

大気安定度に関連する気象観測データの解析

1994年6月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

技術開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4-33, Muramatsu, Tokai-Mura, Nakagun, Ibaraki-Ken 319-11, Japan.

動力炉・核燃料開発事業団

(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1994

公開資料
PNC TN8420 94-017
1994年6月

大気安定度に関連する気象観測データの解析

成田 健¹
武藤 重男¹
片桐 裕実²
叶野 豊²
晴山 央一²

要　旨

動力炉・核燃料開発事業団東海事業所では、昭和30年代（当時は、原子燃料公社）から、気象観測を継続・実施してきている。その後、再処理施設から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、昭和49年頃から気象観測塔の設置等気象観測設備の整備が行われてきている。

この間観測された気象データは、数種類の大気安定度分類方法に利用できることから、それらを用いて、各分類方法による大気安定度出現頻度の分布の傾向を比較した。この結果、気象指針の方法で分類した大気安定度出現頻度分布は、気温差を単独で用いた方法の頻度分布と異なる傾向がみられたが、風と気温差とを用いた方法の頻度分布とは類似した傾向が見られた。

東海事業所で観測されたこの十数年間の多量の観測データを基に、各種大気安定度分類方法と気象指針の方法との比較、解析により、分類方法の特徴、観測サイトの特性等の把握が行われた。このことから、「拡散パラメータ推定の参考として観測する」と気象指針に示された気温差観測を始め、大気安定度に関連する調査に関する気象観測は、目的を達成し、一応の観測の区切りがついたと考えられる。

*1：安全管理部安全技術課、*2：安全管理部環境安全課

PNC TN8420 94-017

June, 1994

ANALYTICAL RESULT OF WEATHER DATA OBSERVED AT PNC TOKAI WORKS RESPECT TO ATMOSPHERIC STABILITY CLASSIFICATION

Osamu Narita *1
Sigeo Muto *1
Hiromi Katagiri *2
Yutaka Kanou *2
Hisakazu Hareyama *2

ABSTRACT

We enforce weather observation at PNC Tokai Works from 1960's.

We have been equipping with weather observation devices and tower from around 1974 ,for the purpose of environment influence evaluation resulted from radioactive waste which is discharged the atmosphere uses from reprocessing plant .

Weather data observed before now are utilize for several kinds of classification way of atmospheric stability .So we compared them with a tendency of frequency distribution of atmospheric stability using each classification way.

A tendency of frequency distribution of way using lapse late alone are different from one of way using weather regulatory guide classification. But a similar tendency was looked at frequency distribution of way using weather regulatory guide classification and one of way using wind speed combined with lapse late.

We analized and compared with each classification way of atmospheric stability on the basis of a large quantity data observed for 10 years and we grasped a characteristic of classification way and observation site.

The lapse late observation that is observed for the purpose of reference to diffusion parameter estimate and other weather observations with the view of investigation of atmospheric stability accomplished their objects. And we conclude that thier weather observation wound up for the present.

*1 Safety Technology Development Section,Health and Safety Division Tokai Works,PNC.

*2 Environmental Protection Section ,Health and Safety Division Tokai Works,PNC.

目 次

| | |
|--|----|
| はじめに | 1 |
| 1. 概要 | 2 |
| 2. 気象観測 | 4 |
| 2.1 観測経緯及び観測地点周辺の地形 | 4 |
| 2.2 観測装置の仕様及び観測位置 | 4 |
| 3. 大気安定度 | 6 |
| 3.1 大気安定度の考え方 | 6 |
| 3.2 大気安定度分類方法 | 8 |
| 4. 調査結果 | 12 |
| 4.1 大気安定度の年間出現頻度 | 12 |
| 4.2 各大気安定度分類方法による大気安定度年間出現頻度の傾向 | 13 |
| 4.3 大気拡散実験結果から求めた大気安定度と気象データから求めた大気安定度 | 15 |
| 4.4 大気安定度に対する季節と風向の影響 | 17 |
| 4.5 大気安定度分類方法の違いによる年平均濃度推定への影響 | 17 |
| 5. 結論 | 18 |
| 6. 参考文献 | 19 |
| 付 錄 | |

はじめに

東海事業所の気象観測は、昭和30年代から継続して行われている。その後、再処理施設の大気放出放射性廃棄物の環境影響評価に使用する目的で、昭和49年から気象観測塔設置等気象観測設備の整備が行われ、この気象観測体制での観測が約20年継続してきている¹⁾。

この間、大気放出放射性廃棄物の大気拡散計算に用いる大気安定度に関する観測データも、十数年の蓄積が図られてきている。今回、気温差（鉛直方向の大気温度の差）観測の取り扱い等に関し、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」²⁾（以下「気象指針」という。）見直しの動きがあり、これに併せて気温差を始め大気安定度に関する気象観測データを整理することとした。

大気安定度は、風の乱流運動エネルギーのうち風の鉛直勾配から生ずる乱流エネルギーの項（以下「シア一項」という。）と気温の鉛直勾配から生ずる熱乱流エネルギーの項（以下「浮力項」という。）のバランスであるが、それらに関する東海事業所で実施している気象観測データは、数種類の大気安定度分類方法に利用できる。それらを用いて各分類方法による大気安定度出現頻度の傾向を比較した。大気安定度分類方法のうちVOGTの分類方法は、シア一項の指標として風速と浮力項の指標として気温差とを組み合わせる方法である。この分類方法から求めた大気安定度の出現頻度は、気象指針の方法（シア一項の指標に風速を用いるが、浮力項の指標には、気温差ではなく日射量等を用い、それらを組み合わせる方法）で求めた大気安定度の出現頻度と類似した傾向を示した。なお、気温差単独で大気安定度を分類する方法は、VOGTの分類方法ほど気象指針の結果と類似傾向を示さなかった。

この十数年の観測結果を用いた今回の調査は、東海事業所付近の大気安定度に関する知見を得るのに有意義であり、また、整理した観測データは、知見を得るのに十分な量であった。このことから、これまで実施してきた気象観測項目のうち、大気安定度に関する調査を目的とした項目については、観測の役割を十分果たしたと考えられる。特に、気温差観測については、大気安定度分類への適用性、現行の気象指針の大気安定度分類方法との比較が行われ、観測サイトでの特性・傾向を把握できたことから、「拡散パラメータ推定の参考として観測する」という気象指針に示す観測の目的は、十分達成され、一応の区切りがついた。

今回整理した気象観測項目は、気象業務法に基づく届け出をしていることから、基本的には観測データを含む観測結果の公開を前提としており、また、この整理・解析結果は、気温差測定、大気安定度の観測に関し、関係者に必要な情報となることが考えられるので、データの有効活用を図る観点から資料としてまとめた。

1. 概要

原子力施設から環境中に放出される放射性気体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での拡散の解析と、拡散した放射性物質の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が考えられる。

人への影響についての評価手法の開発整備は、安全研究の一環として進めてきており、環境放射能の分析手法の開発を含めた評価に用いる移行パラメータの研究等、これまで必要に応じて適宜整理してきている。

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データ収集のための気象観測等を実施してきている。東海事業所では、従来から事業所の環境監視の一環として、気象観測を実施してきており、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整備を図ってきている。

今回、観測データの蓄積が図られたことから、そのうちの拡散パラメータ推定に関する大気安定度分類に関する気象データの整理を行うこととした。

平常時の放射性物質の大気中での拡散の解析は、気象指針を参考とすることにしており、拡散パラメータ推定には、地上付近の日射量・放射収支量と地上10m付近の風速とを用いている。これら気象指針に定める方法の外、拡散パラメータ推定には、気温の鉛直分布である気温差、風向の変動幅等を用いる方法もあり、それらの方法のうち観測データの利用できる項目についても、併せて整理した。

大気拡散は、施設の立地地形、気象特性等の影響を受けるものであり、気象指針も、我が国の立地条件等を十分考慮して、現行の拡散パラメータ及びそれに関する大気安定度の分類方法を採用したと考えられる。一方、米国のレギュラトリイガイド(Regulatory Guide 1.23 (以下「USR.G.1.23」という。))で分類方法に採用されている気温差については、気象指針では「拡散パラメータの推定の参考として観測する」としている。このことから、解析は、現行方法と気温差を用いた方法の比較を中心にして、拡散パラメータ推定の中核をなす大気安定度分類方法の違いによる、大気安定度出現頻度の出現傾向を比較することを主な検討対象とした。

海岸付近に立地している東海事業所の気象観測データの解析の結果をみると、現行の気象指針の分類方法と、平坦な内陸での観測結果等を参考として気温差データだけで大気安定度を推定しようとする分類方法とでは、大気安定度の出現頻度に異なる傾向がみられた。

しかしながら、浮力項と、シア一項との関連から設定される大気安定度の定義に沿って、浮力項の指標である気温差だけでなくシア一項の指標である風速との組み合わせから求めた安定度分類方法を用いた大気安定度の出現頻度については、現行の方法と類似した傾向が得られた。

主要な原子力施設が海岸付近に立地することが多い我が国の立地条件等を十分考慮したと思われる気象指針の大気安定度分類方法については、今回の気象観測データの解析が、その妥当性の検討に資する有効なデータとなり得ることから、気温差等を用いた安定度分類方法による大気安定度出現頻度の解析結果に加え、他の方法による解析結果についても比較検討した。

なお、大気安定度年間出現頻度の分布傾向の解析には、1978年から1992年までの期間のデータを、季節変動、風向による出現傾向等の解析には1992年の一年間の気象観測データを各自利用した。

また、参考に、これまで東海事業所付近で実施した大気拡散実験で、大気拡散トレーサーの濃度分布から求められた大気安定度と、そのときの気象観測データから求められた大気安定度についても併せて示した。

2. 気象観測

2.1 観測経緯及び観測地点周辺の地形

1) 気象観測の経緯

昭和40年代の東海サイトでは、百葉箱を用いた地上気象観測を主に、地上約20m（海拔約50m）の風向・風速の観測も実施していたが、大気安定度に関する気象観測は、実施されていなかった。

昭和49年以降、再処理施設の大気放出ガス放射性廃棄物の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）、大気安定度関連の気象観測装置（日射量、放射収支量、気温差）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ている。

この間、気象庁が、低風速時の再処理施設周辺気象観測の実施に合わせて、気象観測塔塔頂に風向変動の測定が可能な、3次元超音波風向風速計を設置している。また、ガス放射性廃棄物の大気拡散評価に資するため、施設の排気筒を用いて、サイト周辺で大気拡散実験を実施している。

大気安定度に関する東海サイトの気象観測データが1時間値の連続記録として計算機で利用できるように整理されたのは、昭和51年以降である。

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、水戸地方気象台に昭和56年10月31日付けで提出している。

2) 観測地点周辺の地形

気象観測機器は、南北に走る平坦な海岸線近くの平地に設置されている。その北方10km以遠は数百メートルの阿武隈山地の南端に接しているが、他の方位は海岸線から10km以上にわたり、海拔20~30mの平坦な台地が続く地形となっている。再処理施設サブは、南北両側をその台地に挟まれた間口数百メートルで海拔数mの平地となっており、新川河口の南側に位置する。台地に挟まれた新川の流域の海拔数mの平地は、内陸に向かうと、間口数百メートル、奥行き数kmのかつて干拓地であった平地につながる。

気象観測機器の設置場所を第2図に示す。

2.2 観測装置の仕様及び観測位置

気象観測は、「気象指針」に準じて実施している。第2.1表に気象観測項目と気象観測場所を示す。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、原則として検定に合格したものを使用している。

第2.1表 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 | 自記風向計 超音波風向・風速計 | 気象観測塔塔頂及び 地上約10m |
| 風 速 | 風車型自記風速計 超音波風向・風速計 | 同 上 |
| 降 雨 量 | 転倒マス型雨量計 | 地上付近 |
| 大気温度差 | 電気式温度計 | 気象観測塔側面及び地上 70m, 47m, 10m, 1.5m |
| 日 射 量 | 熱電堆式全天日射計 | 地上約 2 m |
| 放射収支量 | 風防型放射収支計 | 同 上 |

3. 大気安定度

大気安定度については各分野で様々な分類方法が用いられ、原子力関連に限つても、各国、各機関で地域に適合した大気安定度分類方法と大気拡散パラメータ (σ_y 、 σ_z) をセットで採用している。我が国の気象指針では、原子力施設の大気拡散解析について、英国気象庁方式を参考に大気拡散パラメータと大気安定度を分類する方法とを採用しているが、大気安定度分類は、日射量及び、雲量から置き換わった放射収支量に地上風速を組み合わせる方法としている。また、気温差を拡散パラメータ推定の参考に観測することとしている。

3.1 大気安定度の考え方

3.1.1 大気安定度の指標

大気安定度は、大気拡散の基となる大気乱流の乱流運動エネルギーの増加、減少を示す指標であり、風の平均流の鉛直シアー（鉛直方向の風速の違いから生ずる摩擦による剪断力）が基になって生成される乱流運動エネルギー（シア一項）と気温の鉛直分布から生ずる浮力によって生成される乱流エネルギー（浮力項）との比が、乱流運動エネルギーの発散、減衰の指標（大気安定度の指標）となる³⁾。風の平均流の鉛直シアーは、平均風速の鉛直分布で、浮力は、気温の鉛直分布で表されることから、それを直接又はそれに関連する項目の気象観測データを間接的に用いて大気安定度を推定することが可能となる。

1) 地表面付近の一般的な大気拡散の特性

地表面付近の大気は、それまでに受けた熱的・機械的エネルギー特性に応じた乱れの状態で観測対象地域に移流してくる。観測対象となる地域では、大気は、その地域の地表面からの熱の授受による熱的な乱れと、地表付近の障害物による機械的な乱れを受ける。熱的、機械的乱れの条件が一定であれば、その条件に対応した大気の乱れの状態となる。一般には、熱が加えられることによって不安定となり、鉛直方向の乱れが大きくなり、一方、風速が強くなることによって乱れが平滑化され中立状態の傾向になる。

大気中に放出された物質は、大気の乱れの状態で拡散の状況が変わっていく。

2) 大気の乱れの特性の推定

大気中に放出された物質の拡散は、大気の乱れの状態に影響を受けることから、乱れの状態を推定できれば、拡散状況も推定することが可能となると考えられる。

大気の乱れを推定するための、直接的あるいは間接的な種々の方法が検討されてきており、解析に利用しやすい時間的にも空間的にも定常な状態でのデータ

タを得るため、米国、オーストラリア等の、広い比較的大気乱流の観測・実験等が行われきた⁴⁾。それらの結果を解析・調査して、大気の乱れ、拡散特性等を推定する方法が検討されてきている。

原子力施設の平常時に放出する放射性気体廃棄物の大気拡散には、大気境界層での大気乱流が関係するが、その評価方法の検討には前述の研究成果が用いられてきている。大気安定度の指標には、それらの観測、実験の知見が生かされており、また、拡散パラメータにも各国、各地域で実施された大気拡散実験の結果等が利用されている。実用的な大気拡散評価という観点から、比較的簡単に観測される気象データを基にした大気安定度分類法及びそれに対応した拡散パラメータの採用が考えられるが、その際、それら地域で実施された調査結果を反映した地域に応じた方法が選択されることになる。

