資 料

東海村における大気拡散の測定

川 畑 幸 夫*

Observation of Atmospheric Diffusion at Tōkai-mura

By Y. KAWABATA

During the past one year, a special commission which was established in May 1958 has made the observations of atmospheric diffusion at Tōkai-mura where an electric plant of atomic energy will be constructed in the near future.

For this purpose the commission has, in the first place, examined the nature of PbI_2 particles in detail, and then measured its diffusion from a stack of 65 m height.

The results of observations show a good agreement with those of computations which are obtained by using the empirical formula which is being used by the Royal Meteorological Office and Atomic Energy Cooperation of England at least to the distance of about 5 km from the stack. After the verification of these facts, the commission has computed the diffusion using the above formula, and ascertained that the distance where monthly mean or annual mean density is the largest is about 1~5 km from the stack, and the largest density for monthly mean value and annual mean values are about 2×10^{-8} and 2×10^{-9} respectively compared to the unit density at the stack.

Here, the author expresses his sincere gratitude to Dr. G. D. Robinson of Meteorological Office of London who has given him many valuable suggestions, and also to the member of the commission for kind cooperation in this study.

緒 言

日本原子力研究所の創設の際、放射性排気が予定敷地の周辺にどのように拡散するかを調査するため、かつて川畑、太田、佐々木らはこの地域の微気象観測と拡散実験を行なったことがある⁽¹⁾。その際問題としたのはごく小規模の実験炉であつたし、したがって排気口の高さもあまり高くなくてすみそうであつたから、実験をごく近傍の小区域に限定することができた。しかしその後、日本原子力発電所が同敷地の近くに併設される計画がでてきた。設置を予想されているコールダーホール改良型動力炉からは0.6 mc/secの放射能が常時出ると考えられ、このため煙突も地上65m以上の高さにする予定であるという。そうなるとわれわれの前の調査では間に合わなくなってきた。対象区域も広くなるし、しかも上空発煙であるからである。

不幸にして従来このような広地域に対する大気拡散の実測や研究は諸外国においてもほとんど例がない。測定の方法すらまだ標準化されていない現状である。

そこでこの問題を解くため、1958年5月「原子力気象調査会」** が設立され、筆者はその主査に指名された。

爾来委員会は繰り返し慎重な討議を行ない、1958年9月から観測調査を開始した。観測は少なくとも1年間にわたり、あらゆる気象変化を一巡する必要があるので本年8月まで続けられ、その結果は現在整理中で最終報告は本年末に刊行される予定であるが、とりあえず去る3月末にその中間報告を刊行した。その内容は、最終報告で若干の修正が行なわれるであろうが、その修正はあまり大きくないことが既に明らかになっ

* 気象庁観測部、原子力気象調査会主査 (Chairman, Atmospheric Diffusion Committee)

** 協力された主な人は 正野教授、磯野助教授(東大)、山本教授(東北大)、坂上教授(お茶の水大)、浅田教授(阪大)、井上博士(農研)、久布白理事(原研)、青木博士(原研保健物理)、坂岸氏(原研放射線管理室長)、今井氏(燃料公社)、島山博士(東京管区気象台)、高橋博士(気象研究所)、川瀬氏(高層気象台)、篠氏(水戸地方気象台)、太田博士、北岡博士、佐々木氏(気象庁)その他である。

たので、以下この中間報告書に基づいて説明する。研究過程における各部の詳細な論説はそれぞれの主任担当者により順次に学会で発表されるであろう。本報告は単にそれらの概要をざっととりまとめたにすぎない。

I. 気象観測

拡散を調べるにはまず年間を通じて現地の各気象要素の時間的および空間的変動の実態を知らねばならぬ、特に重要な要素は風および気温である。

このため太田、簗、佐々木らは既存の水戸地方気象台のほかに、佐和、鴻巣、太田、日立、那珂湊、東小沢の7個所に臨時気象観測所を設けていろいろな気象要素の連続自記観測を行なった。また地表風と上層風との関連をみるため、簗は四季のおおのにそれぞれ20日間ずつを選び、測風気球により高度3,000 mまでの上層気流の観測を行なった。一方坂岸は原研気象観測塔を利用し、地上5, 10, 20, 40 mの各高度の風向・風速・気温および地表面における日射を観測し、またレーウィンゾンデを用いて高空の風向・風速・気温・湿度を連日2回測り、川瀬は繫留気球を用いて高度1,000 mまでの風向・風速・気温を測った。

