



JAEA-Technology

2006-008



JP0650350

大気拡散計算に関連する気象観測データの解析 (1995年度～2004年度)

Analysis of Meteorological Observation Data for
the Atmospheric Diffusion Calculation (FY1995-2004)

中野 政尚 小沼 利光* 竹安 政則 武石 稔

Masanao NAKANO, Toshimitsu ONUMA*, Masanori TAKEYASU and Minoru TAKEISHI

東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所
放射線管理部

Radiation Protection Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center

March 2006

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology
2006-008

JP0650350

K301001

JA
EA
TE
CH
NO
LOG
Y

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に刊行している研究開発報告書です。
本レポートの全部または一部を複写・複製・転載する場合は下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課

Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

This report was issued subject to the copyright of Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about the copyright and reproduction should be addressed to :

Intellectual Resources Section,

Intellectual Resources Department

2-4, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN

Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

©日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency, 2006

大気拡散計算に関する気象観測データの解析

(1995 年度～2004 年度)

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター

核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部

中野 政尚, 小沼 利光*, 竹安 正則, 武石 稔

(2006 年 1 月 25 日受理)

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所では、昭和 30 年代から、気象観測を継続して実施している。昭和 49 年には、再処理施設からの大気放出される放射性廃棄物の環境影響評価に使用する目的で、気象観測塔を設置した。昭和 52 年のホット試験以降は、気象観測データを大気拡散計算などに用いている。

本報告書は、1996 年 8 月に報告された「大気拡散計算に関する気象観測データの解析(PNC TN8420 96-017)」以降、1995 年（平成 7 年）から 2004 年（平成 16 年）までの 10 年間に実施した大気拡散計算に関する気象統計結果を取りまとめるとともに、気象要因に関する大気拡散の特性について考察したものである。

核燃料サイクル工学研究所：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

* 株式会社 NESI

Analysis of Meteorological Observation Data for the Atmospheric Diffusion Calculation
(FY1995 – 2004)

Masanao NAKANO, Toshimitsu ONUMA*, Masanori TAKEYASU and Minoru TAKEISHI

Radiation Protection Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 25, 2006)

The meteorological observation has been performed since 1960's in the Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, Tokai Research and Development Center, JAEA. After 1974, the meteorological observation tower was built for the environmental assessment of radioactive wastes with the atmospheric discharge from the Reprocessing Plant. The meteorological observation data has been applied for the calculation of the atmospheric diffusion of radioactive wastes since the hot run was started in 1977.

After the previous report, named "Analysis of Meteorological Observation Data for the Atmosphere Diffusion Calculation (PNC TN8420 96-017)" was published in August 1996, this report presents statistical results of meteorological observation based on the decadal data from fiscal year 1995 to 2004. The characteristics of the atmospheric diffusion related to the meteorological parameter are also discussed in this report.

Keywords: Meteorological Observation, Atmospheric Diffusion, Environmental Assessment, Tokai Reprocessing Plant, Radioactive Wastes, Gaussian Model

* NESI Co. Ltd.

目 次

1. 緒言	1
2. 概要	2
3. 大気拡散モデル	3
4. 気象観測	4
5. 調査結果	7
5.1 風下方位別相対濃度の比較	7
5.2 大気安定度の出現頻度	13
5.3 気象観測データの棄却検定	14
6. 結論	17
参考文献	18
付録 1 大気拡散式の導き方	19
付録 2 基本拡散式	20

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Outline	2
3. Atmospheric diffusion model	3
4. Meteorological observation	4
5. Result	7
5.1 Comparison of the relative concentration for each downwind direction.....	7
5.2 Appearance frequency of the atmospheric stabilities.....	13
5.3 Outlier test of meteorological observation data.....	14
6. Conclusions	17
References	18
Appendix 1 Derivation of the diffusion equation	19
Appendix 2 Basic equations	20

図・表・写真リスト

- 図-1 東海再処理施設の放射性気体廃棄物からの被ばく経路
- 図-2 気象観測機器の設置場所
- 図-3 風下方位別相対濃度（上：1996年度，下：1999年度）
- 図-4 南西方向大気安定度別相対濃度（上：1996年度，下：1999年度）
- 図-5 西南西方向大気安定度別相対濃度（上：1996年度，下：1999年度）
- 図-6 大気安定度出現頻度

- 表-1 気象観測項目及び観測場所
- 表-2 年度間の最大濃度地点の相対濃度（1995年度～2004年度）
- 表-3 地上70m（海拔100m）風向別大気安定度別風速逆数の総和
- 表-4 地上70m（海拔100m）風向出現頻度
- 表-5 地上風の平均風速
- 表-6 日射量・放射収支量の頻度百分率分布
- 表-7 70m風向出現頻度(%)棄却検定表
- 表-8 70m風向別風速逆数の平均(s/m)棄却検定表
- 表-9 10m風向出現頻度(%)棄却検定表
- 表-10 10m風向別風速逆数の平均(s/m)棄却検定表
- 表-11 大気安定度出現頻度(%)棄却検定表

- 写真-1 気象観測塔全景
- 写真-2 気象観測塔塔頂風向風速計
- 写真-3 安全管理棟全景
- 写真-4 安全管理棟風向風速計
- 写真-5 日射計・放射収支量計

This is a blank page.

1. 緒言

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所（以下、サイクル工学研究所という。）では、昭和 30 年代（原子燃料公社、動力炉・核燃料開発事業団、核燃料サイクル開発機構）から、気象観測を継続・実施している。昭和 49 年には、再処理施設から大気へ放出される放射性廃棄物の環境影響評価に使用する目的で、気象観測塔を設置した。昭和 52 年のホット試験以降は、大気拡散計算などに実際に観測された当該年の気象観測データを用いることにより、一般公衆の線量を評価してきた。また、これら気象統計データのうち、1977 年及び 1996 年の気象観測データは再処理施設の設置承認（事業指定）に関する安全審査にも用いられた。

本報告書は、1996 年 8 月に報告された「大気拡散計算に関する気象観測データの解析(PNC TN8420 96-017)」¹⁾以降の 1995 年度（平成 7 年度）から 2004 年度（平成 16 年度）までの 10 年間に実施した大気拡散計算結果について取りまとめたものである。

2. 概要

原子力施設から環境中に放出される気体状放射性廃棄物の環境影響評価は、放出される放射性物質の大気中における拡散の解析と、拡散した放射性物質から人への影響の算定の、主として二つの過程からなる。人への影響については、農畜産物、その他の物質を経由する人への経路と大気中放射性物質から直接人への経路と考えられる（図-1）²⁾。

放射性物質の大気中での拡散に関する検討として、施設の排気筒を用いた SF₆ 等の大気拡散実験、大気拡散計算に使用する大気安定度の推定に用いる気象観測結果の解析・評価を実施しており、気象指針改訂の基礎資料となった。

サイクル工学研究所では、従来から環境監視の一環として、気象観測を実施しており、1974年（昭和 49 年）からは、主として再処理施設の環境影響評価に用いる目的で、気象観測塔の建設、テレメータシステムによるデータ処理等の観測体制の整備を図ってきた。

前報告書¹⁾では 19 年間のデータを解析したのに続き、今回は 1995 年度（平成 7 年度）～2004 年度（平成 16 年度）の 10 年間の気象観測データを基に、拡散計算のパラメータとして用いられる大気安定度及び年度間の平均風速が拡散計算結果にどの様に影響を及ぼすか解析した結果を報告する。

なお、一般公衆の線量評価は 1977 年（昭和 52 年）から 1994 年（平成 6 年）までは暦年報告で、1995 年（平成 7 年）から年度報告となったため、本報告書で取り扱う 1995 年度以降のデータについてはすべて年度での統計結果を記載した。

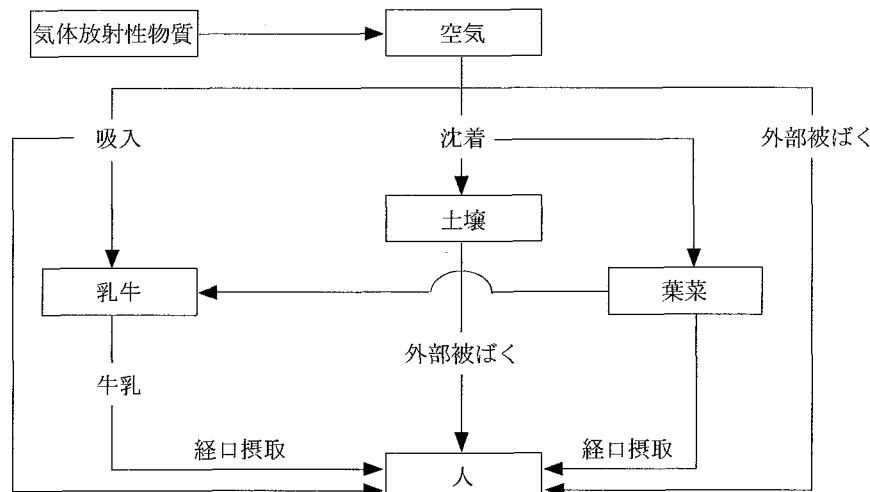


図-1 東海再処理施設の放射性気体廃棄物からの被ばく経路²⁾

3. 大気拡散モデル

大気拡散の解析方法は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針、以下、気象指針」(平成13年3月改訂)³⁾に従い実施した。

年間平均濃度の計算は、放射性物質の放出量及び放出条件（放出源の有効高さ等）が定められると、風下の着目地点に置ける放射性物質の濃度は、放出時の気象条件によって算出される。指針では基本拡散式から導かれる相対濃度（ χ/Q ）をもとに解析している。