大気の鉛直方向の乱れの原因となる浮力に関する気温の鉛直分布を測る方法、浮力のもととなる熱的条件（熱の授受）を直接指標とする方法及び雲量で間接的に推定する方法、機械的乱れを風の観測（鉛直分布等）から求める方法、風の乱れを直接測る方法、それらを組み合わせて用いる方法等が、大気安定度の推定方法として考えられるが、日常利用する方法としては、測定の容易さとある程度の測定精度の担保が必要となる。

大気安定度分類方法等の理論的な基盤は共通であっても、各国が用いる実用的な方法は、各国の地域特性に応じたものであることから、平坦な内陸部に立地する原子力サイトを対象とした方法と、我が国のような比較的複雑な地形の海岸付近の立地条件に適応した方法とでは、それを用いた結果が異なることも予想される。

今回の大気安定度の検討では、これまで報告されている各種の大気安定度分類方法を用いて、気象観測データを整理し、各方法による大気安定度出現頻度を比較してみた。

3.1.2 日本型（気象指針）大気安定度分類法と原子力施設サイトの特徴

1) 原子力施設の大気拡散評価に用いる大気安定度推定手法

原子力施設の平常時の大気拡散評価では、施設近傍から数キロメートルあるいはそれ以上の距離を対象とすることから、それらの範囲の空間の大気拡散特性が代表できるような大気安定度指標が得られることが望ましい。しかも定常的に容易にデータ入手が必要となることから、地上付近での観測あるいは気象観測塔を用いた観測等による方法が実用的である。これについては、各国がその事情にあわせた観測方法を採用することになる。

2) 我が国の原子力施設の大気拡散評価に用いる大気安定度推定手法

我が国は、国土の位置するところの特性もあり、比較的天候に変化が多い上に、海岸付近には、海と陸地の熱特性に起因する、時間的に変化する特有の風が発生する。また、地形が比較的变化に富み、それら地形等の変化も大気の乱れに影響を及ぼす。特に海岸付近では、海陸の大気の乱れの特性の違いから、その境界を起点に内部境界層の発達がみられる等、海から陸地に向かう風は、海岸から内陸部に進むに従い大気拡散の特性を変化させていくことになる。このように、海岸付近の大気は、時間的にも空間的にも広い範囲で定常状態には必ずしもなっていない。

我が国の原子力施設は一般に海岸に近いところに立地する傾向にあり、特に冷却水を多量に必要とする原子炉施設は、海岸付近の立地となる。また、原子炉施設の多くは、陸側が環境影響評価の主要対象であり、立地条件として海側及び海を越えた地点での線量評価を必要とする例は少ない。

のことから、我が国の、原子力施設の大気拡散評価に用いる大気安定度推定手法については、海から陸地に向かう風に対して適切にデータが得られることが、一つの選定条件となる。

諸外国に見られる、比較的平坦な内陸地域に立地する施設で、サイト付近の大気の乱れの変化が少なく、一地点での測定から評価対象地域の代表特性を持つデータが得られる条件にある場合には、気温差、風の乱れ等、直接その場所での大気の乱れの指標となる項目の観測だけから、大気安定度を推定する方法も適切な選択と考えられる。

一方、空間的に大気の乱れの変化を考えられる、我が国の原子力施設の立地条件からは、大気への放出地点での拡散特性だけでなく、評価対象地域全体を包括できる大気の乱れの指標という視点も観測項目の選定の条件となり得る。

乱れを中立化する機械的エネルギー条件の観測として、空間的な特性を比較的維持しやすい平均風速、熱的条件の観測として一地点で広い範囲の代表性を持つ日射量等は、前述の特性を有する項目であると考えられる。

3.2 大気安定度分類方法

原子力施設の大気拡散評価に用いる大気安定度分類方法としては、気象データの連続的観測の可能性の問題を抜きにすれば、大気安定度の直接的指標であるリチャードソン数 (R_i) を用いた大気安定度分類方法を使うことが、理論的にも望ましいが、現実には定常的な気象観測の容易さ等実用性の観点を考慮した方法の選択が必要となる。

1) 日本国（気象指針）大気安定度分類法

日本での原子力施設からの放出物質の大気拡散評価の草分けとしては、昭和33年に始まった日本原子力発電東海発電所建設に対応した原子力気象調査会が挙げられる。

そこでは、大気拡散計算式、大気安定度分類法、拡散パラメータについて、英國気象局法（パスカル、ミード法）が、利用されている。その大気安定度分類方法と現在の気象指針とでは、風速階級の区分が多少異なるが、これは東海村地域の風の観測特性から、弱風にウエイトをおいた修正であるとされている。また、拡散計算式については、よう化鉛をトレーサーとする現地大気拡散実験での妥当性の検討があわせて行われている³⁾。

そこで使用された方法は、大気安定度分類法のうち夜間の雲量を、自動観測できるよう放射収支量に置き換えたほかは、現行の気象指針にそのまま採用されている。（なお、S I 単位系導入で、当初のcal/cm²hをkW/m²に変更している。）

第3.1表 日本国（気象指針式）大気安定度分類法³⁾

| 風速(U) m/s | 日射量 (T) kW / m ² | | | | 放射 Q ≥ -0.020 | 収支量(Q) kW/m ² | |
|--------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|----------|------------------|--------------------------|------------------------|
| | T ≥ 0.6 ≥ 0.3 | 0.6 > T ≥ 0.15 | 0.3 > T ≥ 0.15 | 0.15 > T | | -0.020 > Q ≥ -0.040 | -0.020 > Q ≥ -0.040 |
| 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 |

この大気安定度分類法は、シアー項の指標に平均流速、浮力項の指標に地面付近の熱収支に関する日射量、放射収支量を用いており、いずれも観測点の極近傍だけでなく比較的広い範囲の気象条件を代表する観測項目である。原子力施設の海岸立地、地形等、米国より我が国の原子力施設の立地条件に比較的近い英國で開発された方法であること、我が国の原子力サイトで拡散実験を用いて適用の妥当性の検討がされている³⁾こと等から、我が国に適応した方法と思われる。

2) 気温差を用いた U S R . G . 1 . 2 3 の 大気安定度分類方法¹⁾

内陸部の平坦な地形上の大気の乱れは、水平方向の空間的变化が少ないことから、单一の気象観測項目で大気安定度分類が可能となることが想定される。

浮力項の指標である気温差を用いるこの方法が、気温差観測からシアーフィールドも運動して推定可能な地域では適切な方法であろう。しかし、我が国のように海岸付近の立地では、海岸から内陸に向けて接地境界層の発達、地面粗度の変化に従い、大気の乱れの変化が推定される。このことから、気温差は、観測地点の大気安定度の良い指標ではあるが、大気拡散評価の対象地域全域を包括した大気安定度特性の代表指標とならないことも推測される。

第3.2表 気温差を用いた大気安定度分類方法 (U S R . G . 1 . 2 3)

| Stability Classification | Pasquill Categories | Temperature change with height (°C/100m) |
|--------------------------|---------------------|--|
| Extremely unstable | A | < -1.9 |
| Moderately unstable | B | -1.9 to -1.7 |
| Slightly unstable | C | -1.7 to -1.5 |
| Neutral | D | -1.5 to -0.5 |
| Slightly stable | E | -0.5 to 1.5 |
| Moderately stable | F | 1.5 to 4.0 |
| Extremely stable | G | > 4.0 |

3) 風向変動幅 ($\sigma \theta$) を用いた U S R . G . 1 . 2 3 の 大気安定度分類方法¹⁾

風向変動幅は直接的な大気の乱れの指標であることから、大気安定度の指標としては適切である。なお、 $\sigma \theta$ は、水平方向の風の乱れの指標であり、海岸付近では、水平方向と鉛直方向の乱れの特性の不一致も想定されるので、鉛直方向の乱れに関する大気安定度の的確な指標かどうかの確認は必要である。

第3.3表 風向変動幅 ($\sigma \theta$) を用いた大気安定度分類方法 (U S R . G . 1 . 2 3)

| Stability Classification | Pasquill Categories | $\sigma \theta$ (Standard deviation of horizontal wind direction fluctuation over a period 15min to 1h) (degrees) |
|--------------------------|---------------------|---|
| Extremely unstable | A | 25.0° |
| Moderately unstable | B | 20.0° |
| Slightly unstable | C | 15.0° |
| Neutral | D | 10.0° |
| Slightly stable | E | 5.0° |
| Moderately stable | F | 2.5° |
| Extremely stable | G | 1.7° |

4) VOGTの風速と気温差を用いた大気安定度分類方法⁷⁾

この大気安定度分類法は、シアー項の指標に平均流速、浮力項の指標として気温差を利用する方法で、気象指針の方法より大気安定度分類の定義に沿った方法である。

第3.4表 VOGTの風速と気温差を用いた大気安定度分類方法

| wind speed U (m/s) | Stability class with $\Delta T/\Delta Z$ (K/100m),measurd between 20 and 120m height of: | | | | | | | |
|-----------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| | $\Delta T/\Delta Z$ ≤ -1.5 | $\Delta T/\Delta Z$ ≤ -1.2 | $\Delta T/\Delta Z$ ≤ -0.9 | $\Delta T/\Delta Z$ ≤ -0.7 | $\Delta T/\Delta Z$ ≤ -0.0 | $\Delta T/\Delta Z$ ≤ 2.0 | $\Delta T/\Delta Z$ >2.0 | |
| U < 1 | A | A | B | C | D | F | F | |
| 1 ≤ U < 2 | A | B | B | C | D | F | F | |
| 2 ≤ U < 3 | A | B | C | D | D | E | F | |
| 3 ≤ U < 5 | B | B | C | D | D | D | E | |
| 5 ≤ U < 7 | C | C | D | D | D | D | E | |
| 7 ≤ U | D | D | D | D | D | D | D | |

4. 調査結果

2章で紹介した東海事業所内に設置している風速、日射量計等気象観測装置を用いて、1977年から1992年までの16年間観測した気象データから、3章で述べた各大気安定度分類方法で年間の大気安定度出現頻度を求め、各分類方法による出現頻度の分布傾向を調べた。他の観測項目より観測期間が短い風向変動幅を除く各観測項目は、16年間のデータを用い分類方法による出現頻度の分布傾向を検討した。これは、方法による傾向の違いを見ることが目的であるので、煩雑となるよう方位を区別しない大気安定度出現頻度を検討対象とした。

なお、補足的に検討した、季節、方位による出現頻度の分布傾向及び風向変動幅を用いた大気安定度分類法と他の分類法の比較には、大まかな傾向を把握することが目的であることから、1992年1年間の気象観測データを用いた。

4.1 大気安定度年間出現頻度

気象指針の大気安定度は、A～B等中間の階級を含めて10区分されているが、拡散パラメータ (σ_y 、 σ_z) がA、B、C、D、E、Fの6区分であることから、大気拡散計算ではその区分だけが必要となる。このことから、大気安定度の出現頻度の統計は、気象指針の分類方法についてもAからFの6区分でまとめた。

なお、拡散パラメータは、各国、各地域により必ずしも同一のものが用いられていないので、拡散パラメータの表す大気の乱れの程度は、同じ大気安定度階級と区分されていても厳密に同一であるとは限らない。しかし、この検討では、各国間の拡散パラメータの比較を行うのではなく、同一サイトの観測データを基に、大気拡散計算に用いる拡散パラメータは、気象指針のものを用いることを前提に、大気安定度階級を決める分類方法について比較を行うことから、大気安定度階級そのものは共通として扱える。すなわち、気象指針の大気安定度階級の「A」とUSR.G.1.23の「Extremely unstable」とVOGTの「Stability class A」は、同一の大気の乱れを表す指標であるとした。以下、各分類方法に対する年間の大気安定度出現頻度の特徴及び各分類方法間の傾向の比較を示す。

1) 気象指針大気安定度分類方法による大気安定度年間出現頻度

年平均では、安定度DとFの出現頻度が高く、両者で約7割を占める。一方安定度A及びEの出現頻度が低く、両者あわせても約5%である。安定度別では、不安定が約1割強、中立が約5割強、安定が約4割弱と中立と安定の出現頻度が高い。この分類方法による安定度の年間出現頻度の変動は、年ごとに多少の変化はあるが高くて2割前後と、各安定度とも概して少ない。特に出現頻度の高いD及びF (+G) の年変動の標準偏差 (1σ) は年間出現頻度の約1割と小さい。大気安定度出現頻度を第4.1図に示す。

2) 気温差を用いた大気安定度分類方法による大気安定度年間出現頻度

年平均では、安定度DとFの出現頻度が約3割と比較的高が、それ以上にEの出現頻度が高い。3者をあわせると約9割を占める。一方安定度B及びCの出現頻度が低く、両者あわせても約5%である。また、強い不安定のAの出現が約5%となっている。安定度別では、不安定が約1割弱、中立が約3割強、安定が約6割と安定の出現頻度が非常に高い。この分類方法による安定度の年間出現頻度の年変動は、出現頻度の比較的高いF(+G)の年変動の1.0で約1割であるほかは、各安定度とも約2から4割と、比較的大きい傾向にある。大気安定度出現頻度を第4.2図に示す。

3) 気温差と風速とを用いた大気安定度分類方法による大気安定度年間出現頻度

年平均では、安定度DとFの出現頻度が約3割と比較的高く、安定度A及びEの出現頻度は低い。安定度B及びCの出現頻度は、各々約1割である。安定度別では、不安定が約2割弱、中立が約4割強、安定が約4割と中立及び安定の出現頻度が高い。この分類方法による安定度の年間出現頻度の年変動は、出現頻度の比較的高いDとFの年変動の1.0が約1割である外は、各安定度とも約2から5割と比較的大きい傾向にある。大気安定度出現頻度を第4.3図に示す。

4.2 各大気安定度分類方法による大気安定度年間出現頻度の傾向

1) 各大気安定度分類方法の大気安定度出現頻度の傾向

気象指針、気温差、気温差及び風速の各大気安定度分類方法を用いて十数年の気象観測データから求めた大気安定度の年間出現頻度の出現傾向の比較を第4.4図に示す。

気象指針は、浮力項の指標として地表面の熱収支に関連する日射量及び放射収支量を、シアー項の指標に地上付近の平均風速を用いており、VOGTの方法とは、浮力項の指標をより直接的な気温差としているところが異なるが、両者は比較的類似した分類方法である。この両分類方法による大気安定度の年間出現頻度には各安定度で多少の差はあるが、その出現傾向は、類似している。

一方、浮力乱流の指標となる気温差だけから大気安定度を分類する、USR.G.1-23の方法を用いた出現傾向では、やや安定のEの出現頻度が他と比べて格段に高く、B、Cの出現頻度が少ない傾向にあり、前述の2方法による大気安定度分類方法と出現傾向を異にしている。

参考に、1992年1年間の同一サイトの気象観測データを基に、前述の3つの大気安定度分類方法に水平風向変動の標準偏差を用いたUSR.G.1-23の方法を

加えた、大気安定度の年間出現頻度の出現傾向の比較を第4.5図に示す。風向変動を除く3者の1992年1年間の出現傾向は、気温差のやや安定のEの出現頻度が他と比べて高く、B、Cの出現頻度が少なく前述の十数年間の平均出現頻度の傾向と似ている。風向変動は、気温差以上にやや安定のEの出現頻度が高く、安定なFはさらに出現頻度が高くなっている、両者あわせて80%弱と他の方法での出現傾向と異なる傾向を示した。

風向変動と気温差は、各安定度ごとの大気安定度出現頻度では差があるが、不安定の出現頻度が低く、D、E、Fの中立から安定側の出現頻度が高く、その合計が約9割を占める点では類似している。また、両者とも、観測地点付近の大気の乱れの特性をみるのに向く方法であることも共通している。

