHL 等) が使用可能なこと, 及び (v) ランダムアクセス入出力機能を用いていること等であった。

また, 実際に変換したプログラムを実行する時に問題となる点として, 1 語 60 ビットの精度上の問題と CDC 7600 計算機での未定義変数のゼロクリヤー化等が考えられた。

これらの特殊機能を付録B . LLLTRAN とFORTRAN の比較表にリストアップした。

5.3.2 使用言語

LLLTRANは調査の結果FORTRAN よりもFORTRAN 77 に近い言語であることが判明したため、後者を用いて処理する方針をとった。ここでは、LLLTRAN とFORTRAN 77 の類似点の具体例を示す。下記の記号〔 〕の値は付録B の番号と対応している。

同一機能

- RARAMETER 文。〔 3 〕
- 多重代入文。〔 12 〕
- WRITE 文の出力並びに算術式を用いることが可能。〔 15 〕
- DO 文の初期値、終値及び増分値の制限がない。〔 22 〕

同一機能で表現の異なる文

- CLICHE, USE 文。〔 1 〕

これはCDC のupdate 機能 (COMDECK) と同一であり、FORTRAN 77 のINCLUDE オプションで処理できる。

- 文字定数。〔 13 〕

1 語 10 文字まで文字定数を扱うことが可能であるが、FORTRAN 77 では CHARACTER *n で文字定数を定義すると、配列サイズを変更する必要がない。ただし文字変数とそれ以外の変数を同一コモンブロックで定義できない点に注意を要する。

5.4 ランダムアクセス入出力

5.2 章の i) ~ j) の各データセットは、6 本のコードにより、ファイル渡してデータ転送が行われる。ここで用いられる入出力は非同期ランダムアクセス入出力機能を持つ BUFFER IN, BUFFER OUT 文 (付録B.17) で行われている。

BUFFER IN (ℓ , m) (v_1 , v_2 , nad) 又は,

BUFFER OUT (ℓ , m) (v_1 , v_2 , nad)

n 1 IF (UNIT, ℓ) n 1, n 2, n 3, n 4

ここで ℓ は I/O 論理機番、m は BCD/バイナリー情報であり変数 v_1 から v_2 までの連続領域にディスク・アドレス nad より (又は、 v_1 から v_2 までの連続領域から nad に) データを転送する。 v_1 及び v_2 は連続領域であれば、異なったコモンブロック又は異なった配列でも良い。nad は初期値 0 で 1 語単位にカウントされ、アドレスが決定される。

IF (UNIT, ℓ) 文は、非同期入出力の実行を完了させ、完了コードのチェックを行う。n 1, n 2, n 3, n 4 は文番号で、WAIT 状態の時 n 1 に、正常終了の時 n 2 に、EOF の時 n 3 に、そして異常終了時 n 4 にジャンプする。

この入出力機能は、サブルーチン BUFFOT (ENTRY BUFFIN) 及び、ファンクションサブルーチン UNIT を作成して変換した (5.6 章)。これらのルーチンは非同期順次入出力であるため、各コードの入出力順をプログラムソース上で調査し、nad の値により順次処理順に一部

修正した。

5.5 ビットオペレーション

LLLTRANにはビットオペレーション機能としてTable 5.2の手続きがある。

これらのオペレータを用いて、速度ベクトル等コードとして重要な変数がpacked-word化されている。CDC 7600 計算機のコアメモリの制約、データ転送時の入出力時間の短縮などの点からpacked-wordが行われているが、パックされている変数の種類は少ない。さらに、変換後のプログラムの読み易さ、今後プログラムの修正を行う時の変更のし易さの面からパックされた各々の変数をすべて1項目/1語に変換した。

Table 5.3にpacked-word変数と変換後の変数名を示した。

5.6 システムルーチンの整備

ARACコードを調査した結果、数多くの未定義ルーチンが存在した。これらのルーチンはLLNLで開発されたLTSS(Livermore Time Sharing System)のシステムルーチンである。この中の大半は図形出力用、及びファイル定義(オープン、クローズ)用のシステムルーチンである。今回の変換作業には図形出力部分を含めないで、プログラム上でコメント化したり、ダミールーチン化して処理した。

変換に際して必要なシステムルーチン、及び特殊な機能を有する実行文を作成、整備した。以下にこれらのルーチンの引き数、機能をのべる。ARACコードで用いられている未定義ルーチンの一覧表を付録Cにのせた。またこの表中のLTSS NoとはLTSSライブラリマニュアルの番号で、LTSS-302、LTSS-304、LTSS-305を示している。

5.6.1 SUBROUTINE BUFFOT(ℓ , id, v1, v2, iad)

ENTRY BUFFIN(ℓ , id, v1, v2, iad)

(機能) BUFFOTは変数v1からv2までの連続領域のデータをI/O機番 ℓ で非同期順次出力する。BUFFINは同様に非同期順次入力する。

(引数) ℓ 入出力論理機番(IN)
 id 変数タイプ。未使用(IN)
 v1 入出力する最初の変数(IN/OUT)
 v2 入出力する最後の変数(IN/OUT)
 iad ディスク・アドレス。未使用(IN)

(注意)

- (1) 変数v1, v2は同一配列上の変数でなくても良い。
- (2) BUFFER IN/OUT文は、非同期ランダムアクセス入出力機能を有するが、このルーチンは非同期順次入出力機能のため、物理レコードの入出力順を注意しなければならない。
- (3) 単精度用ルーチンであり、倍精度及びCHARACTER変数のデータは扱うことができない

Table 5.2 LLLTRAN Boolean operators

Operator	Meening
.UN . or . OR .	Union
.INT . or . AND .	Intersection
.XOR .	Exclusive OR
.SHL .	Shift left
.SHR .	Shift right