これらの観測結果とその詳細な気象学的吟味はここでは省略するが、われわれが最初から予想していたようにこの地方では1年を通じて一般に北寄りの一般流が卓越しており、それにこの地方特有の海陸風が付け加わっていることがわかった。このため風向は年間を通じあるいはまた1日のうちにもかなり変動はするが煙は概して原研の南半円の方へと流れる。

拡散をかなりさまたげるといわれる気温逆転層がこの地域でも存在する。そこでわれわれはこれを日本の各地と比較してみた。すなわち川瀬、佐々木は原研の近くにある高層気象台に永年の繫留気球観測資料があるのを利用して、館野における逆転層およびその時の風の垂直分布、気層の安定度などを調べて東海村と対比し、佐々木は同様に近くの川口市にある高さ300 mの鉄塔でかつて中央気象台が1個年間気象観測を行なった結果から、同所における逆転層を調べ、北岡は全国各地の高層気象観測所の観測結果を吟味し、川畑はかつて戦時中軍気象隊が北九州地区の煙突の煙の拡散を調べるため逆転層を詳細に観測した結果を調べて東海村と対比した。これらの調査結果によると、東海村に出現する逆転層はその出現頻度その他において日本各地のほぼ中位にあり、その性質もほぼ同じで、特に東海村はこの点に関して立地条件が他に較べてよくな

いという積極的事実を認めることはできなかった。⁽⁴⁾

II. 拡散の実測

さて、理想的には1年を通じてあらゆる気象条件の下で拡散を実測することが望ましいことはいうまでもない。しかしそれは到底実行不可能である。なぜならそのためには単に地表面における観測だけでなく、上空の気象観測も行なわなければならないからである。われわれに残された唯一の途は、ともかく前章の気象観測結果を使ってなんらかの理論に基づき計算でもって結論を導くこと以外に方法はない。これは非常にむずかしい仕事である。前に述べたように十分安心して使える完全な理論もないし、実測の方法すらまだ確立されていない現状であるからである。一般によく知られているいわゆる Sutton の理論は大気の成層が中立の場合には相当によくあてはまるが、その他の安定度の場合に対してははかばかしく違った結果を与えることが既に知られている。しかしかなる理論によって計算するにしても、その理論が東海村という現場にどの程度よく当嵌まるかを検証したうえで使用する必要がある。そこでわれわれは1958年9月、1959年2月および6月の3回にわたって実測を行なってみた。

1. 使用する煙の選定

まず広面積の拡散実測に使用できる煙の種類が問題になる。遠距離まで検出でき、正確な定量が可能で、 A^{41} と同じように拡散し、人畜にまた無害でなければならぬ。原研創設時の拡散実測では、われわれは発煙剤として、塩化エタン $[C_2Cl_6]$ 50%、亜鉛 $[Zn]$ 28%、酸化亜鉛 $[ZnO]$ 22%の混合物を燃焼せしめて生ずる塩化亜鉛 $[ZnCl_2]$ を定量する方法をとった。この方法が使えるなら既にかかなりの基礎実験も行なっているので実行容易なのだが、残念ながら遠距離までの正確な定量がむずかしいうえに、きわめて多数の電気集塵器を必要とするため今回の場合には使用できない。そこでわれわれはいろいろな物質を検討したうえで結局ヨウ化鉛 $[PbI_2]$ と Esculin 螢光塗料を使用することにした。 PbI_2 は人工降雨においてかなりの経験をもっている。Esculin は紫外線で螢光を発し定量も可能であると思われ浅田によって基礎研究が進められ、この種の測定にはきわめて有効なものと考えられたが、現場で放出・採取・測定までの実際の準備が実験期日までに遂に間に合わなかったのでやむをえず PbI_2 だけで測定を行なった。