相対濃度（ χ/Q ）は、毎時の風向、風速及び大気安定度を用いて計算した単位放出率当たりの当該時刻における風下濃度であり、いわば、大気中における拡散希釈の程度を表すものである。

気象指針での線量計算に用いる放射性物質の地表空气中濃度は、単位放出率当たりの風下濃度（相対濃度）に放射性物質の放出率を乗じて求めることができる。

大気中に放出された放射性核種は、拡散により風下方向へ移流していくため、大気中放射性核種濃度を求めるために大気拡散モデルが必要となる。この大気拡散モデルにはボックスモデル、プルームモデル（ガウシアンモデル）、パフモデル等の数学モデルが存在するが、気象指針ではガウシアンモデル(Gaussian model)を安全評価の大気拡散モデルとして採用している。ガウシアンモデルには次のような利点がある。

- (1) 実験とよく一致する結果を与える。
- (2) 基本式の数学的取扱いが容易である。
- (3) 各国で安全評価に使用されている実績がある。

付録に大気拡散解析モデルについての概要を気象指針等から一部抜粋し、解説した。

4. 気象観測

1974年（昭和49年）以降、再処理施設から大気放出された気体放射性廃棄物に係る環境影響評価に資するため、気象観測塔の設置（地上約70m、海拔約100m）、大気安定度関連の観測装置（日射量、放射収支量）の設置、観測データの自動収集及び解析用テレメータ装置の整備、緊急時大気拡散評価システムの構築等の環境観測・評価体制の整備を行ってきた。また、気象観測体制が整備されたのを受けて、気象業務法第6条第3項及び気象業務法施行規則第2条第1項の規定に基づく気象観測施設設置届けを水戸気象台に1981年（昭和56年）10月31日付けで提出している。気象観測は、前述の「気象指針」に従い実施した。但し、核燃料サイクル工学研究所内においては完全な露場での気象観測は不可能であるため、樹木や建物の影響をできるだけ排除することを考慮した測定場所を選定している。表-1に気象観測項目と気象観測場所を示す。また、なお、気象庁検定対象となっている気象観測機器については、検定に合格したものを使用し、気象庁編「気象観測の手引き」⁴⁾に基づき機器の設置・保守等を実施している。

上記によって得られた気象観測結果については、年度ごとに取りまとめ、「東海再処理施設周辺の環境放射線モニタリング結果（業務報告）」⁵⁾に取りまとめている。

大気拡散計算に用いる風向風速計及び日射・放射収支計の写真を写真-1～5に、機器の設置概略図を図-2に示す。

表-1 気象観測項目及び観測場所

観測項目	観測機器	機器設置場所
風向・風速	風車型自記風向風速計	気象観測塔及び安全管理棟塔屋（写真-1～4）
降雨量	転倒マス型雨量計	安全管理棟屋上
大気温度	電気式温度計	核燃料サイクル工学研究所内
日射量	熱電対式全天日射計	同上（写真-5）
放射収支量	風防型放射収支計	同上（写真-5）

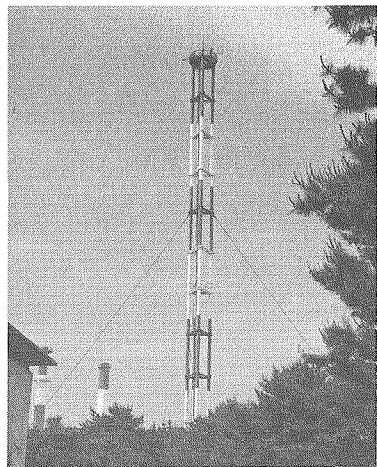


写真-1 気象観測塔全景

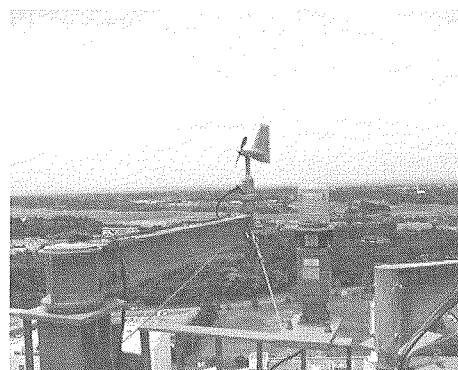


写真-2 気象観測塔塔頂風向風速計



写真-3 安全管理棟全景

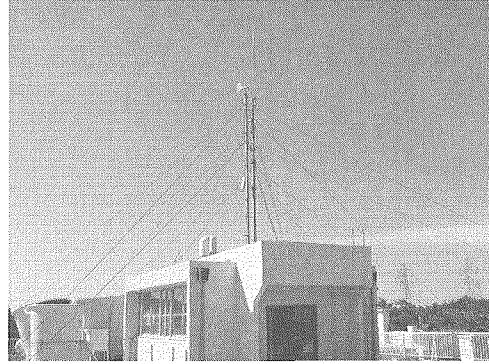


写真-4 安全管理棟風向風速計

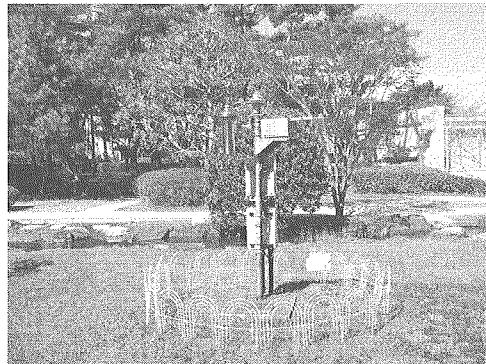


写真-5 日射計・放射收支量計

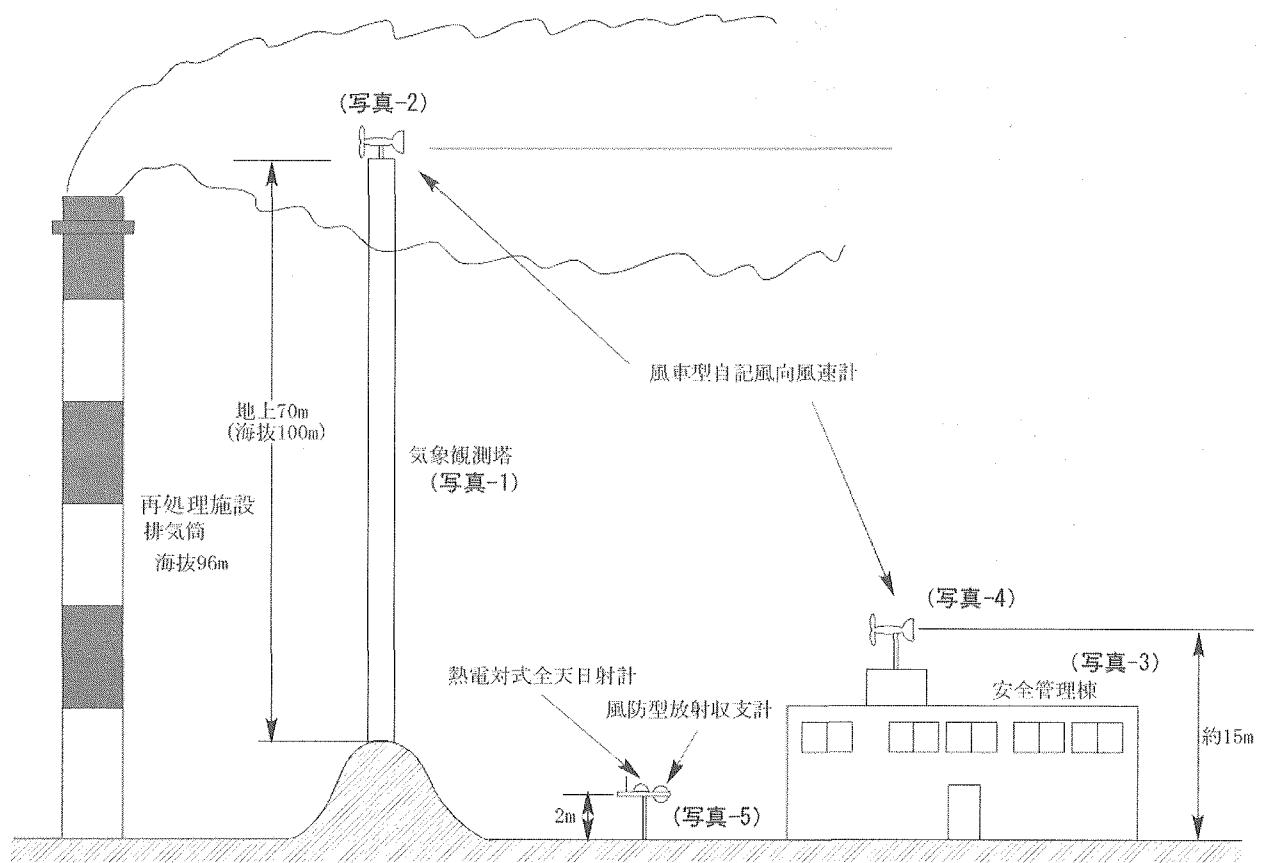


図-2 気象観測機器の設置場所

5. 調査結果

5.1 風下方位別相対濃度の比較

1995 年度から 2004 年度までの年度間の計算結果を表-2 に示す。なお、1995 年以前のデータについては、前報告書¹⁾を参照のこと。

表-2 年度間の最大濃度地点の相対濃度（1995 年度～2004 年度）

年度	方位及び距離 (m)	$\chi / Q (s/m^3)$
1995	南西 2000 (1900)*	8.1E-08
1996	南西 1800	9.7E-08
1997	南西 1900	1.2E-07
1998	南西 1800 (1700)*	1.5E-07
1999	西南西 750	9.4E-08
2000	南西 1800	9.8E-08
2001	南西 1800	1.2E-07
2002	南西 1900	1.2E-07
2003	南西 1800	1.5E-07
2004	南西 1900	1.1E-07