Table 5.3 The variable names of packed word

No.	変数名	ビット位置	変数の意味	新変数名	コード名
1	BUF (60000)	0~14	マスターグリッドの標高データ (整数)	BUF (240000)	TOPOG
		15~29	15 bit / 1 item		
		30~44	4 item / 1 word		
		45~59			
2	UPIC	0~29	MATHEWよりADPICヘデータ転送時に、 2item/1wordにバックし転送量の短縮 を行っている。x, y, z 方向風速値		MATHEW ADPIC
	VPIC	30~59			
	WPIC				
3	U (41, 41, 15)	0~37	x 方向仮想速度 ($\vec{u}_p = \vec{u}_D + \vec{u}_A$)	U	ADPIC
		38~59	x 方向移流速度 (\vec{u}_A)	U ¥ 2	
4	V (41, 41, 15)	0~37	y 方向仮想速度	V	
		38~59	y 方向移流速度	V ¥ 2	
5	W (41, 41, 15)	0~37	z 方向仮想速度	W	
		38~59	z 方向移流速度	W ¥ 2	
6	PP (25000)	0~37	粒子の質量又は放射能	PP	
		38~59	" x 方向拡散距離	PP ¥ 2	
7	PS (25000)	0~37	粒子の落下速度	PS	
		38~59	" y 方向拡散距離	PS ¥ 2	
8	PT (25000)	0~37	粒子の存在時間	PT	
		38~59	" z 方向拡散距離	PT ¥ 2	
9	PX (25000)	0~51	粒子のx 座標	PX	
		52~59	" x 方向グリッド番号	I ¥ PX	
10	PY (25000)	0~51	粒子のy 座標	PY	
		52~59	" y 方向グリッド番号	I ¥ PY	
11	PZ (25000)	0~51	粒子のz 座標	PZ	
		52~59	" z 方向グリッド番号	I ¥ PZ	

* \vec{u}_D は拡散速度

** この表以外に文字定数等のビットオペレーションも存在している。

い。

5.6.2 FUNCTION UNIT (ℓ)

(機能) サブルーチン BUFFIN/BUFFOT の入出力完了コードを求める。

$$\text{UNIT} = \begin{cases} \text{負} & \text{正常} \\ 0 & \text{End of file} \\ \text{正} & \text{入出力エラー} \end{cases}$$

(引数) ℓ 入出力論理機番

5.6.3 FUNCTION AMINAF ($a, k1, k2, \ell, m$)

(機能) 配列 $a(i)$, $i = k1 \sim k2$ の最小値を求め、その結果を AMINAF に返す。

(引数) a 配列名 (IN)
 $k1$ 配列 a の最初の添字 (IN)
 $k2$ 配列 a の最後の添字 (IN)
 ℓ 配列番号の増分値 (IN)
 m 最小値を示す配列の添字 (OUT)

5.6.4 SUBROUTINE MLR ($i, m, n, a, x, y, b, r, w, v$)

(機能) ベクトル \vec{r} ($= \vec{y} - A \cdot \vec{x}$) の各要素の 2 乗和を最小にする様な未知数 \vec{x} を求める。

(引数) i 配列 $a(i, j)$ の整合寸法 (IN)
 m 式の数 (IN)
 n 未知数 x の数 (IN)
 a 係数, 2次元配列 (IN)
 x 未知数, 1次元配列 (OUT)
 y 定数, 1次元配列 (IN)
 b $i \cdot n$ 語の作業領域
 r m 語の作業領域
 w n 語の作業領域
 v n 語の作業領域

(注意) SSL-II LAXL (最小 2 乗解; ミニマックス解) を Call している。

5.6.5 FUNCTION RNFL (x)

(機能) 一様乱数を求め RNFL に値を返す。一様乱数は合同法を用いた。

(引数) x 乱数の種, 現在未使用である。

5.6.6 SUBROUTINE BLOCKC (s, t, n)

(機能) 配列 s から t へ n 語データを転送する。

(引数) s 転送するデータソース (IN)

t 転送するデータのターゲット (OUT)

n 転送するデータの語数

(注意) BLOCK COPY 文を模擬するルーチンである。

6. あとがき

本報告で述べたARAC 関連コードを入手したのは昭和 56 年 5 月であった。また、このコードのサンプル入出力をローレンス・リバモア国立研究所から受け取ったのが同年 7 月である。8 月末に一応の変換を終えて原研設置の FACOM M-200 計算機による計算結果を得た。この計算結果とローレンス・リバモア国立研究所のサンプル出力とは一致しない個所があった。その点については付録 D に触れているとおりである。現在の M-200 版 MATHEW/ADPIC コードの計算結果は、57 年 1 月にローレンス・リバモア国立研究所から送られてきたサンプル出力の結果とかなり良く一致している。現在原研においても緊急時の環境放射能予測計算コード・システムの構成方法、包含すべき物理モデル、地域・気象データベース、通信ネットワークなどについて関連部所の人達が集まり、勉強会を持ち、昭和 56 年度は、57 年 1 月までに 7 回の会合を開いている。ARAC コードの変換は、この会の作業の一環としておこなわれた。会合のメンバと所属は下記のとおりである。

飯嶋敏哲（安全解析部環境調査解析室長）
 本間俊充（安全解析部）
 口高昭秀（同上）
 森内 茂（環境安全研究部環境第 1 研究室長）
 茅野政道（環境安全研究部）
 石川裕彦（同上）
 甲斐倫明（同上）
 浅井 清（計算センタ室長代理）
 中村康弘（計算センタ・システム・プログラム係長）
 高橋國夫（計算センタ）
 田部井誠（同上）

謝 辞

本報告で MATHEW/ADPIC 関連コード、計算手法、入出力データの紹介、引用を認めていただいた米国ローレンス・リバモア国立研究所環境評価・地球科学部次長 Marvin H. Dickerson 博士をはじめ、ARAC システムの人々に深く感謝します。また、あとがきで触れた勉強会のメンバである飯嶋敏哲環境調査解析室長 森内茂環境第 1 研究室長からは、原稿の内容、変換作業の進め方について種々有益なコメントをいただいた。計算センタ 平川隆室長、計算センタ外来研究員 石川雅章博士（富士通）には変換作業を進めるに当ってお世話になった。深く感謝します。