2) 気象指針の大気安定度と他の分類方法の大気安定度の対応傾向

1978年から1992年の気象観測データを用いて、各1時間のデータについて気象指針で分類した大気安定度に対する、他の分類方法による大気安定度の対応状況をまとめた。気象指針（日射量・放射収支量と風速）と気温差で求めた大気安定度の対応関係を第4.6図に、気象指針と気温差及び風速を用いた対応関係を図4-7に示す。

気象指針で分類した大気安定度では、特にDとFの出現頻度が高い。気象指針のDについては、気温差で分類した大気安定度ではDとEがほぼ半分、Fについては、約6割がF、約4割がEとなっており、安定度1階級のずれではほぼ対応している。また、気象指針で分類した大気安定度に対し気温差の分類で、その安定度と1階級ずれた安定度までを含めた対応割合は、不安定側のA、Bで約1割と極端に低く、Cで6割強、中立から安定のD、E、Fで8から10割と安定側で高くなっている。なお、気温差で分類した大気安定度については、D、E、Fをあわせた年平均出現頻度が約9割を占めていることから、総体的には、同一時刻の大気安定度対応は、気象指針の分類とほぼ一致している。

気温差と風速で分類した大気安定度では、同じく気象指針のDについて、Dが約5割、Fが約2割、Fについては、約8割がFとほぼ対応している。また、気象指針で分類した大気安定度に対し気温差と風速の分類で、その安定度と1階級ずれた安定度までを含めた対応割合は、不安定側のA、Bで約6割、Cで8割強、中立から安定のD、E、Fで7から9割と全安定度を通して高くなっている。

年間平均の出現頻度だけでなく、気象観測データの1時間値を基に分類した同時刻の大気安定度についても、気象指針の分類方法とVOGTTの気温差と風速を用いた分類方法の対応関係は良く、両者の大気安定度の分類結果は、比較的類似している。

4.3 大気拡散実験結果から求めた大気安定度と気象データから求めた大気安定度

今回の気象データに基づく大気安定度分類の検討の参考として、気象観測地点近傍の実施設の排気筒から放出されるトレーサーを用いた、サイトでの大気拡散実験で得られた拡散パラメータ (σ_y 、 σ_z) から求めた大気安定度と、同時刻に観測した気象データから求めた大気安定度との比較を行った。結果を第4.8図に示す。なお、大気拡散実験で得られたデータには、以下の特徴がある。

- イ. 大気拡散実験は、実施しやすい気象条件下で行うことから、実験時の大気安定度出現頻度の分布は、年間出現頻度の傾向とは異なる。
- ロ. 実験で得られた拡散パラメータで決まる大気安定度の比較検討の対象は年間出現頻度ではなく、実験時に得られた同時刻の気象データから分類される大気安定度の対応関係である。
- ハ. 水平方向の拡散パラメータ σ_y は、拡散トレーサーの濃度分布から直接求め、鉛直方向の拡散パラメータ σ_z は、拡散トレーサーの濃度を基に計算で求めることから、実験結果によっては一方のみ求まる場合もあるので、両者の全てのデータが、必ずしも同一時刻に得られたものではない。また、実験データの入手し易い中立条件のデータに片寄る結果ともなっている。

1) σ_y から求められる大気安定度と σ_z から求められる大気安定度
 σ_y から求められる大気安定度が、C と D に集中しているのに対し、 σ_z から求められる大気安定度は、一階級安定側の D と E とに集中し、多少のずれが見られる。

2) σ_y から求められる大気安定度と気象観測データから求められる大気安定度

σ_y の大気安定度が C と D に集中しているのに対し、気象観測データから求まる安定度のうち、気象指針の分類方法の安定度は、分布傾向に類似が見られる。気象指針の分類では不安定側の B、C とされる分が、 σ_y の大気安定度では、それより多少拡散の小さくなる C に、また、安定側の F が、それより多少拡散の大きくなる E にと、いずれも σ_y (現実の大気拡散) の方が中立側になる傾向が見られる。

海から陸に吹く風での拡散実験であることから、拡散が中立傾向になることは、理解できる現象である。

気象データを用いる他の方法については、気温差、水平拡散の直接の指標である水平風向変動幅 θ 分類の両者が、 σ_z と同様 σ_y より一階級安定側の D、

Eに分布が集中している。 σ_y の大気安定度は、風下方向にDからCへと変化する傾向が見られたことから、海からの距離が近い気象観測地点での σ_θ が、より陸側で測定される σ_y より安定側となるという説明も考えられる。一階級のずれを許容すれば、気温差、 σ_θ とも、水平拡散パラメータから得られる実際の大気安定度といい一致を示している。

3) 鉛直方向の拡散パラメータ σ_z から求められる大気安定度と気象観測データから求められる大気安定度

σ_z の大気安定度は、Dに集中しているほか比較的Eの頻度が高く、 σ_y の大気安定度と多少傾向を異にし、Cの頻度は高くなない。これに対し、気象データから求まる安定度については、比較的Eの頻度が高いという傾向が、気温差及び風向変動幅から求まる安定度に類似し、Dに集中している点は、気温差と風速から求まるVOG Tの安定度が類似傾向にある。気象指針の分類では不安定側のB、Cとされる分が、 σ_z の大気安定度では、それより拡散幅の小さくなるCに、また、安定側のFが、それより拡散の大きくなるEにと、いずれも σ_z の方（現実の大気拡散）が中立側になる σ_y と同様の傾向が見られ、この点の1階級のずれを除くと、気象指針で求まる安定度全体の分布傾向は、 σ_z の安定度に類似する。

海から陸に吹く風での拡散実験であることから、 σ_y と同様拡散が中立傾向になることは、理解できる現象である。

一階級のずれを許容すれば、気象指針、気温差、 σ_θ とも、鉛直拡散パラメータから得られる実際の大気安定度といい一致を示している。

現地拡散実験が種々の制約、影響を受けること、今回評価対象とした拡散実験の安定度条件及び件数が限られること等を考慮すると、現地拡散実験で求めた大気安定度と気象観測から得られた大気安定度との対応傾向は、相当類似しており、よい一致を示していると考えられる。

4) 気象指針に基づく大気安定度の長期的な適合性

3) までは気象観測データから得られる大気安定度の、短時間（1時間）の拡散現象に対する適合状況を検討した。ここでは、気象指針の大気安定度分類の長期的評価での適合性について検討する。第4-9図に、大気拡散実験を行ったサイト付近の数年間の環境試料中放射能測定結果と年間放出量と気象データを基に気象指針の年平均の安定度出現頻度、大気拡散計算式等を用いて算出し

た値との比較結果を示す。

測定値に比べ、計算値が多少低めであるが、年オーダーの長期的な大気拡散評価としては、計算値と環境での測定値とは非常に良い一致傾向を示している。

この結果から、気象指針の大気安定度分類方法は、短期的評価に適合するだけでなく、年間平均の大気拡散状況等環境での長期的評価にも良く適合する考え方られる。

4.4 大気安定度に対する季節と風向の影響

海岸線に近いことから、海から吹く風の場合には、海上大気の乱れの特性を多少維持した状態で、気温差の観測を行うことになると、安定側の頻度が多く、逆に陸風の条件下では、不安定の頻度が多くなることが考えられる。一方気象指針の大気安定度分類方法は、日射量、放射収支量を対象とすることから、風向の差は、少ないと考えられる。両者の安定度出現傾向では強い不安定のAとやや安定のEに差があることから、風向別に大気安定度出現頻度を整理してみた。結果は、予想に反して、Aの出現は、陸風時に、Eの出現は、海風時に頻度が高いというような特定の傾向は見られなかった。（第4.10図参照）

また、気温と海水温の関係から、冬期は海水温が高く、夏期は気温が高くなることから、冬期の海風は、不安定側の頻度が夏期より高く、夏期の海風は、安定側の頻度が冬期より高いことが予想される。季節別、風向別の大気安定度出現頻度を整理した。海風時の不安定出現頻度は、予想通り夏期より冬期に頻度が高かったが、海風時の安定は、予想に反し冬期より夏期に頻度が高くなる傾向にはなかった。（第4.11図参照）

これらの結果からは、気象指針と気温差の安定度の出現傾向の違いが、単純に海風の影響だけでは説明できなかった。

4.5 大気安定度分類方法の違いによる年平均濃度推定への影響

大気安定度分類方法の違いにより、年間の大気安定度出現頻度に差がでてくることから、その差が、年間平均濃度の算定にどの程度影響しうるかを、1992年の気象データを基に、気象指針と気温差について放出口高度を変えて試算した。地上放出については、両者に差はほとんどなかった。また、60から150mの放出高度については、大気安定度分類方法の違いにより地表面濃度最大出現距離に多少の差はみられたが、最大濃度値としてはほぼ同様の結果であった。このことからは、大気安定度分類方法の違いにより、年間の大気安定度出現頻度に多少の差は生ずるが、年間平均の地表面濃度を推定する上では、あまり影響しないことが考えられる。（第4.12図参照）

5 結論

大気温度の鉛直方向の差である気温差については、気象指針で「拡散パラメータ推定の参考として観測する」ことが位置づけられている。「拡散パラメータ推定の参考として」検討する目的で、東海事業所で観測した十数年間の気温差データを整理し、併せて同一期間のその他大気安定度に関する気象データを整理した。また、同一サイトで実施された大気拡散実験で得られた拡散トレーサーの濃度分布と気象観測データとから得られた大気安定度の比較結果も参考に検討した。

気温差単独で安定度を分類する方法で区分した安定度は、年間の大気安定度出現頻度の分布状態、同時刻の安定度の対応関係とも気象指針と多少傾向を異にしており、特にやや安定の階級に区分されるEの出現頻度が高くなることに特徴がある。この傾向は、大気拡散実験の鉛直拡散パラメータから求められる大気安定度と類似していた。また、気温差に併せて風速条件を加味して大気安定度を分類する方法を用いると、気象指針の大気安定度分類方法の結果と年間の大気安定度出現頻度の分布状態、同時刻の安定度の対応関係とも類似した傾向が得られた。

各種大気安定度分類方法とも、1階級のずれを許容すれば十分良い一致を示し、大気拡散実験の結果も同様の傾向を示した。

大気拡散実験及び長期間の環境放射能測定結果から、気象指針の大気安定度分類を用いた評価結果と各測定結果に適合関係がみられた。この結果から、気象指針の大気安定度の分類方法から拡散パラメータを設定し、気象指針の拡散計算式を用いて、短時間の大気拡散及び長期間の大気拡散を評価する方法は、従来の知見同様¹⁾おおむね妥当であることが認められる。

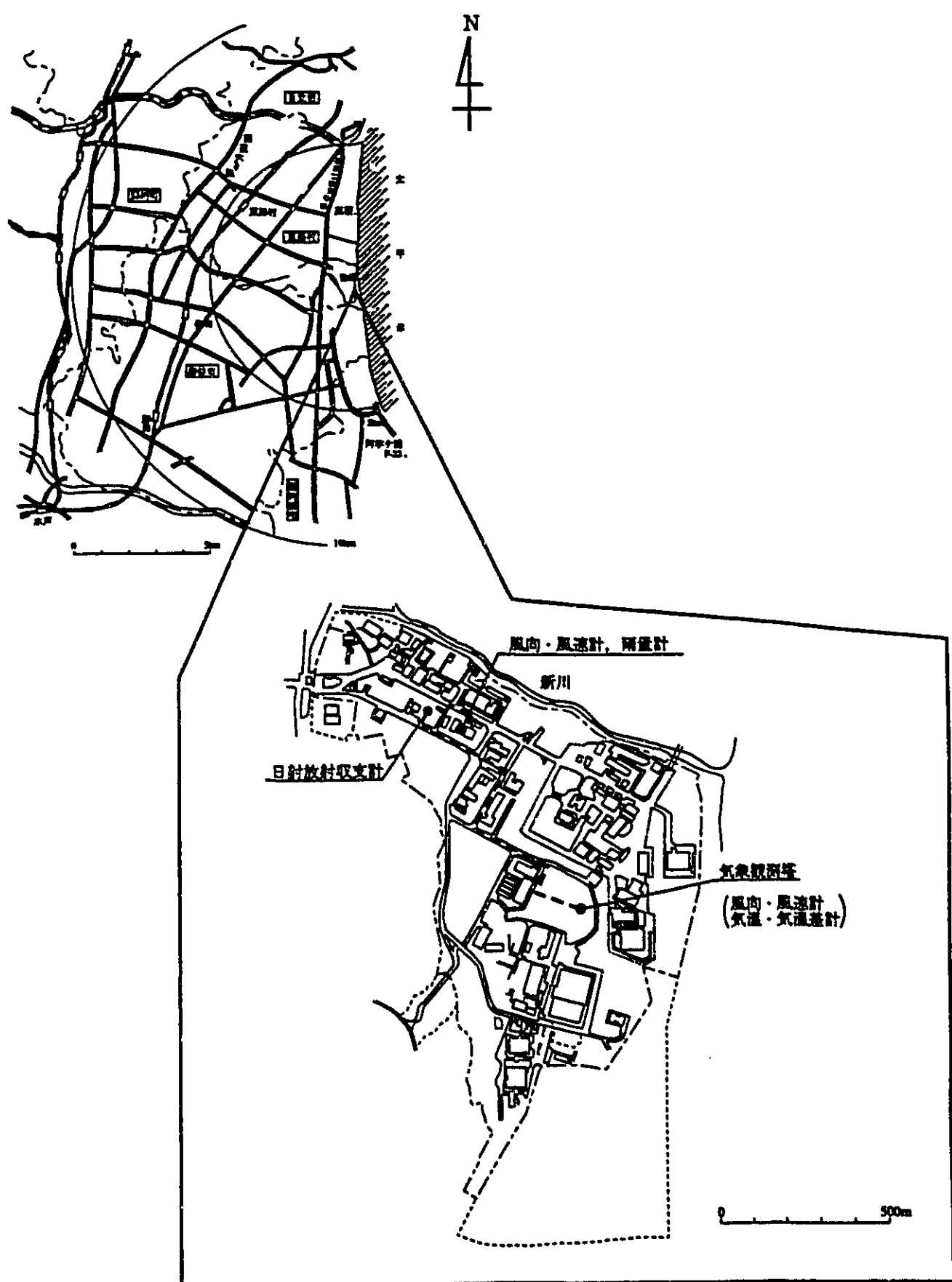
大気拡散実験も参考に、長期間実施された気象観測データを活用し、観測サイトである東海事業所周辺での、気象、拡散特性が把握され、また、気温差データを用いて、現行の気象指針の大気安定度分類方法の妥当性の再確認もされたことから、「拡散パラメータの推定に参考として観測する」気温差観測の目的は、達成され、気温差を始め大気安定度関連の調査目的の気象観測の一応の区切りがついたと考えられる。(これは、当該観測事項の継続の可否の判断材料に使える。)