*括弧内は当時の線量評価時の最大濃度地点（計算環境等が異なるため、現在では再現できない。）

以上の結果、過去 10 年間における最大濃度は、南西約 1800m～2000m 付近に 9 回出現し、1999 年度のみ西南西 750m 地点に出現した。これまでの環境放射線モニタリング結果²⁾でも、南西 2km 地点が最大濃度地点となっており、本気象観測による拡散評価結果を支持している

1996 年度と 1999 年度の風下方位別相対濃度 (χ / Q) を比較した結果を図-9 に示す。

図-3（上）に示されるように、最大濃度地点が南西 1800m 付近に出現する場合は、北東の風の相対濃度のピークは 1800m 付近にある。一方、図-3（下）に示されるように、西南西 800m 付近に出現する場合は、北東の風の相対濃度には 1800m 付近のピークが見られない。

さらに 1996 年度及び 1999 年度の南西方向の大気安定度別相対濃度を図-4 に、同じく西南西方向の大気安定度別相対濃度を図-5 に示す。

図-5 に示されるように、両年の西南西方向については、ほぼ同じ相対濃度分布になっているが、図-4 に示される南西方向については、1996 年度の 2000m 前後で大気安定度 D の相対濃度が (6～7)E-8 (s/m³) であり、1999 年度 ((5～6)E-8 (s/m³)) に比べてわずかではあるが大きくなっている。

逆に大気安定度 B の際の相対濃度は 1999 年度の方が高い。

相対濃度が大きいということは、その風向、その大気安定度の出現頻度が多いということを意味している。どの年度においても支配的（図-3 参照）である南西方向（北東の風）、西南西方向（東北東の風）についての風向別大気安定度別風速逆数の総和を表-3 に示す^{6,7)}。また、1996 年度を標準的な年度として、1999 年度の値で割った数値を右端に記した。1999 年度の大気安定度 D の出現頻度は 1996 年度（標準的な年度）に比べて北東風、東北東風ともに 20% 程度少ない。

表-3 地上 70m（海拔 100m）風向別大気安定度別風速逆数の総和 （単位：s/m）

風向、大気安定度	1996 年度 ⁶⁾	1999 年度 ⁷⁾	1999/1996（標準）
北東、B	24.67	32.17	1.30
北東、D	134.03	106.35	0.79
東北東、B	46.37	44.47	0.96
東北東、D	59.94	47.19	0.79

以下に、なぜ地上 70m（海拔 100m）風向別大気安定度別風速逆数の総和に 20% 程度の差異が生じたかを考察する。

1) 地上 70m 風向出現頻度

風向別大気安定度別風速逆数の総和を算出する際には、地上 70m（海拔 100m）風向出現頻度がパラメータのひとつとなる。表-4 に地上 70m（海拔 100m）風向出現頻度を示す^{6,7)}。1999 年度の北東風、東北東風の風向出現頻度は 1996 年度（標準的な年度）に比べて、10% 程度少なかった。

表-4 地上 70m（海拔 100m）風向出現頻度 （単位：%）

風向	1996 年度 ⁶⁾	1999 年度 ⁷⁾	1999/1996（標準）
北東	16.9	14.9	0.88
東北東	7.7	6.9	0.90

2) 大気安定度

また、大気安定度を決定する上では地上風の風速と日射量・放射収支量がパラメータとなる。表-5 に地上風の平均風速を示す。北東風、東北東風に関して言えば 1999 年度は 3~5% 風が弱めに吹いており、大気安定度分類では D よりも B が出やすい状況だった。

表-5 地上風の平均風速

(単位 : m/s)

風向	1996 年度 ⁶⁾	1999 年度 ⁷⁾	1999/1996 (標準)
北東	4.2	4.0	0.95
東北東	3.0	2.9	0.97

残る日射量・放射収支量については、年度報⁵⁾では統計をとっていないが、データを整理したところ大きな差は認められなかった。表-6 に示すように、各カテゴリーにおける頻度百分率において、1996 年度と 1999 年度の差は最大でも 1% であることから、日射量がより大きかつたために大気安定度 D が出る頻度が多くなったとはいえない。

表-6 日射量・放射収支量の頻度百分率分布

(単位 : %)

日射量・放射収支量 (kW/m ²)	1996 年度	1999 年度
~0.15	67.6	68.6
0.15~0.3	9.6	8.7
0.3~0.6	14.2	14.6
0.6~	8.6	8.1

3) 風下方位別相対濃度の比較のまとめ

これまでの考察をまとめると、以下に示す過程によって、1999 年度の最大濃度地点が西南西 800m 付近に出現したと考えられる。

- 1996 年度と比較して、1999 年度の地上風の平均風速が約 5% 小さかつたため、大気安定度はより不安定側になるとともに、地上 70m の北東風出現頻度が 10% 程度少なかった。
- これにより、地上 70m の大気安定度別風速逆数の総和が大気安定度 D の場合で 20% 程度小さくなった。
- 以上の気象状況から、図-4 (下) のように南西・大気安定度 D に大きな相対濃度が存在せず、図-5 に示す西南西・大気安定度 B が相対的に優位となった。
- そのため、最大濃度地点が標準的な南西 1800~2000m 付近ではなく、第二最大濃度地点である西南西 800m 付近に出現した。

