

石巻における悪臭と気象との関係

菅原 司** 佐々木 高** 加藤 吉男**

要 旨

石巻においては魚類化製場（F悪臭）とパルプ工場（P悪臭）からの2種の悪臭によって悩まされているが、これらの悪臭と気象との関係を調査した。風との関係ではF悪臭はSE風、P悪臭はSW風、風速は4 m/sec以下の弱い風の時によくおい、6~7 m/sec以上になるとほとんどにおわない。そのような風はいわゆる海風による場合が多いが、注目されるのは露点温度から見るとSE風とSW風は異質の気流と考えられることである。これについては別に調査してみたい。なお悪臭の水平拡散状況を実測した結果、F悪臭に比べP悪臭はかなり範囲が小さいことがわかった。

1. はしがき

石巻では以前から魚類化製場（石巻測候所のSE方向約2 km、この悪臭を以下Fとする。）およびパルプ工場（石巻測候所SW方向約1 km、この悪臭を以下Pとする。）から発生する2種の悪臭に対する苦情が多く、特に最近足光を浴びつつある観光とも関連して問題が大きくなってきた。（第6図参照）魚類化製場からの悪臭物質のおもなものは、メルカプタン・硫化水素・アミン特に3メチルアミン・アルデヒド・スカトール、またパルプ工場のおもな悪臭物質は、メルカプタン・硫化水素・サルファイドとされているが、これらの悪臭を定量的に表わすことは困難である。最近測定方式が開発されたものの、これすら結局は人間の嗅覚に頼らざるを得ないのが現状であり、物理的な量で完全に表現できる指数はまだない。またにおいの感覚は個人差が大きく、個々の人々についても1日の間に30~50%の違いがあるとされている。このようなことから悪臭の客観的資料を得ることはむずかしい問題である。しかし、におい始めた時刻やその時点におけるにおいの強度については比較的問題は少ないのではないかという考えのもとに、1969年2月から観測を開始し1970年5月までの16カ月間の資料を集積した。この間、特に階級を必要とする場合は合議のうえ決定した。これらの資料は石巻測候所において観測されたものであって、地形の関係から以下に報告する調査結果が石巻全市に適用できるかどうかはさらに検討しな

ければならない。また1970年5月~7月には、上層風観測による海陸風および悪臭の水平拡散についても移動観測をしたので、この結果も含めて報告する。なお、これら悪臭源と測候所との関係位置を第6図に示した。

2. 悪臭の月別・時刻別度数

資料は1969年6月~1970年5月の1年間とした。月別度数はにおった時間の長短にかかわらず、また1日に数回におっても1回とした。したがってこの度数は日数に等しい。この結果を第1表に示した。これによると悪臭は4月に急増し夏にかけて多く、総日数116日はほぼ3日に1日の割合でいずれかの悪臭に悩まされていることを示している。悪臭別に見ると、Fは3月~7月にPより多く8月にほぼ同数、9月からはPがFよりやや多くなる。

第2表には時刻別度数を示したが、同日に数回におった場合はそのつど度数に数えた。これによると悪臭は9時に急増し18時に急減する。深夜から早朝にかけて観測されていないおもな理由は、当所の勤務体制が夜間は宿直制となっているためとも一応は考えられるが、それよ

第1表 悪臭の月別度数

1969年6月~1970年5月

種類	月												計
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
F	6	8	5	2	4	1		1	2	4	9	10	52
P	3	6	6	7	2	3	6	4	3	3	6	5	54
交互			1	4						1	2	2	10
計	9	15	15	9	6	4	6	5	5	8	17	17	116

* Some Relationships between the Bad Smelling Air and Meteorological Elements at Ishinomaki

** T. Sugawara, T. Sasaki, Y. Katō 石巻測候所
—1971年5月28日受理—

第2表 悪臭の時刻別度数 1969年6月～1970年5月

時刻 種類	時刻														計		
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		21	
F	1	1	8	6	5	6	3	10	14	11	19	3	2	0	1	90	
P			5	14	7	7	11	9	3	9	3		1		2	3	74
計	1	6	22	13	12	17	12	13	23	14	19	4	2	2	4	164	