PbI_2 はこれを適当な温度にまで熱すると煙となって空气中に放出される。この空気サンプルを今度は逆

にある適当な低温度まで冷やすとその中に含まれている PbI_2 粒子が氷晶核になって水蒸気とその周囲に氷結し、そして落下する。これを砂糖溶液内に受けると氷晶はどんどん成長し、肉眼でも観測できるようになる。その数は採取した空気サンプル内に含まれていた PbI_2 粒子の数にほかならない。このような方法で、ある地点で採取した空気サンプル中のこの氷晶核の数と、発煙点から放出される数との比をとれば PbI_2 粒子の空気中での希釈率が測定される。

2. PbI_2 の性質

しかし測定に先だって未解決ないろいろな基礎的問題が残っている。

まず PbI_2 は A^{4+} と同じような拡散をするものであるかどうか、燃焼によって変質し氷晶核としての性質が変わることはないか、大気中のほかの氷晶核と分離して測定することができるかどうかなどである。

そこで坂岸、押野、片野らは発煙炉から出てくる煙について、その中に含まれている PbI_2 粒子の粒径分布を測定した。すなわち炉を正常運転の状態（後述）におき、第1回はトレーガ2個にそれぞれ煙を吹きつけて日立製 6,000 倍電子顕微鏡で写真撮影を行ない、第2回はトレーガ17個を使用して採集、同様にして読取りを行なった。測定の結果は第1図に示すように、粒子の直径はすべて非常に小さく、百分の一ミクロンのオーダーで、特徴としては 0.01μ および 0.03μ の2

第1図 PbI_2 の粒径分布（坂岸による）

第2図 燃焼温度と遊離ヨードの関係
（上野による）

箇所と比較的頻度の高い部分がある。しかしいずれにせよ直径がこのような小さい以上、重力による自然沈降の現象などは全然考慮しなくともよく、 PbI_2 粒子は全く空気とともに拡散してゆくと考えてよい。

次に磯野は多年人工降雨の実験を行ない、 PbI_2 を温度 $400^\circ\sim 420^\circ\text{C}$ ぐらいに熱したときもっとも能率のよい発煙が行なわれ、これよりさらに高温にすると逆に PbI_2 の1g当りの発生数は減少することを知っていた。氏はその原因はおそらく非常に高温においては PbI_2 が分解または酸化しているためであろうと考えていた。分解や酸化は燃焼温度の微妙な変化、送風量のごく僅かの相違によっても違うであろうから、分解や酸化が多量に行なわれているとすると、個々の場合の測定値が非常にばらつき、発煙炉から放出される PbI_2 蒸気中の氷晶核数を比較することによって簡単には希釈率を決定できない。

そこで上野らは発煙炉の燃焼度をいろいろ変えて PbI_2 蒸気の化学分析を行なった。その結果 PbI_2 の融点 (402°C) 付近で作られた煙の主成分はほとんど大部分が PbI_2 そのものであるが、さらに温度をあげてゆくと非常に多量の遊離ヨードがでてくることがわかった。そこでわれわれは PbI_2 粒子だけで測定するため炉の温度を常に 430°C にして発煙することにした。

さてこの放出された PbI_2 の粒子を今度は一定量だけ風下で採取し、それを冷却し、その中に含まれている粒子を氷晶化してその数を数えるわけであるが、ここに氷晶化する核数が温度によって異なるという事情がある。すなわち温度を -16°C 以下に下げると有効核数の増加率が急に大きくなり、また測定の度毎に測定される核数の変動が大きくなる。このことは、 -16°C 以下になるとサンプル空気中の PbO が同時に測られ

るようになってくること、 PbO の発生数が燃焼状態、送風状態の微妙な変動に対して変化するためと考えられる。これらの事情を考慮し、磯野はもっとも安定した核数測定に適温として $-14.5^{\circ}\pm 1.0^{\circ}C$ を選んだ。

第 3 図 温度と有効発生核数の関係 (磯野による)