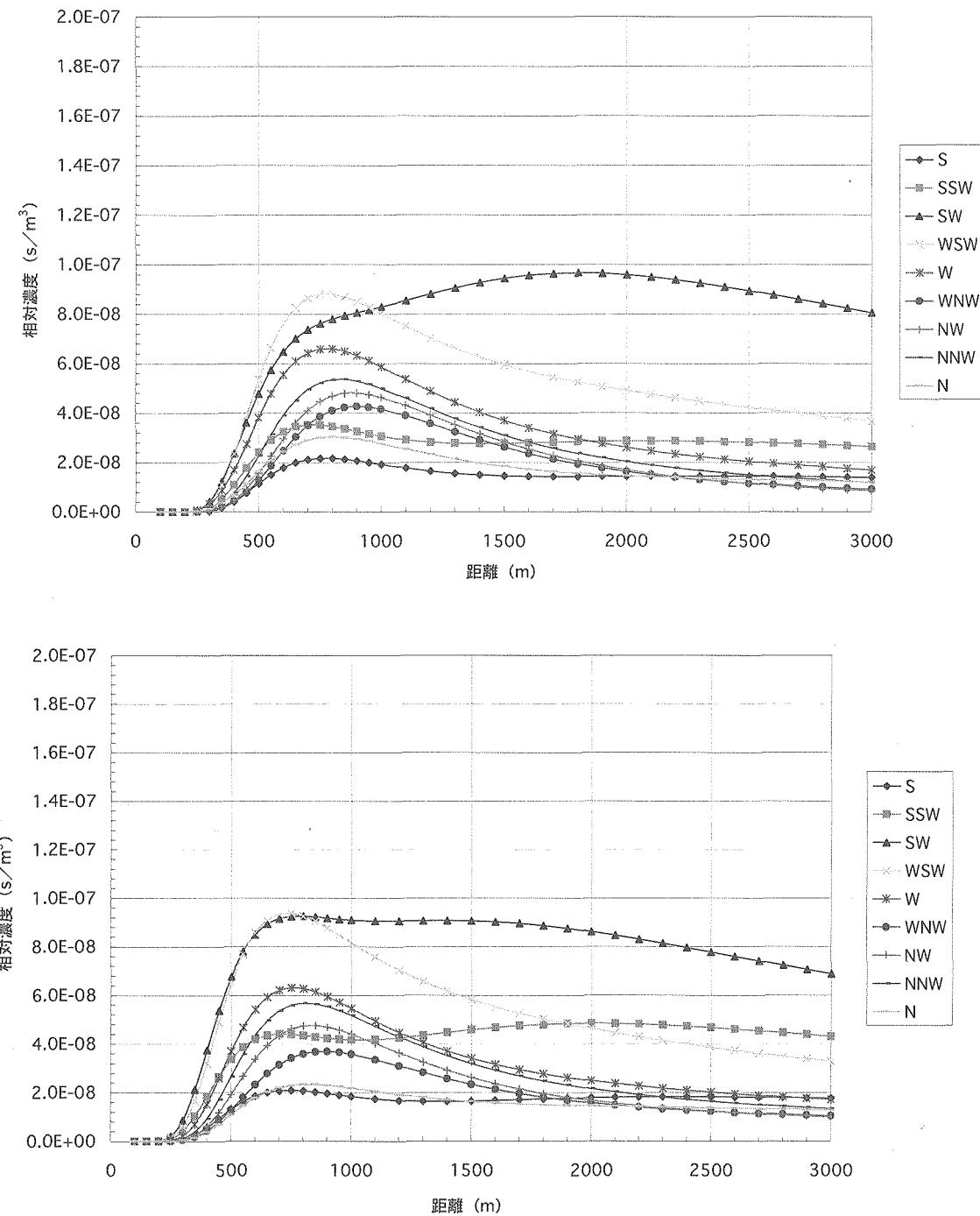


図-3 風下方位別相対濃度（上：1996年度、下：1999年度）

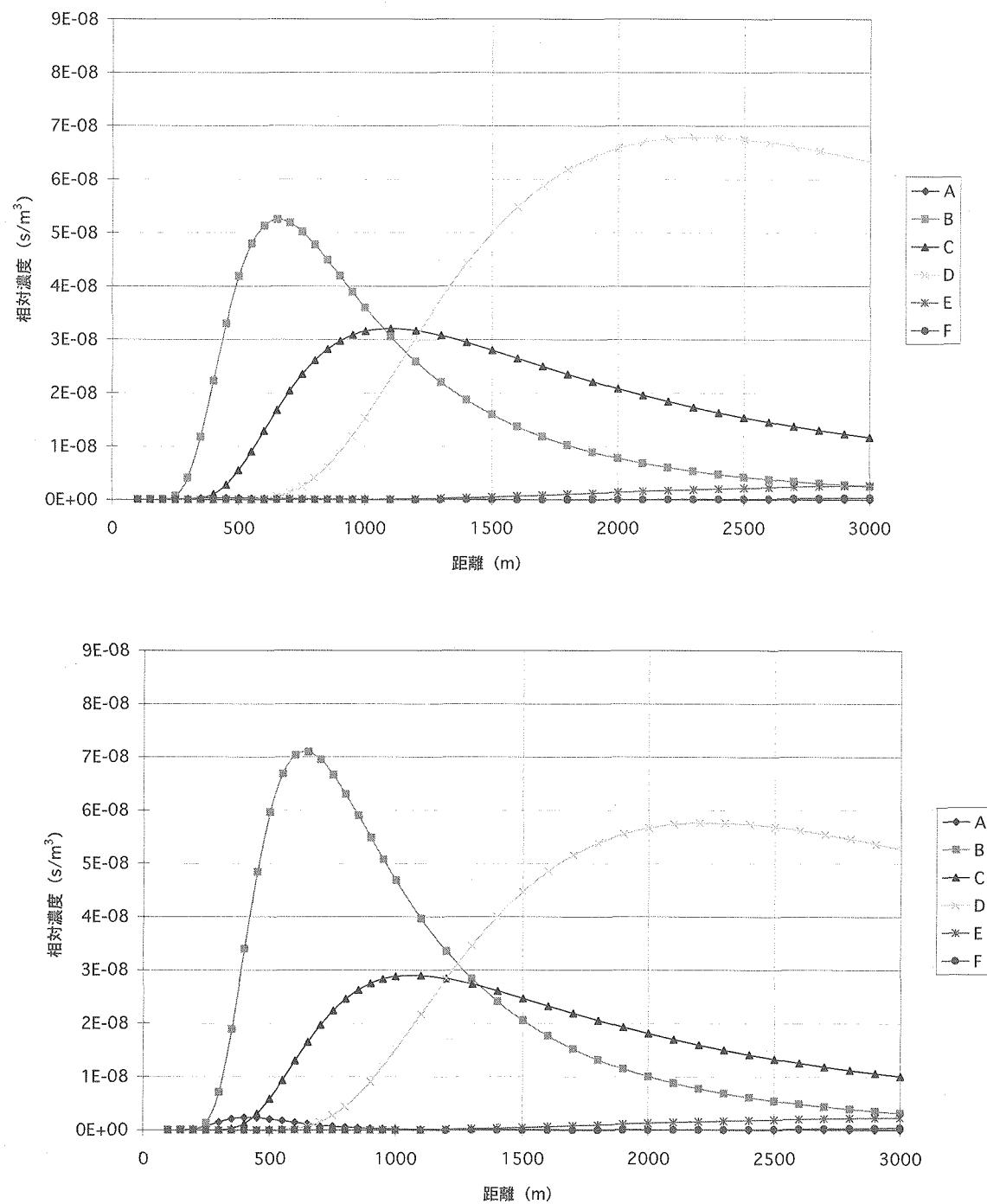


図-4 南西方向大気安定度別相対濃度（上：1996 年度，下：1999 年度）

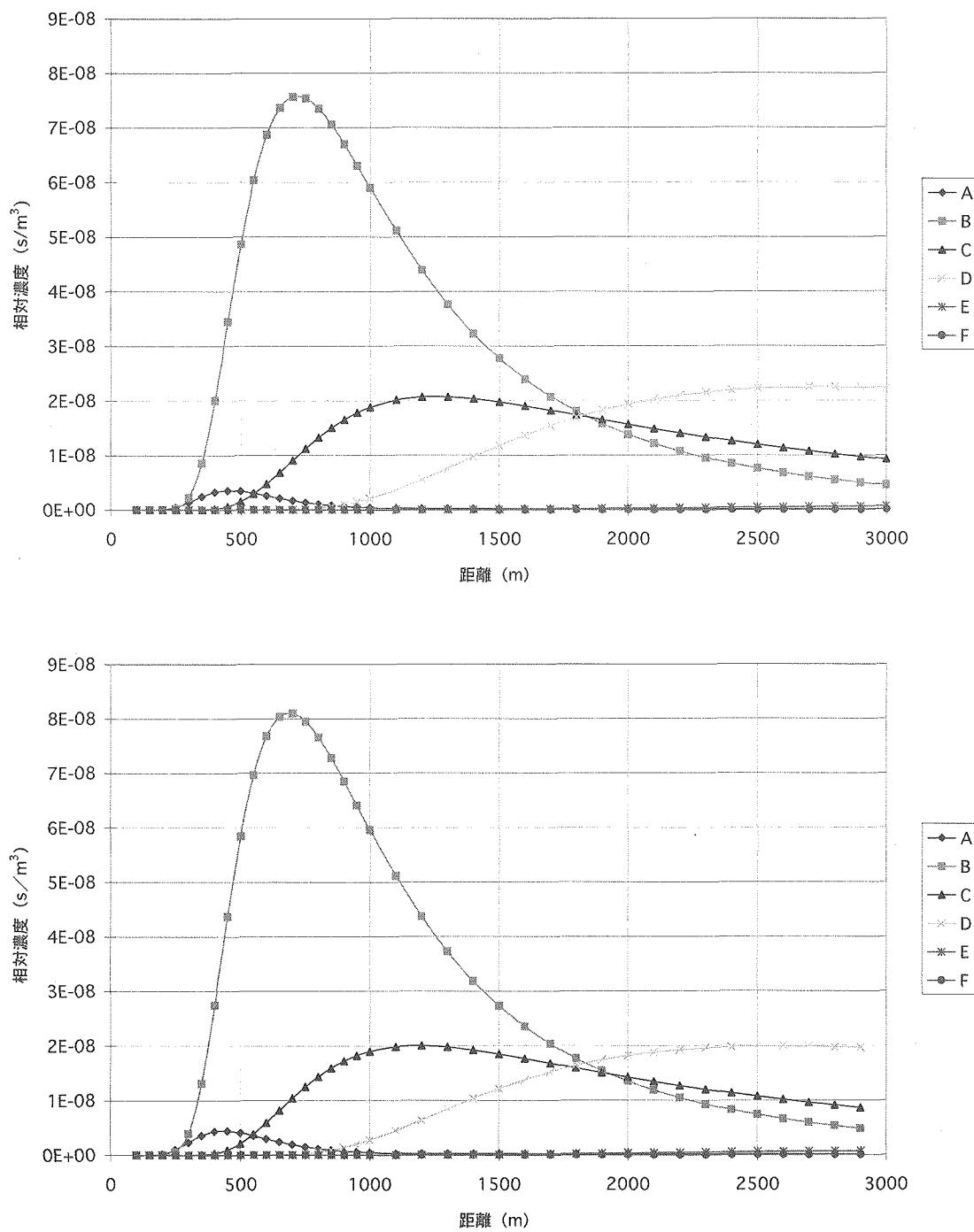


図-5 西南西方向大気安定度別相対濃度（上：1996 年度，下：1999 年度）

5.2 大気安定度の出現頻度

1995 年度から 2004 年度までの大気安定度出現頻度についてまとめたものを図-6 に示す。

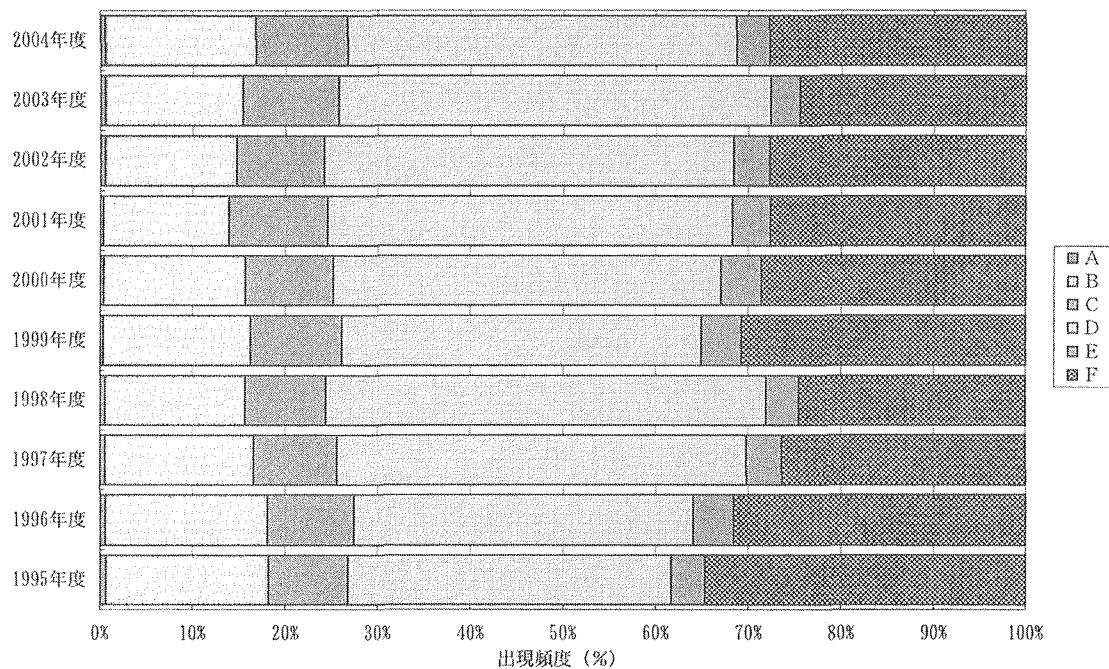


図-6 大気安定度出現頻度

以上の結果、1999 年度は大気安定度 D の出現頻度が低いのが分かる。同様に 1995 年度も大気安定度 D の出現頻度が低いが、1995 年度は大気安定度 D の χ/Q が大気安定度 B の χ/Q よりわずかに上回ったことにより南西 2000m 付近が最大濃度地点となっている。

