

5.3.2 評価

(1) 上層風

高度別の風配図、平均風速を図5.3.3 a b、図5.3.4に示す。冬季は両地点とも高度が高くなると西寄りの風向が多く、偏西風の影響が生じている。春季は両地点とも東寄り風向が多く、カスピ海付近にあった高気圧の影響である。夏季もタブリーズでは東寄りが多く、これもカスピ海付近にあった高気圧の影響である。エスファハンでは高気圧に覆われていたため変化が大きかった。秋季は高気圧がイラン国の東部から南部にあったため、タブリーズでは南西、エスファハンでは南東の風が多かったが変化も大きかった。風速は両地点とも高度が高くなると強まる傾向がみられた。

表 5.3.2 エスファハン上層気象の特徴

	上層風		上層気温	
	風向	風速	昼間	夜間
春季	主として東から南。	高度が増すと強まり、日没後にとくに強く、最大20m/s以上。	地上付近で気温減率がとくに大。上部層でも大。	温度差の大きい接地逆転層が発現。一度解消して再度出現も。
夏季	変化が大。	高度が増すと強まるが、春季に比べやや弱。	地上付近で気温減率が大。	温度差の大きい接地逆転層が発現。温度差は最大12度にも。逆転層一度解消して再度出現も。
秋季	変化が大。	風速は全般に弱。	地上付近で気温減率が大。	温度差の大きい接地逆転層が発現。温度差は最大12度にも。
冬季	主として南から西。	風速は全般に弱。	地上付近で気温減率がやや大。	接地逆転層が発現。

(2) 上層気温

高度別の平均気温を図5.3.5に示す。昼間は冬季を除き、両方の地点で不安定状態が多かった。特に春季、夏季には接地層より上の層でも不安定状態がみられた。これは汚染物質の拡散には好都合である。

夜間には放射冷却により形成される接地逆転層が両方の地点でみられた。逆転層は上空に蓋をした効果があり、汚染物質の上方への拡散を妨げる効果がある。

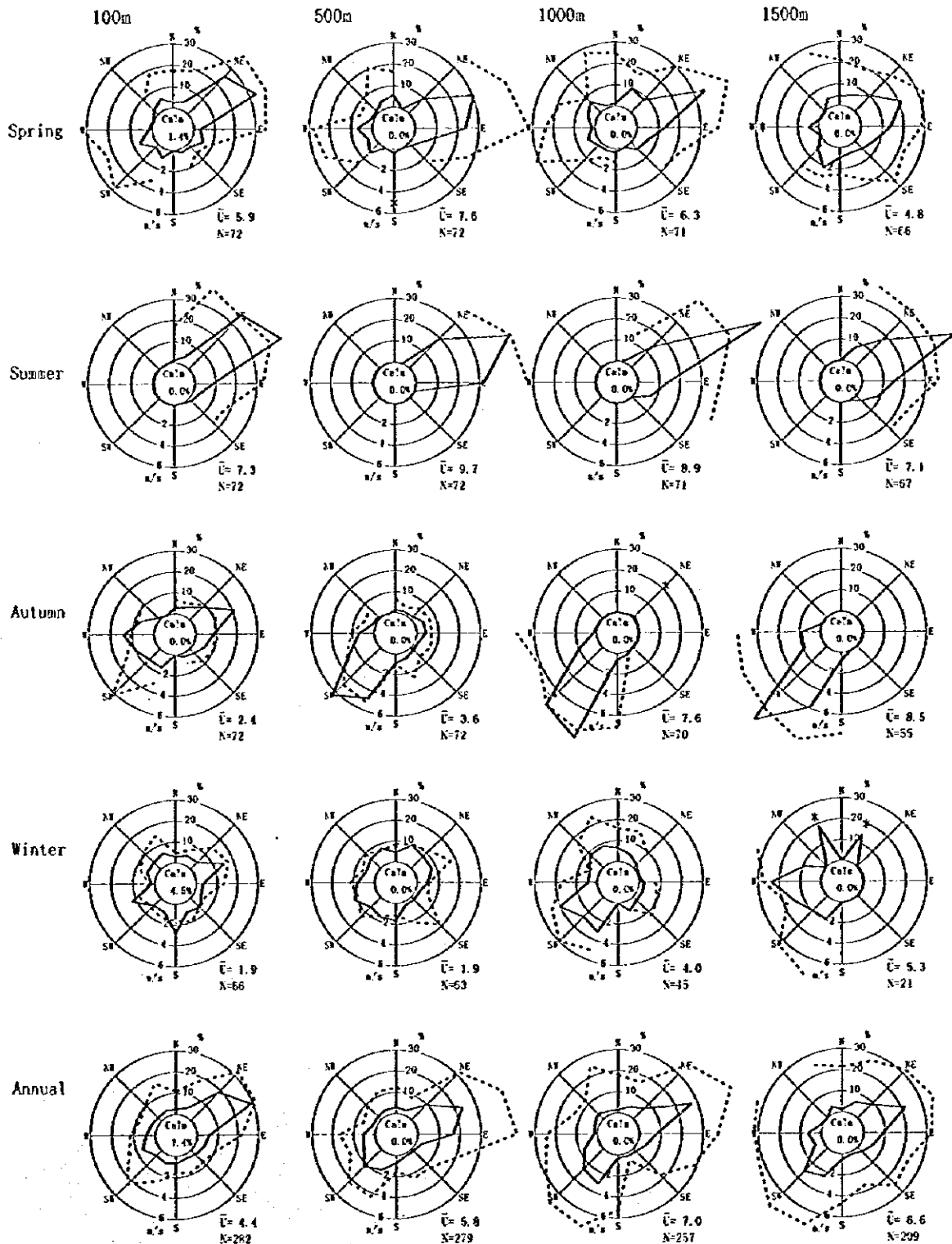


図 5.3.3a 上層季別年間風配図—タブリーズ

— Wind Direction Frequency
 Wind Speed Average
 Calm ≤ 0.4 m/s

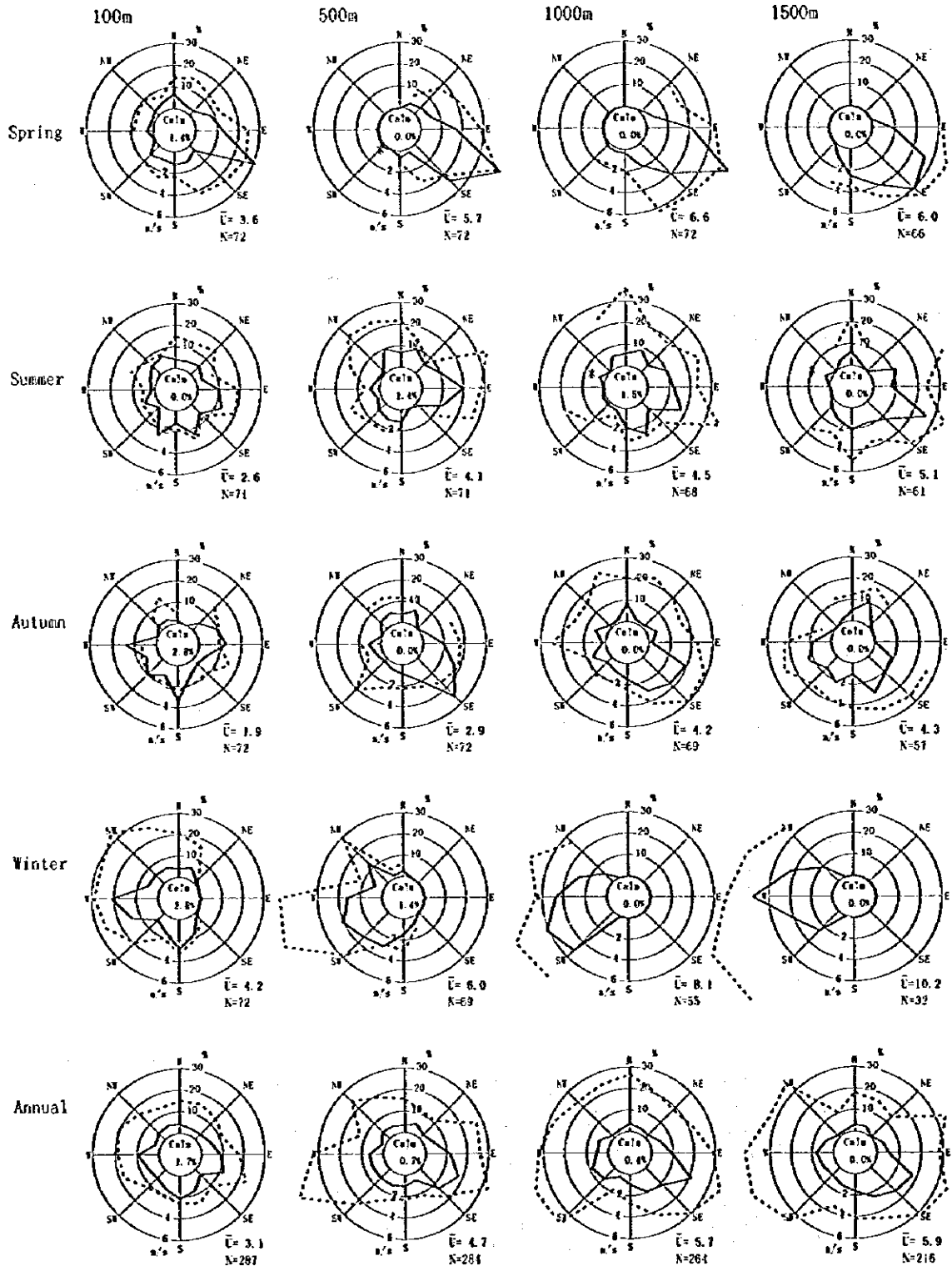


図 5.3.3b 上層季別年間風配図—エスファハン

— Wind Direction Frequency
 Wind Speed Average
 Calm ≤ 0.4 m/s

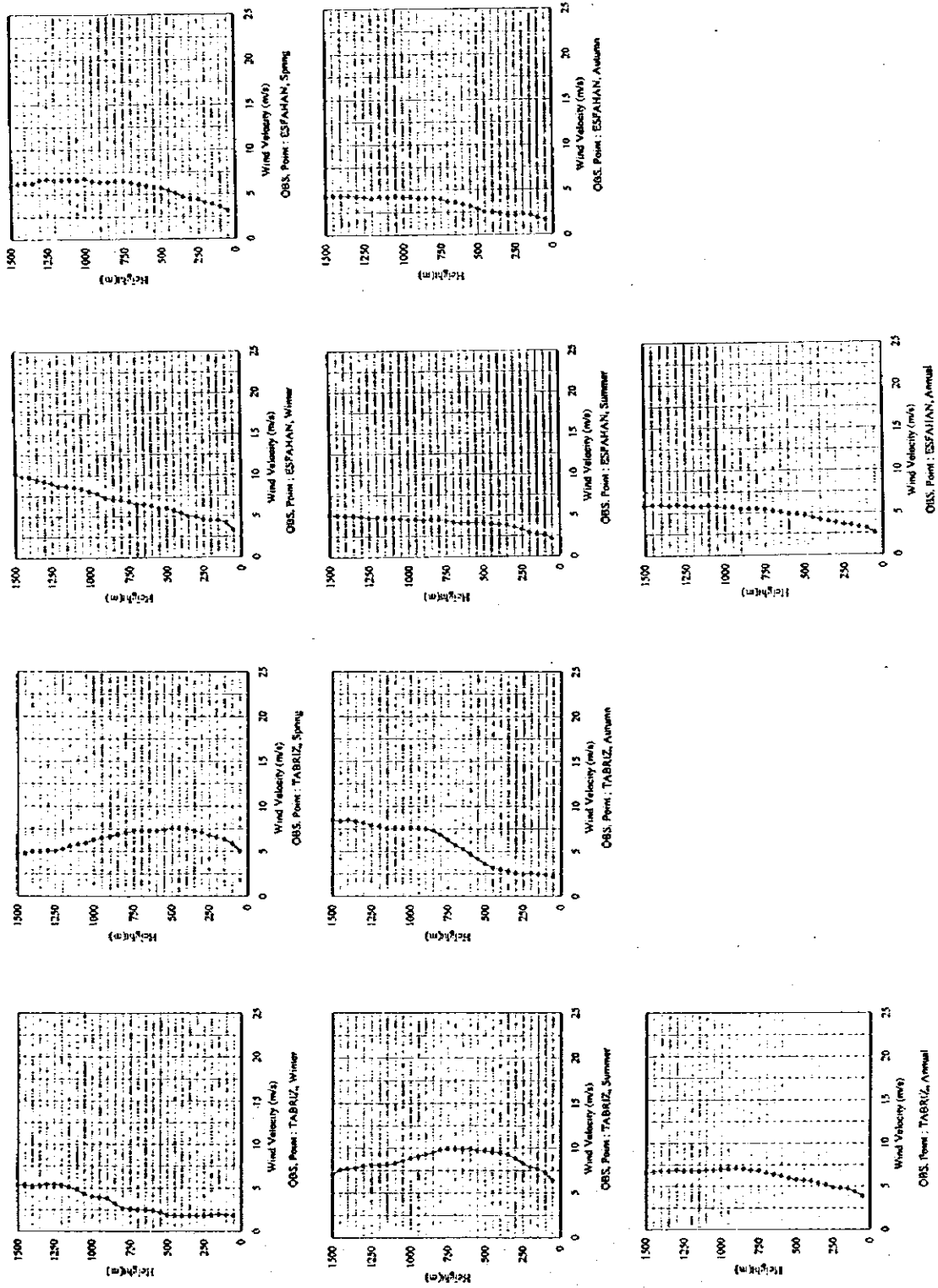


图 5.3.4 上層風速一季節別之年平均

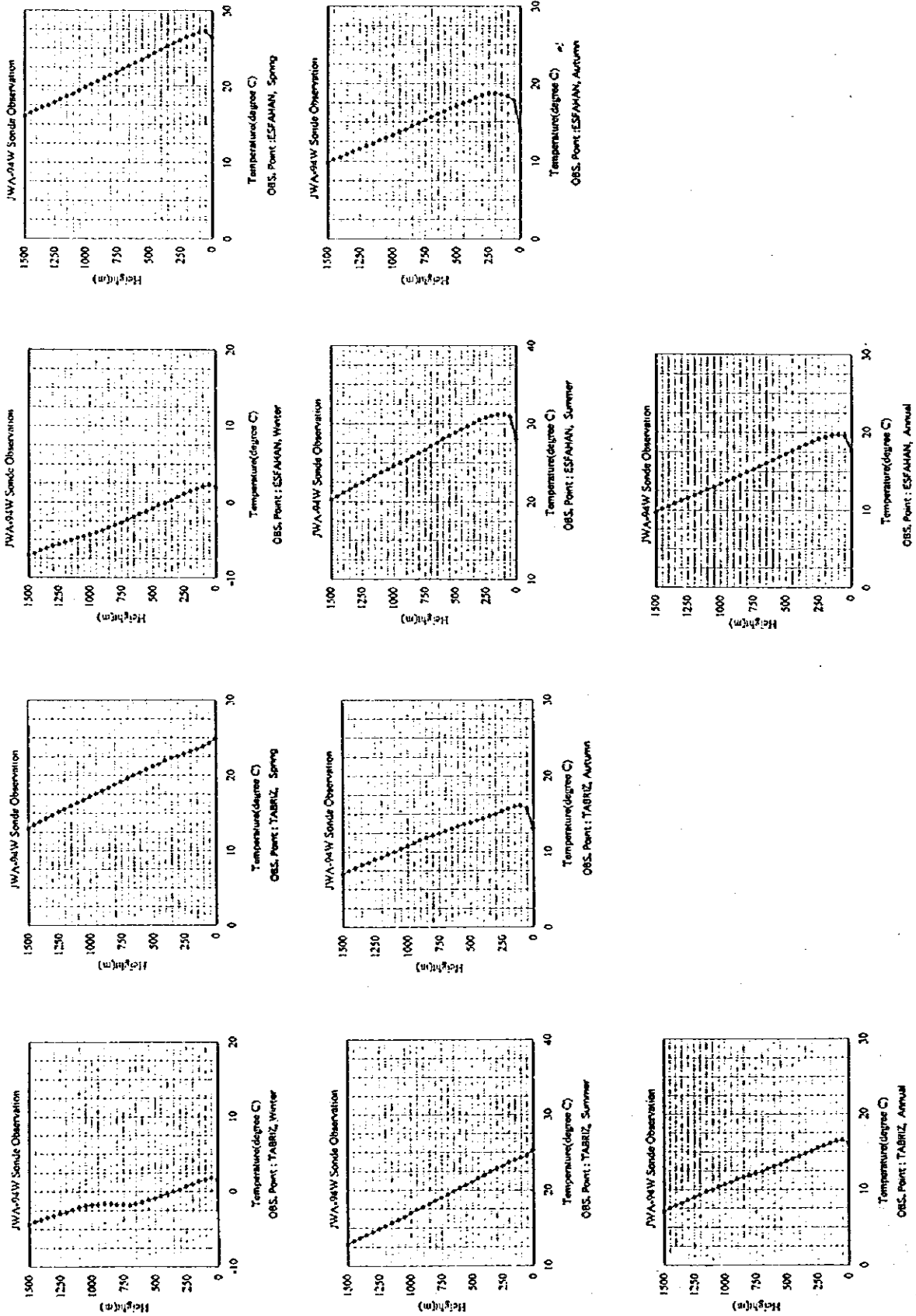


图 5.3.5 上層氣溫—季節別之年平均

エスファハン発電所の方が接地逆転層の発生がタブリーズに比べて顕著であった。これはエスファハン発電所周辺の地形が小さい盆地状であり、冷気塊が蓄積されやすいためであろう。特に地上付近が弱い南から西寄りの風のときは接地逆転層が良く発達している。またこのとき、上層のやや強い東寄りの風が地上付近にまで拡大すると、冷気塊が西側に流出し、上層の空気が下降して、逆転層が一時的に解消している。

5.4 地上気象観測結果とその評価

タブリーズとエスファハンの発電所構内で観測した風向、風速、気温、日射量、放射収支量及びタブリーズとエスファハンのそれぞれ3局の大気質測定局で観測した風向風速の観測結果は計算機に収録し、その集約を風向風速について表5.4.1、図5.4.1~5.4.2に、気温、日射量、放射収支量について表5.4.2及び図5.4.3に示した。

表5.4.1 地上気象(風向風速)観測結果

観測地点		主風向	風速(月平均)	静穏(%)
タブ リ ズ	発電所	ENE(6~10,4月) SE(10~3月)	7月に強く5.8m/s, 1月に弱く2.5m/s	0.6
	バランルー	NE	7月に強く5.5m/s, 12月に弱く1.8m/s	1.9
	マヤンボンブ	NE, ENE	7月に強く6.5m/s, 1月に弱く2.9m/s	0.5
	カラマレク	E~ESE	7月少し強く3.6m/s, 1月弱く1.7m/s	0.9
エ ス フ ア ハ ン	発電所	S~SE(9~12,2月)	6月に3.7m/s, その他は2m/s以下	3.9
	ゴールシャー	W~WSW(2~4月)	7~1月は2m/s以下, 2~4月は2.5m/s	2.7
	カベエ	—	9~1月は2m/s以下, その他は2~3m/s	1.1
	シャリアティ	W~WSW(2~4月)	6月に3.5m/s, 7月~1月は2m/s以下	5.3

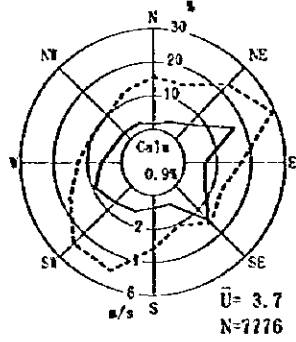
なお、静穏は時間平均、0.4m/s以下の風速であった時間の月間静穏時間の割合を示す。

表5.4.2 地上気象(温度、日射量、放射収支量)観測結果

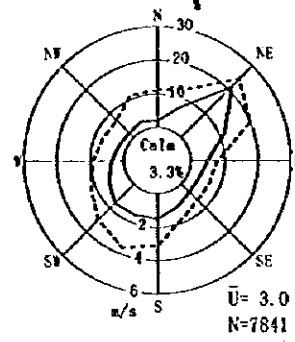
	気 温	日 射 量	放 射 収 支 量
タ ブ リ ズ	最高38.2℃(8月) 最低-8.7℃(2月) 月平均最高26.8℃(6月) 月平均最低0.8℃(1月)	月平均最高1.16MJ/h(6月)	月平均最低0.00MJ/h (12月)
エ ス フ ア ハ ン	最高39.8℃(7月) 最低-6.3℃(1月) 月平均最高32.3℃(6月) 月平均最低3.5℃(1月)	月平均最高1.45MJ/h(6月)	月平均最低0.01MJ/h (12月)

タブリーズでは全般的に東系の風が多く、7月に風が強くなり10~1月に弱くなる。エスファハンでは風向の特徴はあまりなく、弱風である。

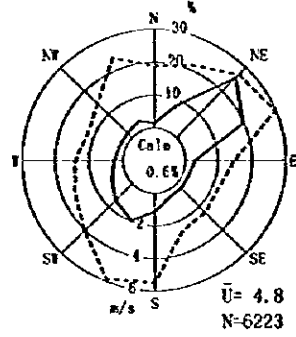
TABRIZ POWER PLANT



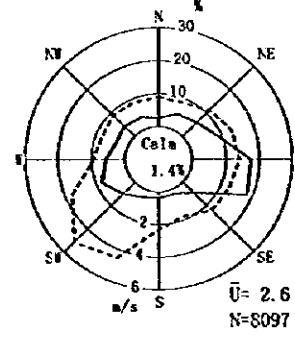
BARANLOO



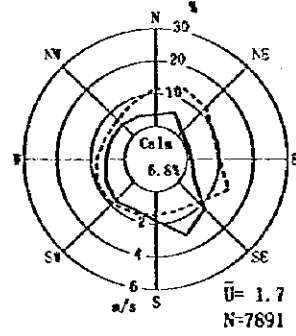
MAYAN



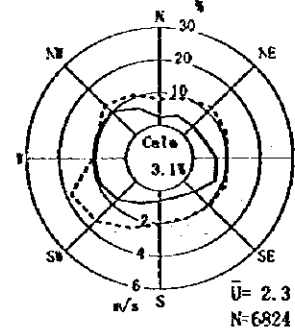
QARAMALEK



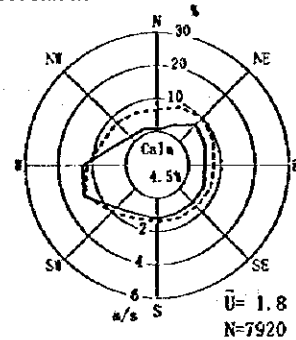
ESFAHAN POWER PLANT



KAVEH



GOLSHAHR



SHARIATI

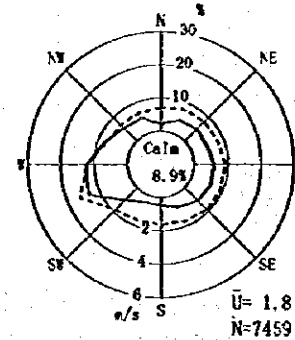


图 5.4.1 年間風配图

—— Wind Direction Frequency
 - - - - Wind Speed Average
 Cal_m ≤ 0.4 m/s

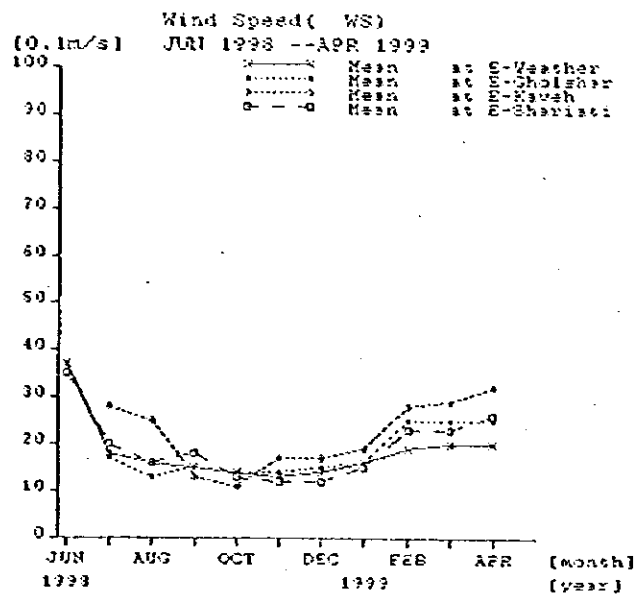
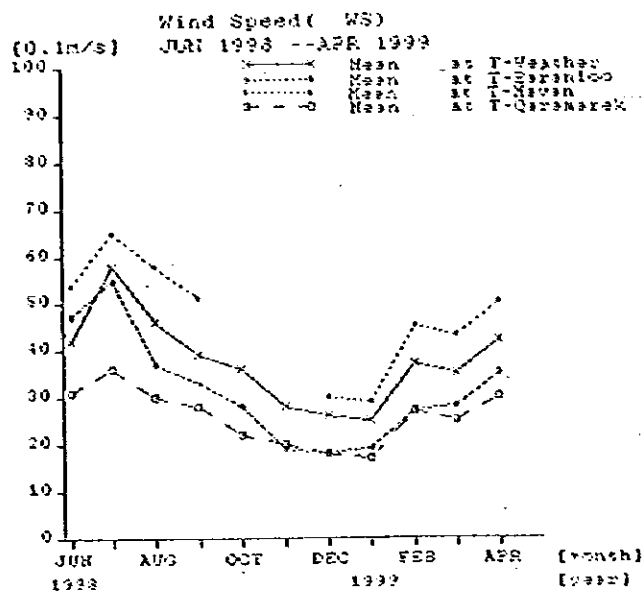


図 5.4.2 風速月変化図

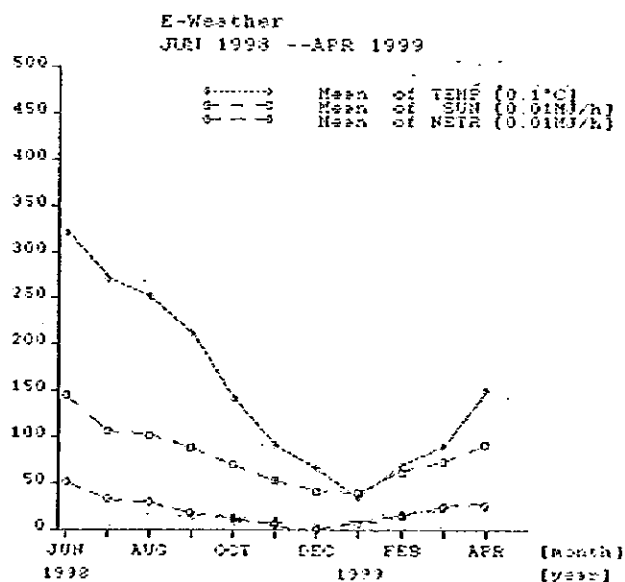
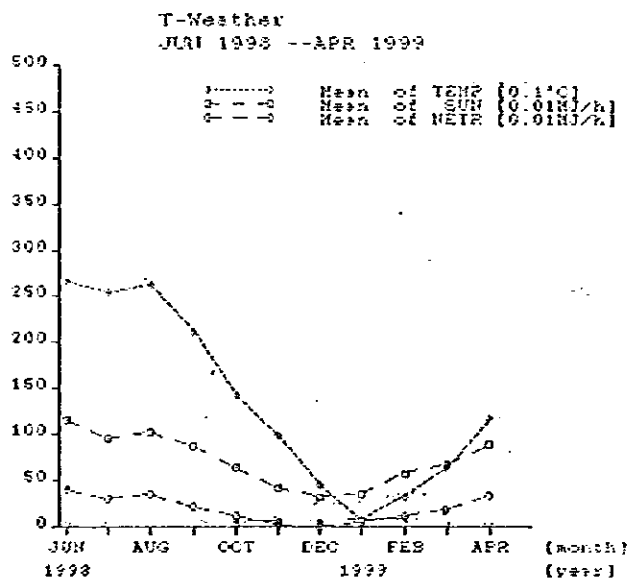