前述の内容を以下にまとめる。

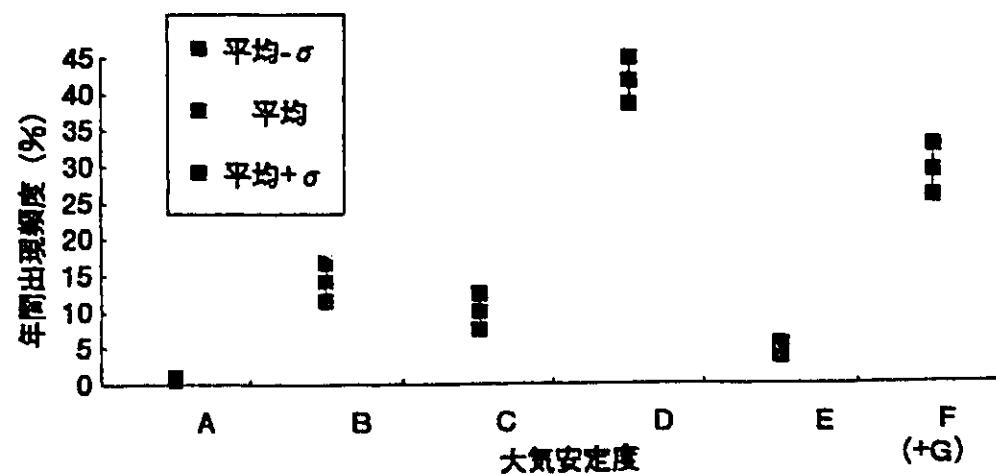
- 1) 気象指針を参考に、大気安定度に関連する気象観測を継続実施してきた。その長期間の気象データを用いて、観測サイトの気象、拡散特性を検討した。
- 2) 1) の検討に合わせ、同一サイトで実施した大気拡散実験の結果も参考に検討し、現行気象指針の、大気安定度分類方法の妥当性の再確認を行った。
- 3) 1)、2) の検討から、現行の大気拡散式、拡散パラメータを使用する限り気象指針の大気安定度分類方法の使用は、適切であることが再確認された。
- 4) 気温差等の観測データが活用され、「拡散パラメータの推定の参考として観測する」気温差等、安定度関連の気象データ観測の調査目的が達せられたことから、当該調査を目的とする気象観測の一応の区切りがついたと考えられる。

6. 引用文献

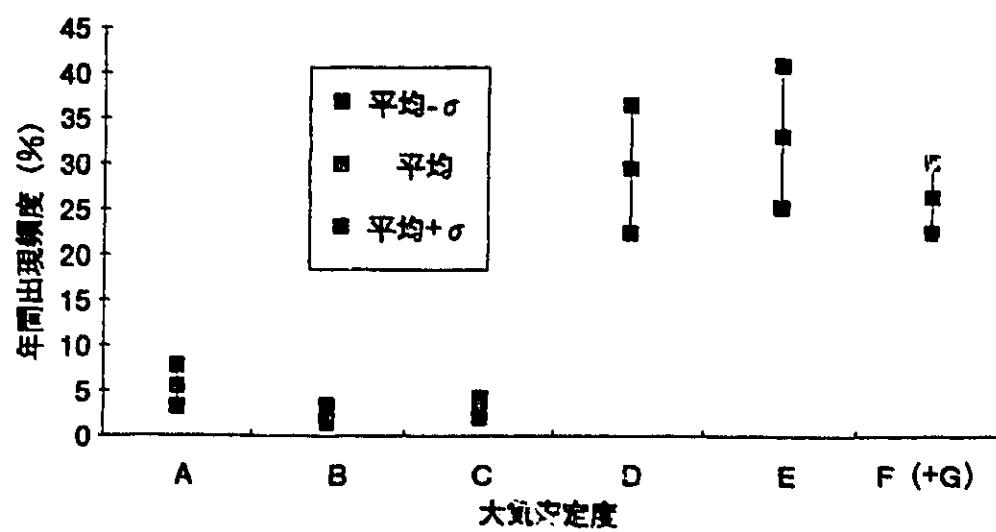
- 1 倉林 美積等、1994：再処理施設周辺環境放射線監視年報、PNC TN8440
94-003、128-140
- 2 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針、昭和58年1月原子力安全委員会決定（平成元年3月一部改訂）
- 3 竹内 清秀、近藤 純正、1981：大気科学講座1 地表に近い大気 8-70
- 4 竹内 清秀、近藤 純正、1981：大気科学講座1 地表に近い大気 179-190
- 5 大田 正次、1992：原子力と気象（原子力気象調査とともに） 11-23
- 6 USNRC、1972、Safety guide 23 On site meteorological programs,
Regulatory Guide 1.23、23.6
- 7 IAEA、1980、Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting
A Safety Guide, Safety series No.50-SG-S3、42
- 8 ASME、1973、Recommended guide for the prediction of the dispersion
of airbone effluents. Second edition、24
- 9 AMS、1975、Lectures on air pollution and environmental impact
analyses. (Chapter 5 Lent diffusion and pollutant transport
in shoreline.、Walter A. Lyons.)、136-208



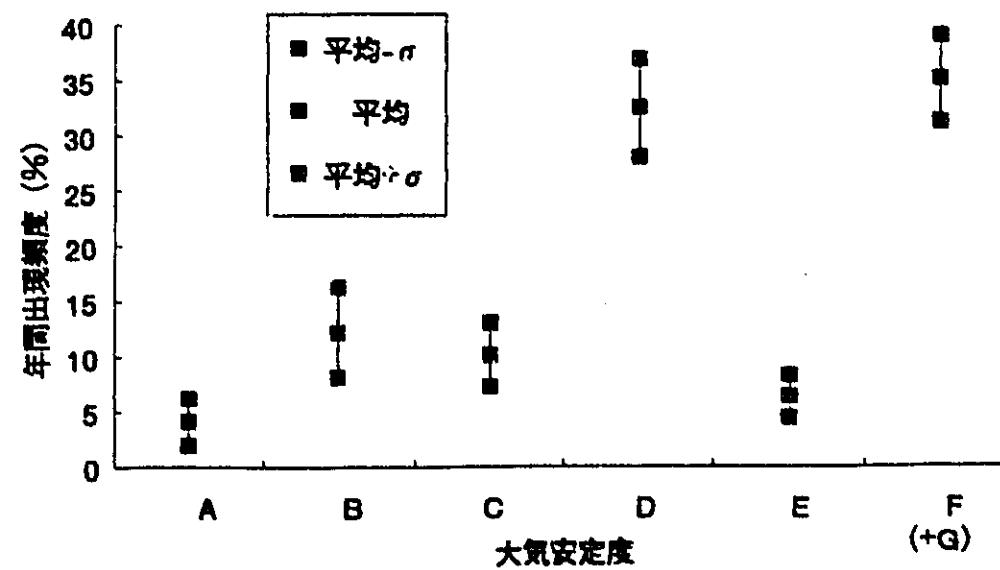
第2図 気象観測機器の設置場所



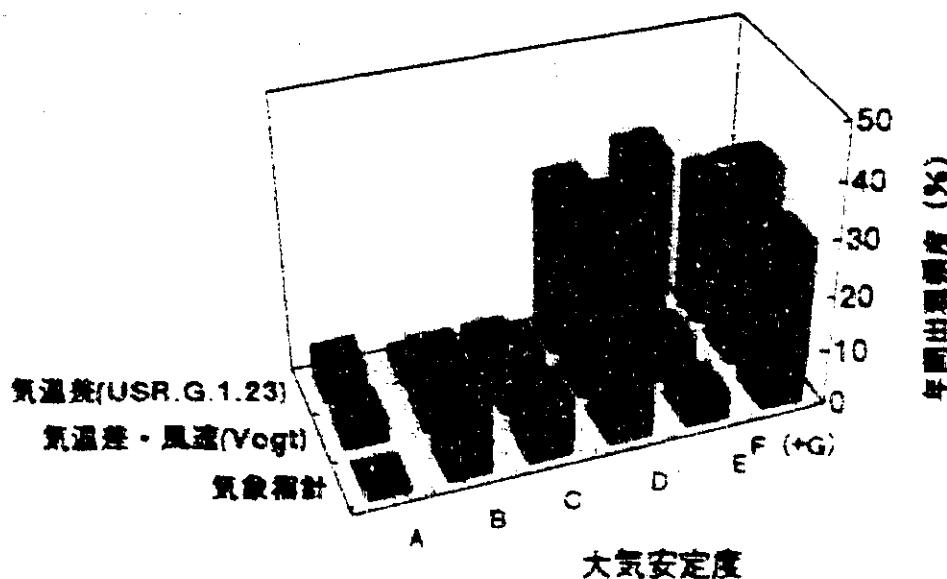
第4.1図 気象指針に基づく大気安定度年間出現頻度



第4.2図 気温差を用いた大気安定度年間出現頻度

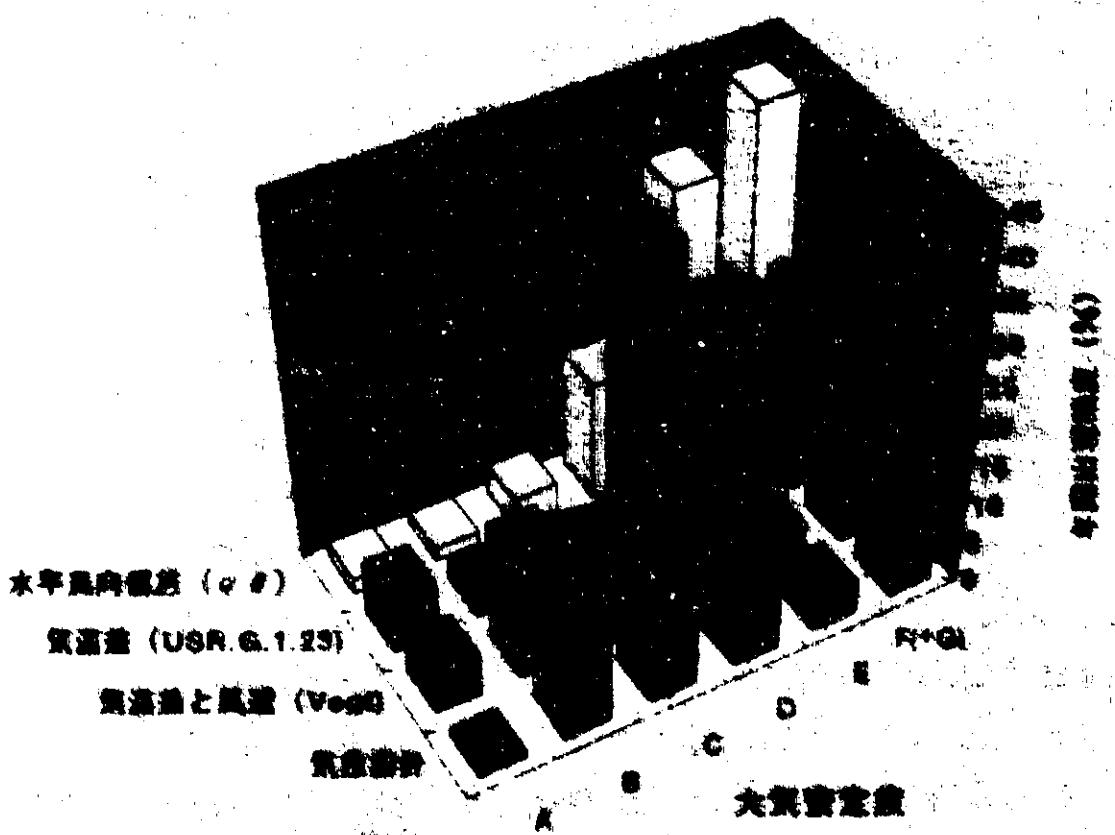


第4.3図 気温差と風速を用いた大気安定度年間出現頻度



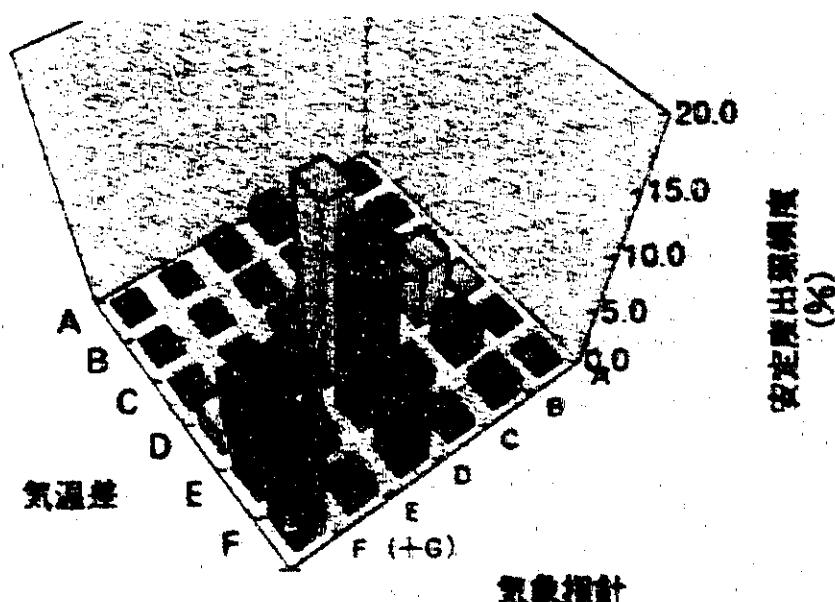
第4.4図 長期間の安定度分類別の大気安定度年間出現頻度

1977年（気温差と気温差及び風速の安定度は1978年）から1992年までの期間、東海事業所内で観測された各1年間の気象データを用い、各大気安定度分類方法に基づき階級分けした大気安定度の年間平均出現頻度。頻度は、方位別ではなく、全風向にわたる値（%）。



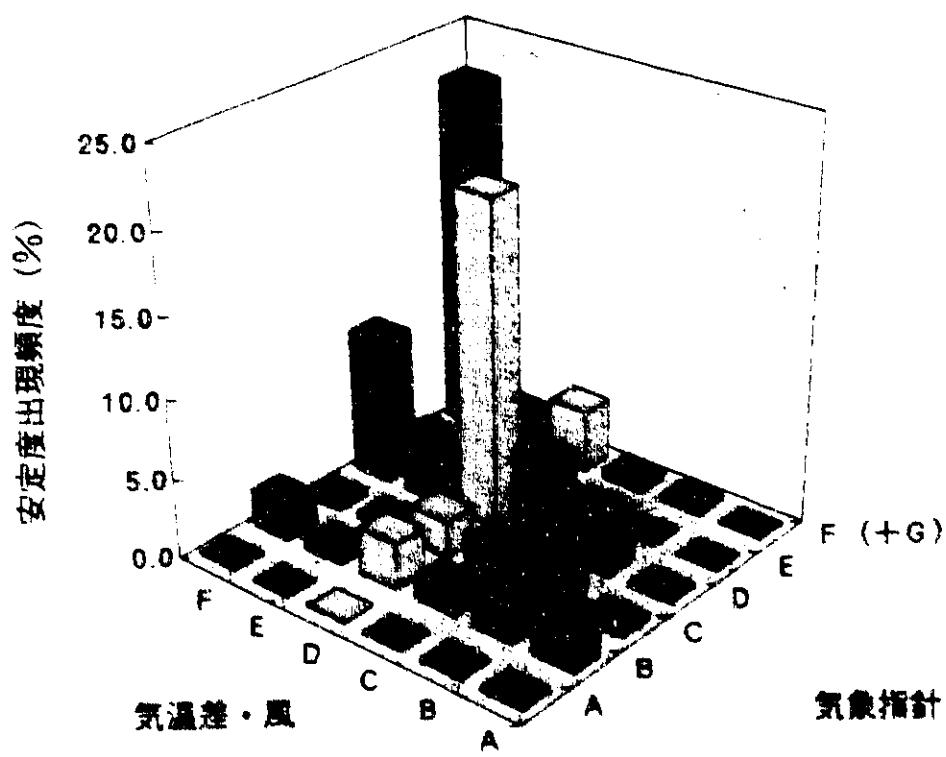
第4.5図 1992年の安定度分類別の大気安定度年間出現頻度

1992年1年間に東海事業所内で観測された各気象データを用い、各大気安定度分類方法に基づき階級分けした大気安定度の年間平均出現頻度。頻度は、方位別ではなく、全風向にわたる値（%）であり、図には超音波風速計で観測した水平風向の変動の標準偏差 σ に基づく大気安定度の年間平均出現頻度も含む。