5.3 気象観測データの棄却検定

最大濃度地点が西南西に出現した 1999 年度の気象観測データについて、他の年度の観測データとの棄却検定を行った結果を表-7 から表-11 に示す。

表-7 「70m 風向出現頻度棄却検定」では、1999 年度の南西の風向について上限値 4.9%に対して 5.0%と逸脱している。最大濃度地点が出現した西南西に対する東北東の風向は特異なデータを示していない。また、例年の最大濃度地点が現れる南西方向に対する北東の風向については、平均 19.6%に対して 14.9%と低くなっていた。

表-8 「70m 風向別風速逆数の平均棄却検定」では、1999 年度の西南西の風向について、下限値 0.26s/m に対して 0.25s/m と逸脱していた。表-9 「10m 風向出現頻度棄却検定」でも 1999 年度は南西、南南西風が、他の年度より多めに吹いていたことが分かる。しかし、それぞれは最大濃度地点を与える風向ではなく、頻度としては 5%以内の比較的頻度の少ない風向である。

表-10 「10m 風向別風速逆数の平均棄却検定」及び表-11 「大気安定度出現頻度棄却検定」では異常となるデータは示されていないが、表-11 の大気安定度「D」の出現頻度が、平均値 42.4%に対して 38.8%とやや低くなっていることが分かる。一方、大気安定度「B」及び「C」の出現頻度は平均値に比べて、わずかではあるが大きくなっていることから、大気がより不安定であり、最大濃度地点がより近傍に出現しやすい傾向を有していたことを示している。同時に表-11 「大気安定度出現頻度棄却検定」からは、1999 年度の大気安定度「E」及び「F」型の頻度がより大きく、安定していることがわかるが、図-4, 5 に示されるように、「E」及び「F」型は相対濃度がほとんど 0 に等しく、最大濃度地点の決定には利いてこない。

以上から、棄却されたデータは風向頻度が少なく、最大相対濃度に影響を及ぼさないことが確認された。

5.1 から 5.3 までの結果についてまとめると、以下のとおりである。

- ・ほとんどの年における最大濃度地点は、安全審査で用いた 1977 年及び 1996 年の気象データから算出した最大濃度地点である南西 1800～2000m 付近に出現する。
- ・最大濃度地点（距離）は、地上 70m 風向出現頻度に依存する。
- ・最大濃度地点（方位）は、風下方位における年間の大気安定度出現頻度の割合に依存する。
- ・大気安定度 D 型が支配的である場合は 1800～2000m に出現し、B 型が増えると相対的に D 型が減少するため 800m 付近に出現する二極傾向を示す。
- ・1999 年度のように西南西約 800m 付近が最大濃度地点になる場合は、大気安定度 D の出現頻度が比較的少なかった。但し、その場合でも北東風、東北東風データが棄却されることはなかった。

表-7 70m 風向出現頻度(%)棄却検定表

年度 風向	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003	2004	平均値	標準 偏差	検定年 99年	標本数(Xn)=9 F8(0.05)= 5.32			
													F0	上限値	下限値	判定
北	4.2	4.8	4.6	4.5	5.0	4.4	5.2	4.0	3.6	4.5	0.5	4.7	0.11	5.8	3.2	○
北北東	6.3	7.9	11.0	10.0	9.9	10.5	10.8	10.4	8.4	9.5	1.6	9.8	0.04	13.5	5.4	○
北東	14.7	16.9	20.8	23.3	17.0	20.2	21.6	23.0	18.7	19.6	2.9	14.9	2.03	27.2	12.0	○
東北東	7.5	7.7	6.4	7.1	7.6	6.5	7.6	7.4	6.5	7.1	0.5	6.9	0.18	8.5	5.8	○
東	3.7	3.9	2.8	3.0	3.5	2.8	3.0	2.7	2.9	3.1	0.4	3.8	1.74	4.3	2.0	○
東南東	3.2	2.8	2.7	2.0	2.3	2.3	2.6	2.7	2.7	2.6	0.3	2.6	0.00	3.5	1.7	○
南東	4.2	2.7	3.1	3.0	2.8	3.4	3.3	3.6	3.2	3.2	0.4	3.3	0.02	4.4	2.1	○
南南東	5.8	3.9	4.5	3.1	4.4	4.8	4.4	4.4	5.4	4.5	0.8	4.7	0.06	6.5	2.5	○
南	4.1	4.3	4.3	4.2	4.5	3.3	2.8	4.0	5.6	4.1	0.8	4.9	0.78	6.1	2.2	○
南南西	3.7	3.3	3.6	4.0	4.5	4.4	3.8	4.6	5.1	4.1	0.6	5.2	3.13	5.6	2.6	○
南西	4.1	4.3	4.7	3.8	4.0	3.7	3.8	3.6	3.8	4.0	0.4	5.0	7.08	4.9	3.1	×
西南西	4.2	3.8	3.5	2.8	3.4	4.1	2.8	3.5	3.4	3.5	0.5	3.5	0.00	4.8	2.2	○
西	6.1	4.9	4.8	4.2	4.8	5.4	3.9	4.6	5.4	4.9	0.7	4.5	0.26	6.6	3.2	○
西北西	7.7	6.5	7.1	7.0	6.6	7.0	5.8	7.1	7.6	6.9	0.6	7.5	0.78	8.4	5.5	○
北西	11.3	12.7	9.9	10.2	11.5	10.2	11.5	8.8	11.1	10.8	1.1	11.5	0.28	13.8	7.8	○
北北西	9.4	9.6	6.3	8.1	8.1	7.1	7.2	5.5	6.4	7.5	1.4	7.2	0.05	11.1	3.9	○

表-8 70m 風向別風速逆数の平均(s/m)棄却検定表

年度 風向	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003	2004	平均値	標準 偏差	検定 99年度	標本数(Xn)=9 F8(0.05)= 5.32			
													F0	上限値	下限値	判 定
北	0.35	0.30	0.31	0.28	0.27	0.28	0.30	0.31	0.30	0.30	0.02	0.29	0.15	0.36	0.24	○
北北東	0.31	0.23	0.21	0.21	0.20	0.19	0.20	0.20	0.21	0.22	0.04	0.20	0.19	0.31	0.12	○
北東	0.20	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17	0.01	0.17	0.01	0.20	0.14	○
東北東	0.29	0.25	0.27	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.01	0.24	1.83	0.29	0.23	○
東	0.37	0.33	0.34	0.40	0.37	0.37	0.38	0.37	0.35	0.36	0.02	0.31	5.24	0.42	0.31	○
東南東	0.38	0.37	0.36	0.40	0.40	0.35	0.41	0.38	0.38	0.38	0.02	0.39	0.16	0.43	0.33	○
南東	0.33	0.34	0.29	0.33	0.30	0.30	0.31	0.35	0.33	0.32	0.02	0.29	1.69	0.37	0.27	○
南南東	0.26	0.24	0.22	0.27	0.24	0.22	0.23	0.25	0.24	0.24	0.02	0.23	0.35	0.28	0.20	○
南	0.28	0.25	0.25	0.23	0.22	0.24	0.26	0.24	0.22	0.24	0.02	0.22	1.16	0.29	0.19	○
南南西	0.30	0.26	0.26	0.24	0.24	0.23	0.24	0.24	0.23	0.25	0.02	0.22	1.37	0.31	0.19	○
南西	0.27	0.26	0.24	0.25	0.25	0.26	0.25	0.28	0.28	0.26	0.01	0.23	3.60	0.30	0.22	○
西南西	0.33	0.32	0.33	0.35	0.31	0.30	0.33	0.32	0.35	0.33	0.02	0.29	3.91	0.37	0.28	○
西	0.32	0.33	0.34	0.31	0.29	0.29	0.30	0.32	0.30	0.31	0.02	0.29	1.15	0.36	0.27	○
西北西	0.30	0.29	0.30	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	0.29	0.01	0.25	14.34	0.31	0.26	×
北西	0.27	0.24	0.26	0.23	0.23	0.24	0.23	0.25	0.26	0.25	0.02	0.23	0.85	0.28	0.21	○
北北西	0.27	0.26	0.30	0.26	0.25	0.25	0.27	0.29	0.28	0.27	0.02	0.26	0.27	0.31	0.23	○