また、環境放射能研究委員会モニタリング予測専門部会（浜田部会長）の専門委員の方々にも、本報告書の作成に際しお世話になったことを記します。

参考文献

- 1) 今井和彦：緊急時に対する環境放射能の安全研究，原子力工業，27(3)，(1981)
- 2) Lange, R : ADPIC - A Three dimensional Particle-in-Cell Model for the Dispersal of Atmospheric Pollutants and its Comparison to Regional Tracer Studies. J. Appl. Meteor., 17(3), (1978)
- 3) Sherman, C. A.: A Mass-Consistent Model for Wind Fields over Complex Terrain. J. Appl. Meteor., 17(3), 312-319, (1978)
- 4) Dickerson, M. H. and Orphan, R. C. : Atmospheric Release Advisory Capability. Nuclear Safety 17, 281-289, (1976)
- 5) Report of ARAC Project Study Panel - Final Report. Nov. 1978, LLNL
- 6) Knox, J. B., Dickerson, M. H. et al., : Utilization of the Atmospheric Release Advisory Capability (ARAC) services during and after the Three Mile Island accident. UCRL - 52959, LLNL, July 1, 1980
- 7) Sasaki, Y. K. : An Objective Analysis Based on the Variational Method. J. Meteor. Soc. Japan, 36, 77-88, (1958)
- 8) Lange, R : A Three-Dimensional Computer Code for the study of Pollutant Dispersal and Deposition under Complex Conditions. UCRL - 51462, 1973

付録A. MATHEW/ADPICと関連コードのデータ・フロー図

TOPOG コード, MEDIC コード, MATHEW コード, ADPIC コード, PLCNT コード, MATEDIT コードのデータフローを Fig. A. 1 ~ Fig. A. 6 に示す。