図 5.4.3 気温、日射量、放射収支量月変化図

風速階級別頻度図を図5.4.4、大気安定度別頻度図を図5.4.5に示した。

風速階級別についてみると、タブリーズのバランルーとカラマレク及びエスファハンの全地点で1.0~1.9m/sの風速階級で頻度が高く、静穏の頻度も若干高いことから弱風を裏付けている。マヤンポンプでは6.0m/s以上の頻度が最も多いのが特徴的である。大気安定度についてみると、タブリーズの発電所とマヤンポンプで中立(dD, nD)の頻度が高く、バランルーとカラマレク及びエスファハンの3地点で安定(C)の頻度が高い。このことから、タブリーズのバランルー、カラマレク及びエスファハンの地上では風が弱く、大気安定度が高いため、汚染の拡散がされにくい状況にある。

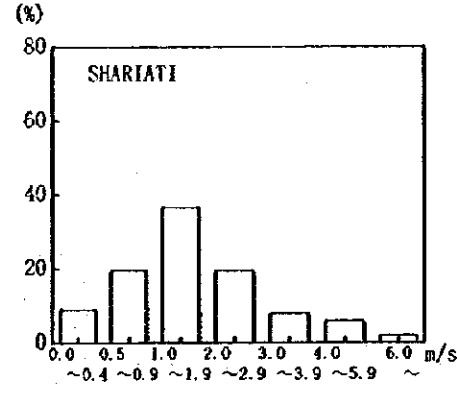
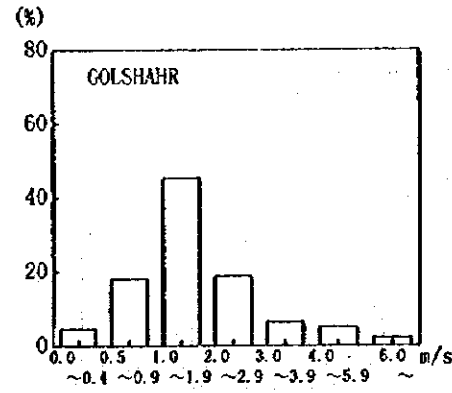
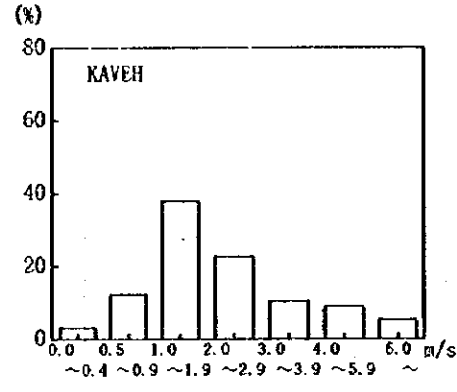
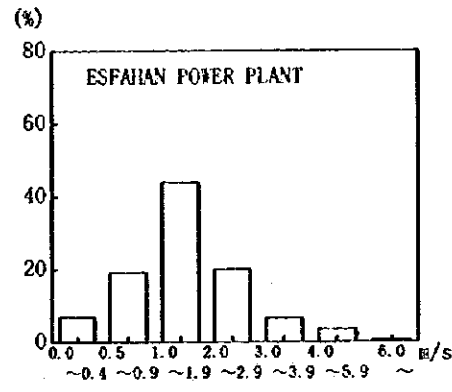
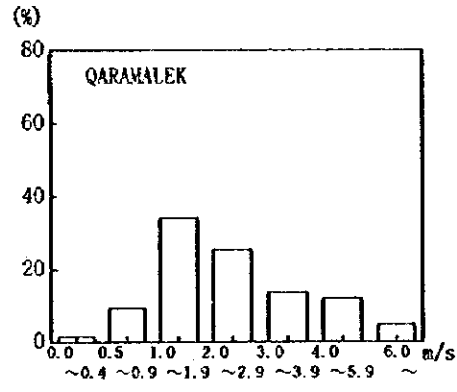
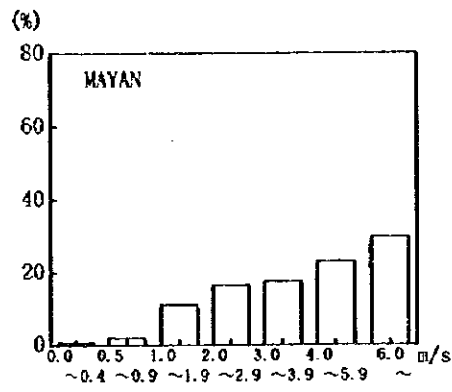
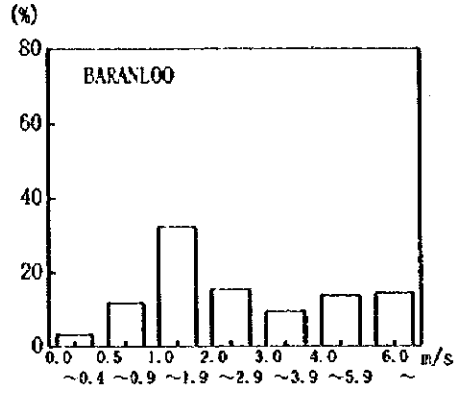
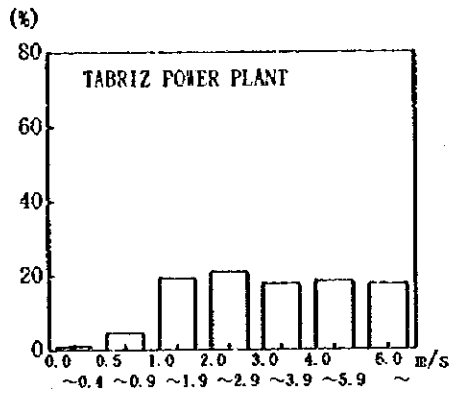


図 5.4.4 年間風速階級別頻度図

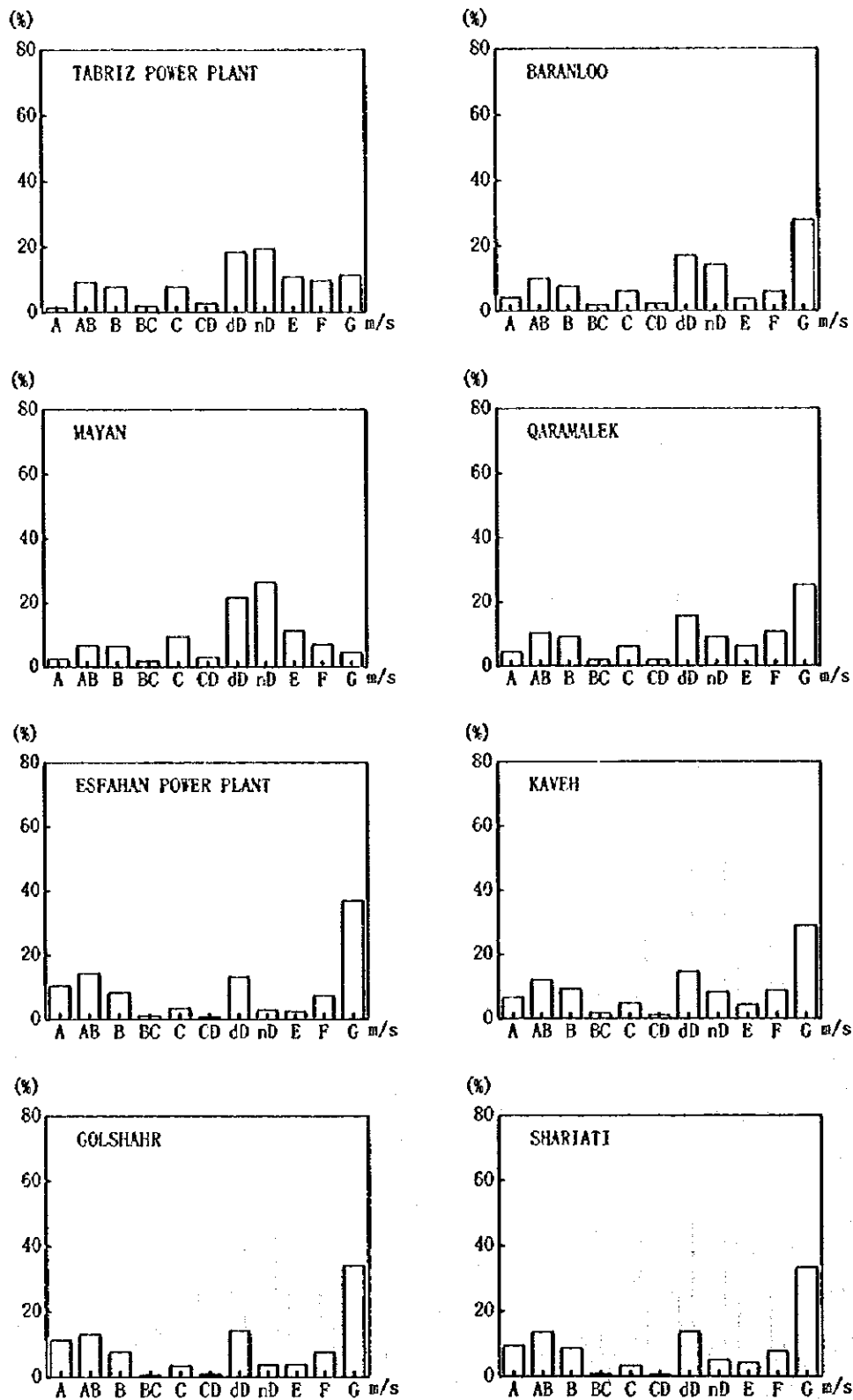


图 5.4.5 年間大気安定度別頻度図

第6章 大気環境の現状とその評価

6.1 はじめに

タブリーズ、エスファハンとも発電所の周辺約15km範囲に、地域の風向を基に風上、風下、バックグラウンドの各3ヶ所に大気質測定局を設置した。各測定局では、SO₂、NO_x、風向風速の自動連続測定とSPM、降下ばいじんの試料採取を行った。測定機器及び試料採取機器は、別添1-3のT-2、E-2、T-2-11、12、E-2-11、12、T-4、E-4に示すとおりである。

自動連続測定の補完測定として、SO₂、NO_xの簡易測定試料採取を発電所周辺20km範囲で季節毎に30～40ヶ所で行った。試料採取機器は、別添1-3のT-3、E-3に示すとおりである。

大気質の主な試料採取方法と測定（分析）原理を表6.1.1に示す。SPM、降下ばいじん及び簡易測定の試料採取方法は別添6-1に詳述した。

表6.1.1 大気質試料採取方法及び測定原理

項目	試料採取方法	測定（分析）原理
SO ₂ （自動）	連続	紫外線蛍光法
NO _x （自動）	連続	化学発光法
風向・風速（自動）	連続	プロベラ式
SPM	ろ紙（2回/月）	ロ-ボリュ-ムIA7-サンブラ（重量法及び原子吸光法）
降下ばいじん	ろ紙（1回/月）	降下ばいじん（重量法及び原子吸光法）
SO ₂ とNO ₂ （簡易）	ろ紙（1回/季）	TEA吸収（インカマトグラフィ法）
NO _x （簡易）	ろ紙（1回/季）	TEA-PTIO吸収酸化法（吸光光度法）

なお、SPM、降下ばいじん、簡易測定の化学分析の方法、結果及び評価等については第9章を参照されたい。また、発電所で地上気象を観測した。大気測定局で観測した風向・風速は地上気象のデータと共に第5章に述べた。

6.2 大気環境基準

WHOのガイドラインを基礎としたイランの環境基準のうちSO₂、NO₂、粒子状物質に関するものを表6.2.1に示す。ppm表示は換算したものである。本報告書では表6.2.1の第1基準をベースとして測定結果を評価する。

表6.2.1 イランにおける大気環境基準 (#90)

汚染物質	評価時間	第1基準 ²⁾		第2基準 ³⁾	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ppm
SO ₂	年平均値	80	0.03	60	0.02
	24時間平均値 ¹⁾	365	0.14	260	0.1
	3時間平均値 ¹⁾	-	-	1,300	0.5
NO ₂	年平均値	100	0.05	100	0.05
浮遊粒子状物質	年平均値	75	-	60	-
	24時間平均値 ¹⁾	260	-	150	-

- 注 1)年1回を超えないこと
 2)健康を保護するために必要な基準
 3)福祉を保護するために必要な基準
 4)20℃あるいは25℃としての換算

6.3 大気質自動測定

6.3.1 結果

自動連続測定局の測定局名と発電所からの概算の距離を表6.3.1に示した。また、その位置図を図1.2.1、1.2.2に示した。

表6.3.1 自動測定局名及び発電所からの方向・距離

地点名	測定局	距離・方向
タブリーズ	バランルー	発電所の西 約 4km
	マヤンポンブ	" 北 約 8km
	カラマレク	" 北東約 16km
エスファハン	ゴールシャー	発電所の西 約 13km
	カベエ	" 北東約 15km
	シャリアティ	" 東 約 9km

測定は、1999年6月に開始した。測定開始前に、SO₂、NO_x、風向風速計の立ち上げ調整、データ処理調整及びメンテナンスの技術移転を行った。標準ガスによる校正は、技術習得を完全なものとするため手動のみによる方法とした。データ処理は1週間に1回のメンテナンス時に、測定計からコンピュータに入力され、そのデータをフロッピーディスクにおとしたものを月1回MOBに送付する。そのデータの流れ及びメンテナンスシートを別添6-2に示す。

1998年6月から1999年5月の自動測定結果は計算機に収録され、その集約を表6.3.2～6.3.3及び図6.3.1～6.3.2に示した。なお、エスファハンのカベエ局のNO_x計は1998年9月に故障し、現地代理店の調査の結果、アナログデジタル転換ユニットをメーカーより取り寄せたが、通関に時間がかかり後半のデータの取得はできなかった。

表6.3.2 測定結果集約表 (タブリーズ1998年6月～1999年5月)

	SO ₂ (ppm)			NO ₂ (ppm)	
	年平均値	日平均最高値	時間最高値	年平均値	時間最高値
バランルー	0.005	0.023	0.140	0.008	0.062
マヤンポンブ	0.003	0.037	0.230	0.007	0.068
カラマレク	0.012	0.051	0.194	0.020	0.111

表6.3.3 測定結果集約表 (エスファハン1998年6月～1999年5月)

	SO ₂ (ppm)			NO ₂ (ppm)	
	年平均値	日平均最高値	時間最高値	年平均値	時間最高値
ゴールシャー	0.011	0.032	0.129	0.024	0.198
カベエ	0.014	0.058	0.121	0.019*	0.073*
シャリアティ	0.012	0.047	0.221	0.038	0.266

*1998年6～9月の4ヶ月のデータ

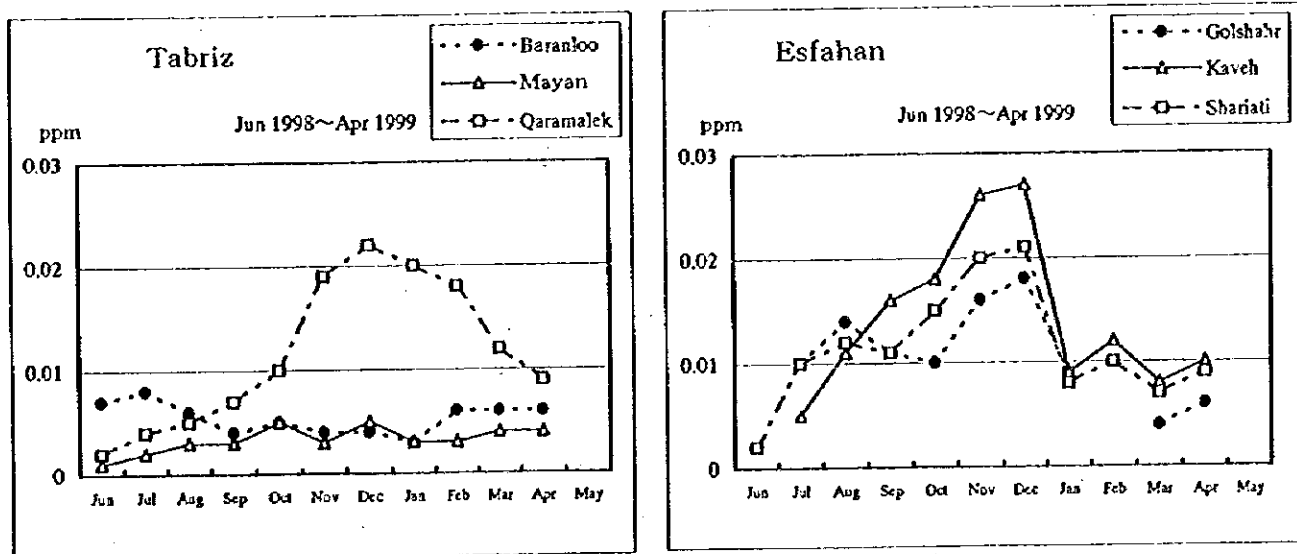


図6.3.1 SO₂濃度月変化図

地点別に比較すると、SO₂はタブリーズのバランルー、マヤンポンプは濃度が低く、カラマレクとエスファハンの3地点は同程度であった。NO₂はSO₂と同様の傾向であったが、エスファハンのシャリアティの濃度が若干高かった。

6.3.2 評価

SO₂の測定結果については、イランの基準である年平均値0.03ppm、日平均値0.14ppmに比べて十分低い値であった。NO₂の測定結果についても、イランの基準である年平均値0.05ppmに比べて低い値であった。

SO₂、NO_xの濃度階級別頻度図を図6.3.3~6.3.4に示した。SO₂はタブリーズ、エスファハンとも一番低い0~0.005ppmの階級がピークに濃度が高いほど頻度が少ない傾向で、タブリーズではこの傾向が極端に出ており濃度が低いことがわかる。NO_xはタブリーズでは一番低い0~0.005ppmの階級がピークで濃度が高いほど頻度が少ないが、エスファハンでは0.010~0.015ppmあるいは0.005~0.010ppmの階級をピークになだらかな山型となっている。これは、エスファハンの測定局が幹線道路に近いこと、車の影響を受けていると思われる。

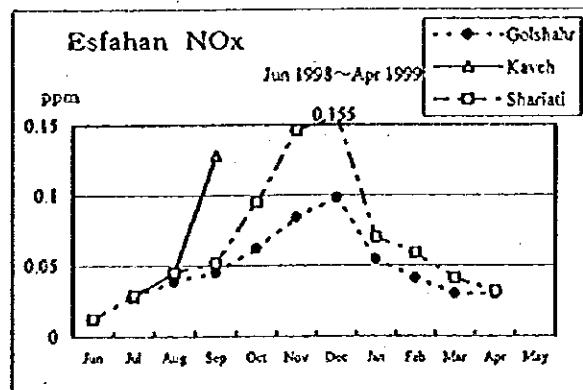
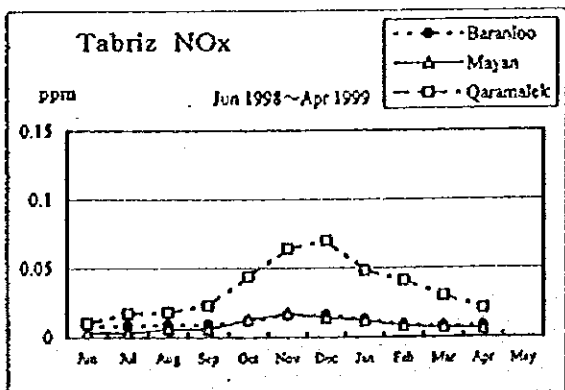
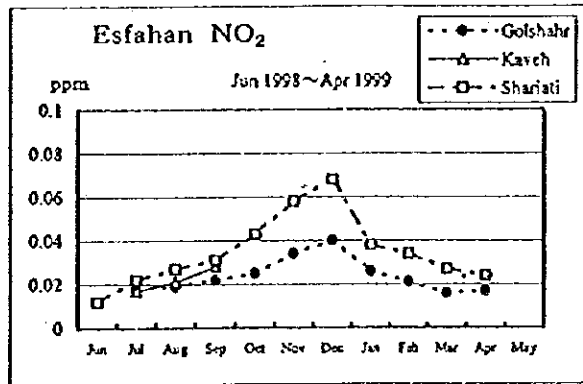
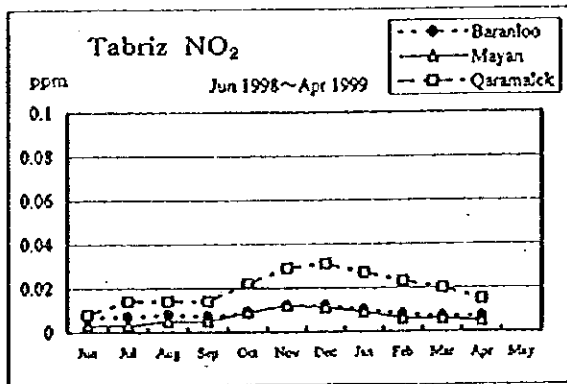
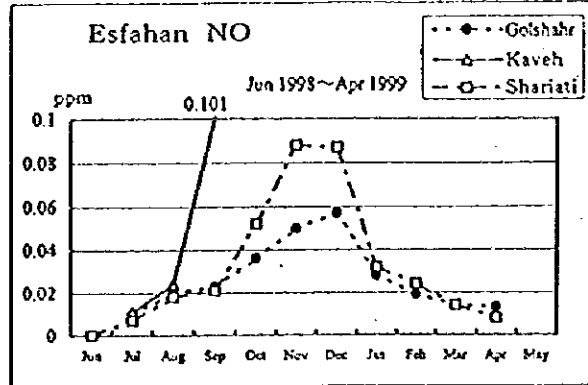
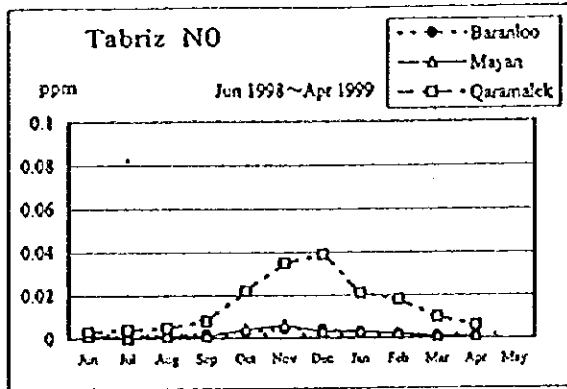


図6.3.2 NO_x濃度月変化図

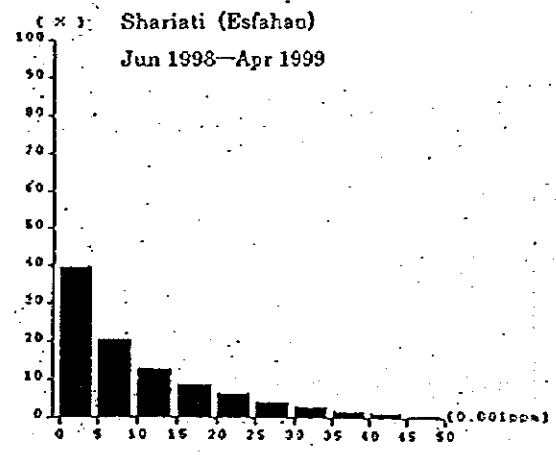
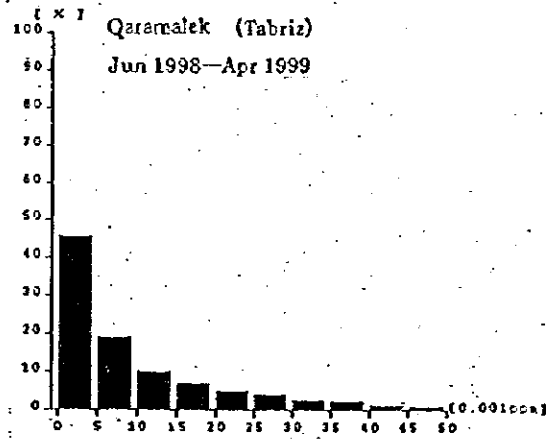
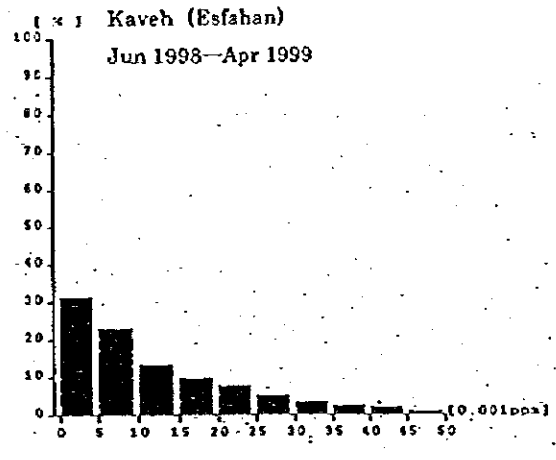
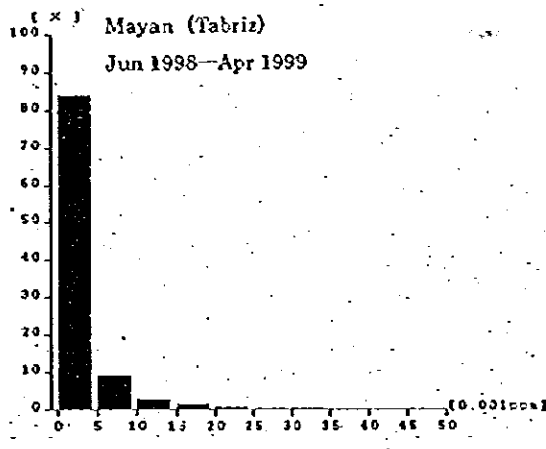
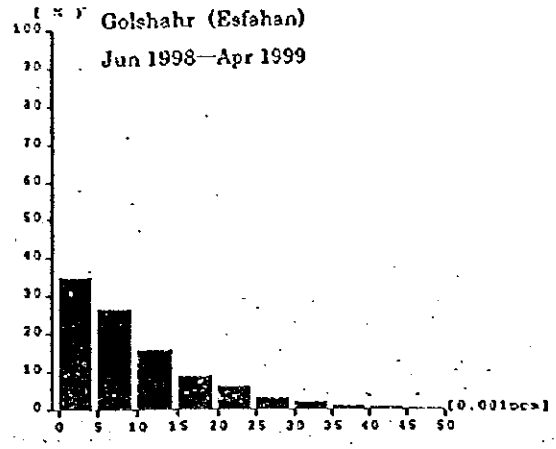
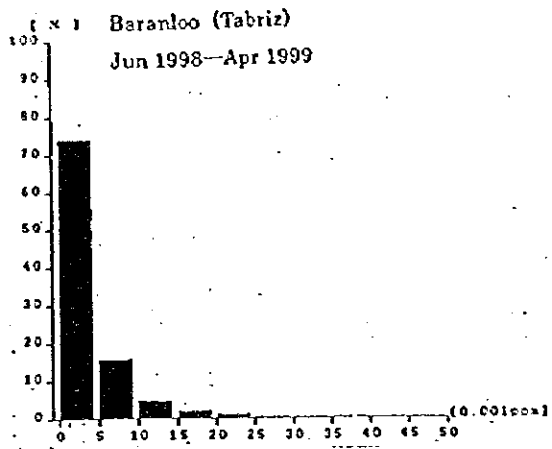