大気中にもともと存在していた氷晶核はなるべく混入しない方がよいが、実際には多少は避けられない。このためわれわれは炉を燃焼する直前に清浄な空気サンプルを取り、その中に含まれている自然の氷晶核数を測り、いつでもそれを補正した。この数は通常 1 l 中に 2~3 個程度であった。風下で採取するサンプル中には大体数十個の PbI_2 粒子が含まれるように炉の燃焼量を決めたので、仮りにこの補正に誤差があっても最終的にはそれによる誤差は大きく見積っても 2~3% を越えないものと考えられる。

観測点における空気サンプルの採取はフイゴとゴム球を用いて行なった。この採取したサンプル内の PbI_2 粒子はブラウン運動による相互の衝突、凝集、側壁への付着などのため採取時から時間が経つとその数が減少する。この減少の割合を実際に測定した結果は、第 4 図のとおりで、異なる日、異なる測定者 (東大駒林、気象庁今成他) による結果が全く同一の直線で表わされることがわかった。この減少はおそらく側壁への付着によるものと考えられるが真相はわからない。しかし原因はどうであろうともこの関係はいつでも成立するので、これを使ってすべての野外点の測定値を採取時刻 (採取時刻はすべての観測点について同一である) の仮想測定値に引き直した。煙突からは既に 1 時ぐ間

第 4 図 気球内のヨー化鉛粒子数の減衰 (駒林、今成)

らい前から定常的な煙が出ており、この煙が観測点まで到達するには最遠点でも 10~20 分間しかかからないので、煙突の出口における濃度との相対値は以上のような注意や補正をすることによって正しく PbI_2 の大気拡散による希釈率を与える。ちなみに煙突側においてはサンプルは地上で炉に近い煙道部分から大型注射器で採取し、清浄空気で既知の一定比率に薄めて測定した。しかし実際には長い煙道を通して高さ 65 m の煙突から出てゆくの、煙道通過中に粒子数が違ってくる疑いがあった。そこで危険を冒して煙突の出口と地上とで同時採取を行ない両者を比較してみたがなんらの相違も認められなかった。

以上により PbI_2 を用いて拡散の実測を行なう場合の基礎的問題はすべて解決した。雨滴による PbI_2 粒子の捕捉落下を問題とされる人があるかも知れぬ。しかし次章で述べるようにわれわれは拡散の計算を大気の安定度によって行なった。しかも A^{41} には雨による捕捉落下はないものと考えられるので、われわれは

第 5 図 氷晶核測定装置 (磯野による)

PbI₂ 粒子の rain-out を考える必要は全然ないわけである。

野外において取扱いが便利で正確に測定できる冷却槽は磯野によって設計された。

観測点の配置は第6図のように炉の南～西方面に炉心から0.9, 2, 5 kmの3つの半円周上にあらかじめほぼ等間隔に地点を選んでおき、観測員や測定装置の数に限りがあるので、これらの観測点のうちその日の状況に応じて30点を選んで観測した。この30点を選ぶには観測員の配置前に、あらかじめ天気図および測風気球実況から煙の流れてゆくであろう方向を推定し、なお念のため non-lift balloon (無浮力気球) を原研気象観測塔の45 m 高度から放球して推定が確実であることを確認したうえで行なったので、煙の拡がりをミスすることはなかった。Non-lift balloon はいずれもきれいに水平に流れていった。阿漕ヶ浦の上空では必ず若干の下降気流があり、3 km ぐらいの遠方にある丘陵地帯にさしかかると強制上昇流のあることなどが肉眼でも明瞭に認められた。

第 6 図

Ⅱ. 理論との比較

さて ICRP の限度値は 3 個月および 1 年の平均濃度に対して与えられている。そこでわれわれは 1 個月および 1 年の平均濃度を推定することにした。

推定に使うべき完全な理論がまだないことは既に述べた。そこでわれわれは現在イギリス気象台および原子力公社が使っている方法をまずチェックする方針を立てた。

これはアメリカの Cramer が行なった大きな研究⁽²⁾を、イギリスにおける研究⁽³⁾を参考にして実用的にまとめた半実験式⁽⁴⁾で、イギリスの軍もこれを使用しているものである。報告はいずれも国際シンポジウムに提出されただけでまだ定期学会誌上で公刊されていないから、その概要を以下に説明しておく。