図中には各データファイル名, その入出力方法, I/O機番等を下記の記号を用いて表示した。

入出力方法の表示記号〔 ℓ , m (FT xx)〕

ここで ℓ = NL ; NAMELIST 入力文

= R ; READ 文

= W ; WRITE 文

= BI ; BUFFER IN 文

= BO ; BUFFER OUT 文

m = 論理I/O機番名

xx = 論理I/O機番 (1 ~ 99) である。

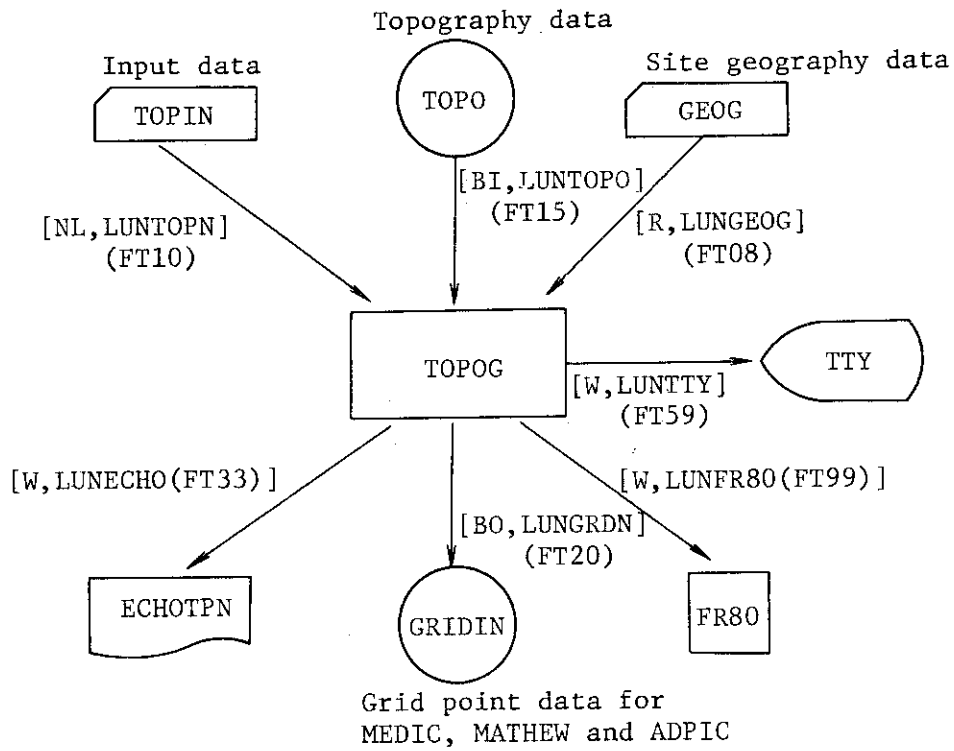


Fig. A.1 Data flow of TOPOG code

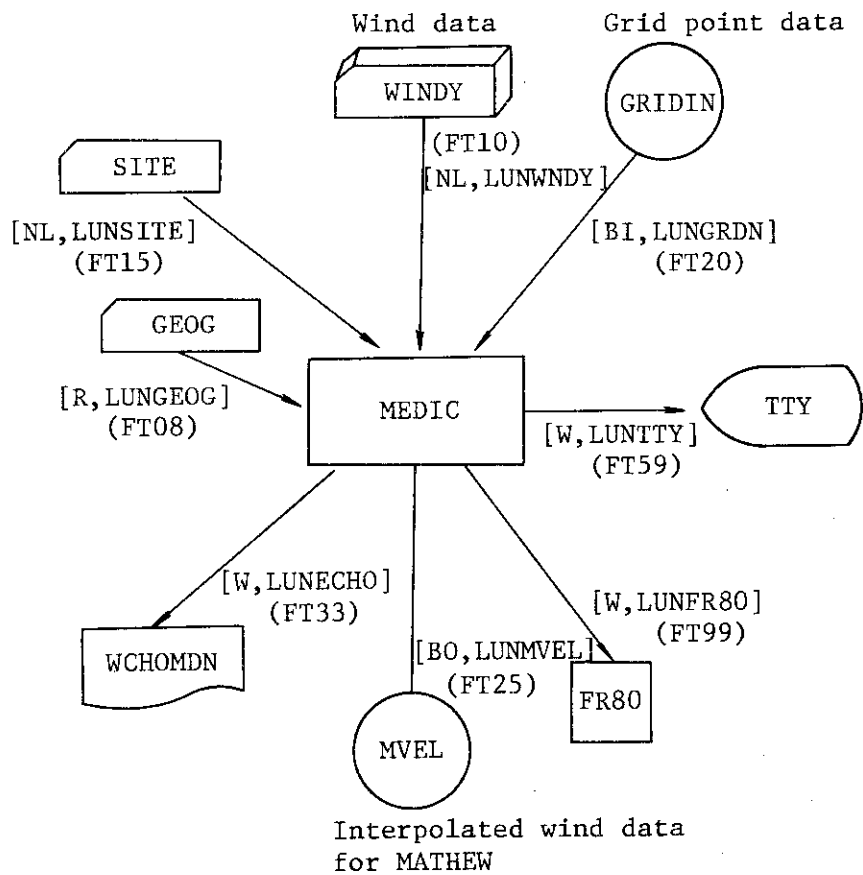


Fig. A.2 Data flow of MEDIC code

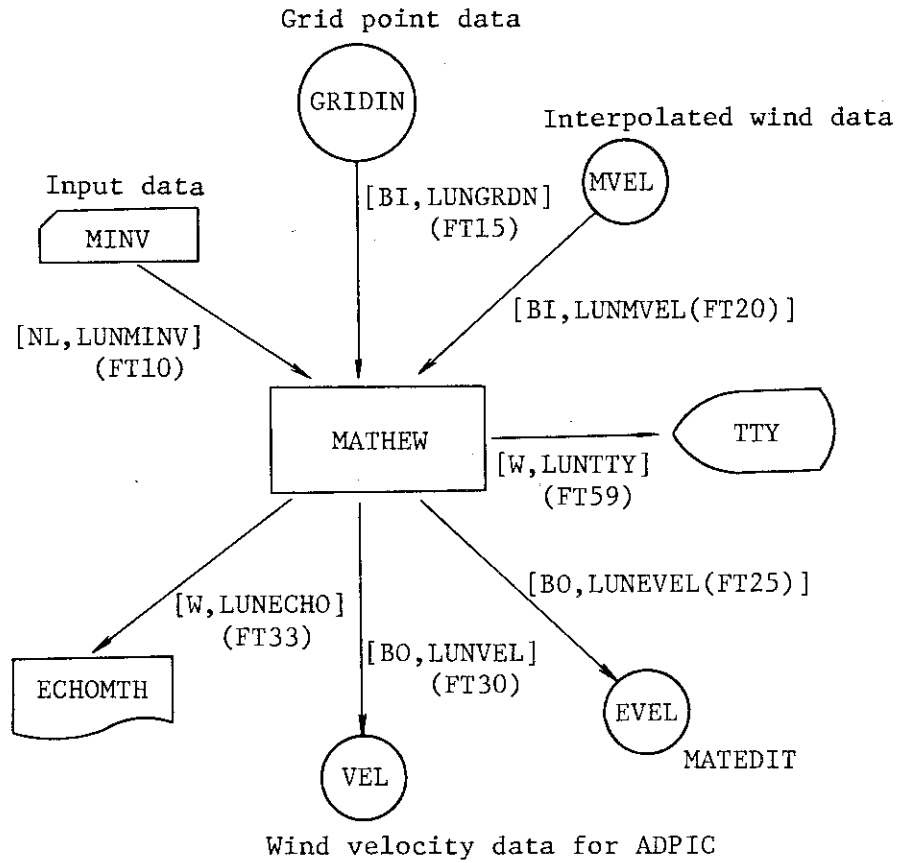


Fig. A.3 Data flow of MATHEW code

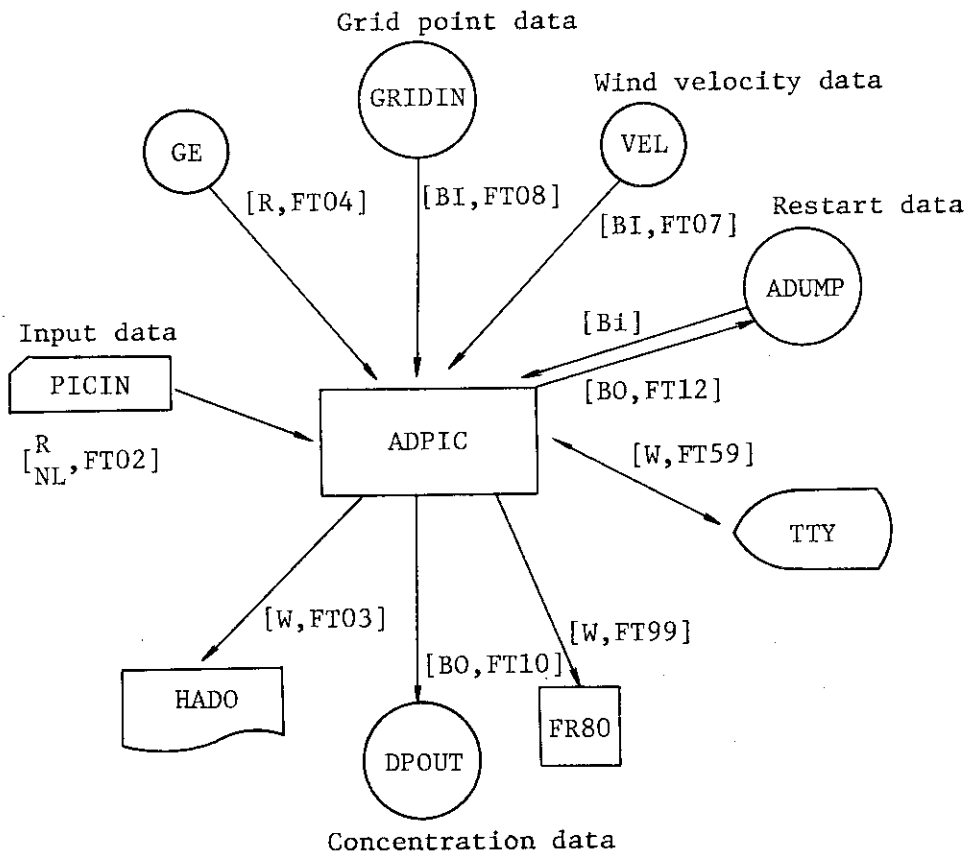


Fig. A.4 Data flow of ADPIC code

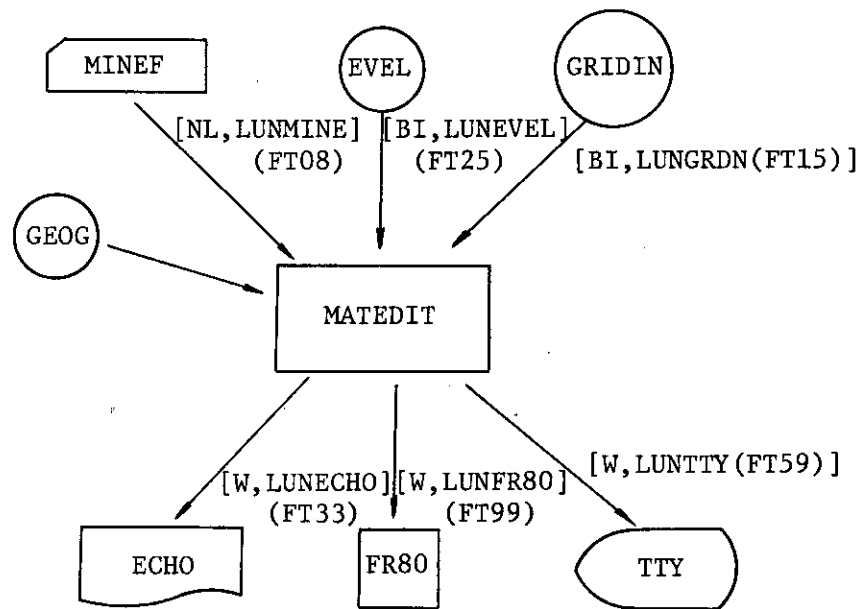


Fig. A.5 Data flow of MATEDIT code

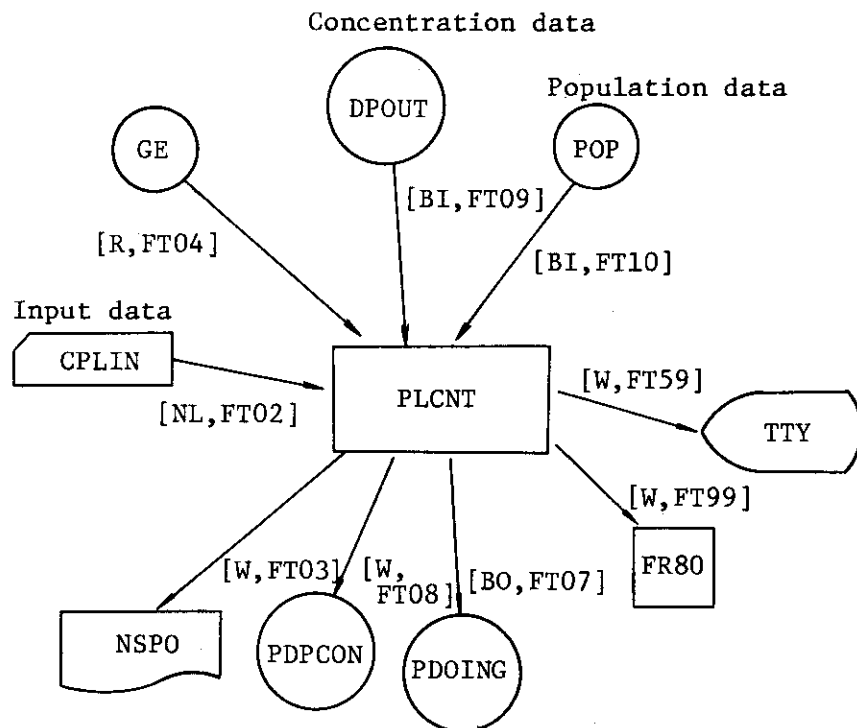


Fig. A.6 Data flow of PLCNT code

付録B. LLLTRANとFORTRANの比較

ARACコードで使用されているLLLTRANの特殊機能をリストアップした。

(1) CLICHE 文

```
例) CLICHE 文
      } ソースプログラム
      ENDCLICHE