りも工場の操業時間・風等の影響がより大きいものと考えられる。悪臭別に見ると、Fは午後によく17時を極大としてその後急減するのに対し、Pは9時を極大として午前によくになっている。

3. 悪臭時の天気図型

前節と同期間について、(1) F・(2) P・(3) 同日中にF・Pが交互におった場合に区分し気圧配置との関係を調査した。なお(1)・(2)については、最初におった時刻に近い天気図を採用し型の分類を行なった。

(1) F悪臭と気圧配置

a. 移動性高気圧または高圧帯型

この場合は海風のSE風による。

b. 高気圧後面型

この型には夏型も含めた。気圧傾度のゆるい場合は海風によるが、傾度の比較的急な場合は高気圧の中心または東西軸がほぼ北緯35°以北にあり、その縁辺が本州東岸に接するころまでが限界で、日本海西部から中国東北区にNEからSWにのびる気圧の谷が存在していることが多い。

c. 南海低気圧

南海低気圧前面のSE風によるが、後節で述べるように悪臭に対し風速が微妙に作用するので、低気圧の接近・発達の問題となる。

以上の型の月別度数は第3表のとおりである。これによると高気圧後面型が最も多く南海低気圧がこれに次ぎ、この2つの型で総数の70%を占めている。

(2) P悪臭と気圧配置

a. 移動性高気圧または高圧帯型

この型はF悪臭のa型と同じであって、天気図型からは区別が困難である。海風と陸風の交替時の風向変化あるいは海風の風向のわずかの変動で、悪臭がFになったりPになったりする。これについてはまだ検討の余地がある。

b. 高気圧南偏型

この型は高気圧の中心または東西軸がほぼ北緯35°以南にあって、F悪臭のb型に比べ気圧の谷が本州に接近していることが多い、この場合もF・P交互におうことがある。

c. 日本海低気圧型

日本海低気圧前面のSW風によるが、これもF悪臭の南海低気圧型と同様に、低気圧が接近しすぎたりすると悪臭が少なくなる。

以上の型の月別度数は第4表のとおりである。これによると移動性高気圧型に最も多く日本海低気圧がこれに次ぎ、この両型で総数の80%を占めている。

(3) 同じ日にF・Pが交互におう場合の気圧配置

第1表に示すとおり10例にすぎないので分類はできなかった。この日の気圧配置の特徴をあげると、本州付近の気圧傾度がきわめてゆるやかなことであって、暖候期に集中して観測されている。この特殊な例の中から1969年7月28日の観測結果を1例として次に述べる。

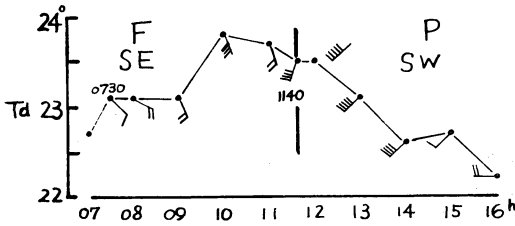
天気図の型はP悪臭の気圧傾度のゆるい高気圧南偏型

第3表 F悪臭の型別月別度数 1969年6月～1970年5月

型	月											計		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4		5	
a 移動性高気圧			2		1	1						4	4	12
b 高気圧後面		2	3	2		2	1			2	3	3	2	20
c 南海低気圧		4		2	1	1			1		1	2	4	16
その他			3	1										4
計	6	8	5	2	4	1		1	2	4	9	10	52	

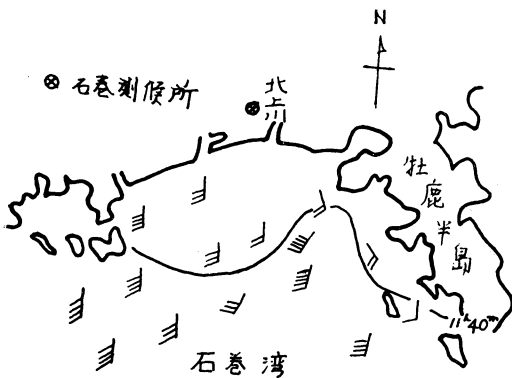
第4表 P悪臭の型別月別度数 1969年6月~1970年5月

月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	計
型													
a 移動性高気圧	2	5	1	7			1			1	5	4	26
b 高気圧南偏	1		4			1	1	1	1	1			10
c 日本海低気圧		1	1		2	2	4	2	2	1	1	1	17
その他								1					1
計	3	6	6	7	2	3	6	4	3	3	6	5	54



第1図 1969年7月28日石巻測候所における気象変化 (Td, は露点温度矢羽根1本は1 m/secを表わす.)