表-9 10m 風向出現頻度(%)棄却検定表

年度 風向	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003	2004	平均値	標準 偏差	検定 99年度	標本数(Xn)=9 F8(0.05)= 5.32			
													F O	上限値	下限値	判定
北	2.1	2.4	2.4	2.2	3.3	3.2	3.1	2.5	2.4	2.6	0.45	2.5	0.06	3.8	1.5	○
北北東	2.7	4.2	4.1	4.5	5.0	4.8	4.3	3.0	2.9	3.9	0.86	4.5	0.33	6.2	1.7	○
北東	13.2	14.7	20.0	20.9	14.5	16.6	13.9	14.1	10.9	15.4	3.22	14.9	0.02	23.7	7.1	○
東北東	8.0	9.2	9.5	11.2	10.9	10.8	15.1	17.2	14.0	11.8	3.03	8.0	1.23	19.6	3.9	○
東	4.8	4.5	3.9	3.8	4.9	4.0	6.3	6.4	6.9	5.1	1.18	4.4	0.25	8.1	2.0	○
東南東	3.3	3.1	2.1	1.9	1.8	1.8	1.6	1.7	2.0	2.1	0.62	2.0	0.04	3.7	0.5	○
南東	4.4	3.4	3.5	3.1	4.0	4.0	3.7	3.6	3.5	3.7	0.39	3.8	0.07	4.7	2.7	○
南南東	3.1	2.2	3.4	2.6	2.7	3.0	3.1	3.4	4.7	3.1	0.70	3.4	0.11	4.9	1.3	○
南	2.5	2.3	2.2	1.7	2.9	2.1	1.8	2.5	2.9	2.3	0.43	2.7	0.63	3.4	1.2	○
南南西	2.7	2.6	2.4	2.4	2.5	2.2	2.0	2.4	3.1	2.5	0.31	3.6	10.39	3.3	1.7	×
南西	3.4	3.3	3.7	3.7	3.5	3.8	3.6	3.6	4.1	3.6	0.23	4.9	23.34	4.2	3.0	×
西南西	5.4	4.7	4.6	3.8	4.0	3.8	3.5	3.5	3.4	4.1	0.68	4.3	0.09	5.8	2.3	○
西	16.6	15.9	15.4	14.3	13.1	13.9	10.8	12.3	12.6	13.9	1.88	14.8	0.19	18.7	9.0	○
西北西	14.5	14.6	12.0	11.6	13.4	14.5	13.2	12.6	13.8	13.4	1.11	14.0	0.27	16.2	10.5	○
北西	8.4	8.4	6.6	7.1	7.7	6.9	8.4	6.6	7.3	7.5	0.76	7.5	0.00	9.5	5.5	○
北北西	5.0	4.7	3.6	4.4	5.2	4.4	4.7	3.9	4.6	4.5	0.50	4.2	0.29	5.8	3.2	○

表-10 10m 風向別風速逆数の平均(s/m)棄却検定表

年度 風向	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003	2004	平均値	標準 偏差	検定 99年度	標本数(Xn)=9 F8(0.05)= 5.32			
													F O	上限値	下限値	判定
北	0.65	0.60	0.60	0.60	0.54	0.52	0.53	0.54	0.55	0.57	0.04	0.58	0.04	0.68	0.46	○
北北東	0.49	0.43	0.46	0.46	0.43	0.41	0.45	0.45	0.50	0.45	0.03	0.42	1.08	0.53	0.38	○
北東	0.34	0.30	0.30	0.32	0.32	0.28	0.31	0.32	0.32	0.31	0.02	0.32	0.16	0.36	0.27	○
東北東	0.48	0.43	0.42	0.48	0.47	0.36	0.38	0.38	0.40	0.42	0.05	0.46	0.54	0.54	0.30	○
東	0.56	0.51	0.50	0.60	0.46	0.43	0.49	0.49	0.47	0.50	0.05	0.50	0.00	0.63	0.37	○
東南東	0.50	0.50	0.48	0.70	0.55	0.46	0.57	0.58	0.60	0.55	0.07	0.57	0.06	0.74	0.36	○
南東	0.47	0.47	0.45	0.54	0.44	0.37	0.43	0.47	0.46	0.46	0.04	0.47	0.08	0.57	0.34	○
南南東	0.53	0.49	0.47	0.57	0.49	0.38	0.49	0.47	0.48	0.49	0.05	0.48	0.01	0.62	0.35	○
南	0.52	0.48	0.47	0.56	0.49	0.41	0.50	0.45	0.45	0.48	0.04	0.42	1.56	0.59	0.37	○
南南西	0.61	0.59	0.58	0.55	0.58	0.54	0.62	0.55	0.59	0.58	0.03	0.57	0.08	0.65	0.51	○
南西	0.56	0.55	0.44	0.46	0.47	0.47	0.45	0.44	0.48	0.48	0.04	0.45	0.36	0.60	0.36	○
西南西	0.60	0.61	0.57	0.67	0.56	0.53	0.60	0.59	0.64	0.60	0.04	0.59	0.02	0.70	0.49	○
西	0.62	0.58	0.61	0.59	0.56	0.56	0.59	0.62	0.60	0.59	0.02	0.59	0.01	0.65	0.53	○
西北西	0.68	0.62	0.65	0.66	0.62	0.60	0.68	0.67	0.63	0.65	0.03	0.62	0.61	0.72	0.57	○
北西	0.58	0.55	0.64	0.62	0.56	0.60	0.63	0.65	0.61	0.60	0.04	0.58	0.39	0.69	0.51	○
北北西	0.54	0.52	0.57	0.56	0.46	0.53	0.53	0.57	0.52	0.53	0.03	0.52	0.12	0.62	0.45	○

表-11 大気安定度出現頻度(%)棄却検定表

年度 大気安定度	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003	2004	平均値	標準偏差	検定 99年度	有意水準5%			
													F O	上限値	下限値	判定
A	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5	0.1	0.4	2.8	0.8	0.3	○
B	17.5	17.4	16.0	15.1	15.3	13.6	14.2	14.9	16.3	15.6	1.4	15.9	0.0	19.1	12.1	○
C	8.6	9.4	9.1	8.7	9.6	10.7	9.5	10.4	9.9	9.5	0.7	9.9	0.2	11.3	7.7	○
D	34.9	36.7	44.2	47.5	41.8	43.7	44.2	46.9	42.0	42.4	4.2	38.8	0.6	53.3	31.5	○
E	3.7	4.4	3.7	3.6	4.3	4.1	3.9	3.2	3.6	3.8	0.4	4.3	1.3	4.8	2.9	○
F	34.6	31.5	26.4	24.5	28.6	27.6	27.7	24.6	27.7	28.2	3.2	30.7	0.5	36.5	19.8	○

6. 結論

サイクル工学研究所内において 1995 年度から 2004 年度にかけての気象観測結果を解析した結果、ほとんどの年度において最大濃度地点は、安全審査等で評価している南西 2000m 付近に認められ、その相対濃度は $(8 \sim 14) \times 10^{-8} \text{ s/m}^3$ となった。しかしながら、1999 年度は年度間の気象要因（風向及び大気安定度）の影響から、最大濃度地点は西南西 800m 付近となった。以前の気象統計調査（1977 年から 1995 年）の間においても、西南西 800m に 2 例（1987 年、1992 年）出現している¹⁾。

また、西南西 800m 付近の相対濃度は、 $9.4 \times 10^{-8} \text{ s/m}^3$ 程度であり、それに対して南西 2000m 付近の相対濃度が低い場合に、西南西 800m 付近が最大濃度地点になると思われる。1995 年度及び 1996 年度については、わずかに南西地点の相対濃度が西南西地点の相対濃度を上回っていた。このような状況は、大気安定度がより不安定になるような状況、すなわち、より日射量が大きい、より地上風が弱い、といった場合に起こりやすい。また、地上 70m（海拔 100m）風向出現頻度について、東海地区で優勢な北東方向付近の頻度がより少ない場合にも、南西方向の大気安定度別風速逆数の総和がより小さくなるために、最大濃度地点が変化する可能性が生じる。

1977 年から 2004 年度までの 27 年間の気象統計結果を総括すると、東海再処理施設周辺の気象場においては、線量評価において最大濃度地点の移動は認められず、安全審査で使用された 1977 年、1996 年の気象データは現在の評価に適用しても信頼性の高いものと考えられる。同時に再処理施設保安規定に定める陸上環境放射線モニタリング計画についても、ここ四半世紀以上にわたって気象条件が変化していないことから、現在においても妥当であると考えられる。

参考文献

- 1) 赤津康夫, 片桐裕実, 清水武彦, 叶野豊, 今泉謙二, 小林隆史：“大気拡散計算に関する気象観測データの解析”, PNC TN8420 96-017(1996).
- 2) K. Shinohara : “Environmental monitoring and public dose assessment around the Tokai Reprocessing Plant”, J. Radiochem. Nucl. Chem., 260, p. 563-577 (2004).
- 3) 原子力安全委員会：“発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針”（2001年3月改訂）
- 4) 気象庁：“気象観測の手引き”（1998）
- 5) 武石稔 他：“東海再処理施設周辺の環境放射線モニタリング結果—2004年度—(業務報告)”, JNC TN8440 2005-004(2005).
- 6) 片桐裕実 他：“東海再処理施設周辺の環境放射線モニタリング結果（1996年度報）”, PNC TN8440 97-022(1997).
- 7) 片桐裕実 他：“東海再処理施設周辺の環境放射線モニタリング結果（1999年度業務報告）”, JNC TN8440 2000-007(2000).