図6.3.3 SO₂濃度階級別頻度図

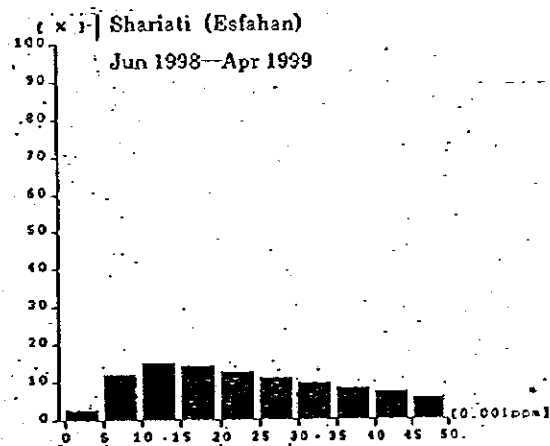
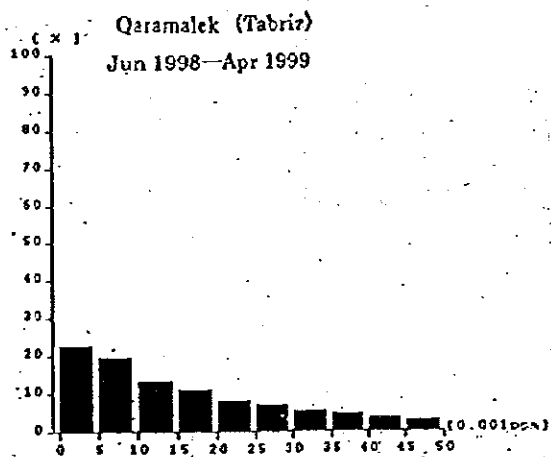
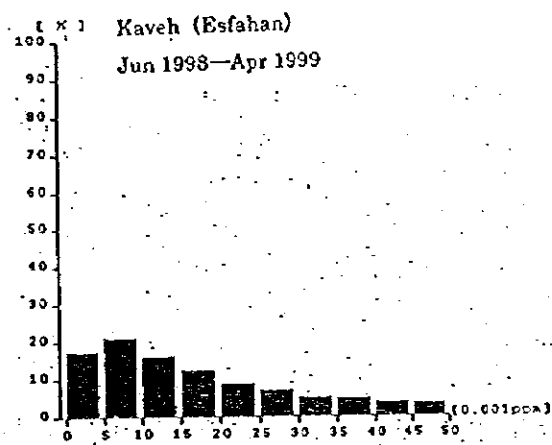
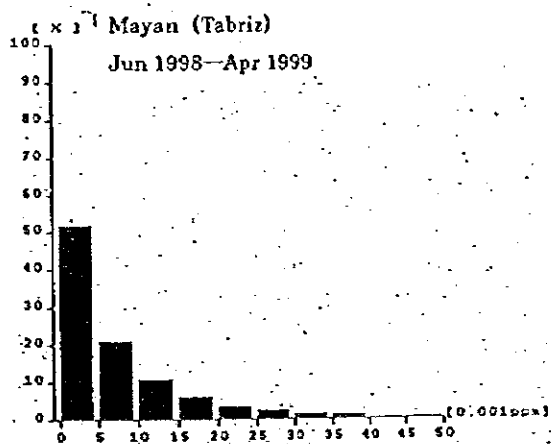
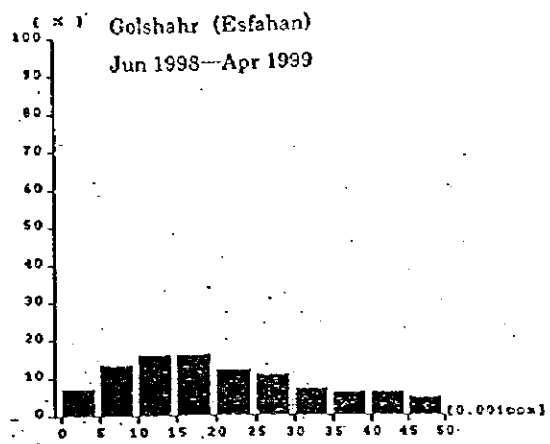
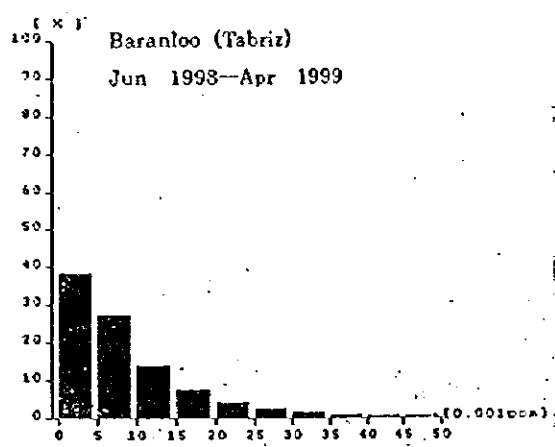


图6.3.4 NOx浓度階級別頻度图

6.4 SPM、降下ばいじん及びバッグサンプリング測定

6.4.1 SPM

SPMの測定は1998年1月から12月まで大気質自動測定局の屋根の上または近傍で行った。

測定結果を別添6-3にその集約を表6.4.1及び図6.4.1～6.4.2に示した。試料採取日数は月ごとに異なり9日～31日である。

表6.4.1 SPM濃度測定結果

地点名		月別 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
タブリーズ	バランルー	29.4～ 97.7	58.8
	マヤンポンブ	22.0～ 71.7	41.2
	カラマレク	23.7～ 72.6	44.4
エスファハン	ゴールシャー	27.7～ 156.9	69.1
	カベエ	22.0～ 150.0	65.8
	シャリアティ	17.3～ 128.8	69.6

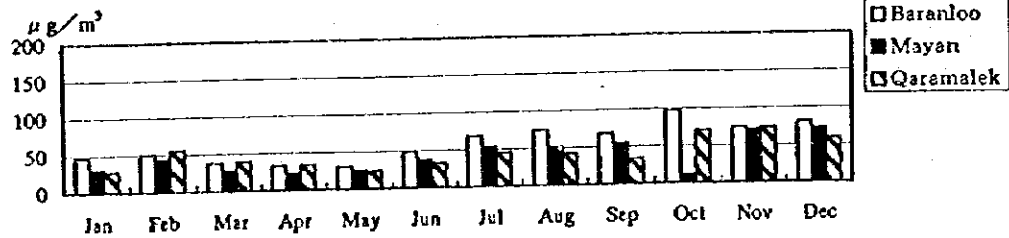


図6.4.1 SPM濃度月変化図 (タブリーズ)

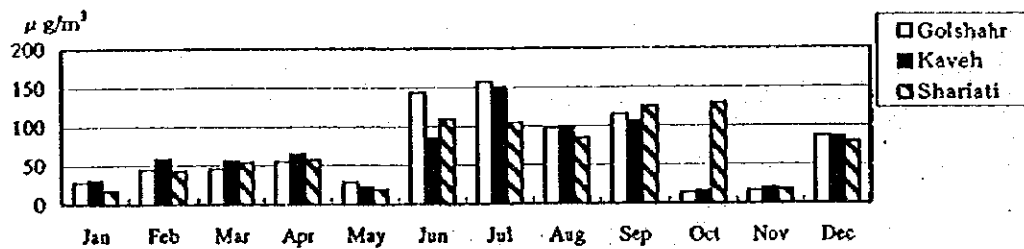


図6.4.2 SPM濃度月変化図 (エスファハン)

タブリーズでは、3カ所とも2月から6月に約20~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と少し低く、7月から12月に約40~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と多少高くなっている。エスファハンでは、1月から5月及び11月は約20~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低く、6月から9月は80~160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高くなっている。

測定結果は表6. 2. 1のイランの基準の年平均値75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回っている。24時間平均値260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とは直接比較できないが、月平均値は特にエスファハンの夏季に高く、基準の24時間平均値を超過していることは充分考えられる。これを確認するには連続自動SPM計が必要となる。別添6-4に示すように、同種の計測計は最短30分から24時間間隔まで自動的にSPMを連続測定可能で、イラン基準値への対応が可能である。

6. 4. 2 降下ばいじん

降下ばいじんの測定はSPMと同様に1998年2月から12月まで大気質自動測定局の屋根の上または近傍で行った。

降下ばいじんの測定結果を別添6-5、その集約を表6. 4. 2及び図6. 4. 3~6. 4. 4に示した。

表6. 4. 2 1998年2月~12月の降下ばいじん量測定結果集約表

地点名		月別 ($\text{t}/\text{km}^2/\text{月}$)	年平均 ($\text{t}/\text{km}^2/\text{月}$)
タブリーズ	バランルー	0. 764 ~ 8. 815	5. 4
	マヤンポンブ	0. 877 ~ 9. 987	5. 9
	カラマレク	2. 860 ~ 8. 831	5. 3
エスファハン	ゴールシャー	0. 670 ~ 7. 245	3. 6
	カベエ	0. 571 ~ 8. 372	3. 3
	シャリアティ	0. 851 ~ 6. 324	2. 7

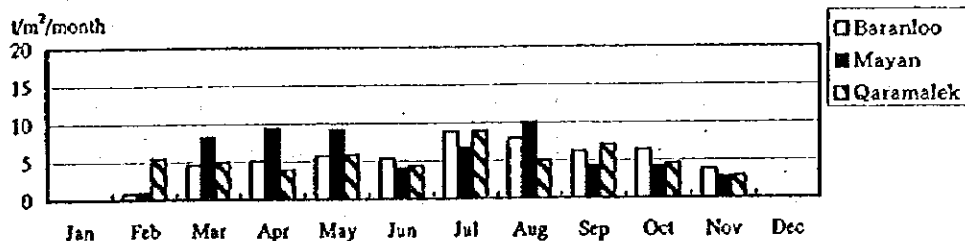


図6. 4. 3 降下ばいじん月変化図 (タブリーズ)

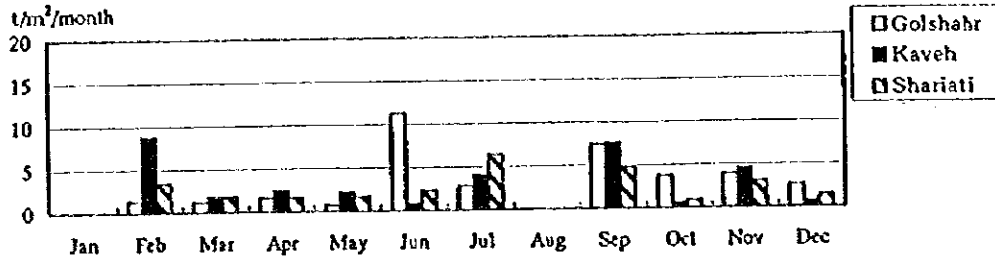


図6.4.4 降水ばいじん月変化図 (エスファハン)

全般的に見て、エスファハンでは平均2.3～3.6t/km²/月と、タブリーズの平均5.2～5.9 t/km²/月より少なくなっている。これは、日本の東京（住居地域）の7.54 t/km²/月（平成9年度）と比較して高くない値である。

6.4.3 クワエミエにおける大気測定

エスファハン発電所による大気汚染の影響があるとされているクワエミエにおいて、大気をミニポンプでテフロンバックに導入するバッグサンプリング法により大気の測定を行った。ここは発電所の裏山（高さ約300m）の発電所とは反対側の斜面の麓に位置している。

24時間毎正時にクワエミエで採取した試料を最寄りの自動測定局であるシャリアティ局で測定した。

発電所の地上気象局での風向風速、温度を含めた測定結果を別添6-6に示し、その要点を表6.4.3及び図6.4.5～6に示した。

表6.4.3 クワエミエにおける大気環境濃度集約表

測定日	SO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)
1998年6月30日～7月1日	0.0001 ～ 0.0006	0.0018 ～ 0.0178
1999年1月25日～1月26日	0.0011 ～ 0.0058	0.0154 ～ 0.0661

夏季の測定では、現場での目視で風向が明らかに逆であり、高濃度は出現しなかった。冬季の測定では夏季に比べて濃度は高かったが、図6.4.6冬季風配図から判るとおり風向は逆であり、今回のデータからでは発電所との関連は掴めなかった。

イランの大気環境基準との比較や発電所との関連を知るためには、自動測定器及び風向・風速計を移設して長期間データを取る必要がある。

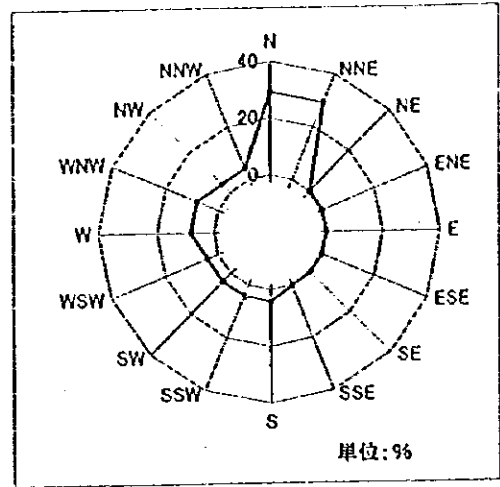
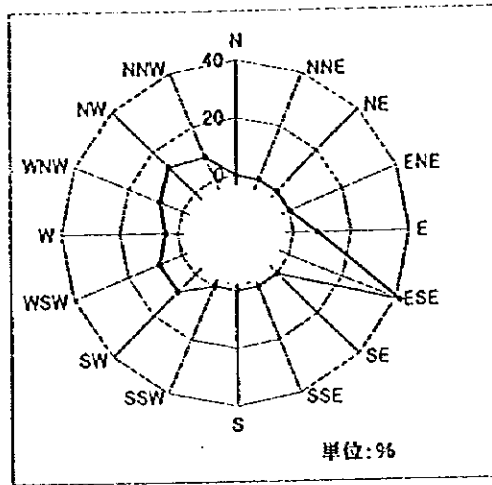


図 6.4.5 エスファハン発電所風配図 (夏季) 図 6.4.6 エスファハン発電所風配図 (冬季)

第7章 ばい煙の現状とその評価

7.1 ばい煙測定

7.1.1 はじめに

ばい煙測定には、別添1-3のItem T-1シリーズに示すSO₂、NO_x-酸素分析計および煤塵測定システムを使用した。各分析計及び測定機器別の原理、適用基準を表7.1.1に示す。測定時にはボイラー運転条件を可能な限り一定とした。なお、タブリーズ火力発電所2号機は故障、修理、点検等が続き1999年冬季に1回のみ測定であった。

表7.1.1 ばい煙測定方法

測定機器		原理	適用基準
SO ₂ ポータブル自動測定計		赤外線吸収方式	JIS B 7981-84
NO _x 及び 酸素ポータブル自動測定計		化学発光方式	JIS B 7982-88
		ジルコニアイオン伝導方式	JIS B 7983-94
煤塵 測定	煤塵濃度	等速吸引-円筒ろ紙法	JIS Z 8808-92
	水分量	塩化カルシウム吸湿管法	
	流速	特殊ピトー管法	
	温度	熱電対法	

7.1.2 測定実施及び技術移転

JICA調査団はタブリーズ及びエスファハン火力発電所の測定対象ボイラーの検討を行い、タブリーズ火力発電所1号機、2号機及びエスファハン火力発電所3号機、4号機、5号機をばい煙測定対象とし、各ボイラー煙道の測定孔取付位置、作業ステージの仕様、電源の準備等の詳細を決定した。なお、エスファハン火力発電所の1、2号機は能力が小さく適切な測定場所が無いと除外した。測定対象ボイラー別に測定孔取付位置、作業ステージの仕様、寸法、測定点の位置等を別添7-1及び7-2に示す。

測定の実施については、別添7-3に示す測定工程表を作成し、効率的測定を実施した。当初10時間程度要した測定が5時間程度に短縮でき、技術移転は予定通り終了した。今後は全てイラン側で十分な測定が出来るとJICA調査団は確信する。

7.2 測定結果と評価

7.2.1 はじめに

ばい煙測定結果の一覧表を発電所毎に別添7-4-1及び7-4-2に示した。また、個別の測定結果の詳細を別添7-4-3～-23に示した。特にタブリーズ発電所2号機については調査期間中・長期間の修理及び検査で1999年の冬季に1回測定のみである。

これら測定結果のまとめを各々の表に示し、次項以下で評価を行った。測定データの解析に当たっては、排ガス中の残存 O_2 濃度を統一し、 SO_2 、 NO_x 及び煤塵濃度は全て6% O_2 換算値で表現することとした。なお、測定データの表中、範囲で示している結果は2回以上測定したもので、単独数字のものは、当該測定回数が1回だけのものである。

評価に際しては、a)表7.2.1に示すDOEが提案している排出基準案(190)、b)類似のボイラーの排出値表7.2.2(195、196)、及びc)測定対象ボイラーの諸設計値表7.2.3(128他)を対象とした。

表7.2.1 DOEが提案している排出基準案(190)

項目	排出基準
SO_2	800 ppm
NO_x	350 ppm
CO	150 mg/m ³
PM	150 mg/m ³
Smoke	20 %

表7.2.2 類似のボイラーの排出参考値

燃焼重油あたりのばい煙排出量(195)		燃焼天然ガスあたりのばい煙排出量(196)	
項目	排出値	項目	排出値
NO_x	5.64 kg/m ³	NO_x	4,480 kg/10 ⁶ m ³
PM	(9.19(S)+3.22)×0.12 kg/m ³	PM	121.6 kg/10 ⁶ m ³

注) 表中の(S)は重油中の硫黄重量%である。

ボイラーが総合的に適正運転されているか判断するため、発電所から与えられた測定対象ボイラー個々の重油燃焼量から排ガス量を算出した(表7.2.3)。更にタブリーズ1、2号機の単位出力当たりの必要発熱量(表7.2.4)も同号機の測定結果の比較材料とした。

表7.2.3 測定対象ボイラーの推定排ガス量

発電所	号機	定格出力 (MW)	燃料使用量 (t/h)	排ガス量 ¹⁾ (m ³ N/hr)
タブリーズ 火力発電所	1	368	65	950,000
	2	368	65	950,000
エスファハン 火力発電所	3	120	30	440,000
	4	320	71	1030,000
	5	320	71	1030,000

注1) 重油燃料使用量あたり14.6m³N/kgとしてJICA調査団が推定。
事前調査団報告によればNeka発電所では12.6m³N/kgである。

表7.2.4 タブリーズ1,2号機の単位出力当たりの設計必要発熱量 (#28)

出力	368MW 100%	276 MW 75%	184 MW 50%	92 MW 25%
必要発熱量 (kcal/kw.hr)	1,852	1,850	1,908	2,232

以下に測定項目別に結果を表7.2.5~14にて検討、評価を述べる。これらの表については、次の事項を、共通のマークを付して注記とした。

- † : 各濃度は排ガス0.6%換算値で表示した。
- †† : タブリーズ2号機については、測定1回、排ガス水分及び煤塵測定未実施。
そこで、各種排出量の算出には、水分を10%と仮定した。
- ††† : 信頼性に欠ける測定結果は、評価から除外した。

7.2.2 燃料使用量と出力

表7.2.5にばい煙測定時の燃料使用量と出力及び単位出力当たりの必要熱量(重油)を示す。重油・天然ガス混焼については、重油発熱量10,000kcal/kg、天然ガス発熱量8,680kcal/m³として使用天然ガスを重油換算した。

単位出力当たりの必要熱量は350MW級設備の重油専焼時では両発電所とも同程度かつほぼ一定値を示している。また、エスファハン4号機の混焼時に明確に現れているように、混焼時は重油比が10%程度に小さくなると、必要熱量は少なく効率が良好になっている。エスファハン3号機(120MW級)では他の全測定対象設備(350MW級)より燃料消費量が多めで、混焼時は更に大きい値を示していた。

表7.2.4に示すタブリーズ1,2号機の単位出力当たりの設計必要発熱量によれば、出力368MW(100%)時に1852 kcal/kw.hrの設計値であるが、実際は2100~2300 kcal/kw.hrであり、これは設計値と言う92MW(25%)程度の運転時に相当することから、燃料消費量が正しいとすれば、極めて熱効率が悪い状態である。或いは、燃料消費量データそのものの数値の精度に問題あるようにも思える。

表7.2.5 燃料使用量と出力

発電所	号機	燃料使用量 (t/hr)	燃料	出力 (MW)	単位出力当たりの使用熱量 (kcal/kw.hr)
タブリーズ 火力発電所	1	65	重油専焼	290	2240
		79		345	2290
	2	73		345	2120
エスファハン 火力発電所	3	19.2	重油専焼	74	2600
		20		77	2600
		10.8+(9.4)	重油 ガス混焼	75	2690
		11+(9.5)		75	2730
		19.2+(14.8)		120	2830
		4	71	重油専焼	320
	70		320		2190
	36		160		2250
	23+(17.4)		重油	160	2530
	3.2+(28.4)		ガス混焼	160	1980
	5	39	重油専焼	170	2290
		3+(39.1)	重油	220	1910
		4+(40.8)	ガス混焼	220	2040

表中 () 内は天然ガスの重油換算量。

7.2.3 SO₂

表7.2.6にSO₂測定結果を示す。重油専焼ボイラーではタブリーズ2号機を除き、DOEが提案している排出基準値案を満足してない。

表7.2.6 SO₂測定結果

測定項目			SO ₂		
発電所	号機	燃料	濃度* (ppm)	排出量 (kg/hr)	単位出力当たりの量 (kg/MW.hr)
タブリーズ 火力発電所	1	重油専焼	1180~1370	1930~4530	6.7~13.1
	2**	重油専焼	618	2000	5.8
エスファハン 火力発電所	3	重油専焼	1300~1390	944~1280	12.3~17.3
		重油ガス混焼	625~664	362~794	4.8~6.6
	4	重油専焼	1350~1420	2580~2820	8.1~17.6
		重油ガス混焼	202~650	315~872	2.0~5.5
	5	重油専焼	1390	2540	14.9
		重油ガス混焼	85~93	77	0.4

SO₂排出量は、燃料使用量とその硫黄含有量とに比例する。表7.2.5に示した単位出力当たりの燃料使用量がほぼ等しく、同一燃料を使用していれば、単位出力当たりのSO₂排出量は

ほぼ同一であるべきである。タブリーズ火力発電所1号機と2号機ではSO₂濃度で2倍もの差があり、また、1号機のみでも1998年10月以降の測定結果とそれ以前のものとでは燃料使用量とSO₂濃度及び排出量に関連性が認められないことから、燃料品質が大きく変動しているか燃料使用量に不確定要因があることが伺える。タブリーズ2号機についてもDOE提案の排出基準案を満足しない場合も多分にあると考える。

エスファハン火力発電所では、重油専焼と重油天然ガス混焼とで差は明確で、天然ガス比が多いほどSO₂量は低くなることは当然の結果である。単位出力当たりの排出量を見ると、4号機で重油専焼の場合に変動幅が大きいことから、燃料使用量が正確であれば、タブリーズ同様、燃料品質の不安定さが伺える。

7.2.4 NO_x

表7.2.7に示したNO_x測定結果から、タブリーズ1号機以外、DOEが提案している排出基準案を満足している。また、エスファハンの4号機を除き、単位出力当たりの排出量は変動幅が広くなく、極めて上手に測定されている。別添7-2-4に示すエスファハン4号機では、DOE基準案を超過している結果が2ケースあるが、報告によればその当時計測器が不調であったとのことで異常値とした。天然ガス混焼運転では全ての設備でDOE基準案を満足している。

表7.2.7 NO_x測定結果

測定項目			NO _x		
発電所	号機	燃料	濃度* (ppm)	排出量 (kg/hr)	単位出力当たりの量 (kg/MW, hr)
タブリーズ 火力発電所	1	重油専焼	385~486	269~417	0.9~1.2
	2**	重油専焼	--***	--***	--***
エスファハン 火力発電所	3	重油専焼	163~215	60~70	0.8~0.9
		重油ガス混焼	132~298	67~167	0.9~1.4
	4	重油専焼	240~295	231~235	0.7~1.5
		重油ガス混焼	--***	--***	--***
	5	重油専焼	180	154	0.9
		重油ガス混焼	78~112	44	0.2

重油専焼運転のNO_x発生量を、表7.2.2に示した燃料別参考値と表7.2.8にて比較した。これらの数値は、比較的によく一致している。

天然ガスに転換後のNO_x濃度は、空気過剰の燃焼状態では350ppmに近い可能性もあるが、適正空気の維持や排ガス循環による低酸素燃焼の的確な運用対策で基準案を下回ることが出来る。

表7.2.8 NO_x測定結果と参考値との比較

発電所	号機	重油使用量 (t/hr)	NO _x 測定結果 (kg/hr)	参考値(表7.2.2) (kg/hr)
タブリーズ	1	65~79	269~417	386~469
	2**	73	-***	434
エスファハン	3	19.2~20	60~70	114~119
	4	36~71	231~235	214~422
	5	39	154	232

7.2.5 煤塵

表7.2.9に煤塵測定結果を示す。エスファハン火力発電所で濃度幅が広いのが目立つ。また、エスファハンでは燃料の天然ガス量が多いほど煤塵量は当然低かった。単位出力当たりの排出量をみると、重油天然ガス混焼のほうが重油専焼より低濃度かつ変動幅が小さく、SO₂と同様、天然ガス比が多いほど煤塵量は低下することは当然の結果である。

DOE提案の排出基準案150 mg/m³及び燃料別参考値(表7.2.2)については、同一ボイラーでも測定の都度異なっており、満足しているものとそうでないものがあった。全ボイラー、全測定の内、半分程度が排出基準案を満足している。

表7.2.9 煤塵測定結果

測定項目			煤塵		
発電所	号機	燃料	濃度* (mg/m ³ N)	排出量 (kg/hr)	単位出力当たりの量 (kg/MW. hr)
タブリーズ 火力発電所	1	重油専焼	90~210	54~258	0.2~0.7
	2**	重油専焼	-	-	-
エスファハン 火力発電所	3	重油専焼	130~260	33.9~84.5	0.44~1.14
		重油ガス混焼	120~470	48.4~50.9	0.65~0.42
	4	重油専焼	90~740	66.2~467	0.41~1.46
		重油ガス混焼	40~90	20.8~41.3	0.13~0.26
	5	重油専焼	140	87.0	0.51
		重油ガス混焼	50~60	14.8	0.07

表7.2.10に 煤塵測定結果とEPAの燃料別参考値との比較を示す。測定結果は、エスファハン4号機における重油専焼の測定結果を除き、参考値以下であった。

表7.2.10 燃料別参考値と煤塵測定結果

発電所	号機	重油使用量 (l/hr)	ガス使用量 (m ³ /hr)	煤塵測定結果 (kg/hr)	参考値(表7.2.2) (kg/hr)
タブリーズ	1	65~79	—	54~258	276~335
	2**	73	—	—	310
エスファハン	3	19.2~20	—	33.9~84.5	81.4~84.8
		11~19.2	11000~17100	48.4~50.9	47.9~83.5
	4	36~71	—	66.2~467	153~301
		3.2~23	26000~32700	20.8~41.3	17.5~99.9
	5	39	—	87.0	165
3~4		45000~47000	14.8	18.1~22.6	

7.2.6 残存酸素濃度

排ガス中の酸素濃度は、タブリーズ火力発電所1号機で11~13%で推移していたが、発電所からの報告によればエアヒータ熱交換器の修理後は3.5%となっていた。2号機でも修理後は4.6%とのことであった。エスファハン火力発電所での測定では7~16%であり、重油専焼時は7~11%とほぼ安定状態であるが、天然ガスとの混焼では9~17%とばらつき、燃焼調整の不具合が感じられた。また、エアヒータ熱交換器からの空気の漏れ込みもエスファハン発電所側でも承知していた。表7.2.11に測定結果を示す。

表7.2.11 残存酸素測定結果

発電所	号機	燃料	残存酸素濃度 (%)
タブリーズ	1	重油専焼	11.6~13.5 (3.5:修理後)
	2**	重油専焼	— (4.6:修理後)
エスファハン	3	重油専焼	8.5~11.0
		重油ガス混焼	9.3~16.9
	4	重油専焼	6.8~12.7
		重油ガス混焼	9.2~10.9
	5	重油専焼	8.1
重油ガス混焼		14.8~15.5	

ここで、重油の成分割合を仮定して発熱量、湿り排ガス量及び残存酸素濃度を計算した結果を表7.2.12に示す。本表は、基本となる空気比を1.1~1.5まで変化させた時、理論湿り排ガス量及び理論残存酸素濃度がどのように変化するかをみたものである。

表7.2.3の単位重油重量当たりの排ガス量推定値と表7.2.12の計算排ガス量は空気比1.3でほぼ一致している。表7.2.3に注記したNeka火力発電所の場合、単位重油重量当たりの排ガス量は12.6m³N/kgというので、空気比は理論量の1.25倍程度と推定できる。

エスファハン発電所の報告によれば、1999年1月末のオルザット酸素濃度測定データは、エアヒータ前で2～3%とあり、極めて良好な運転と見えるが、この数値は理論空気比で言うと1.15以下となり重油燃焼では通常運転されない範囲であり、オルザット測定誤差が大きい。

表7.2.12 組成仮定重油の燃焼計算結果

理論発熱量 (kcal/kg重油)	10,161				
空気比	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
湿り排ガス量 (m ³ N/kg重油)	11.0	12.1	14.4	15.5	16.5
残存酸素濃度 (%)	2.0	3.7	5.1	6.3	7.3

注： 燃料組成を炭素：85%、水素：11%、硫黄：3%、窒素：1% と仮定

7.2.7 排ガス量

表7.2.13に排ガス量測定結果を示す。重油専焼の場合において排ガス量に広いばらつきがあり、エアリーク及び燃焼調整不具合等が感じられた。ただし、全ユニットとも定格出力に近い出力ほど増率は低いことから、定格出力から低出力になるほど燃焼状態が不安定になるものと思われる。本状況は一般的現象である。