に属するものであるが、この日の石巻測候所における風の変化は第1図のとおりである。7時30分ごろSEの弱い海風が吹き始めて間もなくF悪臭が観測されたが、11時40分ごろに風向がSSWに変わるとともにP悪臭に変わっている。この日宮城県水産試験場の指導船が石巻湾においてかき幼生の浮ゆう状況を調査したが、同時に風向風速の移動観測を行なったのでその状況を第2図に示した。図中実線から北側は、石巻測候所で風向がSEか



第2図 1969年7月28日の石巻湾における風の状況 (宮城県水産試験場指導船観測, 矢羽根1本は1 m/secを表わす.)

らSSWに変わった11時40分以前の、南側は以後の観測結果である。観測点の沿岸からの距離は最も遠いところで19kmであるが、この日の海風の風向は少なくともこの程度の規模で変化していることを示している。なお第1図には石巻測候所における露点温度の変化も示してあるが、SE風系の場合はしだいに高くなり、SSW風系に変わってしだいに低下し流入気塊の相違を示唆しているが、これについては別に述べる。

4. 悪臭と地上気象

(1) 悪臭と風

第2表の資料に基づき悪臭と風向との関係を示したのが第5表である。FはESEからSSEに、SEを最多として分布し、PはSSWを最多としてSからWSWに分布している。これは第6図に示すとおり石巻測候所と悪臭源との関係位置から当然考えられるところである。一方、風速との関係を第6表に示した。悪臭は風速2~

第5表 悪臭と地上気象

1969年6月~1970年5月

風向	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	C	計
F	11	51	22	4					2	90
P			1	7	23	36	4	1	2	74
計	11	51	23	11	23	36	4	1	4	164

第6表 悪臭の風速別度数

1969年6月~1970年5月

風速 m/s	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
F	2	6	20	26	17	11	5	2	0	1	90
P	2	16	16	13	10	8	5	3			74
計	4	22	36	39	27	19	10	5	0	1	164

3 m/sec で最も多く発生し、4 m/sec 以下で総数の約80%を占めている。これは箕輪年雄⁹⁾が、横浜川崎地方において高濃度大気汚染の場合の気象条件としてあげた風速と一致する。悪臭別ではFは2~3 m/sec で、Pは1~2 m/sec で最も多い、そして両悪臭とも6~7 m/sec までが限界と考えたい。F悪臭の実測例を次に示したが、悪臭は風速の変化に対しかなり敏感で、風速が強すぎると悪臭がうすれたりまたは感じなくなる。反対に風速が強から弱になった時点で再びおいだしたり、強まったりし6~7 m/sec 風速の限界が意外にはっきりしていることが理解できる。

F悪臭と風速の観測例

1969年5月8日

	14時	15時	16時	17時
風向風速	SE3.7m/sec	SSE7.2m/sec	SE6.2m/sec	SE4.0m/sec
悪臭の階級*	1	0	0	1

1970年5月6日

	13時30分	13時46分	14時50分
風向風速	SE 5.3m/sec	SE 6.5m/sec	SE 5.3m/sec
悪臭の階級*	2	なし	1

(2) 悪臭と湿度

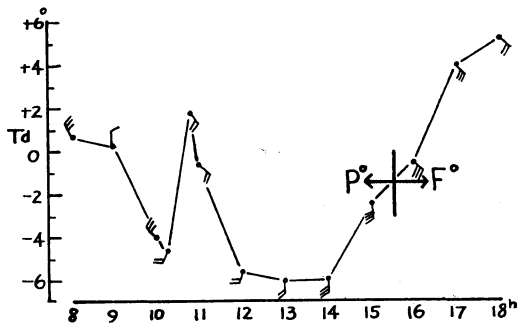
1969年2月~1970年5月の資料を使用し、同じ種類の悪臭が数回におった場合は最初におった時点の湿度を、交互におった場合はそれぞれがにおい始めた時点の湿度を別々にとってまとめたのが第7表である。当地の場合Sよりの風は一般に比較的高い湿度が期待されるのであるが、たしかに両悪臭とも60%以上に多い。第7表で注目されるのは80%以上の高湿度ではFがPの2倍以上の度数になっているのに反し、59%以下ではPがFの2倍になっていることである。これは同じSよりの風