付録1 大気拡散式の導き方

大気拡散式は、微分方程式を適当な条件のもとで解くことによって求められる。この条件として平坦地で、ある高度に置かれた点源から連続的に一定の割合で排出され、風速は一定、プルームは地面に吸着したり、空間で変化しないことを前提に求められる。

ここで簡単に拡散式を導くために図-2のような時間平均を取ったプルームについてプルーム量の保存を考える。いま図-2で示すプルームの輪郭の内部で濃度が一様であると仮定し、この濃度を χ (Bq/m³) で表すと、単位時間に排出されたプルーム量 Q (Bq/s) は流れ方向に風速 U (m/s) × 単位時間(s)の間に入っている。プルームの断面が付図-1のように橿円であるとし、垂直の半径が Z (m), 水平の半径が Y (m) であるとすれば、プルーム Q は体積 $U \times (\pi YZ)$ の中に入っていることになるので、

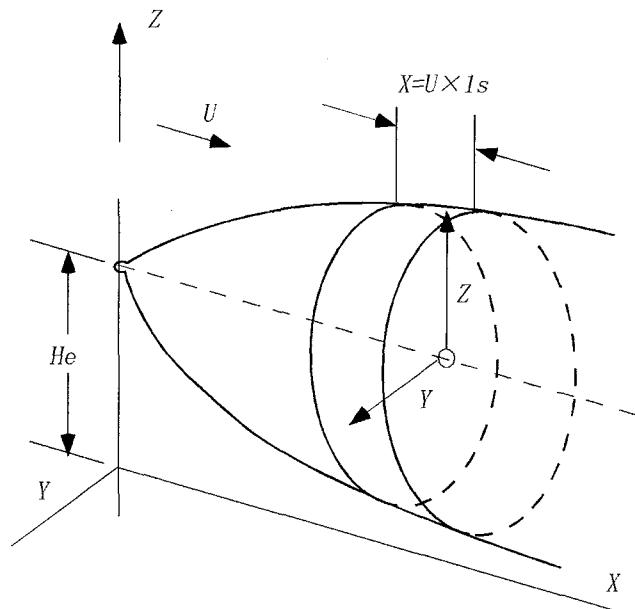
$$Q = \chi \times U \times (\pi YZ) \quad (1)$$

となる。従って濃度 χ は、

$$\chi = \frac{Q}{\pi UYZ} \quad (2)$$

で与えられる。

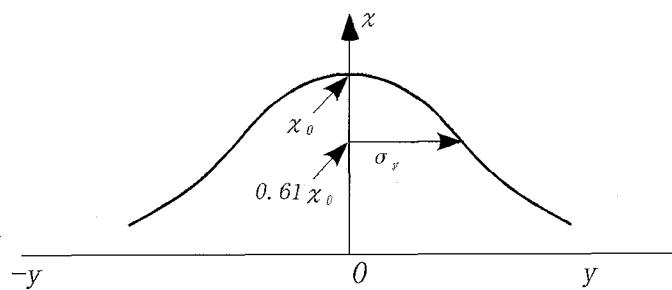
プルームの広がりの幅 Y , Z が風下距離について、どのように変化するかが分かれば濃度を計算できることになる。



付図-1 時間平均を取ったプルームの形

付録 2 基本拡散式

実際の濃度はプルームの中で一様ではなくガウス分布で表される、これは付図-2に示すような分布で、中心濃度 χ_0 と分布の標準偏差 σ_y によって全体の分布が決定される。 σ_y は拡散幅とも呼ばれる。



付図-2 水平方向の濃度分布（ガウス分布）

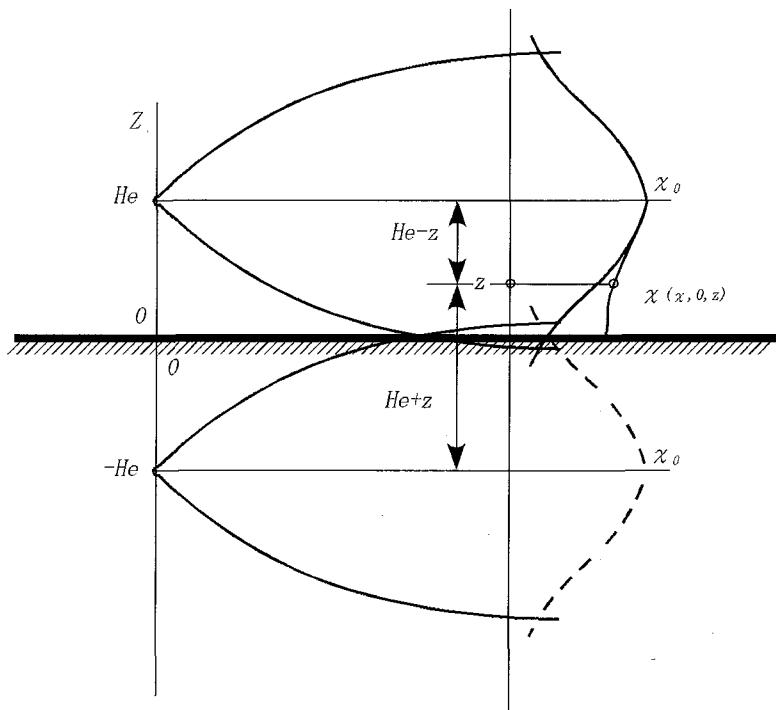
(χ は濃度、 y は距離、 σ_y は分布の標準偏差で拡散幅と呼ばれる。)

プルームの流れと計算式に用いる座標の関係は付図-3に示すとおりである。また、 y 軸に平行な濃度分布は付図-3に示される単一のガウス分布で表され、その濃度 χ は y 方向の拡散幅 σ_y を用いて次式で与えられる。

$$\chi = \chi_0 \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3)$$

ただし、 χ_0 は $y=0$ における中心濃度である。

垂直方向については地面における条件、すなわち境界条件によって濃度の分布型が異なるが、何れにしてもガウス分布関数を組み合わせて分布を表すことができる。地面でプルームが完全に吸着される場合の分布型は式(3)と等しく、座標を z に置き換える。



付図-3 垂直方向の濃度分布
(He は放出源高度, χ_0 は中心濃度, z は高度)

拡散移行するプルームの拡散では普通地面で完全に反射される条件が適用される。この場合、微分方程式論で示されるように、仮想的な放出源が地表面下にあると考えた場合、仮想的な放出源と重ね合わせた分布(付図-3)で濃度が表される。

すなわち、

$$\chi = \chi_0 \left(\exp \left\{ -\frac{(z-He)^2}{2 \sigma_z^2} \right\} + \exp \left\{ -\frac{(z+He)^2}{2 \sigma_z^2} \right\} \right) \quad (4)$$

となる。ただし、 χ は濃度(Bq/m^3)、 χ_0 は中心濃度(Bq/m^3)、 σ_z は垂直方向の拡散幅(m)、He は有効煙突高度(m)である。式(3)(4)の中心濃度 χ_0 は先に式(2)を導いたのと同じ条件から決定される。

$$Q = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty U \cdot \chi \cdot d_y \cdot d_z \quad (5)$$

$$\chi_0 = \frac{Q}{2 \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \quad (6)$$

従つて、点 (x, y, z) における相対濃度 χ/Q は次式で与えられる。

$$\chi/Q(x, y, z) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right) \quad (7)$$

- $\chi/Q(x, y, z)$: 点 (x, y, z) における相対濃度 (s/m^3)
- σ_y : 濃度分布 y 方向の拡がりのパラメータ (m)
- σ_z : 濃度分布 z 方向の拡がりのパラメータ (m)
- U : 風速 (m/s)
- He : 有効煙突高度 (m)

拡散移行する放射性プルームが地表面で反射される効果を基本式右辺の最後の項が放射性プルームの地表面での反射効果を表している。

式中の σ_y (m), σ_z (m) は、濃度 χ の y 方向と z 方向への拡がりのパラメータで、大気の安定状態と放出地点から評価地点までの風下距離の関数として与えられる。静穏風 ($U=0.0 m/s$) の時にはこの基本式を適用すると、大気中放射性核種濃度が無限大になる。しかし、地球を包み込む大気境界層といわれる地表面から $1 \sim 2 km$ までの低層大気層は地球自転によるコリオリ力、地表面の熱的影響、粗度による力学的影響を常に受けているので、大気の混合が止むことがなく、いつでもわずかずつ対流していると考えられる。観測された風速が $0.5 m/s$ 未満の静穏風の時には $0.5 m/s$ の風があるとして濃度計算する。

放出高さ He (m) については、排気筒高さに排気速度による吹き上げ高さの補正をして有効煙突高度として算定する。

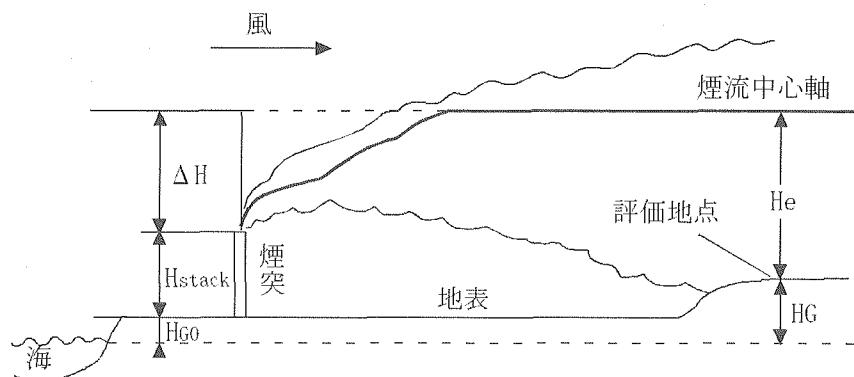
評価時間内の物理的崩壊による減衰が無視できない場合は、式(7)の右辺に $\exp(-\lambda t)$ を乗じて補正する。ここで λ は物理崩壊定数で、その単位は評価時間間隔 t の時間単位の逆数である。

地表軸濃度は(1)式において $y=0, z=0$ とした場合、次式となる。

$$\chi/Q(x, 0, 0) = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{He^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (8)$$