      |
      USE name
```

ソースプログラムの共通領域を名前付き (name) で、プログラム内で定義し、USE文の同一名前の個所に展開する。FORTRAN 77のINCLUDE オプションと類似の機能である。

(2) LCM (name)

CDC 計算機の使用メモリー設定文 (Large Core Memory) であり、コメント化した。

(3) PARAMETER 文

```
例) PARAMETER (ii = 41, jj = 41, v1 = 3.0)
      PARAMETER (ij = ii * jj)
```

```
COMMON /name /v2 (ii, jj)
DIMENSION v3 (ij)
```

定数を設定する文であり、実行中に再設定してはならない。FORTRAN 77に同一機能がある。

(4) BYTE 文

```
例) BYTE nn (3)
      DIMENSION nn (10)
```

この例では変数 nn の 1 語を 3 ビット変数として用いる。BYTE 文はコメント化した。

(5) PROGRAM 文

```
例) PROGRAM name (TAPE n = n1, ……)
```

メインルーチンに名前 name を付ける。TAPE n は I/O 機番を指定する。

(6) DATA 文

```
例 1) DIMENSION a (10, 2)
      DATA (a = 20 (-2.5))
```

配列 a の 20 要素に -2.5 をセットする。

```
例 2) DATA (a (1, 2) = .74, b = 3.141 / 180.)
```

算術式が可能である。

(7) ビット操作機能 (Boolean Operation)