表7.2.13 排ガス量測定結果

測定項目			排ガス量		
発電所	号機	燃料	出力 (MW)	湿り排ガス量 (10 ⁶ m ³ N/hr)	単位出力当たりの湿り排ガス量 (m ³ N/MW.hr)
タブリーズ火力発電所	1	重油専焼	290～350	1.13～1.27	3230～4000
	2	重油専焼	345	1.15	3330
エスファハン火力発電所	3	重油専焼	74～77	0.37～0.42	4930～5540
		重油ガス混焼	75～120	0.40～0.60	5000～5330
	4	重油専焼	160～320	0.84～1.26	3940～5390
		重油ガス混焼	160	0.77～0.80	4810～5000
	5	重油専焼	170	0.82	4820
		重油ガス混焼	220	0.93	4230

表7.2.14に重油専焼の場合の、単位出力当たりの湿り排ガス量の推定値と実測値の比を示す。実測値は推定値の22から67%高い。

表7.2.14 単位出力当たりの湿り排ガス量の設計値と実測値の比

検討項目			単位出力当たりの湿り排ガス量 (m ³ N/MW. hr)		
発電所	号機	燃料	設計値(A)	実測値(B)	対A比(B/A)
タブリーズ 火力発電所	1	重油専焼	2580	3230~4000	1.25~1.55
	2**	重油専焼	2580	3330	1.29
エスファハン 火力発電所	3	重油専焼	3670	4930~5540	1.34~1.51
	4	重油専焼	3220	3940~5390	1.22~1.67
	5	重油専焼	3220	4820	1.50

7.2.8 総括

本調査で非常に興味深い測定・調査結果として、両発電所全てのボイラーについて、

- ①通常の液体燃料燃焼ボイラーに比べ、排ガス中の酸素濃度が非常に高濃度であった。なお、発電所側では、全てのボイラーでエアヒータ熱交換機に空気リークがあることを認識していた。
- ②排ガス量（湿り）も推定値に比べ22~67%高かった。
- ③出力と燃料使用量の関係、出力と排ガス量の関係及び燃料使用量とSO₂の関係等において本来あるべき相関性が低くかった。
- ④燃料使用量とSO₂の関係（単位出力当たりのSO₂発生量）について、相関性が認められない測定結果が多くあったことから燃料品質（含有硫黄分）にはかなりの変動があるか、燃料使用量のデータに疑問が残る。
- ⑤NO_x濃度は、重油専焼の方が天然ガスとの混焼より高めかつ変動幅が小さい。混焼運転では変動幅が大きい。
- ⑥混焼の場合、出力確保のための運転員の試行錯誤が伺える。
- ⑦運転員による現場でのオルザット酸素濃度分析に疑問が残るし、計器板指示の酸素濃度計は稼働していない。

以上より、ボイラー運転は、燃焼・効率・環境管理より出力重視、言い替えれば、どんな燃料でも目的出力が出るまで投入するという環境への配慮に欠けた運転である。

第8章 大気環境へのばい煙影響評価

8.1 ばい煙影響評価手法の概要

タブリーズ及びエスファハン発電所から排出される大気汚染物質による周辺環境への影響を、拡散シミュレーションモデルを用いて計算した。ここで用いた拡散シミュレーションモデルはブルーム式・パフ式に基礎を置くものであり、対象汚染物質は、SO₂、NO₂及びSPMとした。評価時間は年平均値、日平均値及び時間値であり、NO₂変換モデルには指数近似モデルを用いた。更に、特定の気象条件下における煙突近傍の建物影響や地形影響についても検討した。

現状における各発電所・各ユニットの発生源条件（汚染物質排出強度、排ガス量等）は、「7.1 ばい煙測定」の結果と、各発電所の設備諸元、燃料使用量、発電量データに基づいて設定した。また、対象火力発電所以外の発生源についても燃料使用量、交通量等のデータから推計した。それらの発生源は、その他大規模工場、中小工場、家庭及び自動車である。

拡散計算に必要な気象条件は、風向・風速・大気安定度であり、JICA調査団が測定した風向・風速・日射量・放射収支量に基づいて設定した。更に、上層気象観測結果を解析して、煙突高さの風速を予測する補正係数、混合層高さや温位傾度を求め、シミュレーションモデルで利用した。大気安定度別の拡散パラメータについては、地域内の発生源による汚染物質計算値と、実測濃度との比較に基づいて調整して、設定した。

8.1.1 発生源モデル

(1) 対象火力発電所

対象火力発電所の汚染物質排出強度（SO₂、NO_x及びPM（粒子状物質））、湿り排ガス量及び排ガス温度は、ばい煙測定データに基づいて設定した。汚染物質排出濃度、排ガス量、測定時燃料使用量・発電負荷の何れかが欠測または異常値と判断された測定日のデータを除外し、あるユニットについて複数回の測定値がある場合には、平均を取って、測定時燃料使用量当たりの原単位を求めた（表 8.1.1、表 8.1.2）。

タブリーズ、エスファハン両発電所について対象期間中（1998年6月から1999年5月）の月別燃料使用量・発電量データを入手し、1日の発電負荷パターンについてもヒアリングを行った（別添資料 8-1）。まず、汚染物質排出原単位と排ガス原単位に測定時燃料使用量と月別燃料使用量の比率を乗じて、月別汚染物質排出量と排ガス量を求め、1日当たりの量に換算し、更に、1日合計値をヒアリング

した発電負荷パターンとユニット規模の重みを付けて各時刻・ユニットに配分した。エスファハン発電所では、重油のみを燃料とする場合と重油+天然ガスを混焼する場合とがあることから、月別天然ガス使用量に基づいて、重油+天然ガス混焼時に使用した重油を計算し、残りの重油は専焼に用いた仮定とした。汚染物質排出量及び排ガス量原単位についても、重油専焼時と重油+天然ガス混焼時別に設定した。

表 8.1.1 タブリーズ発電所の原単位

項目	単位	UNIT-1
		重油
最大負荷	MW	350.0
発電量	MW	317.5
燃料使用量	t/h	72.0
湿り排ガス量	$10^3 \text{ m}^3 \text{ N/h}$	1,215.0
SO _x 排出強度	$\text{m}^3 \text{ N/h}$	777.00
NO _x 排出強度	$\text{m}^3 \text{ N/h}$	256.38
PM排出原強度	kg/h	94.60
排ガス温度	℃	193.5
煙突高さ	m	120.0
煙突口直径	m	5.0

表 8.1.2 エスファハン発電所の原単位

項目	単位	UNIT-3		UNIT-4		UNIT-5		
		重油のみ	重油+天然ガス	重油のみ	重油+天然ガス	重油のみ	重油+天然ガス	
最大負荷	MW	120.0	120	320	320	320	320	
発電量	MW	75.5	97.5	240	160	170	220	
燃料使用量	重油	t/h	19.60	15.10	53.50	13.10	39.00	3.00
	天然ガス	$\text{m}^3 \text{ N/h}$	-	14.05	-	26.35	-	45.00
湿り排ガス量	$10^3 \text{ m}^3 \text{ N/h}$	415.0	500	1050	785	820	930	
SO _x 排出強度	$\text{m}^3 \text{ N/h}$	389.20	202.30	945.00	207.73	889.00	26.95	
NO _x 排出強度	$\text{m}^3 \text{ N/h}$	48.45	87.17	173.84	364.97	115.41	32.63	
PM排出原強度	kg/h	59.2	49.7	266.6	31.1	87.0	14.8	
排ガス温度	℃	147.5	147.5	169.5	169.5	135.0	135.0	
煙突高さ	m	55.0	55.0	80.0	80.0	80.0	80.0	
煙突口直径	m	2.5	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0	

$$Q_D = Q_m \times C_M / C_m / D$$

$$H_D = H_m \times C_M / C_m / D$$

Q_D : 1日汚染物質排出量

H_D : 1日排ガス量

Q_m : 汚染物質排出原単位

C_M : 月別燃料使用量

C_m : 測定時燃料使用量

D : 日数

$$Q_i = Q_D \times U_i / \sum U_i \times L_i / \sum L_i$$

$$H_i = H_D \times U_i / \sum U_i \times L_i / \sum L_i$$

Qi : 時刻別汚染物質排出量 Hi : 時刻別排ガス量

Li : 時刻別負荷 Σ Li : 1日合計負荷

Ui : ユニット規模 Σ Ui : ユニット規模合計

(2) その他大規模工場

対象発電所以外の地域内に存在する大規模工場については、カウンターパートに依頼して、施設種類、燃料使用量、煙突諸元等のデータを収集した。汚染物質排出量は、日本の既存の排出係数等を使って推計し、排ガス量は、イランや日本における燃料組成データから燃焼計算によって推計した。

タブリーズ地域で推計した大規模工場は、タブリーズ精油所とソーフィアン・セメント工場である。対象発電所内のガスタービンについては、その規模が小さかったことから、煙道排ガス測定は行わなかったが、月別燃料使用量を入手できたので、既存の排出係数や燃焼計算によって、発生源諸元を推計してモデルに取り入れた。

エスファハン地域で推計した大規模工場は、モンタゼリ発電所、エスファハン精油所、エスファハン・ポリアクリルニトリル工場、エスファハン製鉄所、エスファハン・セメント工場、セバハン・セメント工場である。

別添資料 8-2 にその他大規模工場の発生源諸元を示す。

(3) 幹線自動車交通量

エスファハン地域については、エスファハン市役所から 7 地点の都市間交通量データ (8 車種別・18 合計交通量) を入手した。また、3 カ所の測定局に隣接して道路が存在した事から、隣接道路の交通量を短時間ではあるがカウントした。エスファハン市役所から入手した交通量についても、24 時間時刻別交通量ではなかったことから、大テヘラン圏における他の JICA 調査 (出典 81) の交通量パターンを適用した。その他、自動車からの汚染物質排出量推計に必要な排出係数、等価慣性重量、燃料仕様についても出典 81 に依った。それらのデータを別添資料 8-3 に示す。

タブリーズ地域については、カラマレク測定局の近傍に幹線道路が走っていたことから、その地点の交通量のみを簡易に観測し、発生源に取り入れた。

(4) 面的な発生源

東アゼルバイジャン州とエスファハン州の燃料種別・業種別燃料使用量を入手し、

これらを面源としてモデルに取り入れた。まず、合計燃料使用量から上述の対象発電所、大規模工場、幹線自動車交通量による燃料使用量を差し引き、残りの燃料を対象とした。各業種毎に、燃焼施設を想定し、日本における燃料種別・施設別排出係数を適用して汚染物質排出量を求めた。更に、タブリーズ、エスファハン両市街部とそれ以外の地域については、人口の重みを付けて排出量を配分し、最終的に、中小工場・事業場、家庭、自動車の3分類に取りまとめた。面源発生源の詳細については別添資料 8.4 に示す。

(5) 汚染物質排出量のまとめ

表 8.1.3 と表 8.1.4 に両地域の汚染物質排出量を示す。タブリーズ発電所は SO_x で 52.3%、 NO_x で 44.8%、PM で 8.2% を占め、エスファハン発電所は SO_x で 14.8%、 NO_x で 36.8%、PM で 5.3% を占めているが、今回調査のその他の発生源の把握の精度は低いことには留意する必要がある。

シミュレーションモデルでは、汚染物質排出量が多く、煙突位置が比較的高い場合には点源としてモデル化し、幹線道路等については線源、中小工場・事業場、家庭、細街路交通量等の様に地域内に面的に分布する発生源については面源として把握する。

表 8.1.3 タブリーズ地域の汚染物質排出量

発生源種類	形態	汚染物質排出量 (t/年)		
		SO_x	NO_x	PM
タブリーズ発電所	点源	30,019	7,855	1,279
その他大規模工場	点源	15,462	2,658	13,215
中小工場・事業場	面源	5,302	830	201
家庭	面源	4,097	1,334	218
自動車幹線	線源	45	117	20
自動車細街路	面源	2,439	4,735	587
合計		57,364	17,529	15,520

表 8.1.4 エスファハン地域の汚染物質排出量

発生源種類	形態	汚染物質排出量 (t/年)		
		SO_x	NO_x	PM
エスファハン発電所	点源	28,550	11,774	1,660
その他大規模工場	点源	157,969	12,517	28,114
中小工場・事業場	面源	1,995	748	189
家庭	面源	1,325	346	46
自動車幹線	線源	1,747	4,789	820
自動車細街路	面源	1,364	1,858	299
合計		192,950	32,032	31,128

8.1.2 年平均値モデル

以下に年平均値モデルの詳細を示す。

年平均値モデルでは、気象条件や発生源条件の変動パターンに基づいて、1年間をいくつかの期と時間帯に区分して期時別平均濃度を計算した後に、それらの濃度から年平均濃度を求める。

(1) 年平均値の計算方法

まず、期別・時間帯別・風向別・風速階級別・大気安定度別の各区分毎に、必要な気象データの出現頻度・平均値を求め、汚染物質排出量や湿り排ガス量についても、期別・時間帯別平均値を求める。但し、厳密には、湿り排ガス量は期間平均ではなく、稼働時平均である。次に、これらの平均値を使って、各区分毎に各発生源から各計算点への寄与濃度を計算する。最後に、次式によって年平均値が得られる。

$$C_y = \sum_t \left(\sum_s \left(\sum_{rm} F(Q_s, W_{rm}) \cdot f_{rm} \right) \cdot f_t \right)$$

C_y	:	年平均濃度
t	:	期別・時間帯別区分
s	:	発生源区分
rm	:	気象区分
$F()$:	拡散モデル
Q_s	:	発生源区分毎の汚染物質排出強度
W_{rm}	:	気象区分別気象要素平均値
f_{rm}	:	期別・時間帯別の各気象区分出現頻度
f_t	:	各期別・時間帯別区分の頻度

(2) 基本フレーム

1) 対象期間

シミュレーションの対象期間は、1998年6月～1999年5月の1年間である。

2) 期別時間帯別設定

表 8.1.5にタブリーズとエスファハン地域の期別設定を、表 8.1.6に時間帯別設定を示す。

表 8.1.5 期別設定

	夏	冬
タブリーズ	3~9月	10~2月
エスファハン	2~8月	9~1月

表 8.1.6 時間帯設定

	朝	昼	午後	夜	深夜
タブリーズ	6~10時	11~14時	15~19時	20~24時	1~5時
エスファハン	6~9時	10~13時	14~18時	19~1時	2~5時

3) 気象区分

風向： 16方位及び静穏(風速0.4m/s以下)

風速階級： 0.4m/s以下、0.9m/s以下、~1.9m/s以下、~2.9m/s以下、
~3.9m/s以下、~5.9m/s以下、~7.9m/s以下、8.0m/s超

大気安定度：A(強不安定), AB, B, BC, C, CD, dD(昼間の中立),
nD(夜間の中立), E, F, G(強安定)

ここで大気安定度はパスキル大気安定度分類表(原子力安全委員会気象指針)により風速・日射量・放射収支量の観測値に基づいて分類した。

表 8.1.7 パスキル大気安定度分類表(原子力安全委員会気象指針)

風速(U) m/s	昼間				夜間		
	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=>-0.02	-0.02>Q =>-0.04	-0.04>Q
U<2	A	A-B	B	dD	nD	G	G
2<=U<3	A-B	B	C	dD	nD	E	F
3<=U<4	B	B-C	C	dD	nD	nD	E
4<=U<5	C	C-D	dD	dD	nD	nD	nD
6<=	C	dD	dD	dD	nD	nD	nD

4) 対象発生源・対象汚染物質

対象発生源は 8.1.1 発生源モデルで述べた全ての発生源である。

対象汚染物質： SO₂、NO_x、NO₂及びSPM

通常、発生源から排出される汚染物質は、SO_x、NO_x及びDustあるいはPM(粒子状物質)と称され、それが原因で発生する環境濃度はSO₂、NO_xとNO₂及びSPM(浮遊粒子状物質)と呼ばれる。ここでNO_xはNOとNO₂の合計を意味し、NO_xの一部が変換されてNO₂濃度を生じる。

5) 気象ブロックと層区分

本シミュレーションモデルでは、発生源の位置の気象条件を用いて、拡散計算を行う。タブリーズ、エスファハン地域共に日射・放射収支量は各1局の気象局で、風向・風速については気象局+3 大気環境濃度測定局で観測した。そこで地域内を4つの気象ブロックに区分して、各4測定局を周辺の各ブロックの代表気象局とした。対象発電所については、発電所内の気象局が代表気象局となる。

鉛直方向についても煙突高さに応じて層を区分して、層の代表高さにおける風速補正を行って、各層の気象データとした。表 8.1.8に層区分を示す。

表 8.1.8 鉛直層区分

地域	層区分	煙突高さ	代表高さ
タブリーズ	1	10m以下	観測高さ(10m)
	2	40m以下	25m
	3	70m以下	53.5m
	4	70m超	120m
エスファハン	1	10m以下	観測高さ(10m)
	2	40m以下	25m
	3	70m以下	55m
	4	100m以下	80m
	5	100m超	200m

(3) 拡散式

年平均値モデルでは長期平均型のブルーム式（有風時）とパフ式（無風時）を用いた。発電所や大規模工場等の点源についての拡散式を以下に示す。線源、面源については、点源についての拡散式を、解析的もしくは数値的に積分して濃度を求めた。但し、線源、面源は地上に近いことからリッドは考慮していない。

有風時：長期平均型ブルーム式（リッド入り）

$$C(R, z) = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \frac{Q_p}{\pi R \sigma_z u}} \cdot F$$

$$F = \sum_{n=-3}^3 \left\{ \exp\left[-\frac{(z - He + 2nL)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + He + 2nL)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

C: 計算点における汚染物質濃度 (ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 等)

R: 発生源から計算点迄の距離 (m)

- z: 計算点の高さ (m).
- Q_p : 汚染物質排出強度 (m^3_N/sec , Kg/sec等).
- u: 風速 (m/sec).
- He: 有効煙突高
- σ_z : 鉛直方向拡散幅 (m)
- L: リッド高さ (m)

ここで鉛直方向拡散幅 σ_z は大気安定度と風下距離 X (m) の関数であり、野外観測結果をまとめたパスキル・ギフォード線図から作成した $\sigma_z = \gamma_z \cdot X^\alpha$ という近似式で表される。大気安定度別の γ 、及び α の値を別添資料8-5に示す。

静穏時：長期平均型パフ式（リッド入り）

$$C(R, z) = \frac{Q_p}{(2\pi)^{3/2} \gamma} \sum_{k=1}^2 \left[\frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He - z + 2nL)^2} + \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He + z + 2nL)^2} \right]$$

$$\alpha = \sigma_z / t = \sigma_y / t$$

$$\gamma = \sigma_z / t \quad (\text{大気安定度別 } \alpha, \gamma \text{ の値を別添資料 8-5 に示す})$$

t: 経過時間

ここでリッドとは、上層における逆転層によって大気が蓋（リッド）をされる現象を意味しており、リッド高さは上層気象観測結果から、期別時間帯別に設定した（表 8.1.9）。

表 8.1.9 期時別リッド高さ

地域		朝	昼	午後	夜	深夜
タブリーズ	夏	1,113.6	1,500.0	1,500.0	1,383.3	1,275.0
	冬	1,250.0	1,250.0	1,233.3	1,200.0	1,300.0
エスファハン	夏	1,338.9	1,438.9	1,486.1	1,447.2	1,377.8
	冬	316.7	1,500.0	1,500.0	1,266.7	1,066.7

単位:m

ここでリッドの定義は「上層逆転層の中、最下層のもの」として、逆転層の定義は、「上空へ行く程、0.1℃/50m 以上気温が増加する層で、層厚が 100m 以上のもの」とした。

(4) 有効煙突高推計式

拡散式では有効煙突高の位置から、ばい煙が拡散していくとする。各発生源形態別の有効煙突高の設定方法を示す。

表 8.1.10 有効煙突高の設定

地域	有風/ 無風	点源	線	面源		
		工場	自動車	工場	家庭	自動車
タブリーズ	有風時	CONCAWE	1.0	20.0	5.0	1.0
	無風時	Briggs	1.0	30.0	10.0	2.0
エスファハン	有風時	CONCAWE	1.0	20.0	5.0	1.0
	無風時	Briggs	1.0	30.0	10.0	2.0

単位：m

有風時：CONCAWE 式

$$H_e = H_0 + 0.175 \cdot Q_H^{1/2} \cdot u^{-3/4}$$

- H_e : 有効煙突高 (m)
- H_0 : 煙突実高 (m)
- Q_H : 排出熱量 (cal/s)
- u : 煙突頭頂部における風速 (m/s)

$$Q_H = \rho \cdot C_p \cdot Q \cdot (T_G - T_A)$$

- ρ : 0°Cにおける排ガス密度 ($1.293 \times 10^3 \text{ g/m}^3$)
- C_p : 定圧比熱 (0.24 cal/°K/g)
- Q : 湿り排ガス量 ($\text{m}^3_{\text{N}}/\text{s}$)
- T_G : 排ガス温度 (°C)
- T_A : 周辺大気温度(°C)
(タブリーズ 12.0°C、エスファハン 14.2°C)

無風時：無風時 Briggs 式

$$H_e = H_0 + 14 \cdot Q_H^{1/4} \cdot (d\theta/dz)^{-3/8}$$

- $d\theta/dz$: 温位傾度 (°C/m)

温位傾度についても、上層気象観測結果から期別昼夜別平均値を求めた。

表 8.1.11 期別昼夜別温位傾度

		昼	夜
タブリーズ	夏	0.0018	0.0023
	冬	0.0048	0.0053
エスファハン	夏	0.0021	0.0027
	冬	0.0037	0.0052

単位：℃/m

(5) NO₂変換モデル

NO₂変換モデルには指数近似モデルを用いた。

$$[\text{NO}_2] = [\text{NO}_x]_D \cdot \left[1 - \frac{\alpha}{1 + \beta} \{ \exp(-Kt) + \beta \} \right]$$

[NO₂]: NO₂濃度

[NO_x]_D: NO_x濃度

α: 排出源近傍での NO/NO_x比 (表 8.1.12)

β: 平衡状態を近似する定数 (排出源から遠方での NO/NO_x比)
(表 8.1.12)

t: 拡散時間 (sec)

$$K = F_K \cdot u \cdot [\text{O}_3]_B \cdot F_{O_3}$$

F_K: 実験定数 (s⁻¹) (表 8.1.12)

u: 風速 (m/s)

[O₃]_B: バックグラウンド O₃濃度 (ppm) (表 8.1.13)

F_{O₃}: O₃修正係数

(線源平行風時のみ、昼 0.55、夜 0.33)

表 8.1.12 NO₂指数近似モデルのパラメータ

	形態	α	β	F _K
タブリーズ	点源	0.83	0.30	0.0062
	面源	0.83	0.30	0.0620
	線源	0.80	0.30	0.2300
エスファハン	点源	0.83	0.30	0.0062
	面源	0.83	0.30	0.0620
	線源	0.80	0.30	0.2300

バックグラウンド O₃については、タブリーズ、エスファハン地域では測定値が無いことから、JICAの大テヘラン圏調査における測定値を用いた。

表 8.1.13 O₃バックグラウンド濃度

		朝	昼	午後	夜	深夜
タブリーズ	夏	12.6	47.9	56.0	19.1	13.6
	冬	14.1	32.7	25.2	12.0	12.5
エスファハン	夏	11.4	38.1	54.3	22.0	15.7
	冬	11.0	29.7	35.4	12.2	10.8

単位：ppb

(6) 煙突頭頂部の風速の推計

次式によって地上風速から煙突頭頂部の風速を推計した。

$$U_i = U_s \cdot \left(\frac{Z}{Z_s} \right)^p$$

U_i : 高さ Z (m)の煙突頭頂部での風速

U_s : 高さ Z_s (m)で測定された地上風の風速

p : 大気安定度別の風速補正係数 (表 8.1.14)

ここで風速補正係数は上層気象観測結果 (地上 10m と上層 100m) から大気安定度別に求めた。

表 8.1.14 上層風速補正係数

安定度区分	A-CD	dD-nD	E-G
タブリーズ	0.05	0.07	-0.10
エスファハン	0.18	0.20	0.35

(7) 大気安定度と拡散パラメータ

長期平均型ブルーム式中の σ_z やパフ式中の α 、 γ は拡散状態を表すパラメータであり、風下距離と大気安定度の関数である。また、大気安定度は観測した風速、日射量、放射収支量に基づいて決められる。しかし、ここで決定された安定度は地上付近におけるものであり、日射等の影響を受けにくい上空では、より大気安定度はより中立側になっている。このようなことから、観測データによって決定した大気安定度と、拡散計算で使用する拡散パラメータとの対応は、拡散モデルにおけるパラメータの一つと考えられている。

通常、この拡散パラメータは、汚染物質の環境濃度の実測値と拡散計算の予測値との整合性を取る様に調整する。但し、その際に、気象現象等から考えて、各パラメータ間に矛盾が生じてはならない。タブリーズ、エスファハン両地域における期別・時間帯別・鉛直層別・大気安定度別拡散パラメータを表 8.1.15と表 8.1.16に示す。

また、線源、面源については道路内や建物群から汚染物質が排出される時点で、既にある程度、拡散した状態にあると考えられ、その効果を初期拡散幅 (σ_{z0}) として取り入れた (表 8.1.17)。

表 8.1.15 タブリーズ地域の拡散パラメータ設定

	鉛直層	大気安定度区分				
		A-B	BC-CD	dD	nD	E-G
夏・朝	1(<=10m)	AB	C	D	D	F
	2(10-40m)	B	CD	D	D	E
	3(40-70m)	B	CD	D	D	E
	4(100m<)	C	D	D	D	D
夏・昼	1	AB	C	D	-	-
	2,3	B	CD	D	-	-
	4	C	CD	D	-	-
夏・午後	1	B	C	D	D	F
	2,3	BC	CD	D	D	E
	4	CD	D	D	D	D
夏・夜	1	-	-	-	D	F
	2,3	-	-	-	D	E
	4	-	-	-	D	DE
夏・深夜	1	-	-	-	D	FG
	2,3	-	-	-	D	EF
	4	-	-	-	D	DE
冬・朝	1	B	C	D	D	FG
	2,3	C	CD	D	D	F
	4	CD	D	D	D	E
冬・昼	1	AB	C	D	-	-
	2,3	B	CD	D	-	-
	4	C	CD	D	-	-
冬・午後	1	B	C	D	D	FG
	2,3	BC	CD	D	D	F
	4	CD	CD	D	D	E
冬・夜	1	-	-	-	D	F
	2,3	-	-	-	D	EF
	4	-	-	-	D	DE
冬・深夜	1	-	-	-	D	F
	2,3	-	-	-	D	EF
	4	-	-	-	D	DE

表 8.1.16 エスファハン地域の拡散パラメータ設定

	鉛直層	大気安定度区分				
		A-B	BC-CD	dD	nD	E-G
夏・朝	1(<=10m)	AB	C	D	D	FG
	2(10-40m)	B	CD	D	D	F
	3(40-70m)	B	CD	D	D	F
	4(<=100m)	C	D	D	D	E
	5(100m<)	C	D	D	D	E
夏・昼	1	A	C	D	-	-
	2,3	AB	CD	D	-	-
	4,5	BC	CD	D	-	-
夏・午後	1	AB	C	D	D	FG
	2,3	B	CD	D	D	F
	4,5	C	CD	D	D	E
夏・夜	1	-	-	-	D	FG
	2,3	-	-	-	D	F
	4,5	-	-	-	D	E
夏・深夜	1	-	-	-	D	G
	2,3	-	-	-	D	FG
	4,5	-	-	-	D	BF
冬・朝	1	AB	C	D	D	FG
	2,3	B	CD	D	D	F
	4,5	C	D	D	D	E
冬・昼	1	A	C	D	-	-
	2,3	AB	CD	D	-	-
	4,5	BC	CD	D	-	-
冬・午後	1	AB	C	D	D	FG
	2,3	B	CD	D	D	F
	4,5	C	CD	D	D	E
冬・夜	1	-	-	-	D	FG
	2,3	-	-	-	D	F
	4,5	-	-	-	D	E
冬・深夜	1	-	-	-	D	G
	2,3	-	-	-	D	FG
	4,5	-	-	-	D	BF