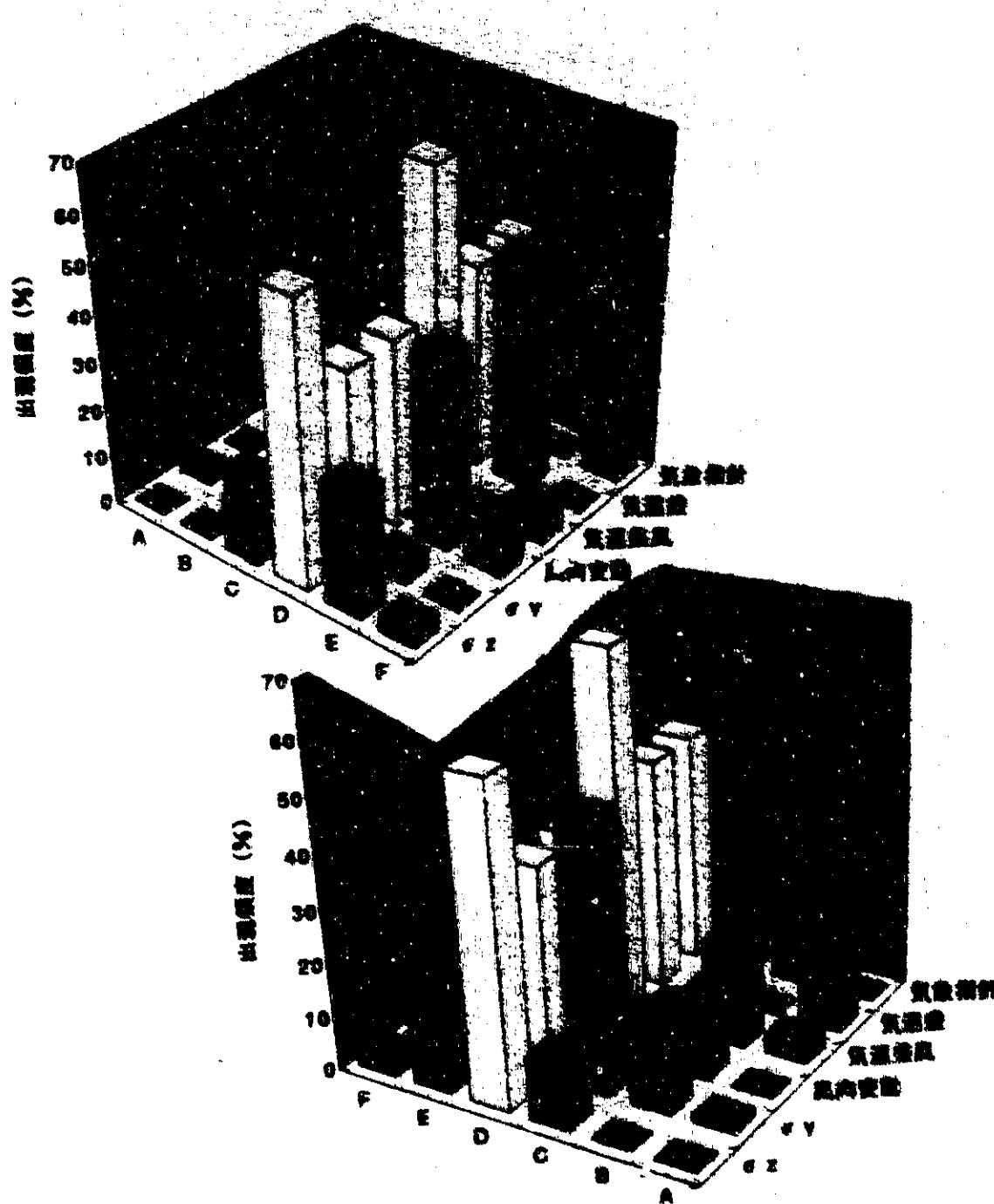
第4.6図 気象指針の大気安定度に対する気温差の大気安定度

1978年から1992年までの期間、東海事業所内で観測された気象データを用い、気象指針に基づき階級分けした大気安定度の各1時間値に対し同時刻の気温差データを用いて分類した大気安定度階級の出現頻度(%)。例えば、気象指針でDの大気安定度階級と分類され、気温差でD及びEと分類された頻度は全観測期間(15年約13万時間中)に各々約15%あることになる。



第4.7図 気象指針の大気安定度に対する気温差及び風速の大気安定度

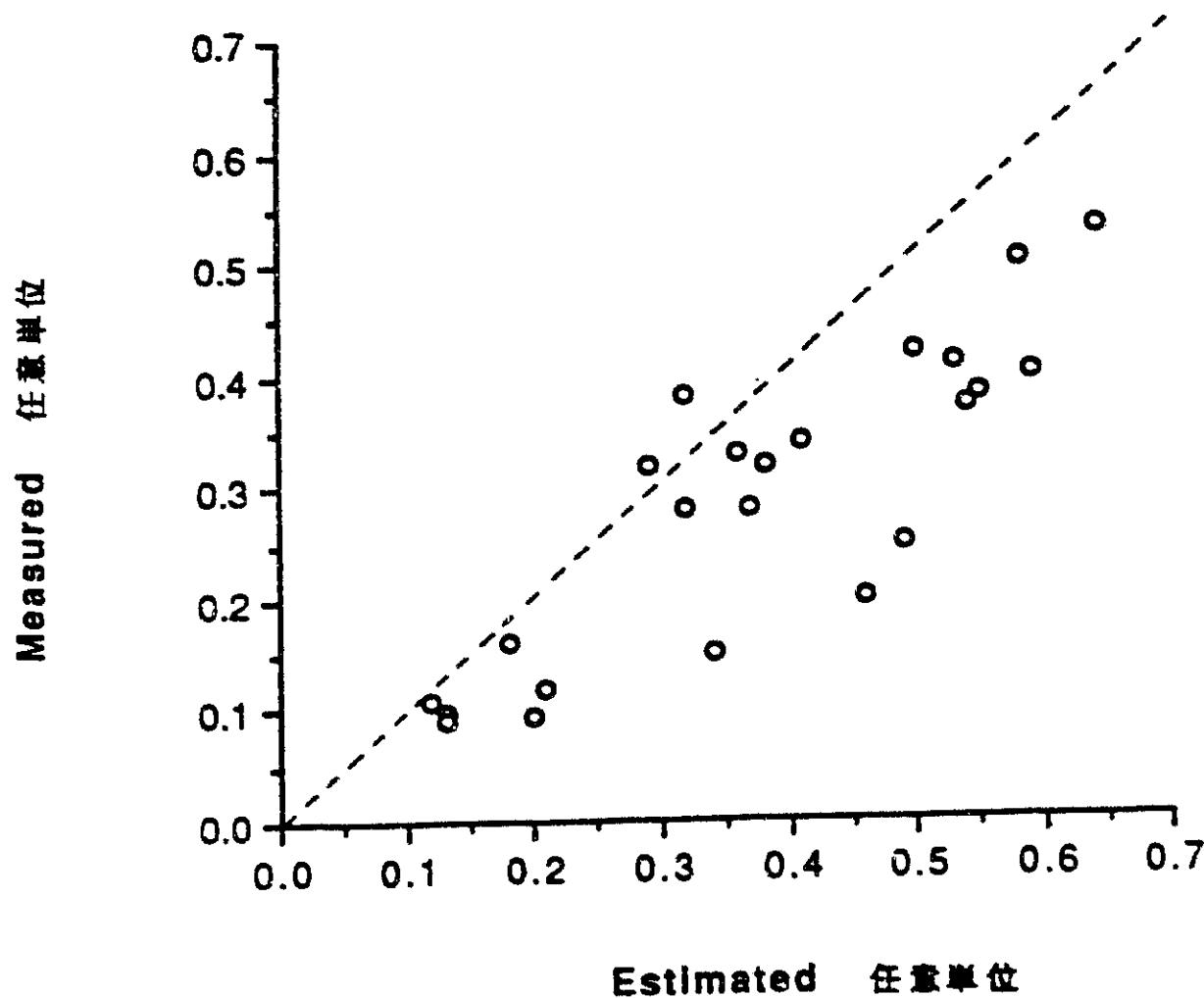
1978年から1992年までの期間、東海事業所内で観測された気象データを用い、気象指針に基づき階級分けした大気安定度の各1時間値に対し同時刻の気温差及び風速データを用いて分類した大気安定度階級の出現頻度(%)。例えば、気象指針でDの大気安定度階級と分類され、気温差と風速でD及びFと分類された頻度は全観測期間(15年約13万時間中)に各々約20%及び10%あることになる。



第4.8図 大気拡散実験結果から得られた大気安定度と気象観測データ
から求められた大気安定度の関係

気象観測と同一サイト付近で行われた大気拡散実験で得られた、水平方向拡散パラメータ α_y 、鉛直方向拡散パラメータ α_z から求まる大気安定度と、同時に観測された気象データから求まる大気安定度の関係。気象データで安定、不安定とも拡散実験では中立側になる傾向が見られる。 α_y と α_z で安定度に多少のずれが見られる。

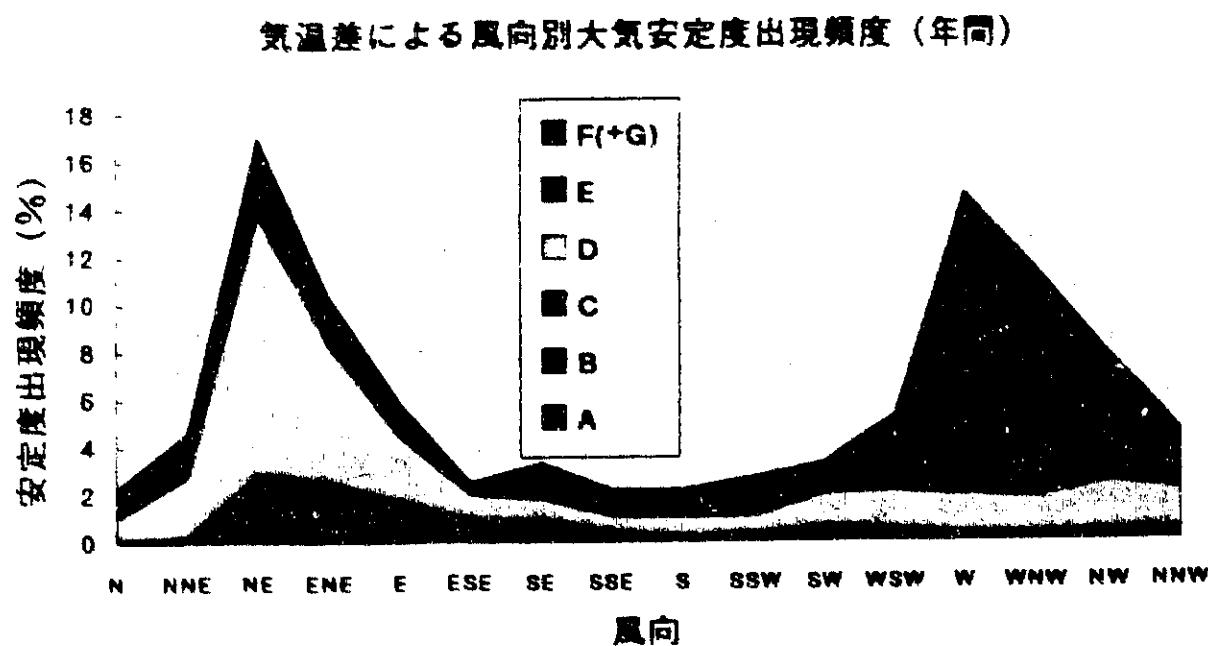
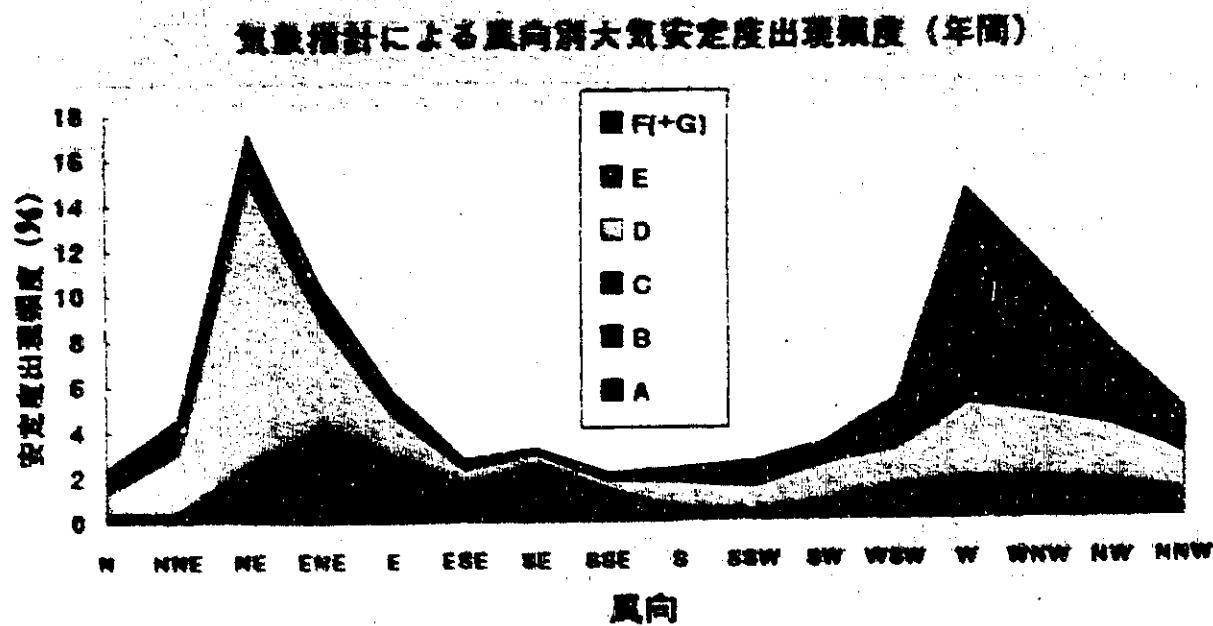
α_y は、気象指針に、 α_z は気温差及び風向変動率と傾向が類似するが、1階級以内のずれを許容すれば、気象指針を始めどの大気安定度分類方法も拡散実験の結果と良い適合関係にある。



第4.9図 環境放射能測定データと気象指針の大気安定度を用いた
長期間大気拡散計算評価値との関係

各年度の気象データと放出条件から気象指針の大気安定度及び大気拡散計算式を用いて長期間環境濃度を評価した計算値と、同一期間に得られた環境試料中濃度の実測値との関係。（任意単位で表した値）