i) .SHR. shift right

例) $i = v . \text{SHR} . n$ n は正整数

n ビット右にシフトする。左端の符号ビットが n ビット左側につめられ、右側 n ビットは切りすてる。

ii) $. \text{SHL} . \text{shift left}$

例) $i = v . \text{SHL} . n$ n は正整数

n ビット左にシフトする。左端のビットが右端にサイクリックに現われる。

iii) $. \text{INT} .$ 及び $. \text{AND} . \text{Intersection}$

例) $i = v1 . \text{INT} . v2$

$i = v1 . \text{AND} . v2$

変数 $v1$ と $v2$ の各対応ビット毎に、 $(1, 1) \rightarrow 1$ 、 $(1, 0)$ 又は $(0, 1)$ 又は $(0, 0) \rightarrow 0$ のビット操作を行う。

iv) $. \text{UN} .$ 及び $. \text{OR} . \text{Union}$

例) $i = v1 . \text{UN} . v2$

$i = v1 . \text{OR} . v2$

変数 $v1$ と $v2$ の各対応ビット毎に、 $(1, 1)$ 又は $(1, 0)$ 又は $(0, 1) \rightarrow 1$ 、 $(0, 0) \rightarrow 0$ のビット操作を行う。

v) $. \text{XOR} . \text{Exclusive OR}$

例) $i = v1 . \text{XOR} . v2$

変数 $v1$ と $v2$ の各対応ビット毎に、 $(1, 1)$ 又は $(0, 0) \rightarrow 0$ 、 $(1, 0)$ 又は $(0, 1) \rightarrow 1$ のビット操作を行う。

(8) 8進表示

例) $m = 7777777777777777600 \text{ B}$

変数 m の前 51 ビットは 1 で、後 9 ビットは 0 である。マスク演算等に使用される。

(9) $. \text{INTEGER} .$

例) $i = . \text{INTEGER} . v$

実数 v の小数点以下を切りすて、整数化する。

(10) $. \text{LOC} . \text{Location Operation}$

例) $i = . \text{LOC} . v$

変数 v の word address を求める。

(11) 継続行

19 行以上の継続行が使用可能である。ARAC コードには 70 行の継続行も用いられている。

また 6 カラム目がブランク以外すべて継続行となる。

(12) 多重代入文

例) $v1 = v2 = v3 = \dots = a$

(13) 文字定数

例 1) $i = " \text{ABCDEFGHIJ} "$

$i = * \text{ABCDEFGHIJ} *$

$i = 10 \text{ H } \text{ABCDEFGHIJ}$

1語10文字まで使用できる。左づめされる。

例2) `i = 7R ABCDEFG`

文字を右づめにする。

(14) FORMAT文

例1) `WRITE (10, 100) ichar`

`100 FORMAT (*ABC*, R8)`

変数 `ichar` の右文字を出力する。

例2) `n = 5`

`WRITE (10, 100) (n, a(i), i = 1, 100)`

`100 FORMAT (5 (/, *E14.6))`

variable format が可能であり、FORMAT中の*にnの値が入る。この例だと5E14.6となる。

例3) `100 FORMAT (2X, *ABC*, *.ASCII)`

*.ASCII の使用法が不明である。

(15) WRITE文

例) `WRITE (6, 100) n * m + l, v`

出力並びに算術式を用いることができる。FORTRAN 77は可能である。

(16) NAMELIST入力文

例) `NAMELIST /name /v1, v2,`

`INPUT DATA name, li, lo`

エコー出力つきNAMELIST入力文である。ここで、nameはNAMELISTブロック名、 li は入力論理機番、 lo は出力論理機番である。

(17) BUFFER IN, BUFFER OUT文 Random access input, output

例) `COMMON /name /v1(5, 10), v2, v3(50, 15)`

`BUFFER IN (l, m) (v1, v3(50, 15), nad)`

又は、`BUFFER OUT (l, m) (v1, v3(50, 15), nad)`

配列v1の先頭から配列v3の最後まで連続領域に、データを入力(又は出力)する。このBUFFER文は、ランダムアクセス非同期入出力を行う。ここで、 l は入出力論理機番、 $m=0$ の時BCD情報であり、 $m=1$ の時バイナリ情報である。nadはデータの先頭位置(disk address)を示す。

(18) IF (UNIT, l)文

例) `n1 IF (UNIT, l) n1, n2, n3, n4`

BUFFER文のI/Oコンディションチェックを行う。n1はWAIT状態、n2は正常終了、n3はEOF又はEOV、n4は入出力エラーの時ジャンプする文番号である。

(19) BLOCK COPY文

例) `BLOCK COPY (v1, v2, m)`

配列 v2 から v1 へ m 語データをコピーする。SCM 領域と LCM 領域との間のデータ転送を行う。

20) IF 文

例 1) IF (SENSE SWITCH ℓ) n1, n2

6 種類のセンススイッチ ($\ell = 1, 2, \dots, 6$) より, on/off を判定する。on の時 n1 へ, off の時 n2 へジャンプする。

例 2) IF (ℓ) n1, n2

2 分枝 IF 文で, 論理変数 ℓ が真の時は n1 へ, 偽の時は n2 へジャンプする。

21) 複数次元配列宣言下で, 1次元配列として使用可能

例) COMMON /name / a (10, 5, 5)

v1 = a(i) * n

22) DO 文

例) DO 15 i = v1, v2, v3

15 sum = sum + f(x) * i

初期値, 終値, 増分値の制限がない。v1 < v2 の時 v3 < 0. である場合, 又は v1 > v2 の時 v3 > 0. であれば, この DO ループは実行されない。FORTRAN 77 と同一機能である。

23) 文番号の省略

例) IF (ℓ) n1,,n3

算術 IF 文等の結果が指定のない文番号 (例では $\ell = 0$ の時) の場合は, この IF 文の次のステートメントを実行する。

24) 文番号に変数を使用できる。

例) WRITE (ℓ , NN) v

NN FORMAT (.....)