第7表 悪臭の湿度階級別度数

1969年2月~1970年5月

種類	湿度						計
	≧90%	89~80	79~70	69~60	59~50	<50	
F	13	18	16	19	10	3	79
P	5	9	18	12	17	8	69
計	18	27	34	31	27	11	148

* 悪臭の階級を次のように区別した。0: やつと感
じる, 1: 明確に感じる, 2: 強い, 3: 非常に
強い。



第3図 1970年4月9日石巻候所における気象変化 (T_aは露点温度, 矢羽根1本は1 m/sec を表わす)

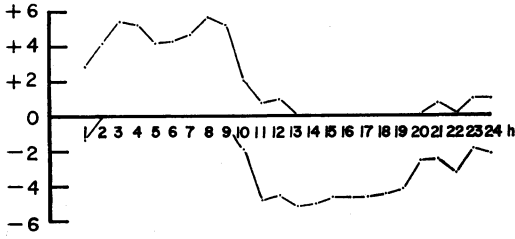
であってもFを運ぶSE風とPを運ぶSW風との気塊の相違を示し、次の例に示すように一般にゆるやかな気圧傾度のもとに吹く場合のSよりの風の複雑さを物語っている。

これらの資料の中で最も低湿度であった1970年4月9日の例について述べよう。この日の最低湿度は20%であって、風向の変化に応じてFとPが交互におった例である。天気図型はP悪臭の高気圧南偏型に属し、気圧傾度が非常にゆるく海陸風の卓越が期待される型である。この日の風および露点温度の時間変化を第3図に示した。これによると10時ごろまで北よりの陸風が吹いて露点温度が次第に下がり、10時12分一時SWの海風に変わった。その後風向がSEに変わるとともに露点温度は約7°C急昇して10時45分には1.7°Cを示した。12時に再びSW風に変わるとともに露点温度は-5.7°Cに急降して14時ごろまで続き、以後E成分の増加とともに露点温度も上昇している。この例はSE風とSW風を同じ海風として取り扱うことに対して問題を提起しており、今後さらに検討してみたい。

5. 石巻の海陸風

天気図型分類によると、両悪臭ともに移動性高気圧・高圧帯など気圧傾度のゆるい場合の海風との関係が大きい。

石巻における海陸風については門脇武夫¹⁰⁾の報告がある。これによると海風は陸風に比べて非常にはっきりしており夏は9時前後、春秋は10時、冬はさらに遅れる。海陸風の条件としては気圧傾度が約0.5以下で明瞭となり、傾度がこれ以上になるか、気圧の谷が当地方より500km以内にある時は現われないとしている。第4図は海陸風が顕著に現われた1970年6月3日~6月8日