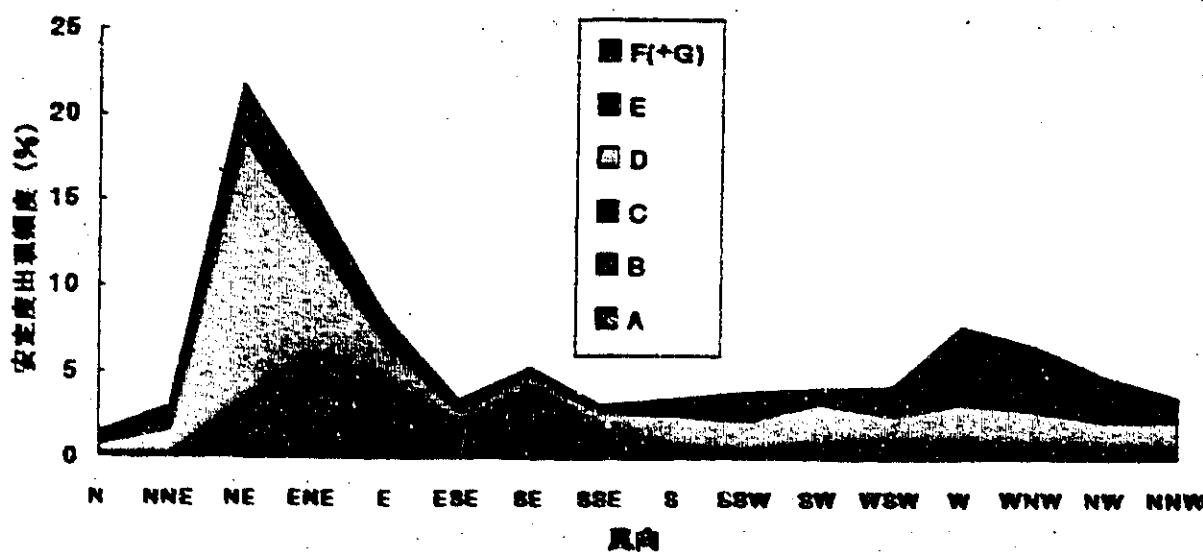
計算値は、多少低めであるが、測定値と良い一致を示す。気象指針の大気安定度は、短期間の評価だけでなく長期間の大気拡散評価に対しても、環境濃度と良い適合関係を示す。



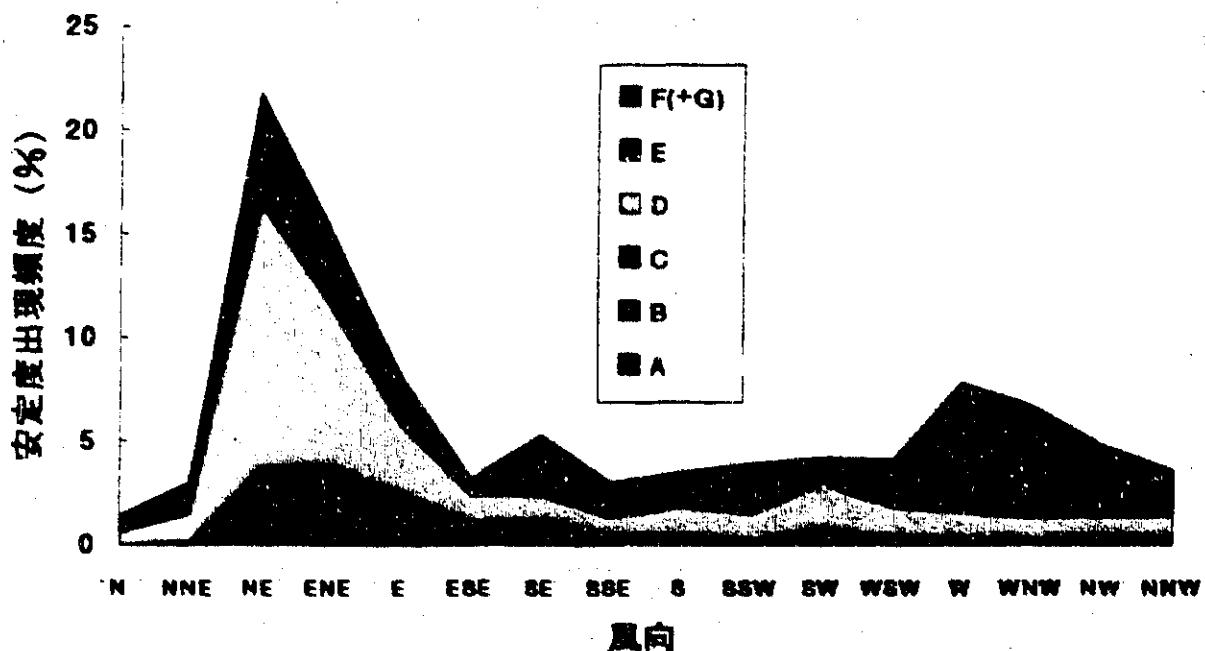
第4.10図 風系（海風、陸風）別の大気安定度年間出現頻度の傾向

1992年1年間に東海事業所内で観測された各気象データを用いた、風系（海風：N-E-Sの東寄りの風系、陸風：S-W-Nの西寄りの風系）別の大気安定度の年間平均出現頻度。頻度は、風向別の値（%）である。海の影響を見るため、気象指針（比較的海の影響が少ない設定条件）の分類による大気安定度と、海の影響を受けると考えられる気温差に基づく大気安定度の出現傾向の比較を行った。この結果からは、気象指針に比べ、気温差では海の影響で、海風系で安定、陸風系で不安定の頻度が高くなると予想されたが、その傾向は、明確には見られていない。

気象指針による風向別大気安定度出現頻度（夏期）



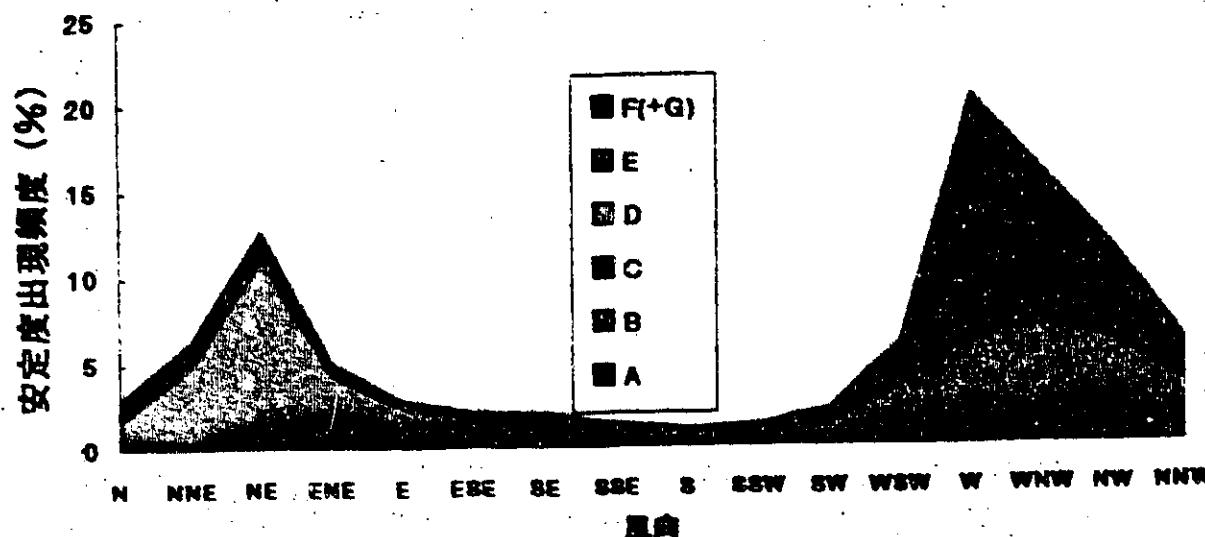
気温差による風向別大気安定度出現頻度（夏期）



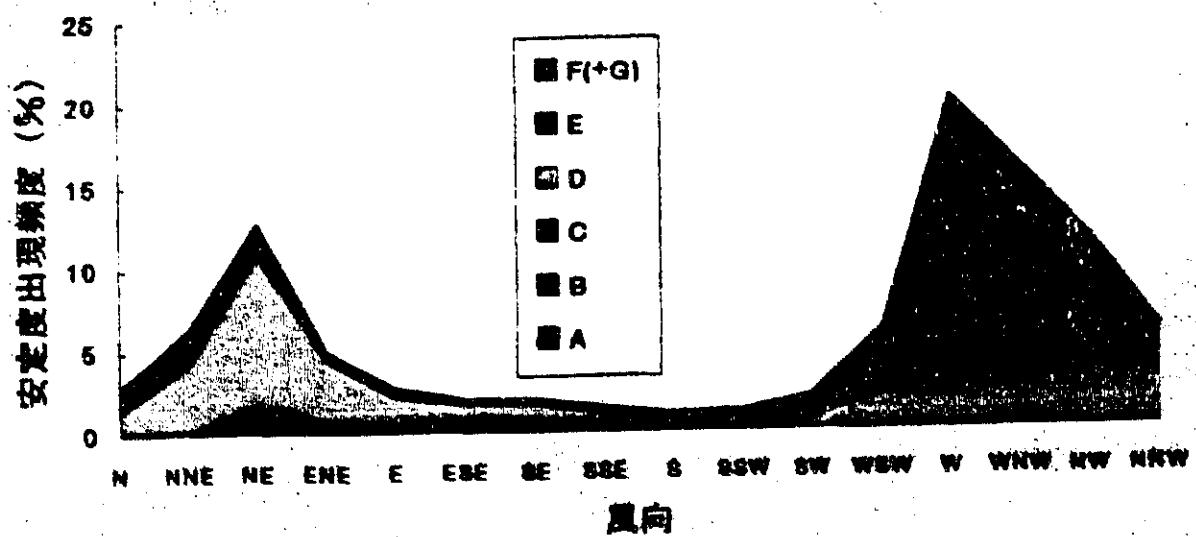
第4.11図 風系（海風、陸風）別・季節別大気安定度出現頻度の傾向
その1：夏期

1992年1年間に東海事業所内で観測された各気象データを用いた、季節（夏期：4から9月、冬期：1から3月及び10から12月）別の風系（海風：N-E-Sの東寄りの風系、陸風：S-W-Nの西寄りの風系）別大気安定度の出現頻度。頻度は、風向別の値（%）である。海の影響を見るため、気象指針と気温差に基づく大気安定度との出現傾向の比較を行った。夏期は、水温が気温より低い傾向にあることから、海風系で安定の頻度が、年間平均より顕著に高くなると予想されたが、その傾向は、明確には見られていない。

気象指針による風向別大気安定度出現頻度（冬期）

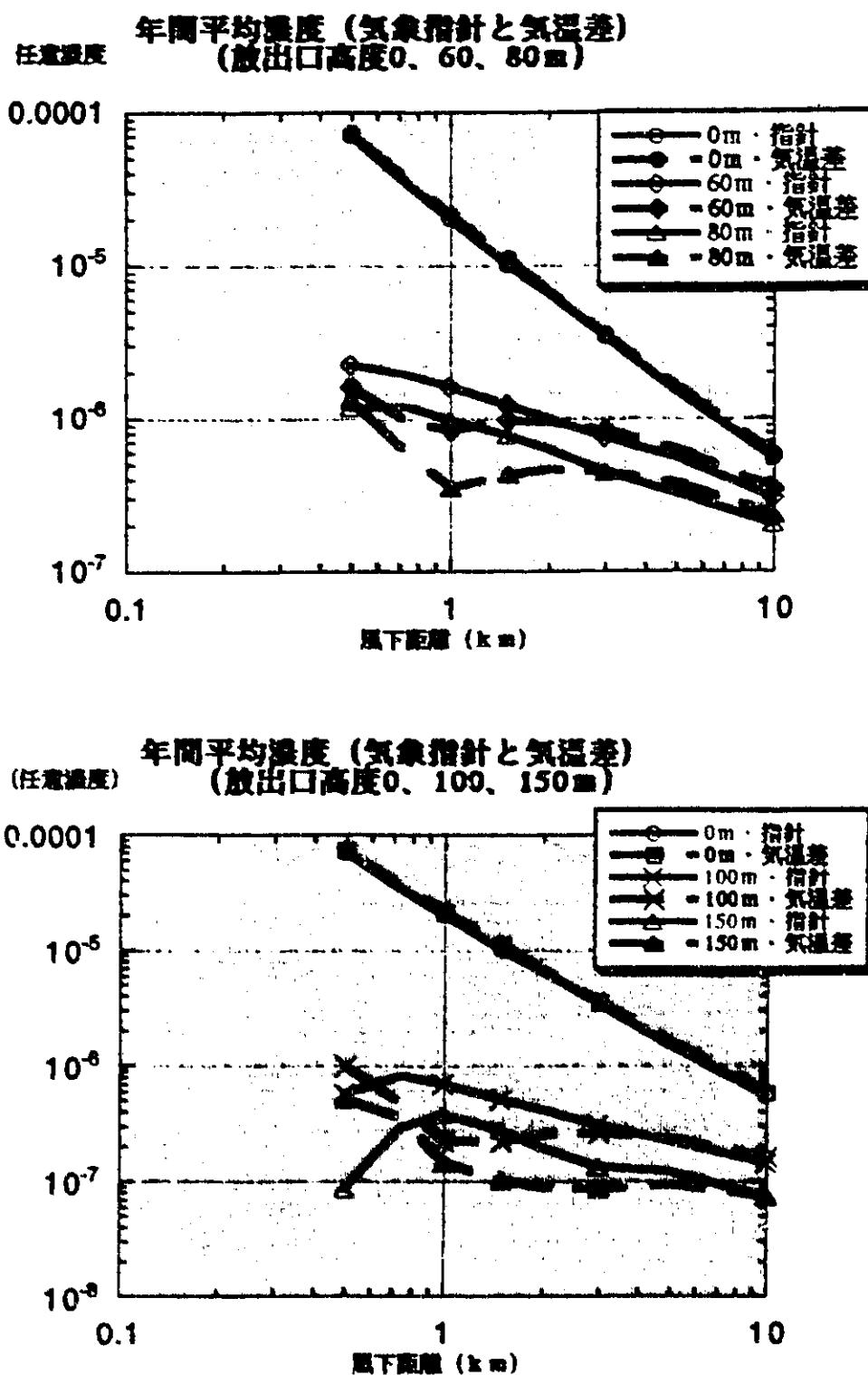


気温差による風向別大気安定度出現頻度（冬期）



第4.11図 風系（海風、陸風）別・季節別大気安定度出現頻度の傾向
その2：冬期

1992年1年間に東海事業所内で観測された各気象データを用いた、季節（夏期：4から9月、冬期：1から3月及び10から12月）別の風系（海風：N-E-Sの東寄りの風系、陸風：S-W-Nの西寄りの風系）別大気安定度の出現頻度。頻度は、風向別の値（%）である。海の影響を見るため、気象指針と気温差に基づく大気安定度との出現傾向の比較を行った。冬期は、水温が気温より高い傾向にあることから、海風系で不安定の頻度が、年間頻度より顕著に高くなると予想されたが、その傾向は、明確には見られない。