25) OPTION 文

例) OPTION LABEL (e1, e2,

26) 入出力論理機番

例 1) WRITE (ℓ , m1)

READ (ℓ , m2) v

入出力に同一機番を使用している。 $\ell = 59$ で使用されており, この機番は TSS に用いられている。

例 2) WRITE (100, m) v1, v2

FORTRAN の機番は 1 から 99 までである。

27) 論理型変数

例) $\ell = 1 - \ell$

IF (ℓ) GO TO n

$\ell = 0$ の時 false で, $\ell = 1$ の時 true である。 $\ell = .TRUE.$ 等も使用できる。LOGICAL 宣言しなくても論理変数として使用できる。

付録C. ARACコードの未定義ルーチン一覧表

Table C.1 System routines used in ARAC codes

No	ルーチン名	新ルーチン名	備 考	LTSS No. - page
1		BUFFIN	BUFFER IN 文	
2		BUFFOT	BUFFER OUT 文	
3		UNIT	if (UNIT, L) 文	
4	ADJUST	コメント化		304-282
5	AMINAF	AMINAF	配列の最小値を求める	304-51
6	ASSLGN	ダミー化	論理機番と DSN を割りあてる	304-243
7	BCDINT	コメント化	整数型 ASCII → binary 変換	304-78
8	BINENPTY	"	binary buffer をクリア	304-308
9	CONTLAB	"		
10	DDERS	"		305-48
11	DEVICE	ダミー化	disk の open / close	304-247
12	ENPTY	コメント化	BCD buffer をクリアする	304-307
13	EXIT	EXIT	program stop EXIT(i)	304-113
14	FRAME	コメント化	frame plot	305-32
15	FR80ID	"	FR80 file をマークする	305-15
16	GAXIS	"		305-46
17	GSTAT	"		305-28
18	GSYMTT	"		
19	IRNFL	ダミー化	RNFL の次回の乱数を求める	304-66
20	KEEP80	コメント化		305-31
21	LINE	"		305-52
22	LRNFL	"	乱数発生の種類を送る	304-67
23	MAP	"		305-37
24	MAPS	"		305-38
25	MAPSSL	"		
26	MLR	MLR	($y - ax$) の最小二乗和を求める	304-59
27	NIPID	コメント化		305-19
28	PLOTE	"		305-29
29	PLOTV	"		305-75
30	PLOT3D	"	3次元図プロット	
31	POINTC	"	プロット点を指定する	305-56
32	POINTV	"	"	305-55
33	RCONTR	"	"	305-75
34	RNFL	RNFL	乱数発生	304-65
35	RUN	コメント化		304-291
36	SETCH	"	} 作図のポイント指定	305-62
37	SETCRT	"		305-52

No.	ルーチン名	新ルーチン名	備 考	LTSS No - page
38	SETLCH	コメント化) 作図のポイント指定	305- 65
39	SETPCH	"		305- 60
40	SMESTT	"	テレタイプにメッセージを送る	
41	TRACE	"		305- 58
42	TRACEC	"		305- 59
43	TRACEP	"		305- 59
44	TVID	"		305- 12
45	URSWITCH	"	ディスクファイル名の変更	
46	GFSIZE	"		305- 30
47	OFFMON	"	リスタート機能	304- 120
48	REWIND		REWIND 文	304- 298
49	STRMPLT	コメント化		
50		BLOCKC	BLOCKCOPY 文 データ転送	

付録D. 新／旧出力例の相異点

旧出力例は昭和 56 年 7 月に、新出力例は昭和 57 年 1 月にそれぞれ LLNL より送られて来た。この違いは ARAC 関連コードの改良バージョンの違いによるものである。新出力例と変換したソースプログラムのバージョンが一致している。将来再び ARAC 関連コードを入手したならば、その時そのコードがどちらのバージョンかを判定するための参考になればと考えて、以下に 2 つの出力例の違いを述べる。ここでは新出力例をベースに旧出力例の相異点を各コード毎に列記する。

1. TOPOG コード

- (1) KMATTPC (地表を含む方向セル番号) の値が境界上で異なる。新出力例では 0 であるが、旧のそれは 1 である。
- (2) ICELDS (MATHEW グリッドのセル記述子) の値が全面的に異なる。これは 3 桁の整数で表示され、100 位が x、10 位が y、1 位が z 方向のセル属性を表わしている。

2. MEDIC コード

- (1) U0REF, V0REF (基準高さ (REF) での x, y 方向風速内挿値) は良く一致しているが、U0TOP, V0TOP (グリッド最高地点の風速内挿値) は 3 桁目より異なっている。

3. MATHEW コード

- (1) 風速場を求めるための収束判定値が異なっている。新出力例では 10^{-2} であるが、旧のそれは 10^{-4} である。

4. ADPIC コード

- (1) 鉛直プロファイルを求めるための係数 SPDCOEFF, SINCOEF, COSCOEF の値が新出力例では 0 であるが、旧のそれは値を持っている。変換したソースプログラム上では、これらの値は使用されていない。
- (2) 風速最大値の値が x 方向内挿値 (MEDIC の結果)、x 方向調整値 (MATHEW の計算結果) の個所でそれぞれ 10 % 程度異なる。
- (3) MATHEW の収束判定値、収束回数が異なる。
- (4) 拡散パラメータ USTAR, UBAR の値が約 10 % 小さい。
- (5) 2～5 タイムステップの所でタイムステップ巾が約 15 % 大きい。したがって放出粒子数等の値も異なっている。ステップが進むにつれてこの差は小さくなっている。

5. PLCNT コード

- (1) 1 時間後の濃度計算結果より最高濃度値を比較すると ± 5 % 程度の違いが見られる。拡散分布はほぼ近いが、希薄な領域の値はかなりの差がある。

付録E. 入力データ例

ARAC.DATA

```
*****
** CPLIN **
*****
```

```
TEST RUN #1
&CML
SLOT1=7811200200.,2.,
SLOT2=7811200200.,2.,
SLOT3=7811200200.,-2.,
SLOT4=7811200200.,2.,
SLOT5=7811200200.,2.,
SLOT6=7811200200.,2.,
SLOT7=7811200200.,2.,
SLOT8=7811200200.,2.,
SLOT9=7811200300.,3.,
SLOT10=7811200600.,6.,IGDOF=1,&END
```

```
*****
** GEOG **
*****
```