1. イギリスで使用されている半実験式の説明

いま地面にある煙源 O から出る煙が風下 $\overline{OP}$ の方向に靡いてゆくとする。この煙が半径 d km の円周上を通過する時の中心角を θ° とし、垂直方向には h m まで拡がっており、その濃度は水平方向には中心線 $\overline{OP}$ に沿って一番濃く、垂直・水平いずれの方向にもガウス分布をなして減っているとする。図の A, B 点は地面上で P 点の濃度の 1/10, C, D 点はその上空で A, B 点のまた 1/10 になっている点で、煙の幅はこの最高濃度の 1/10 になっている点の間の距離を指すものとする。

第 7 図

いま O 点から毎分 1 単位の煙が出ており、平均風速は垂直方向には一定で U m/sec, 水平の拡がり角が θ° , 垂直の拡がり角が h (m) であったとすると、P 点における濃度 C_0 は次式で与えられる。

$$C_0 = \frac{2.8 \times 10^{-3}}{U d \theta h} \text{ 単位/m}^3$$

この式はまた全部で 1 単位の煙量が放出されたとき P 点を通過する煙量を min/m^3 で表わした全量ともなる。すなわちこの式は unit rate of release and concentration と考えても適用できるし、unit total release and total dosage と考えても適用できるものである。

P 点の両側およびその上空での濃度は

- (a) 後述の適当に定義された風速
- (b) P 点に関して適当な有効風向
- (c) 垂直の拡がり h

(d) 水平の拡がり θ

の値によってきまる。

さて問題は θ , h をどうやって推定するかである。まず h であるが, h の大きさは最初煙源からの距離 d とともに増し, その増し方は大気垂直混合の速度によって変わる。もし上空に気温の逆転層があると煙はそれより上空には拡がりにくくなり, 逆転層と地面との間に一様に拡がる傾向を帯びるようになる。これらの状況はすべて大気の安定度に関係するので, 大気の安定度を地表風速, 日射, 空の状態に応じて大まかに次の6つの型に分類する。

安定度の型の分け方

地表風速 m/s	日射 (cal/cm ² /hr)			空の状態		
	強	中	弱	全天強く 雲におお われた昼 または夜	夜間 全天うすい 雲または雲 量4~8の 低い雲	雲量 3~8
< 2	A	A-B	B	D	—	—
2~3	A-B	B	C	D	E	F
3~5	B	B-C	C	D	D	E
5~6	C	C-D	D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D	D

(A—BはA, Bの中間の意, 他も同様)

各型に対する h の値をアメリカおよびイギリスの実測から求めたのが第8図である。

大気の安定度が中立平衡の場合は点線に沿い, 断熱層の頂上までゆき, そこから先は実線に平行に進む。特別な逆転層があれば h の増大はそこでやむ。強い霧が降ったり強い霧ができ易いような, 風の弱い晴れた

第8図 垂直拡がり h の推定

夜(<2m/sec)の場合の h はF型の場合よりもっと小さいに違いないが, これについてはわれわれの知識は十分でない。しかし地上65mともなれば無風というようなことは実際にはほとんど考えられない。

次に問題は水平の拡がり θ の推定である。

これは常識からも考えられるように, 煙源における風向変動の幅に依存する。そこで一般気象観測で得られる風向観測値を次のように用いる。

$d = 0.1$ km に対しては θ = 放煙時間中の風向極値の幅

$d = 100$ km に対しては θ = 15分間平均風向極値の幅

これと前に求めた h の値とを同時に使用すれば C_0 がわかる(第9図)。第9図は $d = 0.1$ km, 風速 5 m/sec の場合に対して作ってあるが, その他の距離, 風速に対しては単に $0.1/d, 5/u$ をこれに乘ずればよい。垂直拡がりがやんだ距離 d' の2倍以上の先での C_0 の値はこの図の半分をとる。

他の d , u の値に対しては $0.1/d, 5/u$ を乘じて使用

第9図 $d = 0.1$ km, $u = 5$ m/sec に対する C_0 の値

最大濃度点Pの軌跡すなわち煙の軸を画くには0.1 km というような近距離に対しては実際の地表風向を用い、100kmというような遠距離に対しては煙の離れてゆく道筋全体の推定方向、つまり地表風向と地衡風向の平均方向から 10° 逆戻りした風向を使い、その中間は適当に内挿した風向を使って求める。