第4.12図 大気安定度分類方法の年間平均濃度への影響

付 錄

1. 気象観測装置及び観測場所

2. 大気安定度出現頻度

3. サイト特性と大気安定度

4. 大気拡散実験と大気安定度

1. 気象観測装置及び観測場所

気象観測装置及び観測場所を以下に示す。

(1) 風車型風向・風速計

風車型風向・風速計は、発信器、平均装置、記録計から構成され、16方位及び0~20m/sの微風向・風速の観測を目的とした装置で、風向を尾翼、風速をプロペラでそれぞれ検知し、検知信号を光からパルス、周波数、電圧に変換し、安全管理棟環境監視室内の気象監視盤及び監視局レメータ設備に伝送、処理している。

プロペラ型風向・風速計は、風向変換部に「静止型変換方式」を採用し、スイッチ操作で瞬間値または10分間連続平均値を切り換えて計測することができるなどの静・動特性を有し、長期間の連続観測に十分な耐久力を有している。

【仕様】

i) 微風向・風速発信器

- ・形 式 : プロペラ型、光パルス式
- ・風向発信部 : シンクロトランジスタ式
- ・風速発信部 : 光パルスと光ファイバー式、ノーブラシ方式
出力電圧: 0~20m/s, 0~680mV D.C
- ・起動風速 : 0.4m/s以下
- ・測定範囲 : 風向: 全方位
風速: 0.4 ~ 20m/s
- ・測定精度 : 風向 ±3°以内
風速 0.4 ~ 10m/s ±0.3m/s以内
10~20m/s ±3%以内
- ・耐風速 : 60m/s
- ・重 量 : 約5kg

ii) 平均装置(瞬間/平均切換式)

- ・形 式 : 静止型電子式 変換方式
- ・平均時間 : 風向・風速とも10分間連続平均
- ・変換方式 : 風向 シンクロ信号-静止型電子式
風速 直流電圧入力方式
- ・外部出力 : 風向 0~540° → 0~10mV, 0~1V
風速 0~20m/s → 0~10mV, 0~1V

iii) 記録器

- ・形 式 : 電子式自動平衡型 2ペン方式
- ・平均時間 : 風向・風速とも10分間連続平均
- ・変換方式 : 風向 シンクロ信号-静止型電子式
風速 直流電圧入力方式
- ・測定範囲 : 風向 全方位 540° シフト方式 16方位目盛

風速 0~20m/s

- ・紙送り速度 : 25mm/h
- ・記録紙 : 有効幅 180mm (風速 100mm, 風向 70mm)
長さ 約32日分

(2) 超音波風向・風速計

超音波風向・風速計は、発信器、信号変換器、記録計等から構成される。

気象観測塔塔頂70mに設置している三成分型超音波風向・風速計は、風向・風速測定のほか、垂直風速及び各平均値と標準偏差についてそれぞれ測定、計算処理する機能を有している。

【仕様】

①三成分型超音波風向・風速計

- ・測定方式 : 時分割送受切換型超音波パルス方式
- ・測定範囲 : 0 ~ ±60 m/s
- ・分解能 : 0.005m/s
- ・測定精度 : ± 1 % 以内
- ・測定回数 : 約20回／秒 (20Hz)
- ・レスポンス : 10Hz
- ・信号出力 : OUT-1 0 ~ ±1V/10m/s 8Vmax
OUT-2 0 ~ ±1V/ フルスケール
フルスケール A ±1, ±2, ±5, 10m/s
B ±5, ±10, ±25, 50m/s

②二成分型超音波風向・風速計

- ・測定方式 : 1ヘッド時分割送受切換式、プローブスパン 200mm
- ・測定範囲 : 風速 0 ~ ±30m/s、風向 全方位
- ・分解能 : ± 0.1% 以内
- ・測定精度 : 風速 5m/s以下 ±0.3m/s 以内 5m/s以下 ±5% 以内
風向 0.8m/s以下で ±5% 以内
- ・測定回数 : 38回/秒
- ・応答速度 : 瞬間出力 0.05秒
- ・平均方式 : C.R.式によるペナル平均
- ・演算方式 : パルス伝播方式による周波数差式
- ・テレメーター出力 : 微風速 0 ~ 30m/s 0 ~ 1V D.C 瞬間、平均の切換式
微風向 0 ~ 540° 0 ~ 1V D.C
X成分瞬間値出力 0 ~ 30m/s 0 ~ 1V D.C
Y成分瞬間値出力 0 ~ 30m/s 0 ~ 1V D.C

(3) 気温・気温差計

気温・気温差計は、発信器（温度シェルター内の白金測温抵抗体）、信号変換器、記録計から構成される。

発信器（センサー）は、白金測温抵抗体を用いており、日射の影響を避けるため通風式の温度計シェルターに収納し、気温差計センサーを組み込んでいる。

気温・気温差計は、気象観測塔地上1.5m、地上47m、地上70mにそれぞれ気温計を設置し、基準気温計は地上10mに設置し、通常の観測は、気温を地上1.5mで測定し、地上10mの基準気温計を基に地上1.5m、地上47m、地上70mの気温差を測定している。測定信号は、気象観測建屋内の信号変換器でアナログ信号をデジタル信号に変換し、安全管理棟環境監視室内の気象監視盤（信号変換器でアナログ信号に変換）及び監視局テレメータ設備に伝送、処理している。

【仕様】

イ) 気温・気温差計用白金測温抵抗体（白金センサー） [形式 NR-352型]

- ・規格 : Pt 100 JIS C 1604-1989
- ・使用区分 : -50~100°C (L,低温用)
- ・導線形式 : 4導線式
- ・特性 : 階級A級 0°C ±0.15°C
- ・測定精度 : 気温 -10~40°Cにおいて ±0.3°C 以内
 気温差 -5~5°Cにおいて ±0.1°C 以内

ロ) 温度計シェルター [形式 TH-030型]

- ・構造 : 輻射熱等の影響を防止するための二重構造とし、強制通風にて筒内の空気を流通させる構造。
- ・通風精度 : 筒内5m/s以上とし、強風時(20m/s以上)でも逆流を起こさない構造。

ハ) 信号変換器（温度変換器） [形式 TP-07T型]

- ・入力 : 7点の白金測温体入力とし定電流回路によるR/V変換、A/D変換、μCPU処理を行い、デジタル信号伝送ネットに入力する。
- ・出力 : 変換器内蔵のODL/PC送信用インターフェイスを通じ同軸ケーブル方式を用いて温度信号の受渡しを行う。

二) 信号変換器（温度差変換器） [形式 TPC-07R型]

- ・入力 : ODL/PC受信用インターフェイスにより信号入力の受渡しを行い、μCPUにて温度・温度差計算処理を施し、D/Aコンバータ・アナログ変換する。

- ・出力 : 記録計出力
- 気温 -10~40°C, 0~1V
- 気温差 -5~5°C, 0~1V
- テレメータ出力 (アイソレーションアンプで各出力間は絶縁)
 - 気温 -10~40°C, 0~1V
 - 気温差 -5~5°C, 0~1V

キ) 記録計 [形式 μ R 180T 4276-02-11]

- ・入力 : 6打点式、5s/全点 (測定周期)
- ・記録方式 : ワイヤット (6色インクリボン)
- ・有効幅 : 180mm
- ・記録紙 : 折りたたみ式 全長約20m
- ・外形寸法 : 約 288×288×290 (mm)、重量 約14kg
- ・電 源 : AC100V 50/60Hz
- ・消費電力 : 約35VA

(4) 日射・放射収支計

日射・放射収支計は、発信器、信号変換器、記録計から構成される。

日射計の発信器は、ガラストームで保護した銅 - コンスタンタンの熱電堆を用い、白と黒に塗り分け、太陽熱の吸収差から熱起電力を生じさせ、その値を信号変換器内の日射計定数に乘じ日射量値 (kW/m^2)として変換、出力している。

放射収支計の発信器は、ポリエチレンフィルターで保護した銅 - コンスタンタンの熱電対を用い、上、下のエレキニ-差から直接収支した電圧値を信号変換器内の放射収支キャリブレーション定数に乘じ放射収支量 (kW/m^2)として変換、出力している。

日射・放射収支計の切り換えは、信号変換器内のソーラーアイドル付タイムスイッチにより、自動的に日出、日没に応じ行っている。

測定信号は、気象監視盤及び監視局テレメータ設備に伝送、処理している。

【仕様】

イ) 日射計

- ・感 度 : $7mV/kW \cdot m^{-2}$
- ・内部抵抗 : 500Ω
- ・応答速度 : 約 3.8秒
- ・気温変化による誤差 : 約 0.1% / °C
- ・cosin特性 : 約 2% (受光面に対し 45° の角度)
- ・総合精度 : $\pm 2.5\%$
- ・波長特性 : $0.29 \sim 3.0 \mu m$ の太陽放射 (日射)

ロ) 放射収支計

- ・キャリブレーション定数 : $0.0219kW \cdot m^{-2} / mV$
- ・感 度 : $45.7 mV/kW \cdot m^{-2}$
- ・内部抵抗 : 92Ω
- ・シャント付感度 : $7.0/14.0 mV/kW \cdot m^{-2}$
- ・内部抵抗 : 500Ω
- ・応答速度 : 約20秒
- ・使用温度範囲 : $-15 \sim 40^\circ C$
- ・精 度 : $\pm 5\%$

- ・波長範囲 : 0.3 ~ 30 μ m
- ・受感部塗装 : ハーフンズ・オフ・チカル・ラック塗装
- ・ポリエチレンーム : 特殊ポリエチレンフィルター成型品

ハ) 信号変換器

- ・増幅器 : 入出力 0 ~ 10mV / 0 ~ 1V
: 直線性 0.3 %以下
: 出力インピーダンス 100 Ω
- ・平均化回路 : 直結 1分、10分の3段切り換え 移動平均方式
- ・タイムスイッチ (ソーラー・パネル付)
 - : 動作方法 同期電動機式 停電補償用スプリング付
 - : 時間誤差 常時周波数偏差に比例
 - : スイッチ動作誤差 +7mm 以内
- ・バッテリ電源 : 電圧設定値 1.4mV (放射収支計のみ)
: 許容差 10 μ V
: 温度特性 0.01% / °C

4) 入出力関係

- ・入 力 : 日射計出力 0 ~ 9.8mV / 0 ~ 1.4kW · m⁻²
: 放射収支計出力 0 ~ 9.8mV
0 ~ 7.0mV / 0 ~ 1kW · m⁻²
(内部シャントボックス)
- ・出 力 : 昼間 日射量 0 ~ 9.8mV
0 ~ 0.98V / 0 ~ 1.4kW · m⁻²
: 夜間 放射収支量
0 ~ 9.8mV / +0.05 ~ -0.30kW · m⁻²
0 ~ 0.98V / +0.10 ~ -0.60kW · m⁻²
: 昼夜連続 放射収支量
0 ~ 9.8mV / -0.2 ~ 1.2kW · m⁻²

2. 大気安定度出現頻度

気象指針の安定度分類は、不安定から安定までAからGの10階級に区分される。一方、気象指針の大気拡散計算に用いる拡散パラメータの安定度階級は、不安定から安定までAからFの6階級区分である。気象指針との対比で、「拡散パラメータの推定の参考」として、気象データを以下のように整理した。

イ. 大気安定度は、拡散パラメータに対応させ、10階級区分ではなく6階級区分で、A-B、B-C、C-D及びGは、各々B、C、D及びFとして年間出現頻度の統計処理をした。

ロ. 長期間の観測データを用いることが可能な各方法について、各年度の大気安定度出現頻度及び統計対象期間内の大気安定度年間出現頻度の平均及び標準偏差をまとめた。風速と日射量、放射吸支量を用いる気象指針の方法(気象指針)で求めた結果を付表2.1に、気温差を用いるUSR.G.1-23の方法(気温差)の結果を付表2.2に、風速と気温差を用いる方法(気温差・風速)の結果を付表2.3に示した。

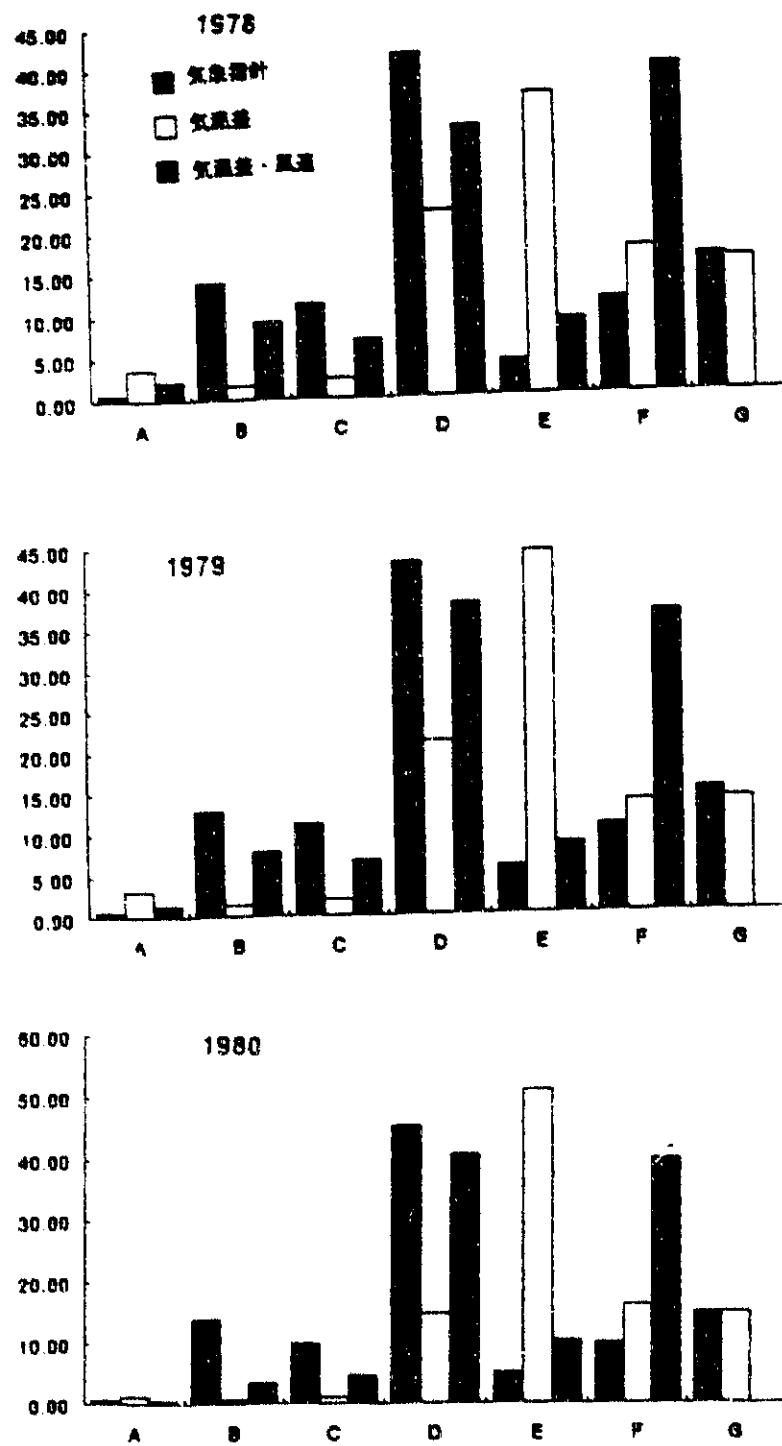
ハ. 付図2に、各方法の各年度ごとの大気安定度年間出現頻度を示した。

ニ. 水平風向の変動の標準偏差 σ_0 の観測データがまとめられている1992年については、前述の安定度分類3方法に加え σ_0 の方法を併せて、大気安定度年間の出現頻度を付表2.4にまとめた。