表 8.1.17 初期拡散幅

地域	線	面		
	自動車	工場	家庭	自動車
タブリーズ	5.0	20.0	5.0	1.0
エスファハン	5.0	20.0	5.0	1.0

単位：m

(8) 計算点

汚染物質濃度を計算する地点は、大気環境濃度を測定した測定局と、対象地域内

の 1km×1km の格子の中央点とした。タブリーズ地域の計算対象範囲は東西方向に 65km、南北方向に 82km であり、格子点数は 5330、エスファハン地域の範囲は東西 69km、南北 80km、格子点数 5520 になる。また、各発生源について 30km を計算限界とした。

測定局における計算点高さは吸入孔高さ、格子中央点については 1.5m とした。

8.1.3 1時間濃度・日平均濃度計算

対象火力発電所について、各時間毎の発生源条件及び気象条件を用いて、汚染物質の 1 時間濃度及び日平均濃度を計算した。各時間毎の発生源諸元の作成方法や拡散計算式等の拡散計算方法は年平均値計算と同様である。

あまりに少ない時間値から 1 日平均濃度を計算することは、日平均値としての代表性に問題があると考えられるので、1 日当たり 20 時間以上の計算濃度があった場合のみ 1 日平均濃度を計算した。

8.1.4 特殊気象条件下の拡散モデル

日本におけるこれまでの EIA では、火力煙突近傍の建物影響や地形影響については、風洞実験によって、その影響を評価してきたという経緯もあり、実際の EIA で使用されたシミュレーションモデルは少ないか、ほとんど無い。そのような状況ではあるが、ここでは Gifford モデル、Huber-Synder モデル、地形影響モデルによる時間値濃度の風下プロファイル計算を行い、通常のブルーム式 (σ_y 入り) の結果と比較した。

(1) 発生源条件

最大濃度が生じる可能性のある条件ということで、各ユニット別・汚染物質別に最大負荷時の排ガス量・汚染物質排出量を想定した。

表 8.1.18 タブリーズ発電所の最大負荷時発生源諸元

諸元	単位	Unit1+2	ガスタービン
		重油	天然ガス
最大負荷	MW	700.0	32.0
湿り排ガス量	$10^3 \text{m}^3/\text{h}$	2678.74	342.76
SO _x 排出強度	m^3/h	1713.1	0.0
NO _x 排出強度	m^3/h	565.2	12.3
PM排出強度	kg/h	208.6	0.0
排ガス温度	℃	193.5	500.0
煙突高さ	m	120.0	12.0
煙突口直径	m	7.07	2.4

表 8.1.19 エスファハン発電所の最大負荷時発生源諸元

諸元	単位	UNIT-3		UNIT-4		UNIT-5	
		重油のみ	重油+天然ガス	重油のみ	重油+天然ガス	重油のみ	重油+天然ガス
最大負荷	MW	120.0	120.0	320.0	320.0	320.0	320.0
湿り排ガス量	10 ³ m ³ /h	659.603	615.385	1400.000	1570.000	1543.529	1352.727
SO _x 排出強度	m ³ /h	618.60	248.98	1260.00	415.45	1673.41	39.20
NO _x 排出強度	m ³ /h	77.01	107.29	231.79	729.94	217.24	47.46
PM排出強度	kg/h	94.09	61.11	355.47	62.10	163.76	21.53
排ガス温度	℃	147.5	147.5	169.5	169.5	135.0	135.0
煙突高さ	m	55	55	80	80	80	80
煙突口直径	m	2.5	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0

(2) 短期型ブルーム式

短期型ブルーム式では風下軸に対して水平方向の濃度分布を σ_y （水平方向拡散幅）によって表しており、y方向の中心軸上（y=0）が最も濃度が高い。

$$C(x, y, z) = \frac{Q_p}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot F$$

$$F = \left\{ \exp\left[-\frac{(z - He)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + He)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

x: 風下方向の発生源から計算点迄の距離 (m)

y: 風下方向の中心軸から計算点迄の距離 (m)

σ_y : 水平方向拡散幅 (m)

※その他の変数については長期平均型ブルーム式に同じ

この拡散式とパスキル・ギフォード線図の近似式（別添資料 8-5）とから風下方向ブルーム軸上（y=0）の地上濃度（z=0）プロファイルを計算できる。但し、パスキル・ギフォード線図の元になった野外観測実験で求めた拡散幅は3分間値であり、1時間値に相当する水平拡散幅 σ_{y60} は、時間希釈係数をCとして、次式によって求められる。

$$\sigma_{y60} = C \cdot \sigma_{y3}$$

$$C = \left(\frac{60}{3}\right)^{1/3}$$

(3) Gifford モデル

このモデルは「ごみ焼却施設環境アセスメントマニュアル」に掲載されていることから清掃工場のアセスメントで使用されることが多い。基本は(2)のブルーム式であるが、以下の様な条件設定を行う。

1) 風速

風速を排ガスの吐出速度の 1/2 に設定する。

2) 有効煙突高

突風に巻き込まれて、有効煙突高が煙突実高まで下がるとする。つまり、排煙は全く上昇しないという仮定である。

3) 拡散幅

近傍の建物の断面積の分だけ、ばい煙が初期拡散するとして、拡散幅を次式で修正する。

$$\Sigma y = \left(\sigma_y + \frac{CA}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$\Sigma z = \left(\sigma_z + \frac{CA}{\pi} \right)^{1/2}$$

σ_y, σ_z : パスキル・ギフォード線図の拡散幅(m)

$\Sigma y, \Sigma z$: 修正拡散幅(m)

A: 建物の面積(m²)

C: 形状係数

ここで形状係数は 0.5~2 の値を取るが、通常は安全側を見て、0.5 を使う。

(4) Huber-Synder モデル

「窒素酸化物総量規制マニュアル (NO_x マニュアル)」(資料 87) に一部が掲載されているが、日本の火力発電所の EIA で使用されたことは、ほとんど無い。このモデルも拡散計算式は(2)のブルーム式であり、有効煙突高や拡散幅を修正する。

1) 有効煙突高

有効煙突高から煙突自身によるダウンウォッシュと周辺建物によるダウンウォッシュの低下分を差し引いて、有効煙突高を修正する。

$$h = h_0 + \Delta h - \Delta h' - \Delta h''$$

h: 修正後有効煙突高(m)

h₀: 煙突実高(m)

Δ h: CONCAWE 式による排ガス上昇分(m)

Δ h': 煙突ダウンウォッシュによる低下分(m)

Δ h'': 建物ダウンウォッシュによる低下分(m)

a. 煙突ダウンウォッシュ

有効煙突高の煙突によるダウンウォッシュの低下分(Δ h')を次式で計算する。

V_s ≥ 1.5 u の時、Δ h' = 0

V_s < 1.5 u の時、Δ h' = 2 × (1.5 - V_s / u) × D

- Vs: 排ガス吐出速度(m/s)
 u: 煙突頭頂部風速(m/s)
 D: 煙突口径(m)

b. 建物ダウンウォッシュ

周辺建物によるダウンウォッシュの低下分($\Delta h''$)を次式で計算する。煙突周辺の建物による影響については、煙突実高が周囲の最も高い建物高さの 2.5 倍以上であれば、考慮しなくてもよいとされることが多い。また、建物による乱れが支配的な領域は風下距離が建物高度の 10 倍程度までと言われている。

$h_0/h_b \leq 1.2$ の時、

$$\Delta h'' = 0.333 \Delta h$$

$1.2 < h_0/h_b \leq 2.5$ の時、

$$\Delta h'' = 0.333 - \{(h_0/h_b - 1.2) (0.2563 \Delta h)\}$$

$h_0/h_b > 2.5$ の時、

$$\Delta h'' = 0$$

h_b : 建物高さ(m)

2) 拡散幅

a. 鉛直方向拡散幅

鉛直方向拡散幅 (σ_z) は次式で計算する。

$X < 3L_b$ の時、

$$\sigma_z = 0.7L_b$$

$3L_b \leq X \leq 10L_b$ の時、

$$\sigma_z = 0.7L_b + 0.067 (X - 3L_b)$$

$X > 10L_b$ の時、

$$\sigma_z = \gamma_z (X + X_0)^{\alpha_z}$$

ここで

X: 風下距離(m)

X_0 : 仮想煙源迄の距離(m) (パスキル・ギフォード線図で $\sigma_z = 1.2L_b$

となる風下距離と $10L_b$ との差)

L_b : 建物高さ と 幅の小さい方(m)

γ_z, α_z : 鉛直方向のパスキル・ギフォード線図の近似式の係数

b. 水平方向拡散幅

水平方向拡散幅 (σ_y) は次式で計算する。

$h_0/h_b > 1.2$ の時、

$$\sigma_y = \gamma_y \cdot X^{\alpha_y}$$

$h_0/h_b \leq 1.2$ の時、

$X < 3L_b$ の時、

$$\sigma_y = 0.35L_b'$$

$3L_b \leq X \leq 10L_b$

$$\sigma_y = 0.35L_b' + 0.067 (X - 3L_b)$$

$X > 10L_b$

$$\sigma_y = \gamma_y (X + X_0')^{\alpha_y}$$

ここで

X_0' : 仮想煙源迄の距離(m) (パスキル・ギフォード線図で
 $\sigma_y = 0.35L_b' + 0.5L_b$ となる風下距離と $10L_b$ との差)

L_b' : $h_w < 10h_b$ ならば h_w 、 $h_w \geq 10h_b$ ならば h_b

γ_y, α_y : 水平方向のパスキル・ギフォード線図の近似式の係数

(5) 地形影響モデル

地形影響については、有効煙突高と計算地点の相対地面高さの関係及び大気安定度によって有効煙突高を修正する方法を用いた。

1) 地形の分類

有効煙突高と計算地点の相対地面高さとの関係によって地形を、複雑地形、単純地形及び中間地形に分類する。

$H_i \leq H_0$ の時、 単純地形

$H_0 < H_i < H_c$ の時、 中間地形

$H_c \leq H_i$ の時、 複雑地形

2) 単純地形

有効煙突高 H_e を次式によって修正する。

$$H_c' = H_e - H_c$$

H_c は H_0 と H_1 の小さい方の値

$$H_1 = Z_r - Z_s$$

H_i : 煙突位置に対する計算地点の相対地面高さ(m)

Z_r : 計算地点の地面高さ(m)

Z_s : 煙突位置の地面高さ(m)

3) 複雑地形

a. 有効煙突高

有効煙突高を次式によって修正する。

H_c' は、 $H_e - (1 - F_1) \times H_1$ と $H_e \times F_1$ の大きい方の値 (但し、10m 以上)

F_1 : 修正係数 (大気安定度 A~D: 0.5, E~G: 1.0)

b.濃度希釈係数

次式によって求まる希釈係数 C を掛けて、計算濃度を修正する。

大気安定度が A~D の時、 C=1.0

大気安定度が E~G の時、

$\Delta H_r \leq 0m$ ならば、 C=1.0

$0 < \Delta H_r < 400m$ ならば、 $C = (400 - \Delta H_r) / 400$

$400m \leq \Delta H_r$ ならば、 C=0.0

$$\Delta H_r = H_t + H_r - H_e$$

H_t : 計算地点の地上高さ (測定局高さ) (m)

4) 中間地形

複雑地形と単純地形の両方について濃度を計算して、高い方を採る。

8.2 年平均濃度

前述 (8.1.2) のシミュレーションモデルを用いて、汚染物質の年平均濃度を予測した。まず、全ての発生源を入れて実測値との整合を取りながら拡散パラメータを調整し、そのパラメータを使って対象火力発電所の寄与を計算した。

(1) モデルの整合性

8.1.1 で述べた様に可能な限りデータを収集して汚染物質発生源の把握に務めたが、総じてモデルの整合性は充分ではなかった。その主な原因は、発生源情報の不備であり、11.9 で「モデルの精度向上」についての提言を行った。

タブリーズとエスファハンにおける各汚染物質濃度の計算値と実測値の散布図を別添資料 8-6 に、全発生源による年平均濃度分布図を別添資料 8-7 に示す。

(2) 年平均濃度分布

表 8.2.1 にタブリーズ・エスファハン両発電所による SO₂、NO₂ 及び SPM の地域内最高着地濃度と環境基準との比較を示す。いずれの地域・汚染物質でも発電所の寄与濃度は環境基準値よりもかなり低い濃度である。最も寄与の高いのはエスファハンの SO₂ であり、発電所単独寄与で環境基準値の 1/6 程度を占める。

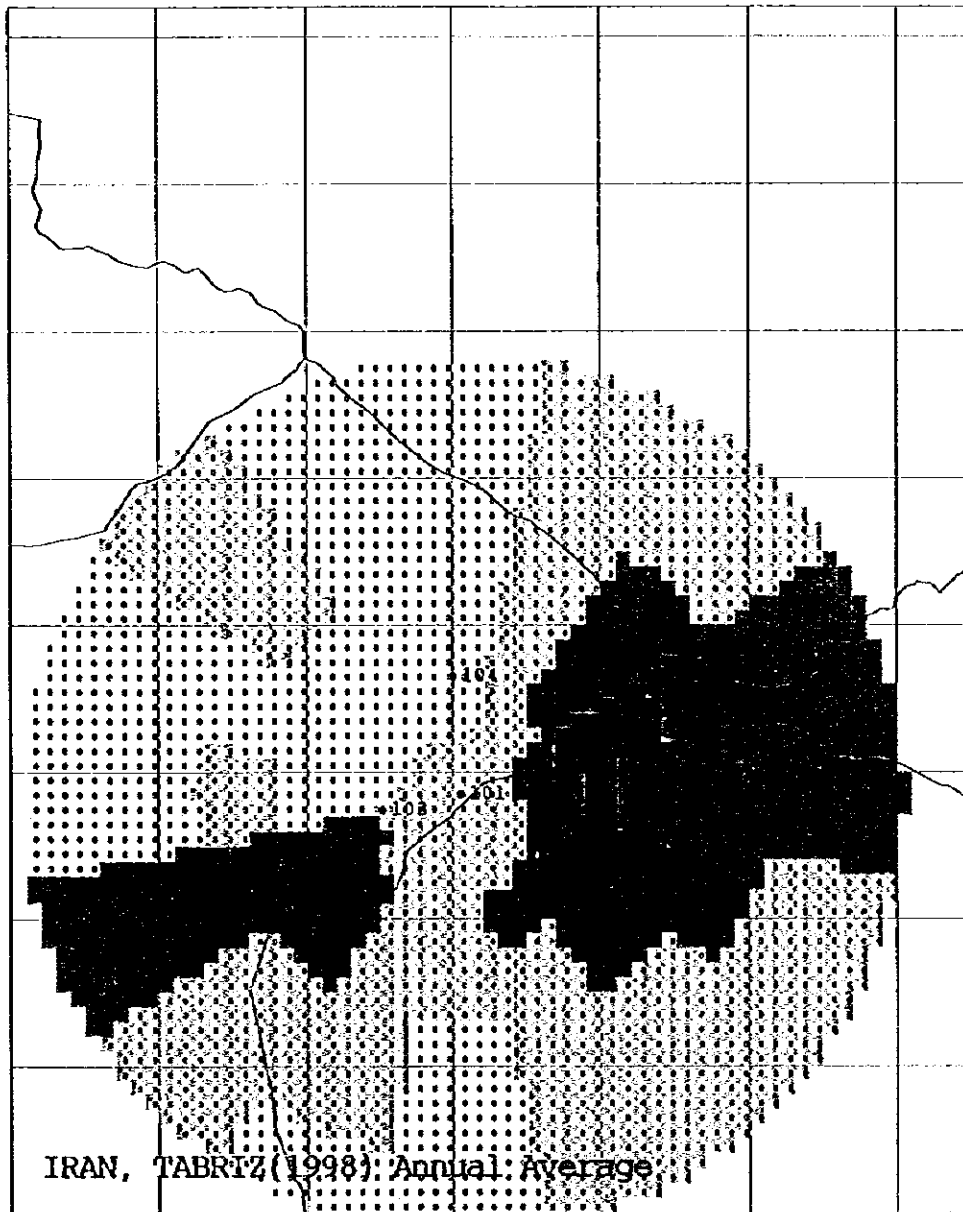
表 8.2.1 地域内最高年平均濃度と環境基準の比較

汚染物質	タブリッツ	エスファハン	環境基準 1級
	域内最高値	域内最高値	
SO ₂ (ppb)	1.0	4.9	30
NO ₂ (ppb)	0.3	1.3	50
SPM($\mu g/m^3$)	0.1	0.8	75

両地域を比較すると、汚染物質の種類にもよるが、タブリーズ発電所とエスファハン発電所の排出量は同じ様なレベルであり、域内最高値は全てエスファハンの方が高くなっている。この原因は、エスファハン地域の方が風速が弱く、不安定側（A～B）の大気安定度出現頻度が高いといった気象条件である。

図 8.2.1～図 8.2.3にタブリーズ地域の年平均濃度分布を示す。各汚染物質共、最高着地濃度は発電所の東北東約 10km の地点で現れており、タブリーズの市街地に迄、影響が及んでいる様子が分かる。その程度は、SO₂で 0.8～1.0ppb、NO₂で 0.2～0.3ppb、SPMで 0.1～0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。

図 8.2.4～図 8.2.6にエスファハン地域の年平均濃度分布を示す。各汚染物質共、最高着地濃度は発電所の北東約 4km の地点で現れており、エスファハンの市街地、特に西側に影響が及んでいる。その程度は、SO₂で 2.0～3.0ppb、NO₂で 0.7～1.0ppb、SPMで 0.3～0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。



LEGEND

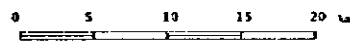
■	.90 < x <= 1.00 (ppb)	38 grids
■	.80 < x <= .90 (ppb)	112 grids
■	.60 < x <= .80 (ppb)	281 grids
■	.40 < x <= .60 (ppb)	336 grids
■	.20 < x <= .40 (ppb)	1167 grids
□	.00 < x <= .20 (ppb)	868 grids

Monitoring Stations

- 103 Baranloo
- 104 Mayan
- 105 Qeranalek

Power Plant

- 101 Tabriz Power Plant



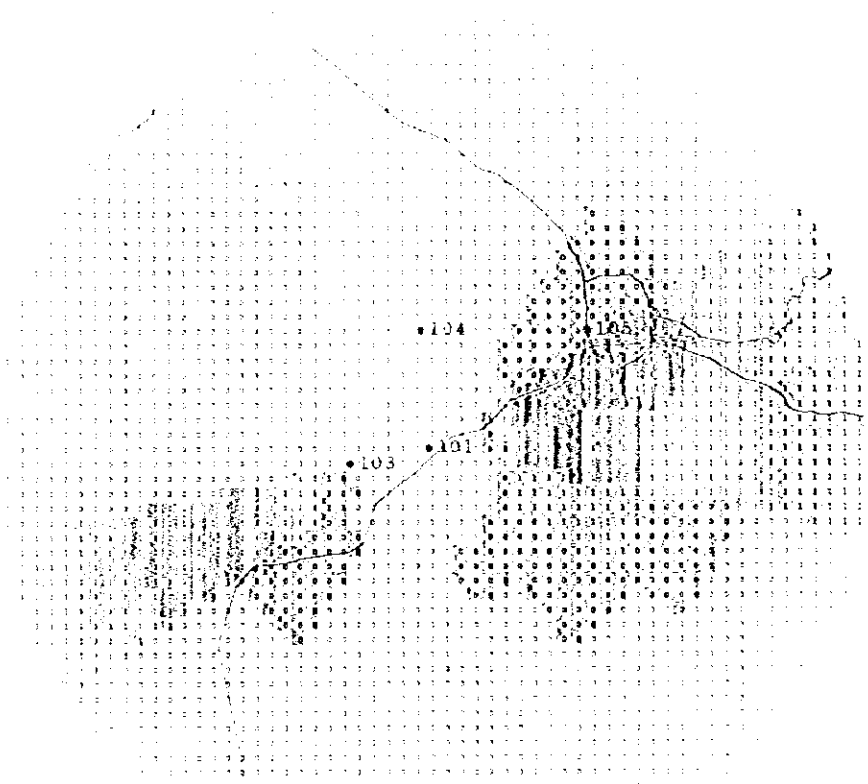
SO2

ppb

□ C MAX=

1.0ppb

図 8.2.1 年平均濃度分布 (タブリーズ・SO₂)



IRAN, TABRIZ (1998): Annual Average

Legend

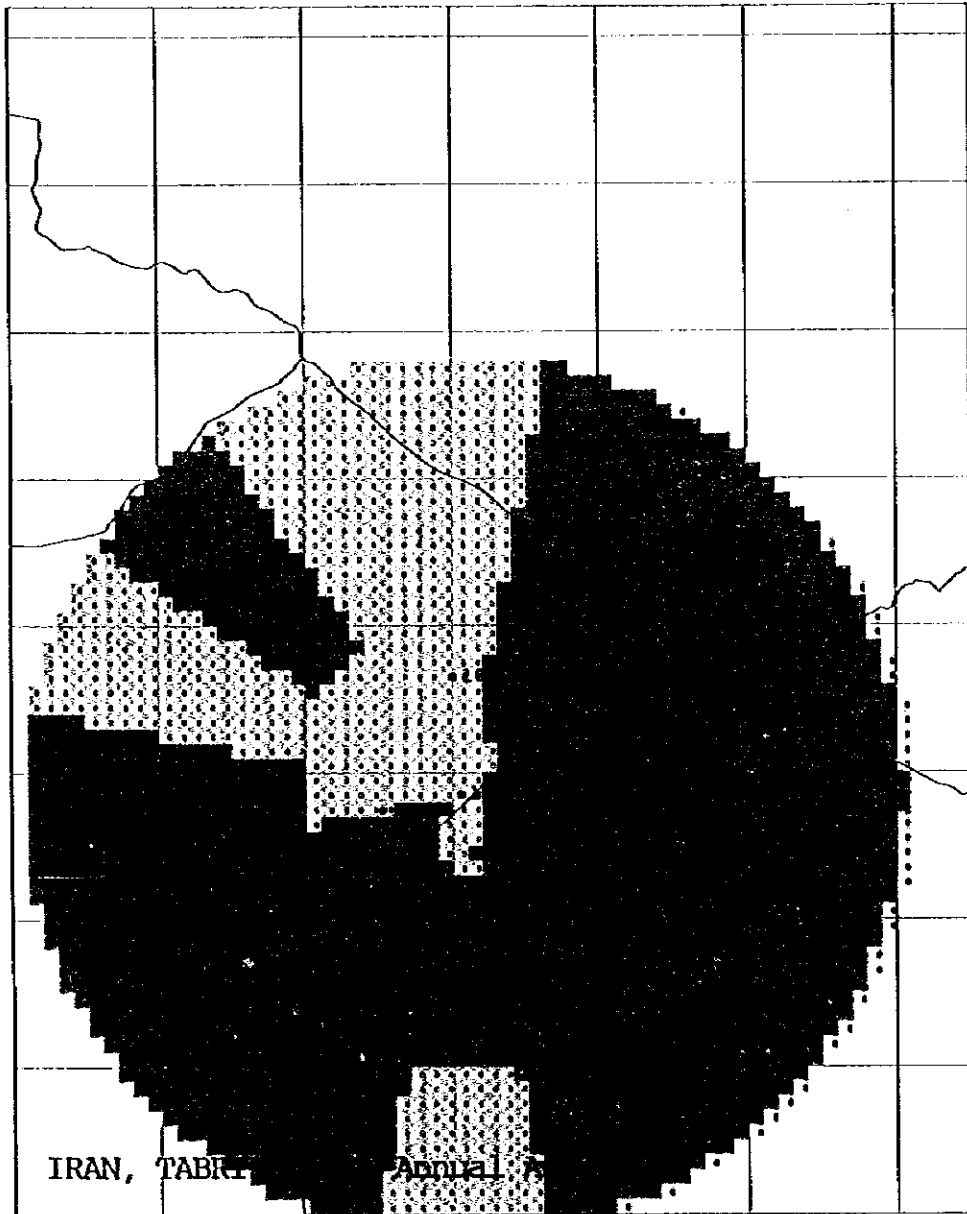
100	100	100	100
101	101	101	101
102	102	102	102
103	103	103	103
104	104	104	104
105	105	105	105

- Map Settings
- 1.3 Annual
 - 1.4 Mean
 - 1.5 Contours

- Other Plot
- 1.0 Data Points

SO2 ppb U MAX 1.0 ppb

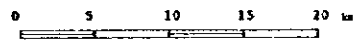
图 8.2.1 年平均浓度分布 (2000 年) SO2



IRAN, TABRIZ Annual

LEGEND

■	.30 < x <=	.40 (ppb)	0 grids
■	.20 < x <=	.30 (ppb)	317 grids
■	.10 < x <=	.20 (ppb)	626 grids
■	.05 < x <=	.10 (ppb)	1165 grids
■	.01 < x <=	.05 (ppb)	694 grids
□	.00 < x <=	.01 (ppb)	31 grids



Monitoring Stations

- 103 Baranloo
- 104 Mayan
- 105 Qaramalek

Power Plant

- 101 Tabriz Power Plant

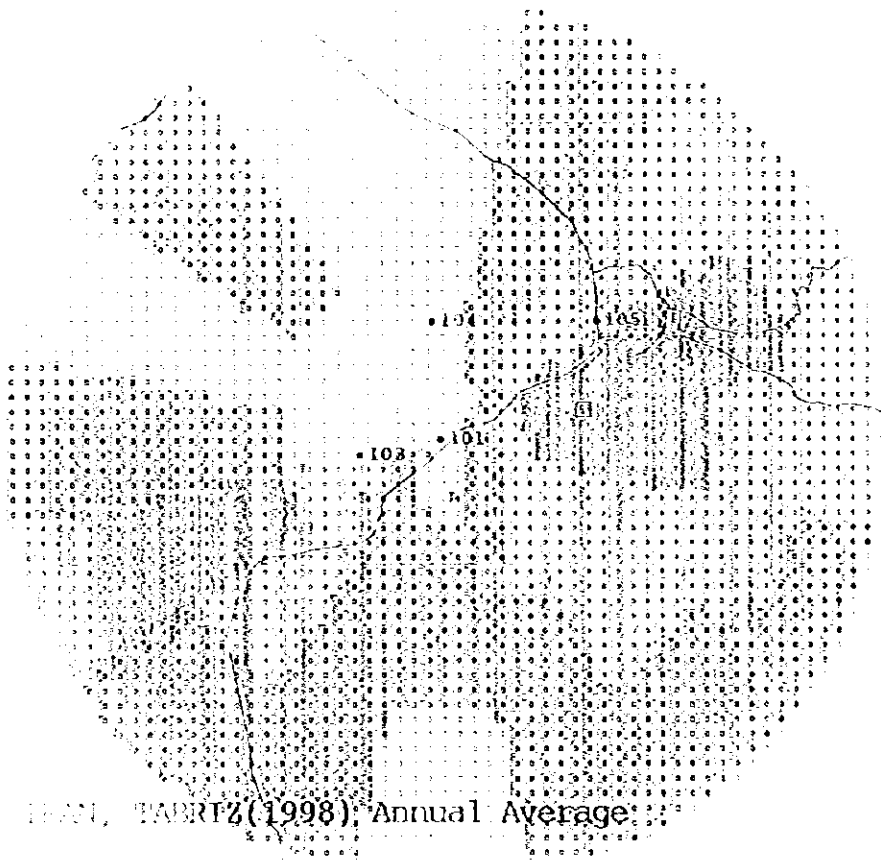
NO2

ppb

□C MAX=

.3ppb

図 8.2.2 年平均濃度分布 (タブリーズ・NO₂)