以上は煙源が地面にある場合で、煙突の煙については高さの補正を必要とする。常識からも判断されるように、煙突が高くなるほど煙は煙突の近傍では比較的薄くなり、遠くなれば地面発煙の場合の濃度に近づく。いま H を煙突の高さすると地面発煙の場合の軸上濃度 C_0 に対する補正係数 F_1 は次のようになる。

煙 突 の 高 さ H に よ る 補 正 係 数 F_1

h/H	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0
F_1	5.6×10^{-7}	1.0×10^{-4}	1.7×10^{-3}	9.0×10^{-3}	0.027	0.057	0.10	0.36	0.56	0.77	0.87	0.91	0.98

以上でイギリス気象台および原子力公社で用いている推定方式の骨子を説明した。

Ⅳ. 上記推定方式の実測による検証

そこでわれわれは上記の方式が東海村の現地に適用できるかどうかを確かめねばならぬ。

このためには前章の安定度の区分を日本の気象観測法が使えるように組み直す必要がある。

第 2 表 われわれが使用した安定度の区分表

地表風速 m/sec	日 射 Cal/cm ² /hour			本曇または 本曇の夜	夜	
	≥ 50	49~25	≤ 24		うすい雲(1 0~5)または 雲量7~5の 低い雲	雲 量 4~0
< 2	A	A-B	B	D	—	—
2~3	A-B	B	C	D	E	F
3~5	B	B-C	C	D	D	E
5~6	C	C-D	D	D	D	D
< 6	C	D	D	D	D	D

まず日射の強中弱の区分については原研のロビッチ自射計の記録により、9時、15時の1時間積算量がそれぞれ50 cal/cm²/hr 以上の場合を強、49~25 cal/cm²/hr を中、24 cal/cm²/hr 以下を弱に相当するものとし、また空の状態については上層雲を薄い雲とみなし、中層雲は下層雲と同じものとして雲量によって分類することにした。このようにして実際にわれわれが採用した安定度の区分は第2表のとおりである。

このようにして計算した結果を1959年6月の実測(川畑, 太田, 坂岸, 磯野, 佐々木ほか)と比較した結果を第10図に示す。

実測値と計算値との間には多少の違いがみられる。しかしきわめて複雑な気象現象を僅か6つの型に分類したことを考えるならば、この一致はかなりいいといえるであろう。すなわちイギリスで使っている方法はまた東海村においても使用できることが証明された。

さらに1つ重要なことは、この半実験式は煙源から僅か800 m までの実験を基として作られており、イギ

第 10 図 観測と計算の比較 (川畑, 太田, 磯野, 坂岸, 佐々木ほか)

リス自体においてすら数 km あるいは数十 km の遠距離まで果して使えるかどうか判然としていなかったのであるが、われわれの測定で少なくとも数 km の距離までは使えることが判明したことである。

観測点を配置した 0.5 km 円周上, 0.9 km 円周上, 3.0 km 円周上の濃度分布の一例を第11図に示す。

時間の経過による減衰の補正, 自然水晶簇による核数の補正済み
煙源の強さ = 2.18×10^{10} 個/l = 1.31×10^{12} 個/min

第 11 図 各距離における濃度分布
(6月3日の例)

これによると濃度の水平分布は完全なガウス分布はしていないが大体主風向の風下で一番濃く、それより遠ざかるに従って薄くなっている。しかし多少の不規則がみられる。それがいかなる理由によるかは坂上によって詳しく理論的に追求された⁽⁵⁾。その結果、これは煙の拡散の本性と、東海村という特殊な環境の結果当然期待される分布であることが判明した。

イギリスで使っている方法の基礎となった Cramer

第 12 図 吉田飛行場における測定値と
Cramer の実測との比較

の測定は水戸近傍でも妥当であることは1959年2月水戸市外吉田飛行場で川畑, 山本, 磯野, 井上, 太田, 佐々木らの観測でも予め確かめられていた。不幸にして吉田飛行場はその敷地内に人家が点存し、完全に両者を比較するには適当とはいえず、図中の測定の1点だけは Cramer の測定とかなり喰い違っている。これは人家の影となって煙が回折したためである。