第4図 1970年6月3日～8日石巻測候所における風向観測回数から計算された南北成分の時間変化（+は北分，-は南分）

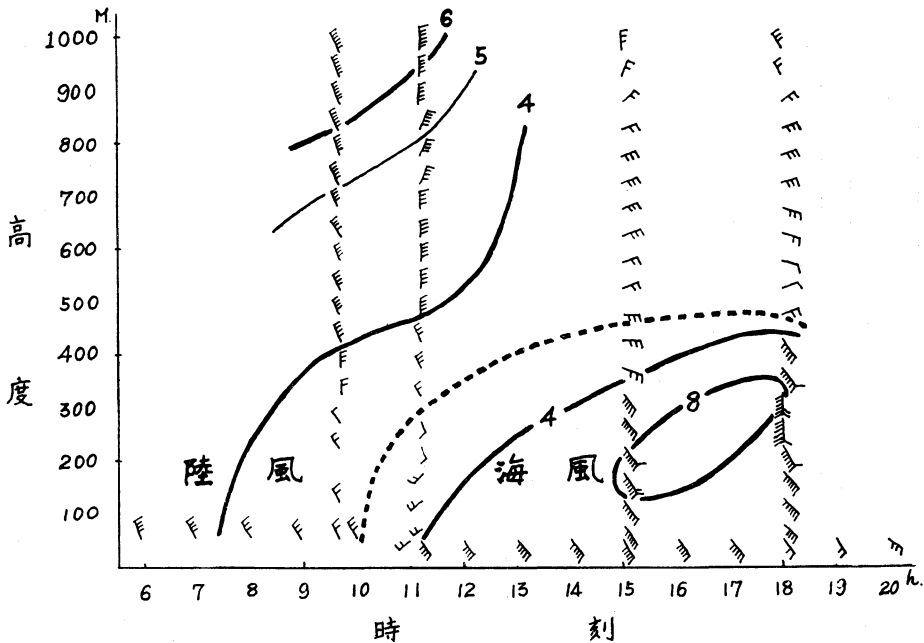
の風向観測回数から計算された南北成分の時間変化であるが、海風は明らかに10時ごろから吹き始め夜半前に陸風が変わっていることを示している。

第5図は1970年5月30日の9・11・15・18時のパイバルによる上層風の観測結果であるが、この日10時50分ごろにP悪臭を観測した。地上風の変化を見ると南よりの海風は10時40分ごろから吹き始め、14時50分に最大風速SSE, 5.7m/sec を観測した。海風の高度はしだいに増加し11時には、250m, 15時には 400m となり、地上風・上層風等の経過から推定される海風の最高高度は18時前

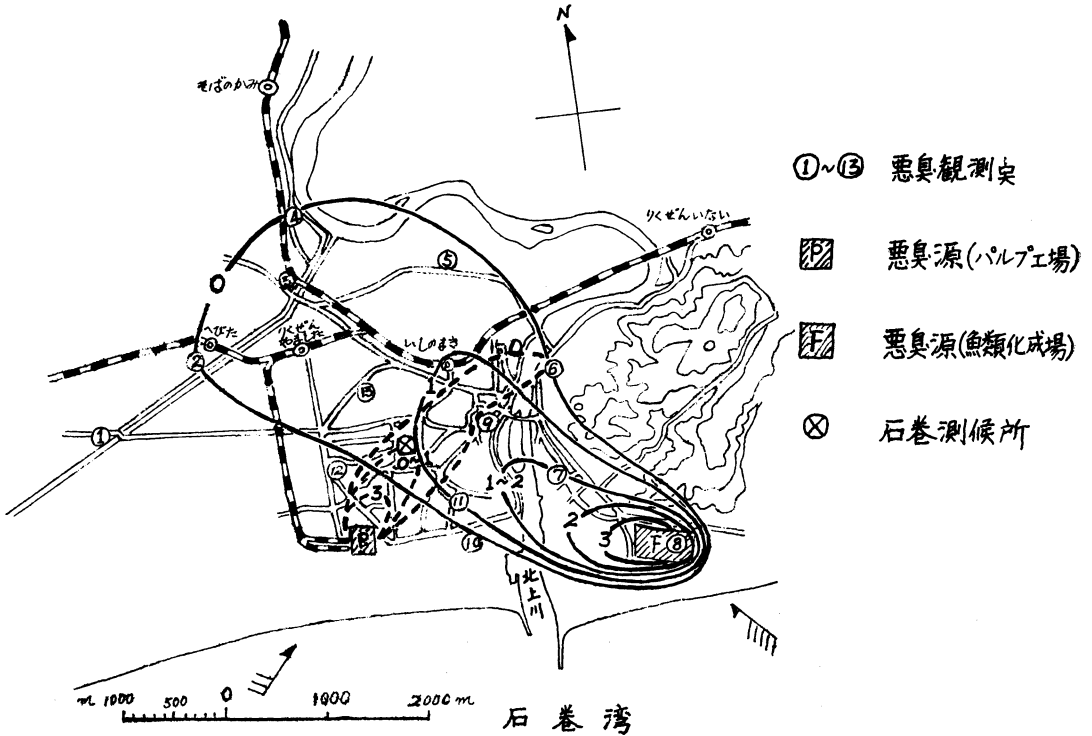
後の 450m である。この海風の 8 m/sec 強風軸は地上風の最大 5.7m/sec を観測した直後の15～18時に観測され、その高度は 150～300m に存在している。この海陸風は典型的な1例であって、気圧傾度・日射・放射等複雑にからみあって吹く海陸風は時間的にも空間的にも一様でないことはいうまでもない。蔵重一彦⁶⁾は、夏季に北上川をさかのぼる石巻からの海風は岩手県北部の好摩附近までも観測され盛岡における観測結果によりその高さを1200～1400mとし、さらに水沢緯度観測所の資料により強風軸の高さを300mとしている。この強風軸の高さが今回の観測と一致していることは興味深い。第2図と第5図から石巻の海風の規模がほぼ想像できる。