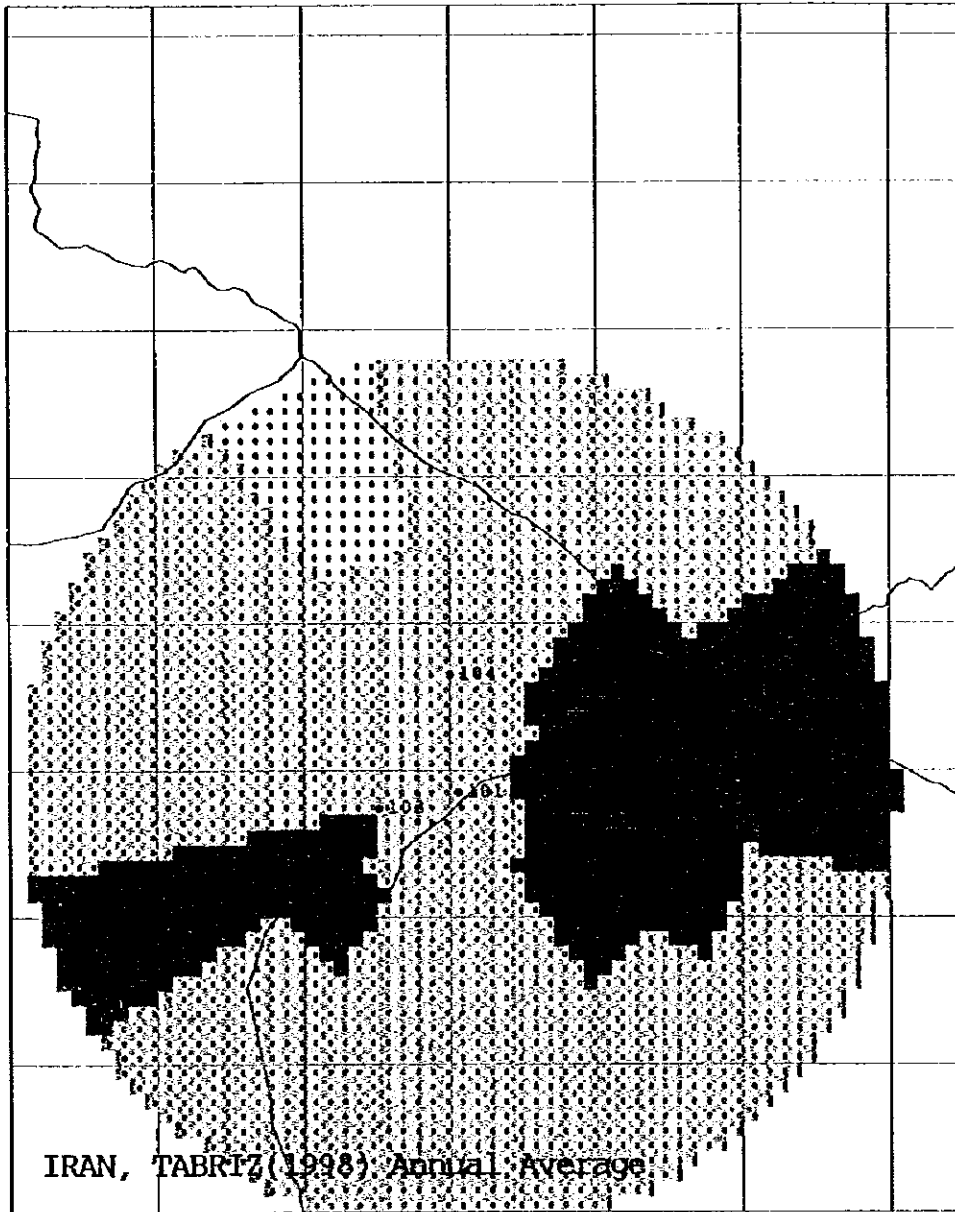
1998 AMAX (1998)

1. 1998 AMAX (1998)
 2. 1998 AMAX (1998)
 3. 1998 AMAX (1998)
 4. 1998 AMAX (1998)
 5. 1998 AMAX (1998)
 6. 1998 AMAX (1998)

1. 1998 AMAX (1998)
 2. 1998 AMAX (1998)
 3. 1998 AMAX (1998)
 4. 1998 AMAX (1998)

1998 AMAX (1998) 1998 AMAX (1998) 1998 AMAX (1998) 1998 AMAX (1998)

1998 AMAX (1998) 1998 AMAX (1998) 1998 AMAX (1998)



IRAN, TABRIZ (1998) Annual Average

LEGEND

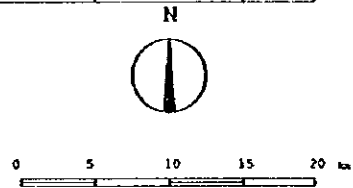
■	.15 < x <= .20 (ug/m3)	0 grids
■	.10 < x <= .15 (ug/m3)	124 grids
■	.08 < x <= .10 (ug/m3)	234 grids
■	.05 < x <= .08 (ug/m3)	365 grids
■	.01 < x <= .05 (ug/m3)	1957 grids
□	.00 < x <= .01 (ug/m3)	122 grids

Monitoring Stations

- 103 Baranloo
- 104 Mayan
- 105 Qaramalek

Power Plant

- 101 Tabriz Power Plant



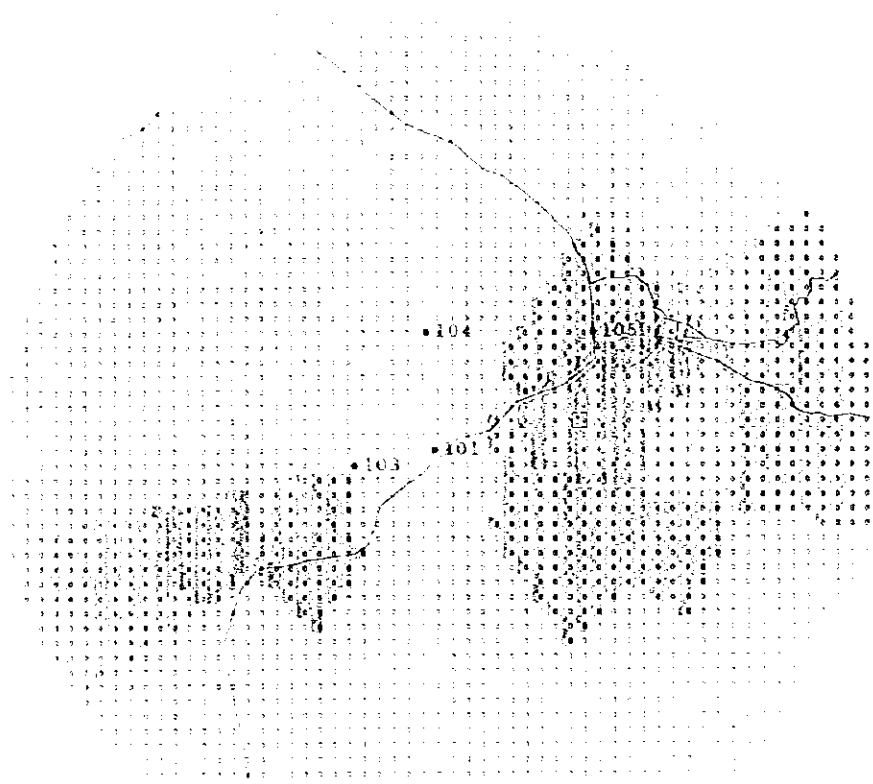
SPM

ug/m3

□C MAX=

.1ug/m3

図 8.23 年平均濃度分布 (タブリーズ・SPM)



IRAN, TABRIZ (1998) Annual Average

Legend

100 ug/m3	100 ug/m3	100 ug/m3
110 ug/m3	110 ug/m3	110 ug/m3
120 ug/m3	120 ug/m3	120 ug/m3
130 ug/m3	130 ug/m3	130 ug/m3
140 ug/m3	140 ug/m3	140 ug/m3
150 ug/m3	150 ug/m3	150 ug/m3

Monitoring Stations

- 1.1. Bazar
- 1.2. Meyan
- 1.3. Garmeh

Power Plant

- 1.1. Tabriz Power Plant

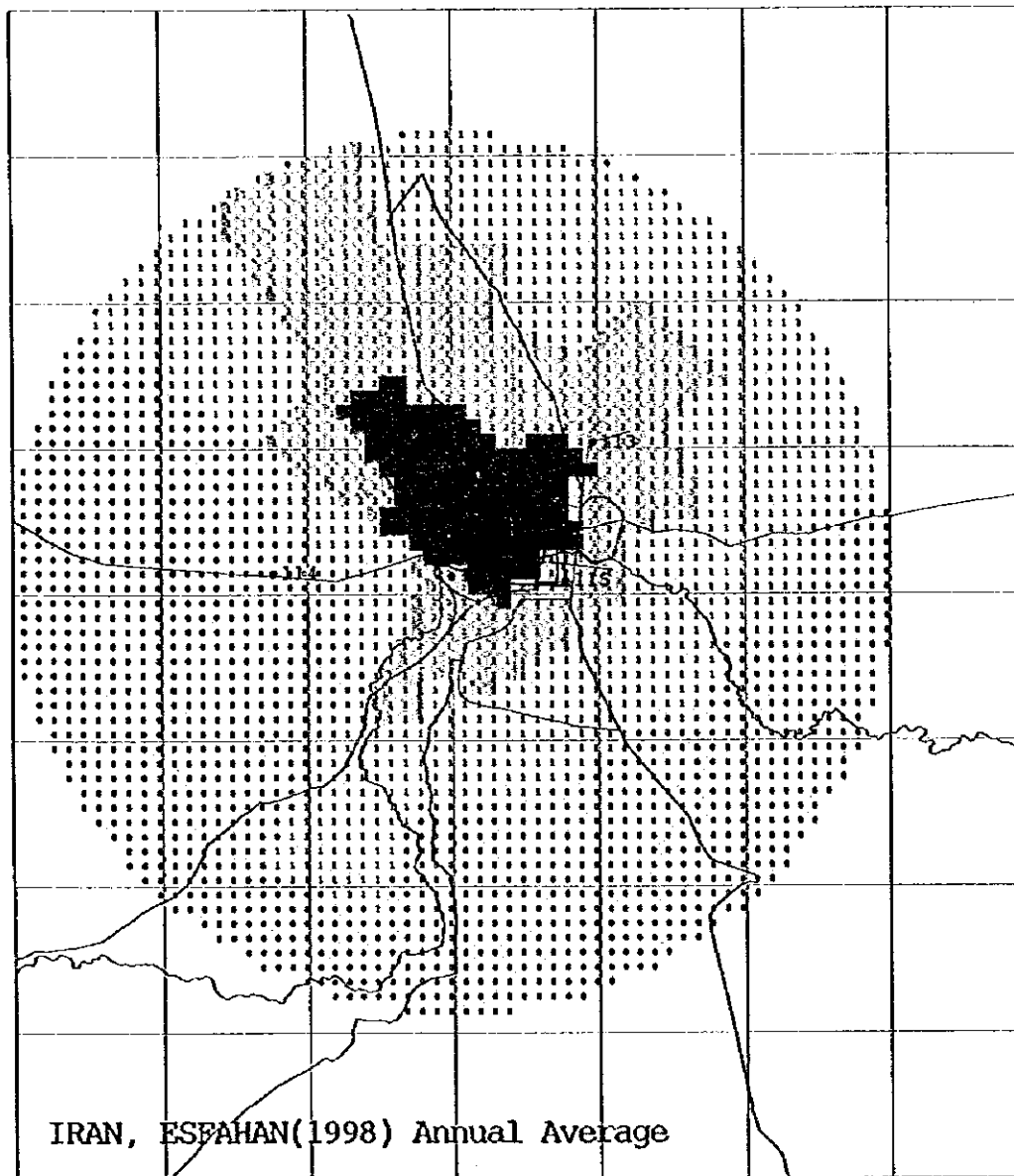
SPM

ug/m3

© MNC

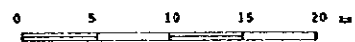
2000/03

图 8.2.3 伊朗均质成分年浓度分布图 (SPM)



LEGEND

■	4.5 < x <= 5.0 (ppb)	4 grids
■	4.0 < x <= 4.5 (ppb)	10 grids
■	3.0 < x <= 4.0 (ppb)	41 grids
■	2.0 < x <= 3.0 (ppb)	91 grids
■	1.0 < x <= 2.0 (ppb)	519 grids
□	.0 < x <= 1.0 (ppb)	2201 grids



Monitoring Stations

- 113 Kaveh
- 114 Golshahr
- 115 Shariati

Power Plant

- 111 Esfahan Power Plant

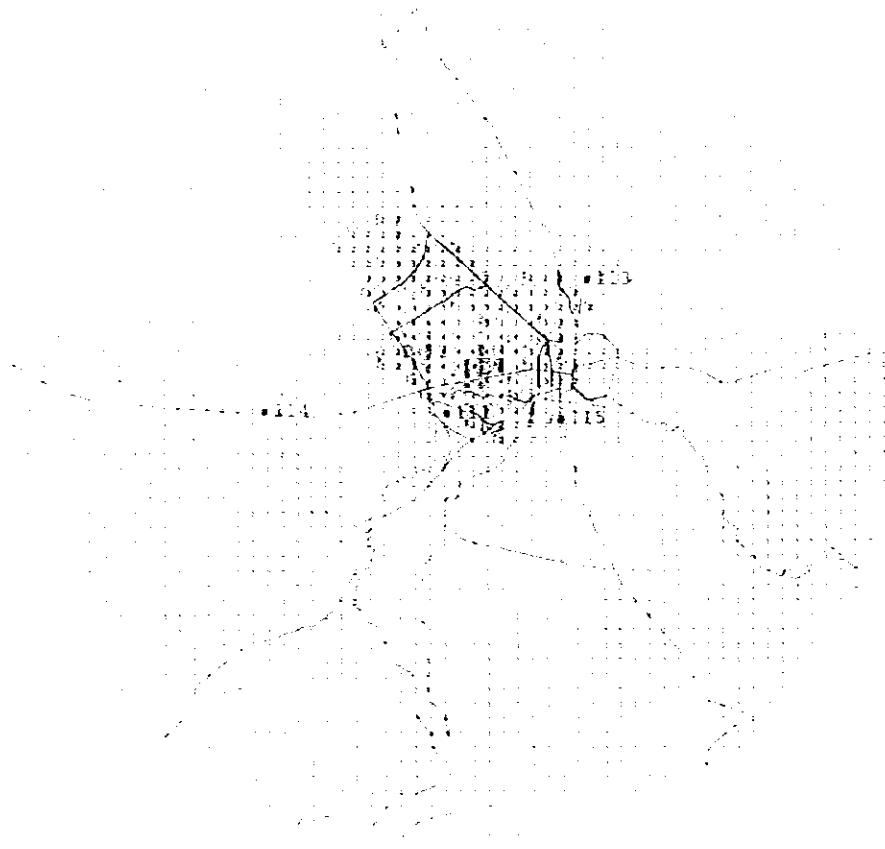
SO₂

ppb

□C MAX=

4.9ppb

図 8.2.4 年平均濃度分布 (エスファハン・SO₂)



IRAN, TEHRAN(1998) Annual Average

Station	113	114	115	116
113	100	100	100	100
114	100	100	100	100
115	100	100	100	100
116	100	100	100	100

Legend
 0-100
 100-200
 200-300
 300-400
 400-500
 500-600
 600-700
 700-800
 800-900
 900-1000
 1000-1100
 1100-1200
 1200-1300
 1300-1400
 1400-1500
 1500-1600
 1600-1700
 1700-1800
 1800-1900
 1900-2000
 2000-2100
 2100-2200
 2200-2300
 2300-2400
 2400-2500
 2500-2600
 2600-2700
 2700-2800
 2800-2900
 2900-3000
 3000-3100
 3100-3200
 3200-3300
 3300-3400
 3400-3500
 3500-3600
 3600-3700
 3700-3800
 3800-3900
 3900-4000
 4000-4100
 4100-4200
 4200-4300
 4300-4400
 4400-4500
 4500-4600
 4600-4700
 4700-4800
 4800-4900
 4900-5000
 5000-5100
 5100-5200
 5200-5300
 5300-5400
 5400-5500
 5500-5600
 5600-5700
 5700-5800
 5800-5900
 5900-6000
 6000-6100
 6100-6200
 6200-6300
 6300-6400
 6400-6500
 6500-6600
 6600-6700
 6700-6800
 6800-6900
 6900-7000
 7000-7100
 7100-7200
 7200-7300
 7300-7400
 7400-7500
 7500-7600
 7600-7700
 7700-7800
 7800-7900
 7900-8000
 8000-8100
 8100-8200
 8200-8300
 8300-8400
 8400-8500
 8500-8600
 8600-8700
 8700-8800
 8800-8900
 8900-9000
 9000-9100
 9100-9200
 9200-9300
 9300-9400
 9400-9500
 9500-9600
 9600-9700
 9700-9800
 9800-9900
 9900-10000

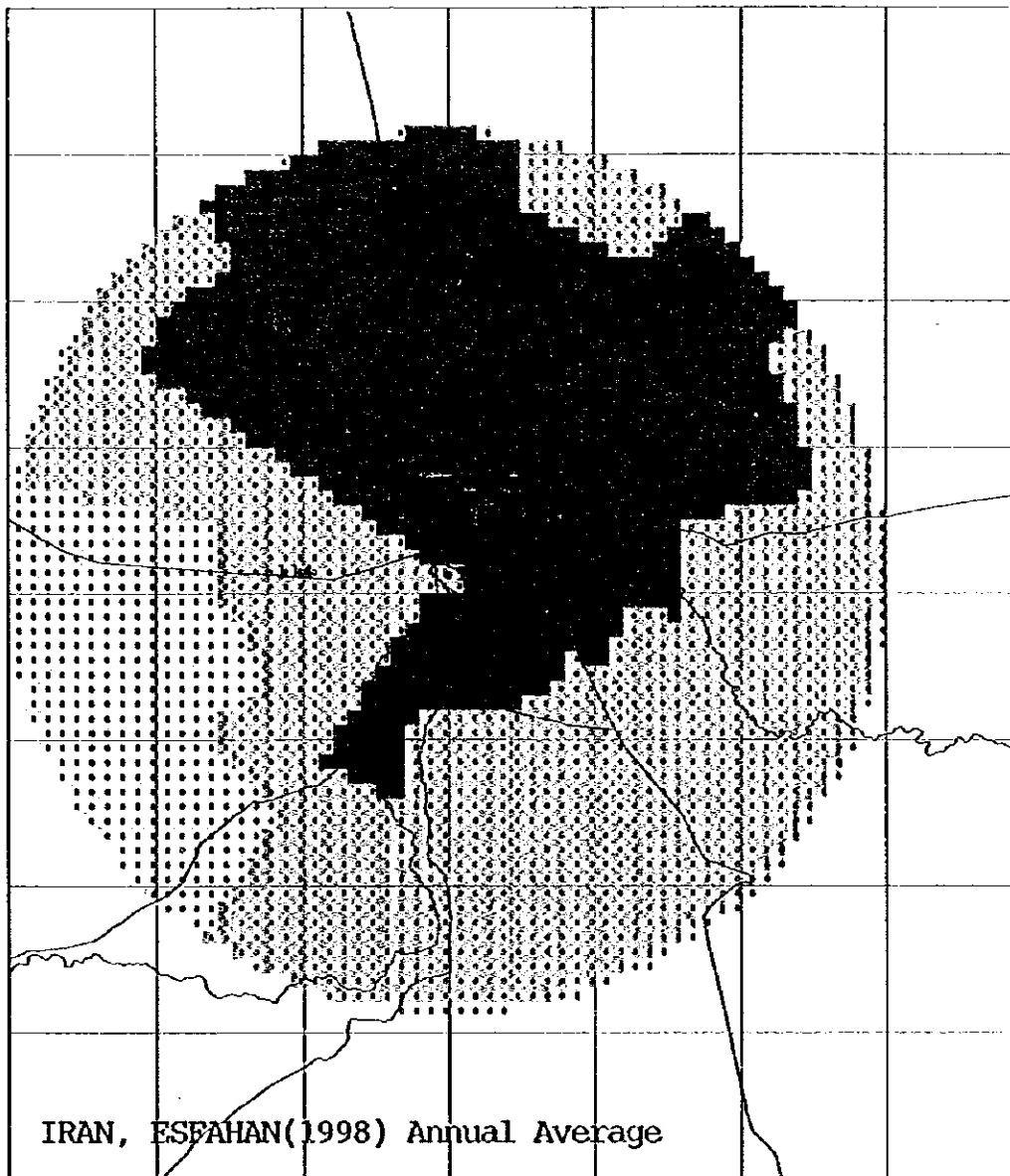
0.00

110

0. MAX=

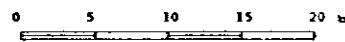
4.00100

图 8.2.1 年日均值分布图 (单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{SO}_2$)



LEGEND

	1.0 < x <=	1.5 (ppb)	30 grids
	.7 < x <=	1.0 (ppb)	115 grids
	.5 < x <=	.7 (ppb)	264 grids
	.3 < x <=	.5 (ppb)	700 grids
	.1 < x <=	.3 (ppb)	1350 grids
	.0 < x <=	.1 (ppb)	407 grids



Monitoring Stations

- 113 Kaveh
- 114 Golshahr
- 115 Shariati

Power Plant

- 111 Esfahan Power Plant

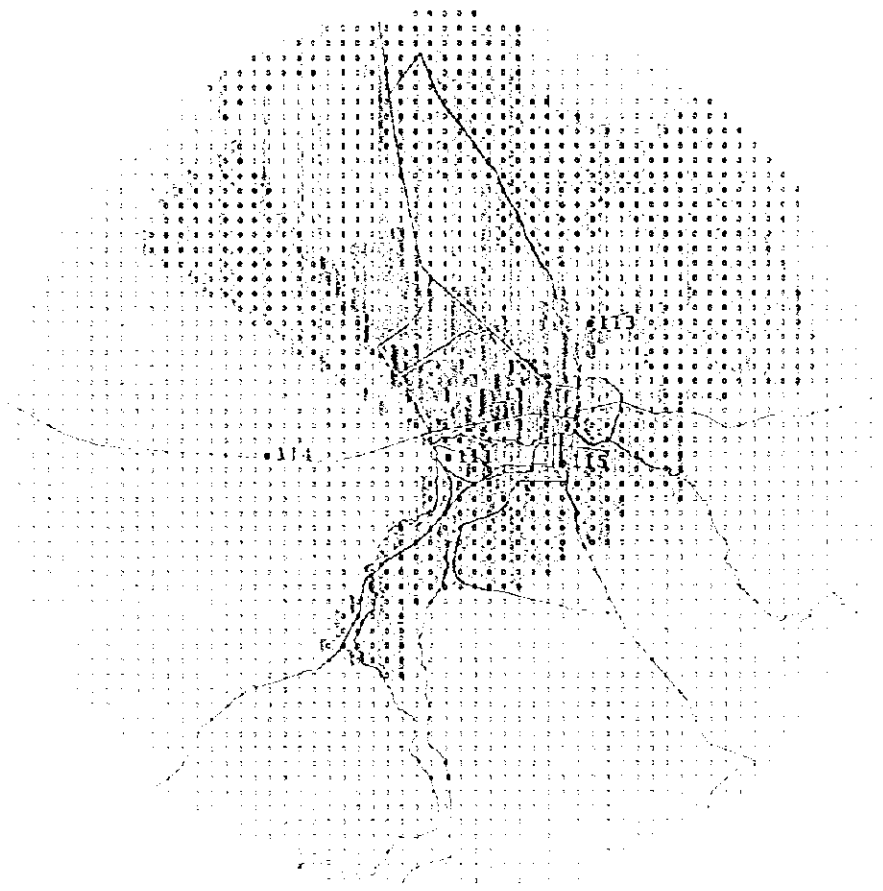
NO2

ppb

□ C MAX=

1.3ppb

図 8.2.5 年平均濃度分布 (エスファハン・NO₂)



IRAN, ESFAHAN(1998) Annual Average

Legend

1000	x	100	ppb	0.0001
100	x	10	ppb	0.001
10	x	1	ppb	0.01
1	x	0.1	ppb	0.1
0.1	x	0.01	ppb	1
0.01	x	0.001	ppb	10

Major Road Network

- 118 - Express
- 114 - Freeway
- 11 - Arterial

Power Plant

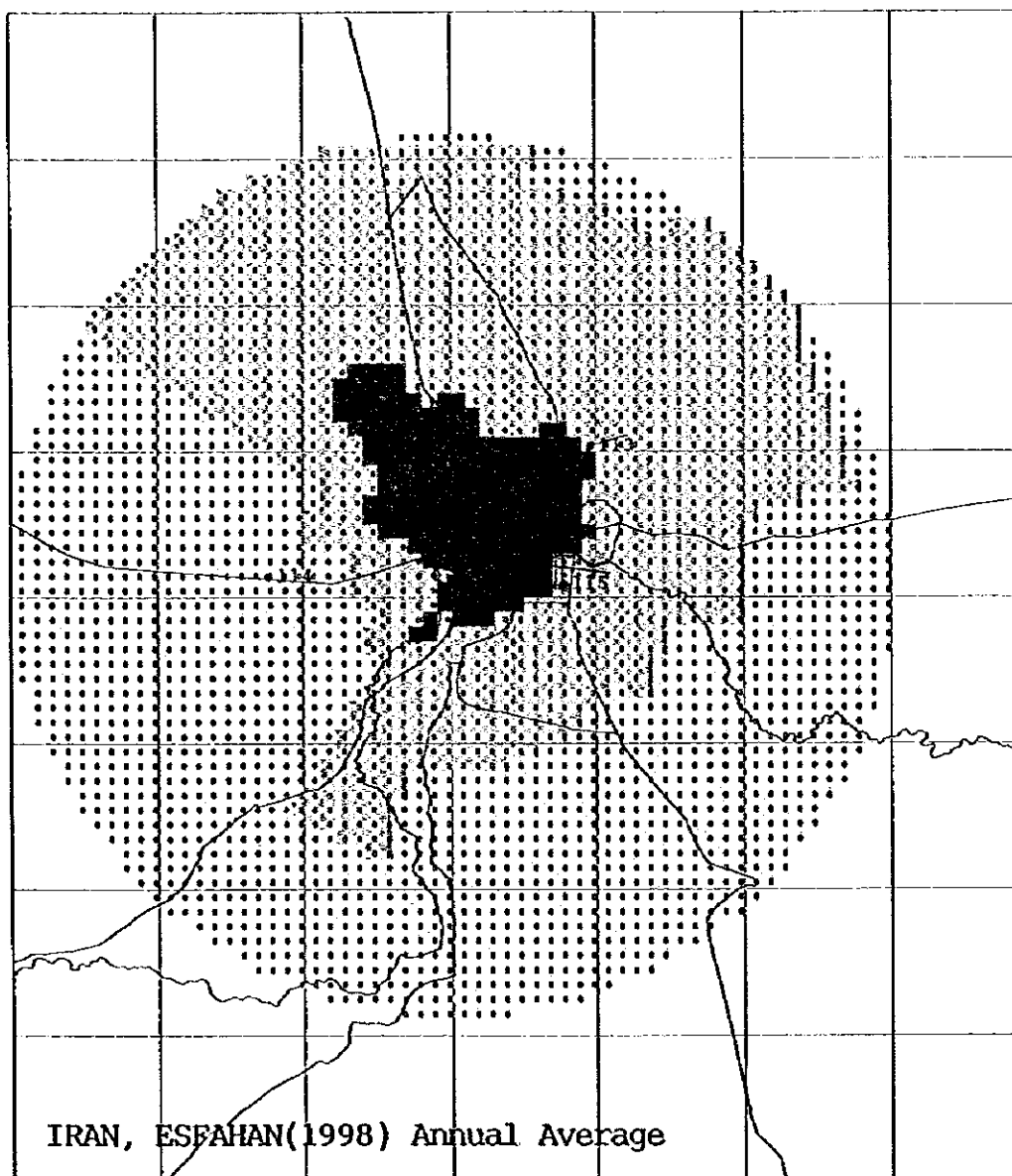
- 111 - Babol-Now Power

1000

ppb

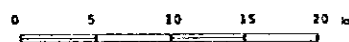
0.0001

10000



LEGEND

■	.9 < x <=	1.0 (ug/m3)	0 grids
■	.7 < x <=	.9 (ug/m3)	16 grids
■	.5 < x <=	.7 (ug/m3)	36 grids
■	.3 < x <=	.5 (ug/m3)	139 grids
■	.1 < x <=	.3 (ug/m3)	1184 grids
□	.0 < x <=	.1 (ug/m3)	1491 grids