未使用データ

```
1
1.00 1.00 1.00 1.00 2.00 2.00 2.00 2.00
-3.0 -3.0 -3.0 -3.0 -3.0 -3.0 -3.0 -3.0
3.00 3.00 ABCDEFGHIJKLMNOPQRST
-5.0 -50.0 ABCDEFGHIJKLMNOPQRST
```

```
*****
** MINEF **
*****
```

```
&MINEF
ISAV=1,IRFST=1,IRNOW=1,IEND=1,KATUV0=2,KATUV=2,NVCTFQ=3,
IP#105=1,IP#106=1,IP#107=1,IP#108=1,IP#109=1,IP#110=1,IP#111=1,
IFACES=1,MAGLOC=1,IGDOF=1,
&END
```

```
*****
** MINVF **
*****
```

```
&MINVF IRFST=1,IRNOW=1,IEND=3,SIGH=1.0,SIGV=0.01,IGDOF=1,&END
&MINVF IRFST=1,IRNOW=2,IEND=3,SIGH=1.0,SIGV=0.01,IGDOF=1,&END
&MINVF IRFST=1,IRNOW=3,IEND=3,SIGH=1.0,SIGV=0.01,IGDOF=1,&END
&MINVF IGDOF=999999,&END
```

```
*****
** PICIN **
*****
```

```
TEST RUN #1
&CML
ISTR=7811200000,IR#039=300,IDUMP=0,IRST=0,DELTO=60.,
```

ARAC.DATA

IDIF=5,NVEL=3,SP#040='S01','S02','S03','S04','S05',
 SIGX=5*.5,SIGY=5*.5,SIGZ=5*.5,
 XR=5*1.,XL=5*-1.,YR=5*1.,YL=5*-1.,ZT=5*1.,ZB=5*-1.,
 ZSCH=5*50.,XSC=5*665.,YSC=5*4257.,
 ISSRT=5*0000,ISSTP=5*1200,SRATE=1.,2.,3.,4.,5.,
 HALF=1.E5,1.E4,1.E2,-1.E5,-2.E2,ITOT=5*5000,
 VDEP=.01,0.,0.,0.01,0.01,SAVE=5*0.,SGD=5*0.,SMAX=5*0.,SMIN=5*0.,
 ISPEC=1,2,3,4,5,1,1,1,2,2,IOPT=1,1,1,1,1,1,2,3,2,3,
 SAMHGT=5*2.,25.,25.,0.,25.,0.,IGOOF=1,
 &END

 ** SITEF **

&SITEF NUPR=1,UPRSTN='OAK',584.014,4141.146,NSFC=7,
 SFCSTN='TST',665.,4257.,50.,
 'SAC',631.348,4263.140,6.,
 'SMF',621.664,4283.857,6.,
 'MCC',639.110,4280.335,6.,
 'MHR',648.011,4260.334,6.,
 'SUU',593.253,4235.526,6.,
 'SCK',654.901,4194.732,6.,
 IGOOF=1,&END

 ** TOPIN **

&TO#148 TO#088='TST',UT#029=620.,UT#030=4255.,
 DELX=1.25,DELY=1.25,DELZ=50.,
 NDELX=1,NDELY=1,NDELZ=1,IP#087=0,IS#079=99999,
 IGOOF=1,&END

 ** WINDY **

&WINDYF SITE='TST',NTIME=781120,0000,NRUN=1,
 PWRSL=.16,PWRBL=.16,REF=6.,
 IA#112=60,SRH=.03,
 TOPBL=700.,TOPSL=70.,TOPML=500.,ZMOLI=0.002,ISTAB=4,
 UPR='OAK',11.,140.,4.2,-1.,
 121.,140.,6.6,-1.,
 302.,140.,9.7,-1.,

.ARAC.DATA

```

        607.,150.,11.8,-1.,
        912.,160.,15.4,-1.,
        1217.,160.,16.9,-1.,
        1468.,160.,17.4,-1.,
SFC='TST',140.,4.2,
    'SAC',140.,5.1,
    'SMF',140.,5.1,
    'MCC',120.,5.1,
    'MHR',140.,2.5,
    'SUU',110.,2.5,
    'SCK',130.,2.5,IGOOF=1,&END
&WINDYS SITE='TST',NTIME=781120,0100,NRUN=2,
PWRSL=.16,PWRBL=.16,REF=6.,
IA#112=60,SRH=.03,
TOPBL=700.,TOPSL=70.,TOPML=500.,ZMOLI=0.002,ISTAB=4,
UPR='OAK',11.,140.,4.2,-1.,
    121.,140.,6.6,-1.,
    302.,140.,9.7,-1.,
    607.,150.,11.8,-1.,
    912.,160.,15.4,-1.,
    1217.,160.,16.9,-1.,
    1468.,160.,17.4,-1.,
SFC='TST',140.,4.0,
    'SAC',140.,4.1,
    'SMF',-1.,-1.,
    'MCC',130.,4.6,
    'MHR',110.,2.5,
    'SUU',-1.,-1.,
    'SCK',-1.,-1.,IGOOF=1,&END
&WINDYS SITE='TST',NTIME=781120,0200,NRUN=3,
PWRSL=.16,PWRBL=.16,REF=6.,
IA#112=60,SRH=.03,
TOPBL=700.,TOPSL=70.,TOPML=500.,ZMOLI=0.002,ISTAB=4,
UPR='OAK',11.,140.,4.2,-1.,
    121.,140.,6.6,-1.,
    302.,140.,9.7,-1.,
    607.,150.,11.8,-1.,
    912.,160.,15.4,-1.,
    1217.,160.,16.9,-1.,
    1468.,160.,17.4,-1.,
SFC='TST',140.,3.5,
    'SAC',140.,3.6,
    'SMF',140.,5.1,
    'MCC',130.,4.1,
    'MHR',110.,3.0,
    'SUU',110.,1.5,
    'SCK',-1.,-1.,IGOOF=1,&END
&WINDYS IGOOF=999999,&END

```