6. 悪臭の水平拡散の実測例

これら悪臭の水平拡散状況を調査するため、F悪臭については1970年7月1日（南海低気圧型）10時30分～12時10分に、P悪臭については1970年7月13日（高気圧南偏型）9時30分～10時40分に第6図の13点について自動車による移動観測を実施した。この時の石巻測候所における風の観測値は前者はSE、後者はSSW～SW～WSW風速はともに5～6m/sec、また悪臭の階級はいずれも1～0であった。これらの観測結果は第6図（太実線で



第5図 1970年5月30日石巻における海陸風の状況（図中の数字は風速 m/sec を、矢羽根1本は1 m/sec を表わす）



第6図 悪臭の水平拡散状況実測図 (F悪臭実線は1970年7月1日, P悪臭点線は1970年7月13日実測)

第8表 悪臭の実測水平拡散状況

年月日	悪臭の種類と階級	天風向, 風速 気 (m/sec)	水平拡散実測値	
			距離	横の最大拡散
1970. 7. 1	F ⁰⁻¹	◎ SE 5.8	5 km	距離3.8kmにおいて2.4km
1970. 7. 13	P ⁰⁻¹	○ SW 5.5	2.5 km	距離1.2kmにおいて0.7km

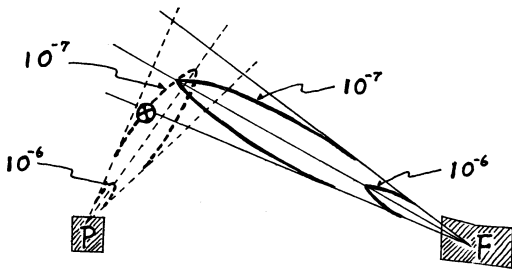
F悪臭, 太点線でP悪臭を示す。) および第8表のとおりである。この結果によるとF悪臭は距離5km, 横の最大拡散2.4kmと比較的広い範囲に拡散する。これについては次の2つのことが原因と考えられる。

1) 観測点⑨・⑩を結ぶ線の西側から石巻測候所周辺にかけての標高40m内外の台地とF悪臭源の北側台地とは北上川をはさんで狭さく部を作っている。一方F悪臭源は標高2~3mの海岸にあり, 悪臭は狭さく部を北上し比較的標高の低い市街地に発散しやすい地形にある。同時に煙の主軸は北に偏りやすい。

2) 魚類化製場は20数社があって, 工場の性格上同時に操業する場が多い。

これに反しP悪臭は距離, 2.5km, 横の最大拡散0.7km程度で, 観測点⑨附近ではP悪臭はほとんど感じることがないという聞き込み調査もあって意外に小規模であることがわかった。これはパルプ工場は標高2~3mの海岸にあり高さ70~80mの煙突3本による排煙が悪臭源となっており, 石巻測候所周辺の台地上さらに30~40mの余裕があることと, しかも市街地はこの台地の陰になるため, 煙の主軸の一部は地上に降下するが大部分は上空に拡散されるためと考えられる。