Monitoring Stations

- 113 Kaveh
- 114 Golshahr
- 115 Shariati

Power Plant

- 111 Eсфаهان Power Plant

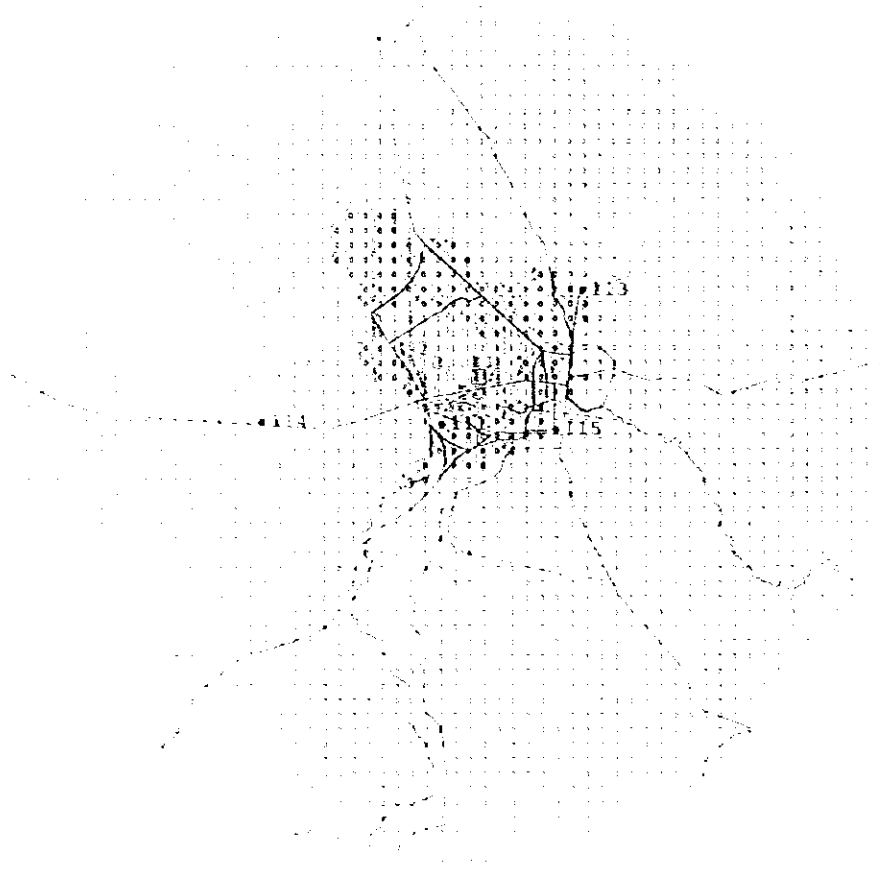
SPM

ug/m3

□C MAX=

.8ug/m3

図 8.2.6 年平均濃度分布 (エсфаハン・SPM)



IRAN, TEHRAN(1998) Annual Average

- >= 1000
- 750-1000
- 500-750
- 250-500
- 100-250
- 50-100
- 0-50

Map projection: UTM

Scale: 1:5000

Projection: UTM

Zone: 38N

Source: UNEP

Prepared by: UNEP/WHO

0.00

0.25

0.50

1.00

图 8.2.6 城市内年度平均浓度分布图 (PM₁₀ - SPM)

8.3 1時間濃度及び日平均濃度

前述 (8.1.3) のモデルを用いて、1時間濃度及び日平均濃度を計算した。

(1) 1時間濃度

表 8.3.1に1時間濃度の次高値の域内最高値と環境基準値との比較を示す。イランでは1時間濃度に関する環境基準は制定されておらず、SO₂の3時間平均濃度に関する環境基準があるのみである。また、年間で1回は基準を超過することが許されることから、最高値ではなく、次高値との比較となる。1時間値と3時間値という若干の差はあるもののエスファハンにおけるSO₂濃度は環境基準を超えるレベルと予測された。

また、この場合も全般にエスファハン発電所の寄与濃度の方が、タブリーズ発電所のものよりも6~10倍、高い。

表 8.3.1 1時間濃度次高値の域内最高値と環境基準の比較

汚染物質	タブリーズ	エスファハン	環境基準
	域内次高値	域内次高値	2級
SO ₂ (ppb)	87.0	621.1	500*
NO ₂ (ppb)	20.0	129.0	-
SPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10.6	106.3	-

* : 3時間平均値

(2) 日平均濃度

表 8.3.2に日平均濃度の次高値の域内最高値と環境基準値との比較を示す。この場合もエスファハン発電所のSO₂濃度は環境基準の約40%の濃度レベルであり、単独発生源の影響としては大きいと言える。日平均値でもエスファハン発電所の寄与はタブリーズ発電所の6~8倍、高い。

表 8.3.2 日平均濃度次高値の域内最高値と環境基準の比較

汚染物質	タブリーズ	エスファハン	環境基準
	域内次高値	域内次高値	1級
SO ₂ (ppb)	10.0	52.8	140
NO ₂ (ppb)	1.5	11.7	-
SPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.2	8.7	260

8.4 特殊気象条件下の濃度予測

建物や地形の影響によって生じる短時間高濃度を予測するために、8.1.4 で説明した4種類のモデルで、各ユニット・汚染物質毎に最大排出量を示す排出量条件について計算を行った。

地形については、タブリーズでは発電所から Kohsrow Shah に向かう方向の地形を取り入れた。約4~8kmの間に最大で130m程度(相対高度)の丘が存在する。エスファハンでは発電所の裏山を超えて、Qa-e-Mieh に向かう方向を取り、その高さは最大で110m程度である。

(i) タブリーズ

各ユニット毎に、安定度 AB~D、風速 1.0~10.0m/s の各気象条件で計算を行い、各モデルによる最高濃度を求めた(表 8.4.1)。また、ユニット 1,2 の煙突近傍の建物高さは57mである。

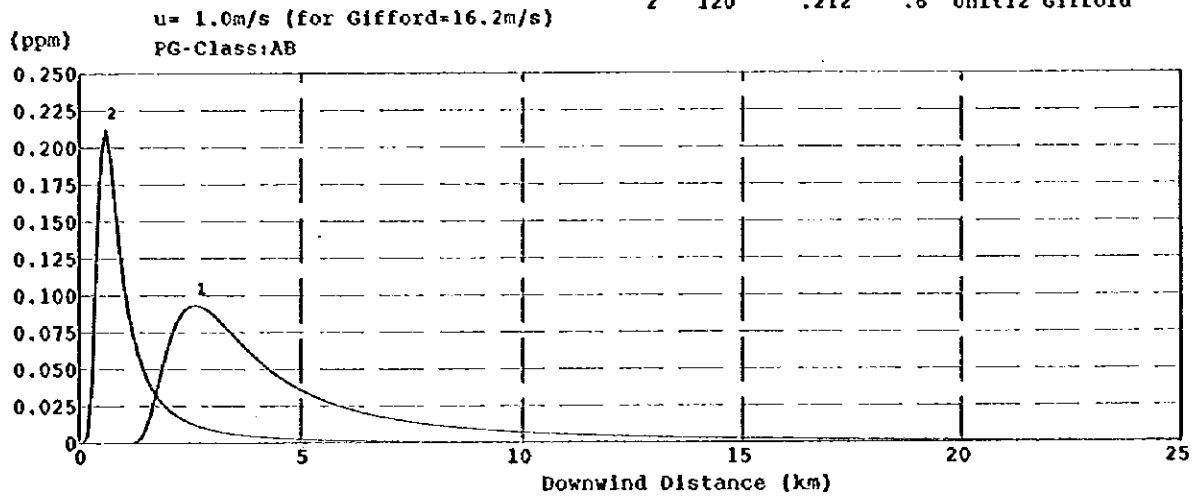
表 8.4.1 各モデルによる予測最高濃度(タブリーズ)

ユニット	汚染物質	モデル	風速 m/s	安定度	最高濃度 ppb	風下距離 km
ユニット1+2	SO ₂	ブルーム	2.0	AB	93.9	1.9
		Gifford	16.2	AB	212.2	0.6
		Huber-Synder	1.0	AB	104.2	2.5
		地形影響	2.0	AB	95.8	1.9
	NO _x	ブルーム	2.0	AB	31.0	1.9
		Gifford	16.2	AB	70.0	0.6
		Huber-Synder	1.0	AB	34.4	2.5
		地形影響	2.0	AB	31.6	1.9
	SPM	ブルーム	2.0	AB	11.4	1.9
		Gifford	16.2	AB	25.8	0.6
		Huber-Synder	1.0	AB	12.7	2.5
		地形影響	2.0	AB	11.7	1.9
ガスタービン (1ユニット)	NO _x	ブルーム	10.0	AB	2.2	0.6
		地形影響	10.0	AB	2.3	0.6

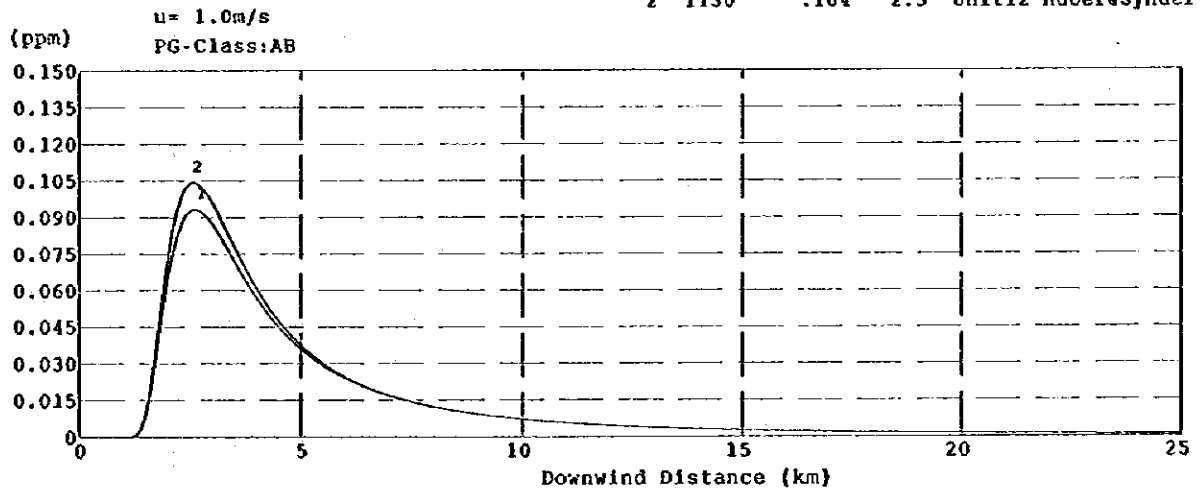
Huber-Synder モデル及び地形影響モデルの予測値は、ブルームモデルによる予測値と大きくは変わらない。Gifford モデルによる予測値は、ブルームに対して2倍強になるが、このモデルでは、風速を吐出速度の1/2、有効煙突高を煙突実高に設定するので、かなり極端な設定となる。最も高い、Gifford モデルによる SO₂ 濃度予測値(212.2ppb)でも環境基準(3時間平均値、500ppb)よりも低い。ガスタービンは規模、影響共に小さい。

図 8.4.1に各モデル最高濃度予測時の SO₂ プロファイルを示す。

NO.	He (m)	Cmax (ppm)	Xmax (Km)	
1	1244	.093	2.6	Unit12 CONCAWE&Plume
2	120	.212	.6	Unit12 Gifford



NO.	He (m)	Cmax (ppm)	Xmax (Km)	
1	1244	.093	2.6	Unit12 CONCAWE&Plume
2	1130	.104	2.5	Unit12 Huber&Synder



NO.	He (m)	Cmax (ppm)	Xmax (Km)	
1	788	.094	1.9	Unit12 CONCAWE&Plume
2	778	.096	1.9	Unit12 Terrain

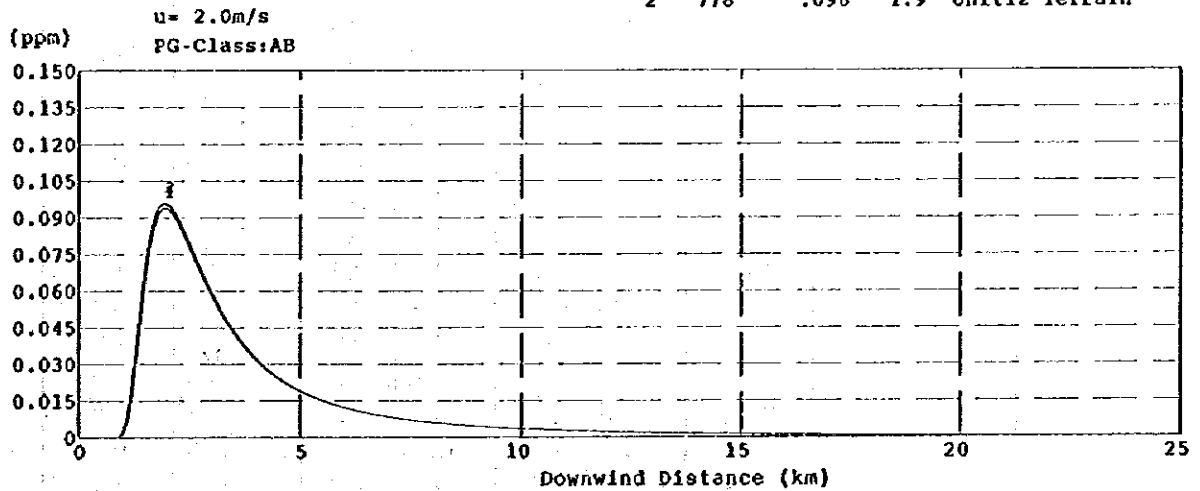


図 8.4.1 各モデルによる最高濃度時の SO₂ プロファイル (タブリーズ)

(2) エスファハン

各ユニット毎に、各気象条件で計算を行い、各モデルによる最高濃度を求めた(表 8.4.2)。ユニット3とユニット4,5の近傍の建物高さは45mと58mである。

表 8.4.2 各モデルによる予測最高濃度 (エスファハン)

ユニット	汚染物質	モデル	風速 m/s	安定度	最高濃度 ppb	風下距離 km
ユニット3	SO ₂	ブルーム	1.0	AB	122.9	1.5
		Gifford	28.7	BC	167.0	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	201.0	1.3
		地形影響	10.0	AB	211.8	0.5
	NO _x	ブルーム	1.0	AB	22.4	1.5
		Gifford	26.8	BC	31.0	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	36.4	1.3
		地形影響	10.0	AB	38.5	0.5
	SPM	ブルーム	2.0	AB	18.7	1.5
		Gifford	28.7	BC	25.4	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	30.6	1.3
		地形影響	10.0	AB	32.2	0.5
ユニット4	SO ₂	ブルーム	2.0	AB	127.4	1.5
		Gifford	16.1	AB	311.6	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	190.0	1.8
		地形影響	10.0	AB	156.6	0.5
	NO _x	ブルーム	2.0	AB	68.3	1.5
		Gifford	18.0	AB	161.0	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	101.9	1.8
		地形影響	10.0	AB	73.8	0.5
	SPM	ブルーム	2.0	AB	35.9	1.5
		Gifford	16.1	AB	87.9	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	53.6	1.8
		地形影響	10.0	AB	44.2	0.5
ユニット5	SO ₂	ブルーム	1.0	AB	186.8	1.9
		Gifford	16.3	AB	407.0	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	279.2	1.7
		地形影響	1.0	AB	179.4	2.0
	NO _x	ブルーム	1.0	AB	24.3	1.9
		Gifford	16.3	AB	52.9	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	36.3	1.7
		地形影響	1.0	AB	23.3	2.0
	SPM	ブルーム	1.0	AB	18.3	1.9
		Gifford	16.3	AB	39.8	0.4
		Huber-Synder	1.0	AB	27.3	1.7
		地形影響	1.0	AB	17.6	2.0

ユニット 3 では地形影響モデルによる予測値が最も高くブルーム式による予測の 2 倍弱であり、最高濃度地点は丘の頂ぎの手前（風下距離 500m）になっている。ユニット 4、ユニット 5 では、Gifford モデルによる予測値が最も高く、ブルーム式の 2 倍強であり、風下距離 400m 地点に現れている。

各ユニットの正確な位置や各モデルで最高濃度が現れる気象条件は、若干、異なっているが、各ユニットがユニット 4 の位置にあると想定して、各モデルで概ね最高濃度が生じる気象条件を想定して、全ユニットの重合濃度の最高値を予測した（図 8.4.2）。複数ユニットの重合計算であるので He（有効煙突高）は表示していない。

各モデルによるユニット 3,4,5 の SO₂ 寄与の合計は、最大で 545~634ppb と予測され、環境基準を超えるレベルとなる。地形影響モデルでは最大濃度は 500m 地点で現れるが、高度が低くなるに従って、急激に低くなっている。

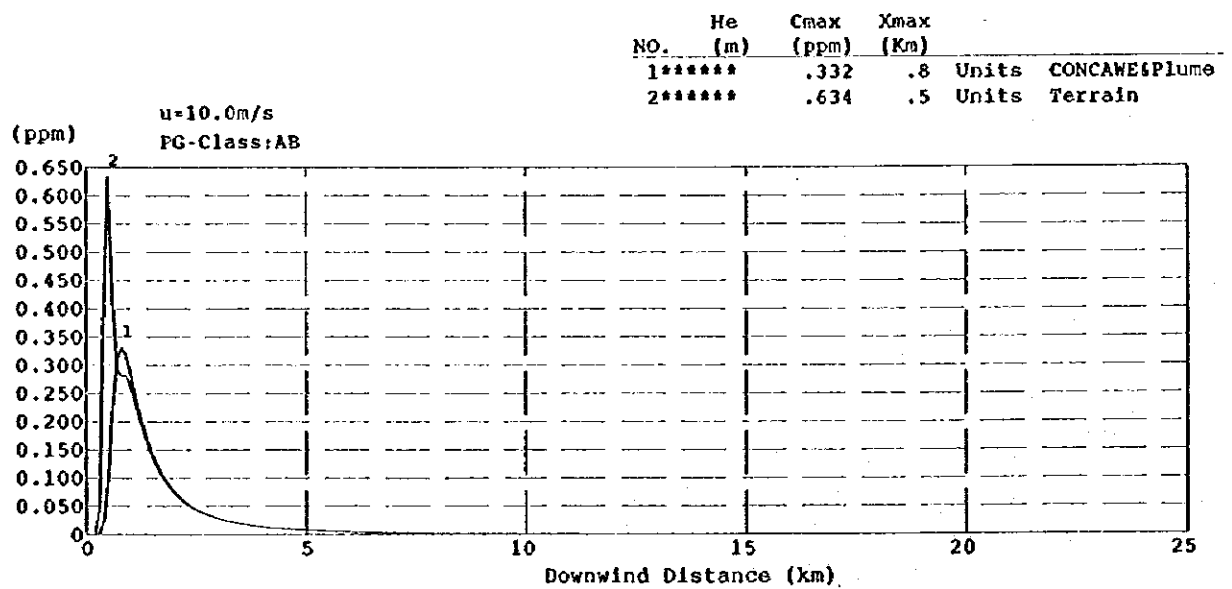
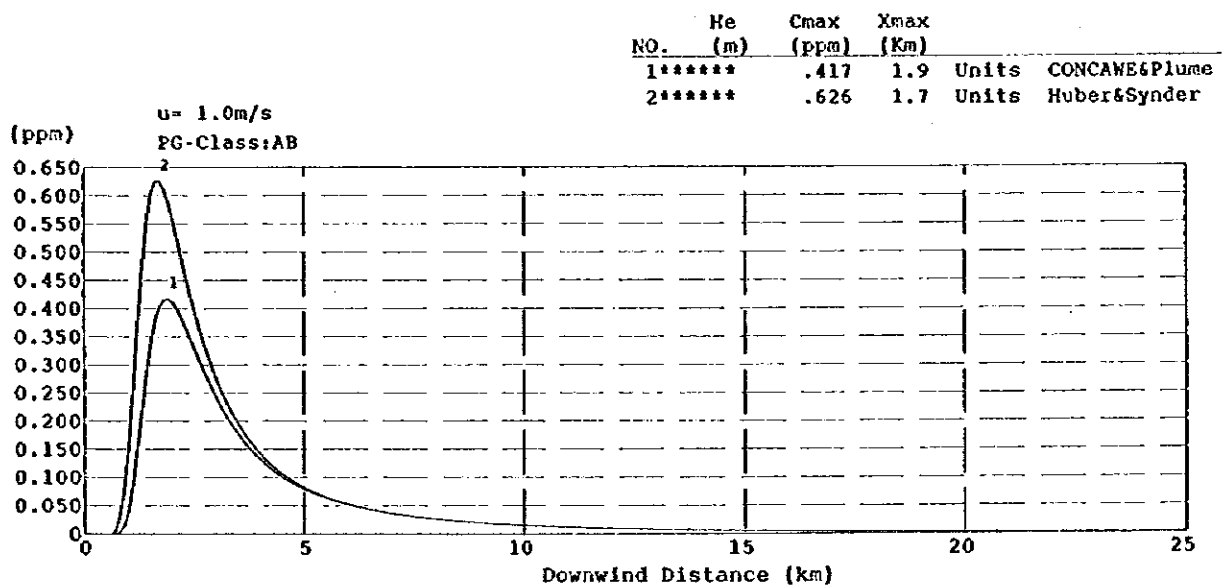
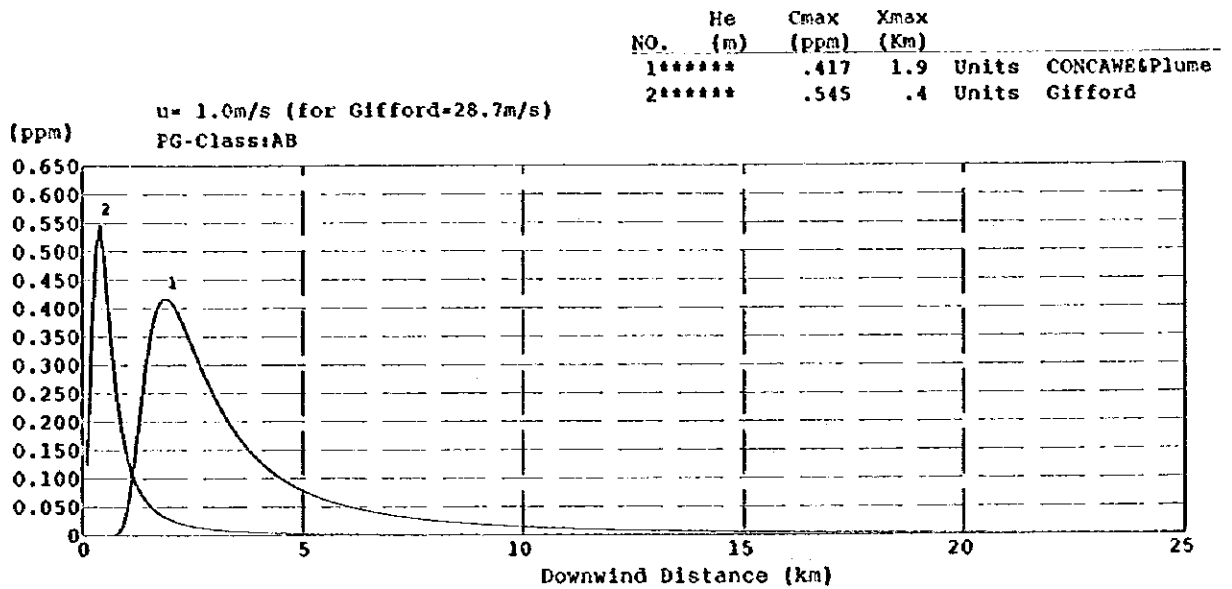


図 8.4.2 各モデルによる最高濃度時の SO₂ プロファイル (エスファハン)

8.5 環境濃度予測結果のまとめ

タブリーズ発電所の寄与濃度は年平均値、日平均値、1時間値、特殊気象条件下の計算値の全てで、環境基準を超えるような濃度レベルではないと予測された。汚染物質の中では、SO₂濃度が最も高く、特に特殊気象条件下の計算値では環境基準（3時間平均値）が500ppbに対して200ppbを超える場合があった。しかし、タブリーズ発電所では、天然ガスに燃料転換を図る予定であり、SO_x排出量の大幅な削減が見込めることから、全く問題にはならない。

エスファハン発電所のSO₂濃度の年平均値に対する寄与は最も高く、基準値の1/6程度の寄与を示した。時間濃度・日平均濃度についても、最も濃度が高いのは、エスファハン発電所のSO₂であり、時間値については単独で環境基準を超えると予測された。建物や地形の影響を考慮したモデルによる予測結果においても、エスファハン発電所のSO₂は時間値の環境基準を超える可能性が示された。しかし、エスファハン発電所に於いても、天然ガスへの転換が予定されており、既に夏季には50%以上の転換が終了している。そこで、完全に転換が終了すれば、SO₂の短時間濃度についても環境基準を満たすレベルに改善されると期待できる。また、環境濃度実測値ではエスファハン地域のNO₂濃度が高い傾向が見られたが、シミュレーション結果では発電所の寄与濃度は小さく、この原因は発電所よりも自動車に起因する可能性が高い。

以上のことから、現状で最も影響が大きいと予測されるSO₂濃度に関しては、タブリーズ、エスファハン両発電所共、天然ガスへの燃料転換によって改善される。また、エスファハン地域のNO₂濃度に関しては、その主要な原因が自動車である可能性が高いことから、より詳細な地域総合シミュレーションが必要である。

第9章 化学分析

9.1 はじめに

タブリーズとエスファハンの両発電所とそれらの周辺の調査対象地域にて採取した粒子状物質及びガス状物質の化学分析を表 9.1.1 のように実施した。

表 9.1.1 本調査における化学分析

試料	分析対象	分析原理	実施機関
浮遊粒子状物質	V, Ni, Zn, Pb	原子吸光法	テヘラン大学
降下粉塵	V, Ni, Zn, Pb	同上	テヘラン大学
煤塵	V, Ni, Zn, Pb	同上	テヘラン大学
簡易法試料	NO ₂ and SO ₂	イオンクロマトグラフ法	ジハード
簡易法試料	Nox	吸光光度法	ジハード

第6章に大気よりの試料採取方法の詳細を、また、第7章には煙道ガス含有煤塵の採取法を述べた。

テヘラン大学環境学科にはバナジウム、ニッケル、亜鉛、鉛の分析を、また、建設推進省ジハード研究所化学工学部には簡易法にて採取した試料中の二酸化窒素、二酸化硫黄、窒素酸化物の分析を依頼した。本調査団は両依頼先に別添 9-1～9-4 を渡して分析方法等につき詳細打合せを実施した。

別添 9-5 には環境大気簡易測定法に使用する吸着濾紙の作成法を述べた。夏季測定からイラン側にて作成出来るようになった。簡易法の分析に関しては当初すべてイオンクロマトグラフ法を使用する予定であったが、依頼先と同種の機材を使用して日本で予備テストを実施したところ好ましい結果が得られなかった。先方と検討の結果、NO_x の分析には吸光光度法を使用することとした。

9.2 結果と考察

A) 浮遊粒子状物質(SPM)

別添 6-3 に、1998 年 2 月から 1999 年 1 月に亘って各大気環境測定局にて 12 回測定したデータを記載した。図 9.2.1 と 9.2.2 には、別添 6-3 のデータの年間のトレンドを見るために各測定地点毎にプロットしたが、特筆すべき傾向は見いだせなかった。

表 9.2.1 に各金属の濃度分布を要約した。各金属はある程度狭い範囲に分布している。全地表の平均金属含有量はクラーク数として知られており、この数に比べて測定データはバナジウムとニッケル量が極端に少ない。