(1) 有効煙突高度

付図-4 に示すとおり、煙突高度に、吹上上昇による高度を加えた高度が有効煙突高度である。煙突の風下の地上に現れる相対濃度はプルームが有効煙突高度から水平に拡散した場合とほとんど等しくなる。このため取扱いが簡単なこともあって、普通にはプルームの有効煙突高度をまず計算し、次いでプルームが有効煙突高度から水平に拡散すると仮定して大気拡散の計算を行う。



付図-4 プルームの上昇と拡散の様相

式(7)～(8)の He に相当する拡散プルームの煙流中心軸高度は、煙突高度、評価地点高度及び地表高度、吹上げ高さ等から求められる。これは、大気中に放出された排気中の放射性物質は、放出時の慣性力によってある程度上昇して、所定の高度に達した後、その高度を中心軸として拡散するとし、評価地点の地形が変化して、海拔が放出地点と変化した場合には何らかの補正を施す事により、各評価地点では、放出点から評価地点に至る区間の地形変化がなかったと見なしている事に相当する。有効煙突高度(He)は、次式により計算する。

$$He = H_s + \Delta H - HG \quad (9)$$

H_s : 煙流口の海拔高度(m)

$$H_s = H_{stack} + H_{G0}$$

H_{stack} : 煙流口の地表高度(m)

H_{G0} : 煙流口の立地点の地表海拔高度(m)

ΔH : 吹上げ高さ(m)

HG : 評価地点地表海拔高度(m)

ΔH は中立状態に対して適用される Briggs の吹上式(10)を用いて、

$$\Delta H = 3.0 \frac{W \cdot D}{U} = \frac{12}{\pi} \cdot \frac{V}{U \cdot D} \quad (10)$$

W : 吹出し速度(m/s)

D : 排気筒出口直径(m)

U : 風速(m/s)

となる。

(2) 拡散パラメータ σ_y 及び σ_z

拡散パラメータは大気安定度に依存する。気象指針³⁾によれば、大気安定度は「敷地を代表する地上風」の当該時刻の風速並びに日射量及び放射収支量を基に大気安定度分類表（付表-1）に基づき分類するとしている。ここで A, B, …, G の順に不安定状態から安定状態になる。拡散計算に際して、中間安定度の A-B は B に、B-C は C に、C-D は D に、G は F と見なして処理する。

付表-1 大気安定度分類表

風速(U) m/s	日射量(T) kW/m ²				放射収支量(Q) kW/m ²		
	T ≥ 0.60	0.60 > T ≥ 0.30	0.30 > T ≥ 0.15	0.15 > T	Q ≥ -0.020	-0.020 > Q ≥ -0.040	-0.040 > Q
U < 2	A	A-B	B	D	D	G	G
2 ≤ U < 3	A-B	B	C	D	D	E	F
3 ≤ U < 4	B	B-C	C	D	D	D	E
4 ≤ U < 6	C	C-D	D	D	D	D	D
6 ≤ U	C	D	D	D	D	D	D

σ_y (m) 及び σ_z (m) の計算は、次式により行う。ここで x の単位は km である。

$$\sigma_y = K \cdot \theta_1 \cdot (5 - \log_{10} x) \cdot x \quad (11)$$

$$\sigma_z = \sigma_0 \cdot x^{(P_0 + P_1 \log_{10} x + P_2 [\log_{10} x]^2)} \quad (12)$$

ただし、K, θ_1 , σ_0 , P_0 , P_1 および P_2 の値は付表-2, 3, 4 に掲げるとおりとし、また $\sigma_z > 1000$ (m) であれば、 $\sigma_z = 1000$ (m) とする。

付表-2 各パラメータの値（風下距離 X ≥ 0.2km のとき）

大気安定度	σ_0	P_0	P_1	P_2
A	768.1	3.9077	3.898	1.7330
B	122.0	1.4132	0.49523	0.12772
C	58.1	0.8916	-0.001649	0.0
D	31.7	0.7626	-0.095108	0.0
E	22.2	0.7117	-0.12697	0.0
F	13.8	0.6582	-0.1227	0.0

付表-3 各パラメータの値 (風下距離 X<0.2km のとき)

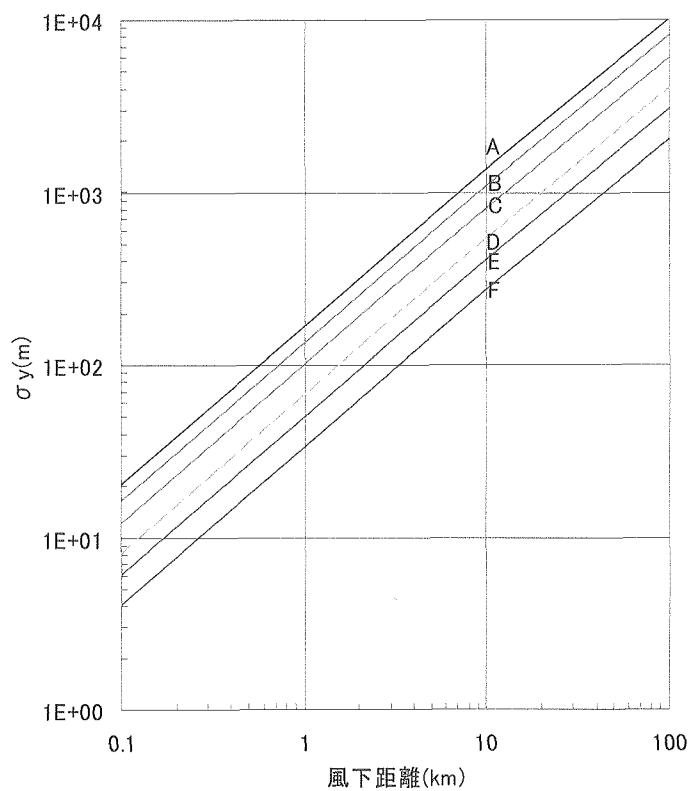
大気安定度	σ_0	P_0	P_1	P_2
A	165	1.07	0.0	0.0
B	83.7	0.894	0.0	0.0
C	58.0	0.891	0.0	0.0
D	33.0	0.854	0.0	0.0
E	24.4	0.854	0.0	0.0
F	15.5	0.822	0.0	0.0

付表-4 各パラメータの値 ($X<0.2\text{km}$, $X \geq 0.2\text{km}$ に共通)

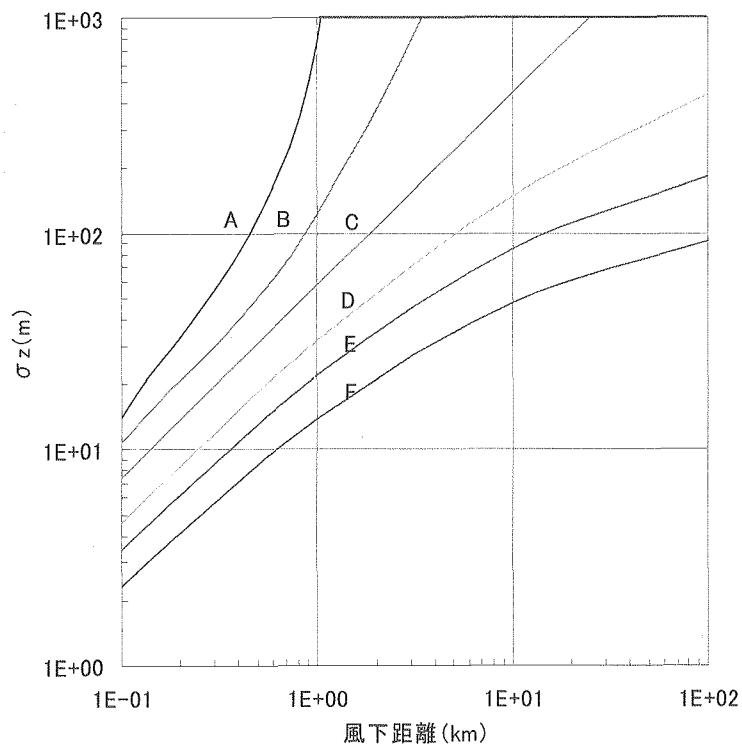
大気安定度	K	θ_1
A	6.7775×10^{-1}	50
B		40
C		30
D		20
E		15
F		10

ここで、 $\sigma_z=1000\text{m}$ としてあるのは、拡散現象を取り扱っている大気の接地境界層の混合層高度が通常 1000m 程度（昼・夜、気象条件等で変化する）であるとして、拡散混合は、この範囲の高さ以内で起こるとしているためである。100m 程度の有効煙突高度の場合、 $\sigma_z=1000\text{m}$ とすると $\exp\left(-\frac{\text{He}^2}{2\sigma_z^2}\right)$ の項は 1 に近づき、さらに σ_z が増加したとしても、この項の値の変化はあまりない。実際の現象も混合層内で鉛直方向に濃度分布が均一に近づくとすれば、式上 σ_z を増加させるのは、実際から外れる結果となることを意味している。正規分布を仮想し続けるとすると、濃度分布が均一ということは、 $\sigma_z=\infty$ ということであるので、式(8)中 $\exp\left(-\frac{\text{He}^2}{2\sigma_z^2}\right)=1$ だが、
 $\frac{1}{\sigma_z}=0$ なので、 $\chi/Q=0$ となってしまう。従って、 σ_z の上限値は上記 1000m としている。

以上より、 σ_y 及び σ_z の分布は、付図-5 及び付図-6 のとおりとなる。



付図-5 y 方向の拡がりのパラメータ (σ_y)



付図-6 z 方向の拡がりのパラメータ (σ_z)