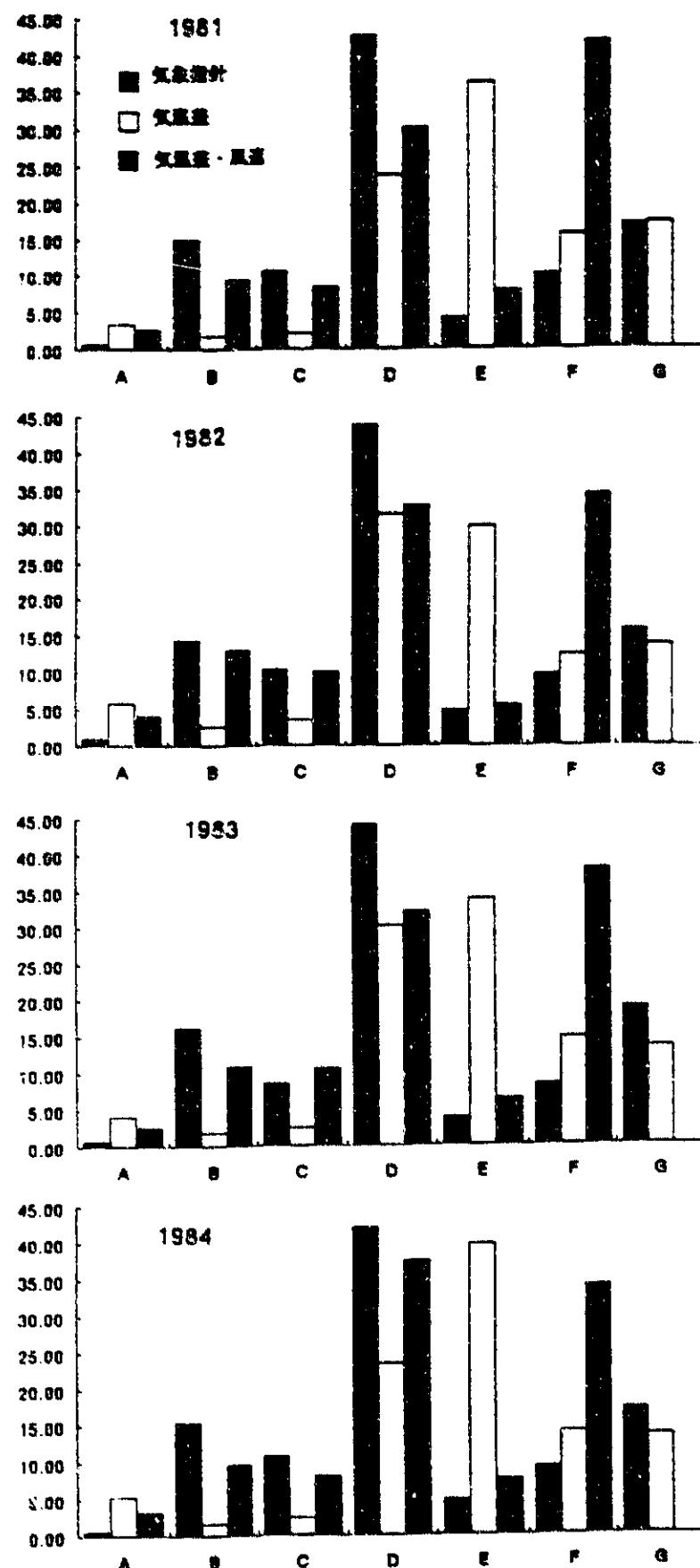
ホ. 理想的条件下での実験では、大気の場が定常でありどの指標を使っても同じ安定度になる。一方、前述の分類に使う気象データは、刻々変化する自然界で観測された種類の異なる気象データであることから、その分類結果が同一となる保証はない。

ヘ. 観測地点は、大気の乱れの変化が生じやすい海岸付近のサイトであることから、その気象観測データを基に大気安定度を区分すると、気象指針(日射量等と風速)で安定度階級がAとなるその同一時刻の気温差では安定度階級がBあるいはCとなる場合もありえる。1978年から1992年までの15年間約13万個の同一時刻の1時間値データを用い、各安定度の対応関係をまとめた。

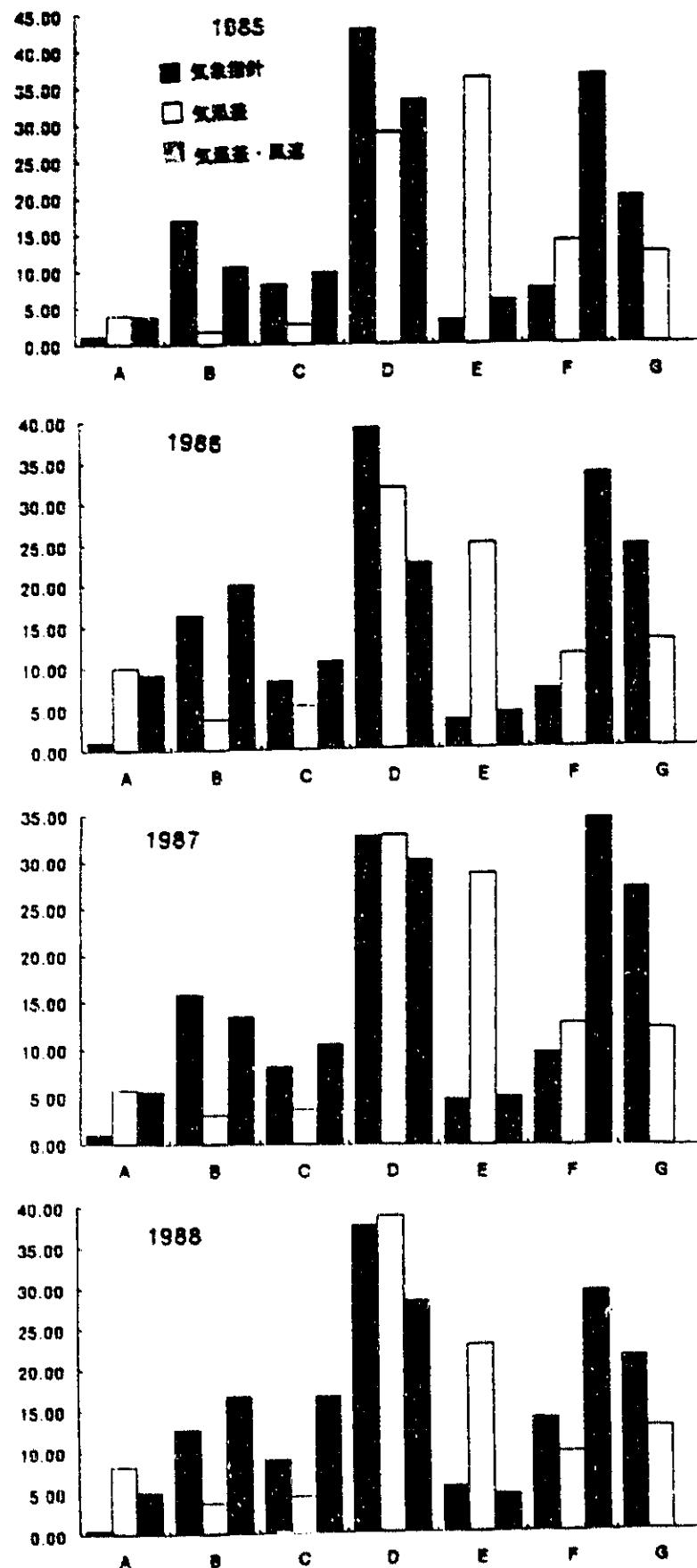
気象指針と気温差で求まる安定度の対応を付表2.5に、気象指針と気温差及び風速で求まる安定度との対応を付表2.6に示す。



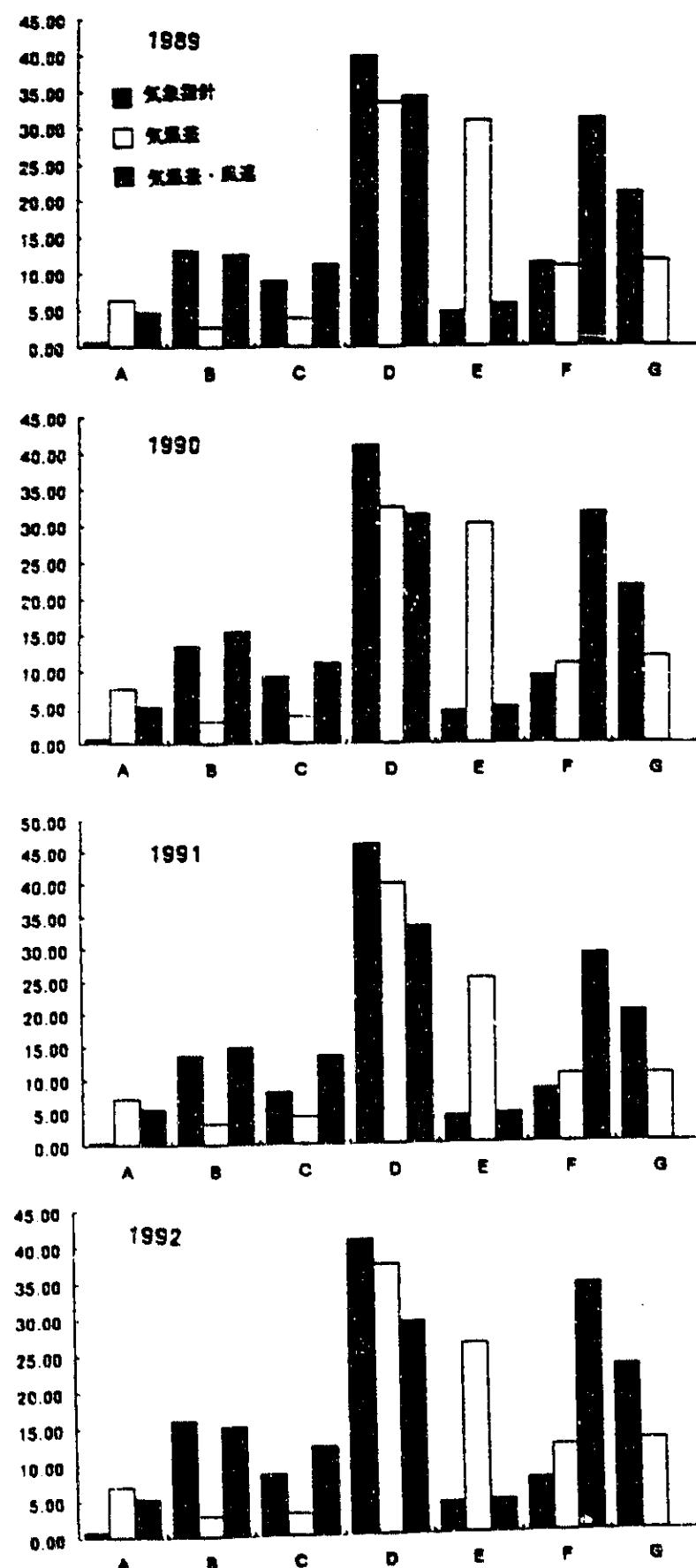
付図2 大気安定度年間出現頻度（%）（その1 1978-1980）



付図2 大気安定度年間出現頻度 (%) (その2 1981-1984)



付図2 大気安定度年間出現頻度 (%) (その3 1985-1988)



付図2 大気安定度年間出現頻度 (%) (その4 1989-1992)

3. サイト特性と大気安定度

気象データの観測場所及び大気安定度の検討対象となったサイトは、東側を太平洋に接しており、気温差は、海岸線から約500mの地点で観測している。この立地条件を基に、大気安定度の観点からサイト特性等を以下にまとめた。

イ. 北北東から南南東までの風向の風は、陸上の大気に比較して乱れが小さい傾向にある海上の大気の特性を有する海から吹く風である。海から吹く風は、Lyons、Smithの報告にあるように、海岸付近では海上の大気の特性を持ち乱れが比較的小さいが、内陸に進むに従い急速に陸上の大気の影響を受け乱れが変化していく。一方、海岸付近が急峻な地形でなければ、風速は、乱れほど急速に変化せず、ある程度の距離の範囲では性質を持続しつつ内陸に進むに従い変化していく。

ロ. 海岸線から約500mの地点の気象観測塔で観測される気温差は、海の大気の影響を多少残したものになり、一方、日射量、放射収支量は、陸上の大気の乱れの指標であることから、海から吹く風が内陸に進むに従い変化する乱れの程度を予測する指標となることが考えられる。

ハ. 大気拡散評価に用いる拡散係数、安定度分類等は、もともと合衆国、オーストラリア等の、広い、比較的平坦な平原での実験等を参考としてしており、大気の乱れが、時間、空間的に比較的定常的な状態の結果を基にしている。

ニ. 我が国の原子力サイトは、比較的海岸近くの場所に立地している例が多く、主要な評価対象域区域は、その近傍数キロメートル範囲である。その域内では、乱れが遷移していくことが考えられ、観測地点と拡散した風下地域とでは、風下距離により大気安定度に変化が生ずることも予想される。

ホ. 海から陸に吹く風での海岸付近の拡散は、風速、日射量等から求めた大気安定度を基にした計算結果と実際の拡散状況とが異なり、その差は、海上大気の安定度特性の陸上での遷移程度によることが予想される。

ヘ. 乱れの遷移状況は、そのときの熱乱流の強さにより水平方向と鉛直方向とで同一とはならないことも予想される。拡散実験から求めた拡散パラメータによっても、安定度の分類が水平方向と鉛直方向とで相互に異なるとしたほうが説明しやすい場合もある。

ト. 評価対象区域は多少の広がりがあっても、着目する評価対象は、最大着地

4. 大気拡散実験と大気安定度

調査サイト付近で行われた大気拡散実験から得られた、大気安定度関連の項目を以下に示す。

イ. 施設の排気筒から大気拡散トレーサ物質を連續放出し定常状態となる時間（放出開始後約30分から1時間）後に、放出口風下1から5kmの各弧上数地点で地上付近の大気を連續1時間採取し、採取空気中のトレーサ物質濃度を測定した。

ロ. この測定で1弧上の濃度ピークを含む3地点以上の濃度が得られると、測定濃度の2次曲線近似を行い、濃度ピークの10分の1となる濃度での2次曲線の幅から水平方向の大気拡散幅 (σ_y) を算出することができる。空気を採取した風下距離と σ_y の値から、相当する大気安定度が求められる。なお、測定結果に濃度ピークを含まれない場合、ピークが2個以上ある場合には、この方法では σ_y は求められない。

ハ. 有効排気高度は、気象指針の式で設定できると仮定するとその値と、1弧上の全地点の測定濃度の積算から、気象指針の濃度計算式を用いて鉛直方向の大気拡散幅 (σ_z) を算出することができる。

なお、この場合気象指針の濃度計算式は、 σ_z の2次方程式となることから、それを解いて σ_z を求めることになるが、測定した積算濃度条件では解が得られないことがある。そのときは、 σ_z が求められない。

濃度を積算した風下距離と σ_z の値から、相当する大気安定度が求められる。

二. この拡散実験で得られた σ_y 、 σ_z から求められる大気安定度と、試料空気を採取した同時刻の気象観測データから求められる大気安定度が、大気安定度のサイト特性の検討に用いられる。付表4.1に、 σ_y 、 σ_z の大気安定度と同時刻の気象観測データから求められた大気安定度を示す。