V. 東海村近傍における煙の薄まり方

かくてわれわれはイギリス気象台およびイギリス原子力公社で使用している拡散推定方式は、東海村においてもまた確実に適用できることを知った。

そこでこの方式を用いて推算をしてみる。しかしこの場合に使用すべき東海村での気象観測は1958年9月にはじめただけでまだ1年を経過していないので、やむをえず東海村の代わりに水戸地方気象台の1958年の1年間の観測で代用する。このため確かに多少の誤差は伴うけれどもその差はあまり大きくはない。風も大気安定度もこの程度の距離を距てただけではそう大した違いはなく大体同じとみていいからである。太田, 佐々木, 伊藤, 横山らによって行なわれた計算結果は第3表に示すとおりである。詳細は参考文献を参照されたい⁽⁶⁾。前にも述べたようにこの地域では年間を通じて北寄りの風が卓越する。したがって1ヶ月以上の期間の平均累積値をとれば煙の地上濃度が最大になる方向はいつでも原子力研究所の気象観測塔からみて南東～南～西にかけてあることがわかる。

第 3 表 煙突から unit/m³ の煙がでたときその風下での希釈率(煙突高度65m)

月	比較的濃度の濃い方向	濃度最大の方向	最大濃度の距離 (km)	希釈率の最小値 (unit/m³)
1	南々東～南西	南	1	10×10^{-9}
2	南東～南	南々東, 南東	1	8×10^{-9}
3	南々東～南西	南	1	7×10^{-9}
4	南々東～南西	南々東	5	5×10^{-9}
5	南々東～西	南々東～西	1	4×10^{-9}
6	南西～西; 南東	西	1	4×10^{-9}
7	西南西～西	西	1	8×10^{-9}
8	南西～西	西南西	1	7×10^{-9}
9	南～南々西	南	1	10×10^{-9}
10	南東～南西	南々東	5	20×10^{-9}
11	南東～南西	南	1	10×10^{-9}
12	南東～南	南	1	10×10^{-9}
年	南々東～南～西	南, 南々東	1	5×10^{-9}

距離についていえば煙の濃度の比較的大きい地域は大体煙突のある場所から1~5 kmにある。

既述のようにわれわれはこの計算は大体において正しい推定を与えることをあらかじめ実測で確かめて計算したのではあるが、さらに念のため二、三のチェックを試みてみた。

第一は有名な Sutton の公式との比較である。しかしこの Sutton 公式は大気成層が中立の場合にはかなりよく当てはまるが、その他の安定度の場合には誤差があることが知られているので、中立の場合についてだけ Sutton 公式から得られる中心線上の最大濃度 $\chi_{\max}$ と最大濃度点の距離 $d_{\max}$ とがわれわれの推算値とどれくらい一致するかを一応調べてみる。

いま連続点源の場合の最大濃度とその出現する距離を求める Sutton 公式において、温度勾配が零または非常に小さいとし、煙突の高度を65 m、風速を5 m/sec とすると $\chi_{\max} \approx 1.8 \times 10^{-7}$ 、 $d_{\max} \approx 1.6$ km となる。ただし式中にあらわれる定数には $n=0.25$ 、 $c^2=0.009$ (Atomic Energy and Meteorology, AEC, U.S.A., 1955) を与えた。一方今回の方法で安定区分 C-D の場合、煙突高度を65 m、風速を5 m/sec とすると $\chi_{\max} \approx 0.9 \times 10^{-7}$ 、 $d_{\max} \approx 1.0$ km となる。中立の状態とわれわれの安定区分 C-D とは必ずしも全く同じでないことを考慮すれば両者はかなりよく一致しており、少なくともオーダーの違いはないと見なしてよからう。