次に英国気象局式¹⁾ $C = \frac{2.8 \times 10^{-3}}{ud\theta h}$ (単位/m³) を用い, 上述の2例について汚染濃度 $C = 10^{-7}$ および 10^{-6} 単位の等値線を描いたのが第7図である。ここで u は平均風速(m/sec), d は汚染源からの距離(km), θ は横の拡散, h は垂直方向の拡散であるが, この場合軸方向の距離に応じて考えるべき風向風速は, 観測値がないことおよび拡散距離が小さいことなどからすべて石巻測候所の平均風向風速を使用し, また煙突による効果も考えない大ざっぱな値である。第7図によると, Fにあっては 10^{-6} 単位は悪臭階級3に, 10^{-7} 単位は階級1に, またPにあって



⊗は石巻測候所

第7図 第6図実測当日の英国気象局式による 10^{-6} および 10^{-7} 単位の等値線

は 10^{-6} 単位は階級3に、 10^{-7} 単位に階級0にそれぞれ対応する。

7. あとがき

以上石巻の2種類の悪臭と気象との関係について調査した結果を述べた。悪臭に対する対策は一応県・市当局によってとられてはいるが、魚類化製場の場合是一般に小企業が多く水洗法による除去装置は設備されているものの、資金や工業用水等との関係もあって十分の効果があがっていないのが実状である。一方パルプ工場の場合、近くに松島航空隊が駐屯しているため煙突高度に制限を受けているが、新たに90mの煙突を設けた現在ある煙突に高低をもたせて同一方向に煙が流れないように配慮したり、またとくに悪臭のひどいクラフトパルプにつ

いては最新式のパルプ洗浄装置と回収ボイラーによって外に排出しないまま焼却してしまう方法などを採用し、引き続き県の衛生研究所とタイアップして監視と研究につとめており、今後はかなり効果があるものと期待される。

終わりに、この調査を行なうにあたりパイパルによる上層風観測に協力して下さった荒井技術係長と佐々木茂夫技官に感謝したい。また本調査に仙台管区気象台から推進費をご考慮いただくとともに、上層風観測のための器材についても種々ご配慮いただいた。記して厚く御礼申しあげる。

参考文献

- 1) 伊藤 強自, 1961: 大気汚染と制御, 応用気象学講座, 11, 85-90.
- 2) 気象庁予報部, 1969: 大気汚染の気象予報, 1-59.
- 3) 気象庁, 1968: 大気汚染気象調査の手引き, 2~1-2~16.
- 4) 箕輪 年雄, 1963: 大気汚染の予報, 気象研究ノート, 14, 263-271.
- 5) 門脇 武夫, 1952: 石巻における海陸風, 研究時報, 4, 248-250.
- 6) 蔵重 一彦, 1953: 北上河谷の夏の風, 研究時報, 5, 547-554.
- 7) 草野 和夫, 1960: 宮城県の流れについて, 研究時報, 12, 709-718.
- 8) 池田 学, 1970: 大気拡散の基礎智識, 東北技術だより第46号, 23-34.

気象研究ノート近刊のお知らせ

気象研究ノート編集委員会

気象研究ノート第110号は「気象力学に用いられる数値計算法」です。その内容は下記の通り。

「気象力学に用いられる数値計算法」目次

- 第1章 はしがき
- 第2章 気象力学で用いられる偏微分方程式の分類
- 第3章 差分法について(総論)
- 第4章 差分スキーム(1)—Local grid system
- 第5章 差分スキーム(2)—Global grid system
- 第6章 差分スキーム(3)—Miscellaneous problems
- 第7章 境界値問題(DirichletとNeumannの問題)
- 第8章 初期値問題(Cauchy problem)
- 第9章 スペクトル法
- 第10章 数値予報モデルの時間積分

第11章 対流モデルの時間積分

第12章 気象じょう乱のスペクトル解析

第13章 あとがき

付録

執筆者は新田尚, 大林智徳, 近藤洋輝, 遠藤昌弘, 菊池幸雄, 岩嶋樹也の諸氏です。

なお、発行は72年2月の予定。定期購読者以外で、本号を特別に希望される方は、印刷部数を確認する上に必要ですので、天氣に添付されたハガキで至急事務局までお申し込み下さい。学校、官署などでまとめて購入される場合も同様な要領でご連絡下さい。価格は学会員の場合600円程度。