第二にわれわれは煙量の連続の考えで吟味してみた。すなわち発煙点における発煙量はある円周上を通過する全煙量に等しくなければならない。一例として2月における5 km円周上(垂直方向も考慮に入れる)を通過する煙の全量を風向別の平均濃度を利用して次式で求める⁽⁶⁾。

$$Q = 0.63 \frac{2\pi}{16} \bar{u} h r \sum x_i$$

ただし、 $\bar{u}$ は2月中の平均風速 (m/sec)、 h は垂直拡がりの高さ、 $r=5$ km、 $\sum x_i=5$ km 円周上の濃度推算値の積算、 0.63 = 鉛直方向にガウス分布をなす煙の平均濃度を求める係数である。

煙の拡がりの高さ h としては2月における安定区分の平均状態から求めた値を用いる。

このようにして5 km円周上の煙の通過量と発煙点における2月中の平均単位時間発煙量との比をとってみると1.2となる。計算過程における平均化操作の際に入ってくる誤差を考慮すれば結局両者はほとんど等しく、推算した濃度の値は大体において連続の条件をも

満足しているといえよう。

高橋⁽⁷⁾は1958年9月ヘリコプターを使用して大気の乱れを実測し数値積分によりこの地域の拡散を調査した。この試みは技術的にも計算の上からもいろいろむずかしいことがあり、全部は完了していないが、今までに得られた結果はほぼ以上に述べた結果と一致している。

井上⁽⁸⁾はまたイギリスで使用されている半実験式は理論的にもほぼ納得できることを証明した。

以上検討したところにより、われわれが去る3月中旬報告として報告した推定値はほとんど間違いないものであることがわかる。

VI. 結 論

東海村の地上65 mの煙突から出る煙の地表における濃度分布を水戸、日立を含む周辺一帯にわたり調査した結果次の結論を得た。

(1) 発煙量を1 unit/min とした場合に、1 個月間の地上平均濃度は、最大の月で 2×10^{-8} unit/m³、その起こる地点は月によって多少の違いはあるが大体南々東から西の方面にかけてある。その距離はおおよそ1~5 km ぐらいと推定される。

1 個年間の平均濃度の最大は 5×10^{-9} unit/m³、そのあらわれる距離は同様に1~5 km、主として南東から南西の方向にある。

(2) 以上の計算は東海村における気象観測値を使う代わりに、かりに水戸地方気象台の観測資料を使って計算したもので、したがって多少の誤差を含んでいる。この地域は比較的平坦で単純ではあるが、それでも低い丘陵や沼、川などが存在しており、地表面は松林が密生しており地面の粗度も一様ではない。これらの事情や計算の過程を考慮して、本調査で得られた値には大きく見れば1桁ぐらいの誤差を含んでいると考えられたい。

(3) 本調査は東海村周辺についてだけ当てはまるものである。地形や気象その他の条件が異なる別の地域にはこのまま当てはまるものではない。日本は山国で、気流がいちじるしく収斂したり、空気が長時間滞留する地域が諸所にあることは既に知られている。それらの地域については改めて調査する必要がある。

(1959年 9月21日 受理)

— 参 考 文 献 —

- (1) 気象庁、日本原子力研究所共編：東海村微気象調

- 査予備観測報告書, 8, 15 (1956).
日本原子力研究所調査報告, No. 3, 10 (1957).
- (2) H. E. CRAMER : '*A Practical Method for Estimating the Dispersal of Atmospheric Contaminants*', (Paper presented at First National Conference on Applied Meteorology).
- (3) J. S. HAY, F. PASQUILL : Paper presented at International Symposium on Atmospheric Diffusion and Air Pollution, (1958), Oxford, England.
- (4) Meteorological Office, Air Ministry: '*The Estimation of the Distribution of Concentration Downwind of a Source of Airborne Material*, G. 11437, (1958).
- (5) 坂上: '昭和34年6月の拡散実験の解析', 原子力気象調査会報告書, No.72, (昭34.9).
- (6) 原子力気象調査会: 東海村原子力気象調査中間報告書, 同上, No.58, (昭34).
- (7) '発煙(煙すだれ)実験報告(1)', 同上, No.62, (昭34.4)
'昭和33年9月の拡散実験および特別気象観測の資料にもとづく煙の拡散濃度の推定', 同上, No.69, (昭34.7).
- (8) 井上栄一: '接地気層における乱流拡散現象と乱流特性との関係', 同上, No.60, (昭34.4.24.).
-