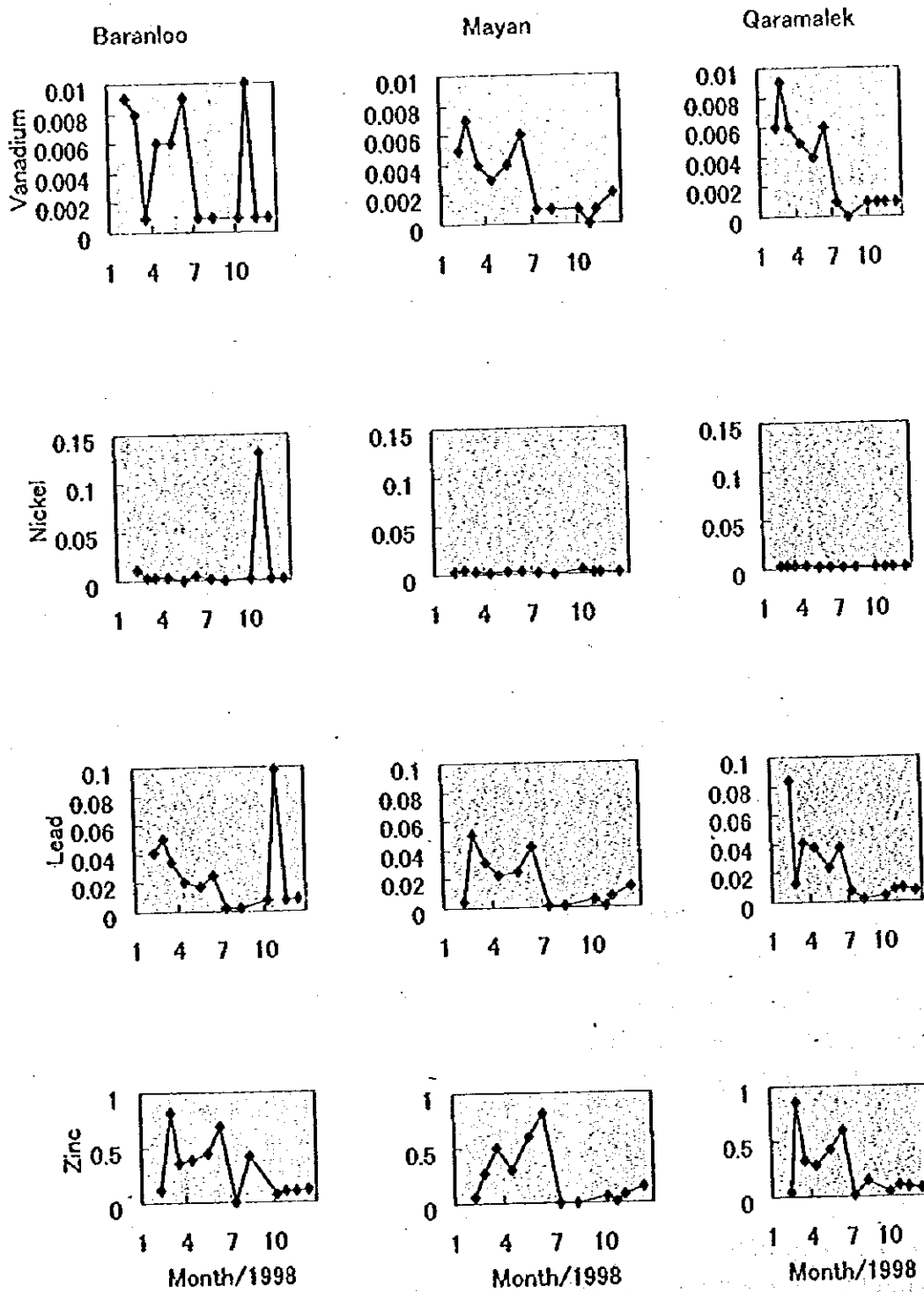


図 9.2.1 大気中の浮遊金属含有量年間傾向 (タブリーズ)
 単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (空気)と月(1998)

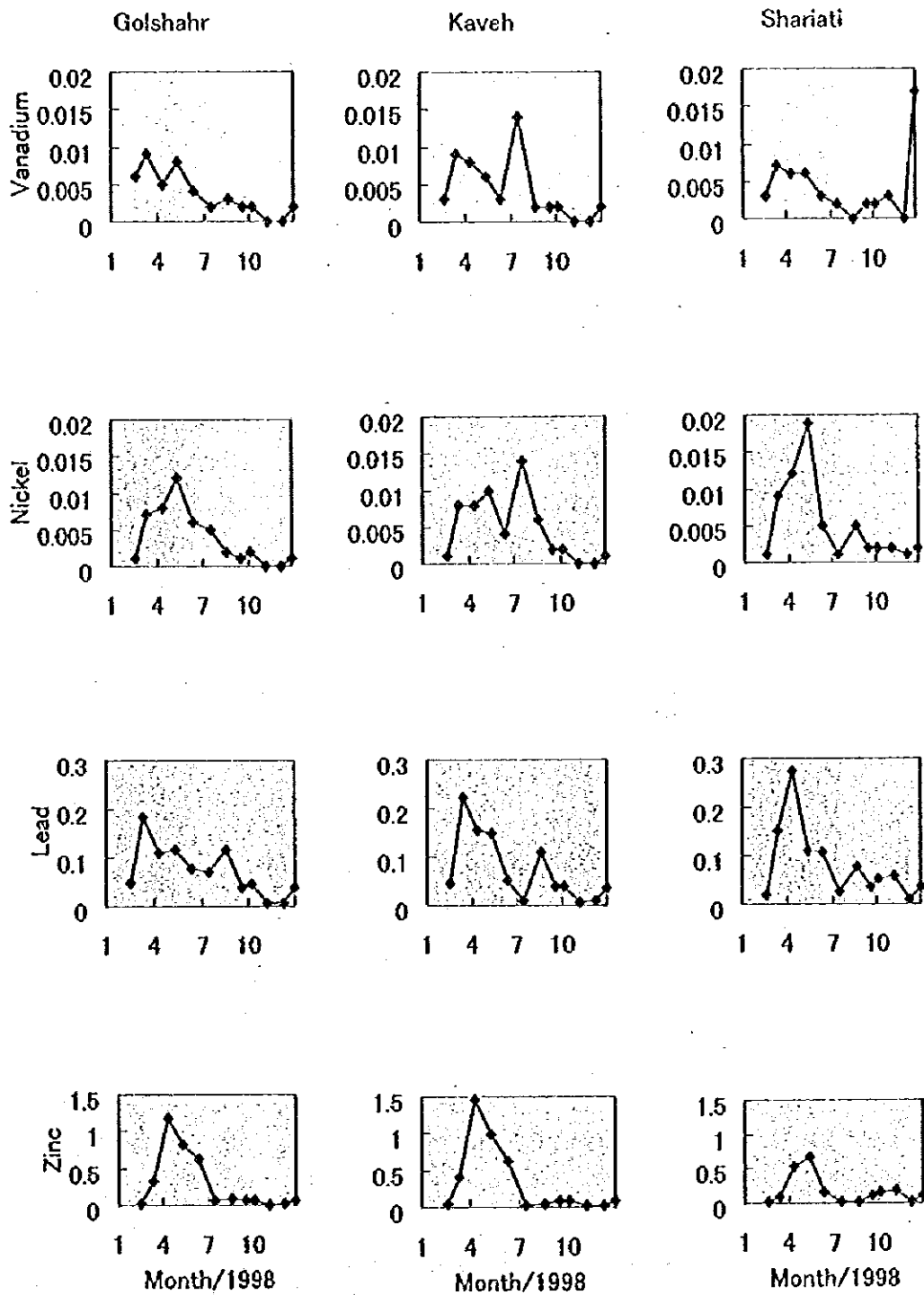


図 9.2.2 大気中の浮遊金属含有量年間傾向 (エスファハン)
 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (空気)と月(1998)

表 9.2.1 SPM 中の金属含有量

測定局		Vanadium	Nickel	Lead	Zinc
Tabriz	Baranloo	0.01 - 0.19	0.01 - 1.34	0.02 - 1.01	0.08 - 16.4
	Mayan	0.01 - 0.17	0.01 - 0.14	0.01 - 1.19	0.12 - 24.3
	Qaramalek	0.01 - 0.20	0.01 - 0.16	0.13 - 3.09	0.36 - 18.3
Esfahan	Golshahr	0.02 - 0.21	0.01 - 0.21	0.39 - 4.17	0.42 - 26.2
	Kaveh	0.01 - 0.16	0.02 - 0.17	0.13 - 3.84	0.20 - 28.2
	Shariati	0.00 - 0.21	0.01 - 0.33	0.25 - 5.82	0.17 - 11.7
Clarke	Number	135	75	13	70

単位：μg/SPM gram

図 9.2.1 と 9.2.2 の濃度範囲を整理すると、表 9.2.2 のようになる。参考として米国では、鉛の大気環境基準値は 3 ヶ月平均値で 1,500 micro gram/空気 1000 m³ である。後で記載する煤塵中の金属成分の鉛の含量と SPM 中の鉛の割合、また、バナジウムとニッケルの比率から、大気中の SPM は発電所の煤塵からのみ形成されているとは言えない。

表 9.2.2 大気中の浮遊金属含有量

測定局		Vanadium	Nickel	Lead	Zinc
Tabriz	Baranloo	1 - 10	0 - 131	2 - 98	5 - 818
	Mayan	0 - 7	0 - 5	1 - 51	6 - 821
	Qaramalek	0 - 9	1 - 4	2 - 84	16 - 863
Esfahan	Golshahr	0 - 9	0 - 12	6 - 185	10 - 1,185
	Kaveh	0 - 14	0 - 14	7 - 222	16 - 1,460
	Shariati	0 - 17	1 - 19	9 - 273	18 - 665

単位：μg/空気 1000 m³

B) 降下粉塵

別添 6-5 に降下粉塵の分析データを示し、それらを表 9.2.3 に纏めた。また、図 9.2.3 と 9.2.4 に SPM と降下煤塵中の金属濃度年間変化を示した。エスファハンでは両者の傾向はほぼ一致したが、タブリーズではバナジウムを除いて一致していない。

表 9.2.3 降下粉塵中の金属成分

測定局		Vanadium	Nickel	Lead	Zinc
Tabriz	Baranloo	0.01 - 1.41	0.03 - 1.10	0.02 - 1.08	0.5 - 32
	Mayan	0.01 - 0.47	0.02 - 0.97	0.03 - 3.55	0.4 - 801
	Qaramalek	0.01 - 0.34	0.02 - 0.70	0.30 - 2.26	0.5 - 132
Esfahan	Golshahr	0.01 - 0.53	0.01 - 0.35	0.12 - 1.39	0.1 - 16
	Kaveh	0.00 - 0.30	0.02 - 0.41	0.02 - 1.35	0.5 - 12
	Shariati	0.02 - 0.57	0.10 - 0.50	0.11 - 3.25	0.4 - 16

単位：mg/kg (= μg/gram)

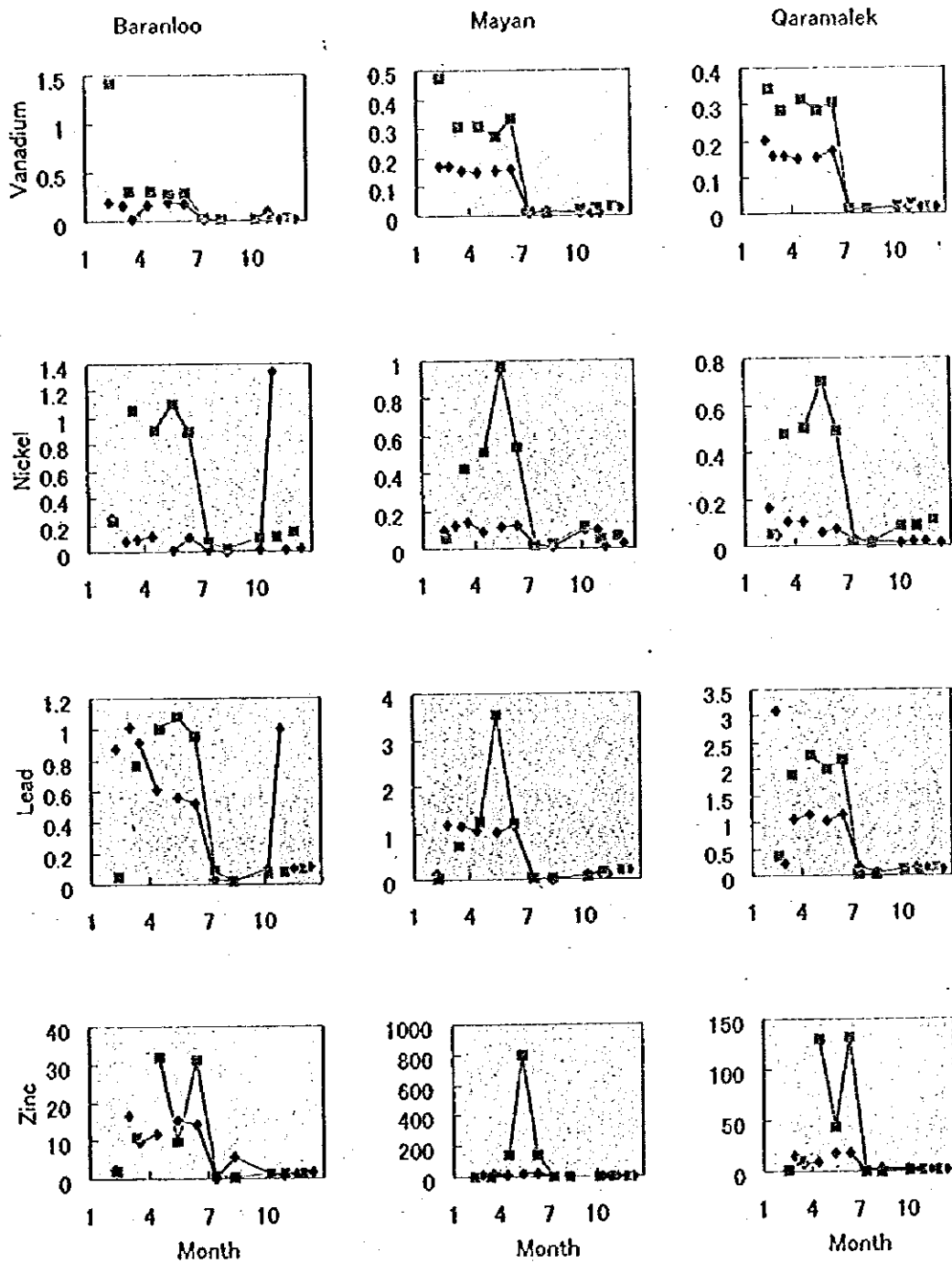


図 9.2.3 大気中の粉塵中の年間金属濃度 (タブリーズ)
 単位: $\mu\text{g/g}$ (粉塵) (■降水粉塵、◆浮遊粒子状物質)

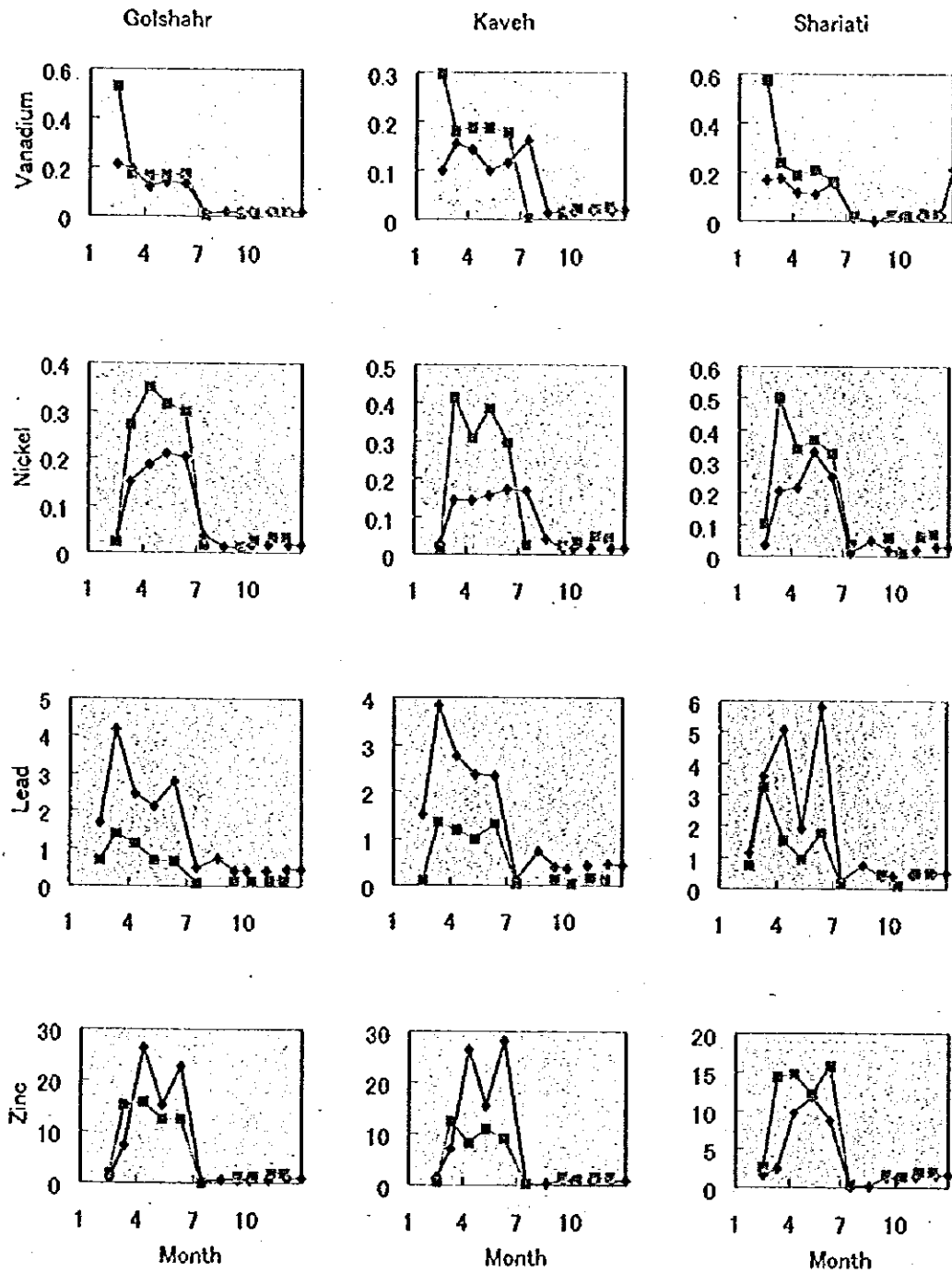


図 9.2.4 大気中の粉塵中の年間金属濃度 (エスファハン)
 単位: $\mu\text{g/g}$ (粉塵) (■降下粉塵、◆浮遊粒子状物質)

Mayan と Qaramatek 局にて降下粉塵中に亜鉛成分が異常に高い分析値を示した。強風によりベンキのような人工の粉塵が混入したものと推定する。

鉛の降下粉塵中の最低分析値は2月と夏季に測定された。これは雪により交通量が少なかったことと大気不安定下の拡散によるものと推定する。

バナジウムとニッケルの降下粉塵中の含有量がタブリーズとエスファハンでほぼ同じ範囲にあることから、同一発生源から由来したと思え、土壌である可能性が高い。

降下粉塵と SPM のバナジウムとニッケルの分析値は、ほぼ同じ範囲にある。そこでクラーク数はイランの土壌には適用出来ないだろう。

C) 煤塵

表 9.2.4 はタブリーズとエスファハン発電所の煤塵の金属成分分析値を示した。影をつけた下2段のデータは、煙突の下に積まれていた煤塵の参考分析値であり煙道ガスそのものから採取した試料ではない。

表 9.2.4 煤塵中の金属成分

ボイラー	V	Ni	Pb	Zn	備考
Tabriz #1	0.31~1.98	4.32~33.5	0.03~1.65	0.13~99.6	
Tabriz #2	2.03	36.5	1.88	101.6	
Esfahan #3	0.29~0.47	7.14~18.33	0.04~1.41	3.14~96.9	
Esfahan #4	0.36~0.93	4.64~12.77	0.08~1.54	2.00~80.25	
Esfahan #5	0.16~0.27	1.91~11.77	0.92~1.12	52.80~73.2	
Tabriz #1	5.43	60.00	0.64	167	煙突下より採取
Esfahan #4	7.50	74.10	0.73	4.92	同上

mg/煤塵 kg

重油成分中のバナジウム / ニッケルの組成比は、タブリーズで2から5で、エスファハンでは2から4である(表 3.2.3)。一方煤塵中の同組成比は極端にバナジウムが少ない。煙道ガスと共に大気に放出される前に、ボイラー内や空気加熱器等に捉えられる煤塵中にバナジウムが多量に存在するか重油の質の違いと推定する。煙突下から採取した煤塵の分析値は煙道ガスのそれとは大差があるが、やはりバナジウムの量は少ない。

表 9.2.5 に各ボイラーの最大の煤塵量(表 7.2.9) から煙道ガス中の金属量を計算し、米国環境庁が提案した排出基準値の目標(#108)(バナジウム 0.5、ニッケル 0.015、鉛 0.15、亜鉛 4.0、単位 mg/m³) と比較した。この表からは、分析した4種の金属はどれもこの目標値を超していない。

Mayan と Qaramalek 局にて降下粉塵中に亜鉛成分が異常に高い分析値を示した。強風によりペンキのような人工の粉塵が混入したものと推定する。

鉛の降下粉塵中の最低分析値は2月と夏季に測定された。これは雪により交通量が少なかったことと大気不安定下の拡散によるものと推定する。

バナジウムとニッケルの降下粉塵中の含有量がタブリーズとエスファハンでほぼ同じ範囲にあることから、同一発生源から由来したと思え、土壌である可能性が高い。

降下粉塵と SPM のバナジウムとニッケルの分析値は、ほぼ同じ範囲にある。そこでクラーク数はイランの土壌には適用出来ないのだろう。

C) 煤塵

表 9.2.4 はタブリーズとエスファハン発電所の煤塵の金属成分分析値を示した。影をつけた下2段のデータは、煙突の下に積まれていた煤塵の参考分析値であり煙道ガスそのものから採取した試料ではない。

表 9.2.4 煤塵中の金属成分

ボイラー	V	Ni	Pb	Zn	備考
Tabriz #1	0.31~1.98	4.32~33.5	0.03~1.65	0.13~99.6	
Tabriz #2	2.03	36.5	1.88	101.6	
Esfahan #3	0.29~0.47	7.14~18.33	0.04~1.41	3.14~96.9	
Esfahan #4	0.36~0.93	4.64~12.77	0.08~1.54	2.00~80.25	
Esfahan #5	0.16~0.27	1.91~11.77	0.92~1.12	52.80~73.2	
Tabriz #1	5.43	60.00	0.64	11.67	煙突下より採取
Esfahan #4	7.50	74.10	0.73	4.92	同上

mg/煤塵 kg

重油成分中のバナジウム / ニッケルの組成比は、タブリーズで2から5で、エスファハンでは2から4である(表 3.2.3)。一方煤塵中の同組成比は極端にバナジウムが少ない。煙道ガスと共に大気に放出される前に、ボイラー内や空気加熱器等に捉えられる煤塵中にバナジウムが多量に存在するか重油の質の違いと推定する。煙突下から採取した煤塵の分析値は煙道ガスのそれとは大差があるが、やはりバナジウムの量は少ない。

表 9.2.5 に各ボイラーの最大の煤塵量(表 7.2.9)から煙道ガス中の金属量を計算し、米国環境庁が提案した排出基準値の目標(#108)(バナジウム 0.5、ニッケル 0.015、鉛 0.15、亜鉛 4.0、単位 mg/m³)と比較した。この表からは、分析した4種の金属はどれもこの目標値を超していない。

表 9.2.5 煙道ガス中の金属排出濃度

ボイラー	煤塵量 mg/m ³	煙道ガス中の金属量 mg/m ³			
		V	Ni	Pb	Zn
Tabriz #1	210	0.0004	0.007	0.0003	0.021
Esfahan #3	470	0.0002	0.008	0.0007	0.045
Esfahan #4	740	0.0007	0.009	0.001	0.59
Esfahan #5	140	0.0000	0.002	0.0002	0.01
排出基準値(#108) mg/m ³		0.5	0.015	0.15	4.0

D) 煤塵の粉塵等との関連

SPM、降下粉塵、煤塵中の金属成分の濃度範囲の下限と上限をパーセント化して表 9.2.6 に比較した。

表 9.2.6 分析した粒子中の金属成分%

地域	粒子	V	Ni	Pb	Zn
Tabriz	SPM	0.8 - 3.8	2.5 - 3.8	7.9 - 20.5	71.8 - 88.7
	降下粉塵	0.2 - 1.6	0.3 - 3.8	0.7 - 18.9	91.2 - 98.8
	煤塵	1.4 - 1.6	25.1 - 27.8	1.3 - 1.3	69.3 - 72.2
Esfahan	SPM	0.7 - 1.8	0.9 - 2.5	17.0 - 47.2	48.5 - 81.4
	降下粉塵	2.1 - 2.7	2.4 - 9.2	11.4 - 17.7	70.9 - 83.6
	煤塵	0.6 - 1.1	14.3 - 18.6	1.4 - 1.4	78.9 - 83.7

SPM や降下粉塵は、自然界や人為的な源から発生する。風に吹かれた土壌、粉碎・輸送・貯蔵等の工場での作業、工場や自動車による燃料の燃焼、固形物の磨耗等が発生源である。これらの含有金属成分が混ざり合って、SPM や降下粉塵中の金属成分を構成する。表 9.2.6 ではニッケルや鉛の含有量の大幅な違いから、発電所がこれら粒子の唯一の原因ではないことを意味している。

4 種類の金属成分の分析値から、SPM と降下粉塵生成への煤塵の貢献度を推定するのは、不可能である。

E) ガス状汚染物質

別添 9-6 には、簡易法によるガス状汚染物質測定結果と測定個所の図を示した。タブリーズ、エスファハンともほぼ 40 ヶ所での測定を予定した。しかし、人的資源不足で設置されなかったり、回収時に無くなっていた試料等から、分析数は変動している。

本法による測定によると、タブリーズ発電所内では、SO₂ 濃度が全般的に高値を示した。ダウンウォッシュか、ガスの漏洩によるものと思われる。発電所北方で冬季に最高値を示した。精油所に接近している所と思われる。冬季以外には

この場所ではSO₂を検知していない。タブリーズ市内で次に大きい値を示した場所は、ディーゼル排気ガスか家庭用ボイラーの排ガスの影響と想像する。精油所付近と思われる場所でSO₂値が高かった。NO_xに関してタブリーズ地域では発電所内に加えて、主要道路側と市内で、濃度の高いところがあった。

エスファハン発電所内でもSO₂値が高かったが、タブリーズ発電所に比べて低かった。発電所裏のクアエミエではSO₂の特徴ある現象はなかった。秋季、クアエミエの東端でNO_xとNO₂が、タブリーズ、エスファハン両地区での最高値を示した。この場所は、丘の麓で狭間を通る主要道路から約100mはずれている。エスファハンの中心部からほぼ10kmの地点であり、同市で発生したNOが光化学反応を受けて生成したNO₂と、道路他で発生したNOが重なって最高値を示したと想像する。クアエミエの他の2点でも秋季にはNO_xが比較的に高かった。

簡易法と自動計測計のデータ比較を別添9.7に示し、それらを図9.2.5にプロットした。図中の点線は簡易法と自動測定の色が等しい場合である。簡易法のデータはエスファハンではすべてこの点線以下である。これはエスファハンでは簡易法サンプラーの貯蔵、設置等に問題があったものと推定する。

汚染濃度を即時的に計測出来る自動計測器に比べて、対象ガスの暴露量を相対的に濃度化する簡易法は感度が落ちる。吸着濾紙の品質や薬液浸漬、輸送、暴露期間中の妨害、分析誤差等により誤差要因を含んでおり、得られた結果にはある程度のばらつきを前提として使用すべきである。また、本法により得たデータはイラン現行の環境基準やWHOガイドラインに決められている時間、日、年平均の許容値との比較には使用できない。安い費用で大気汚染濃度の分布を知ることが出来るのが、本法の利点である。

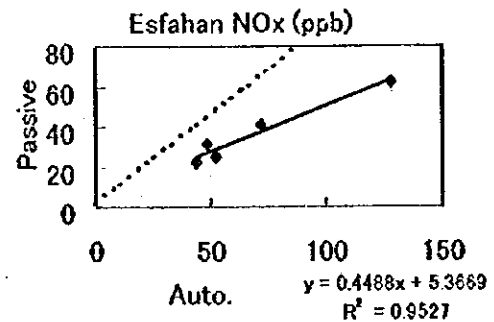
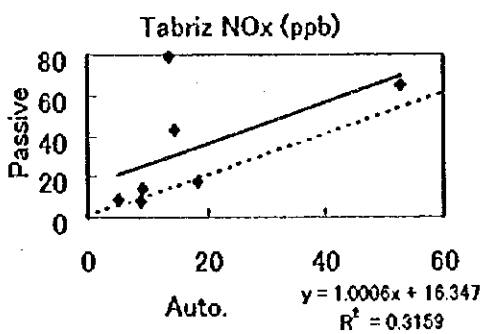
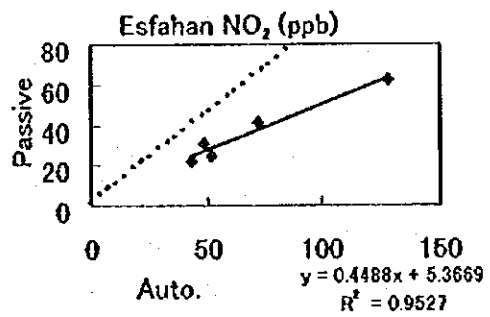
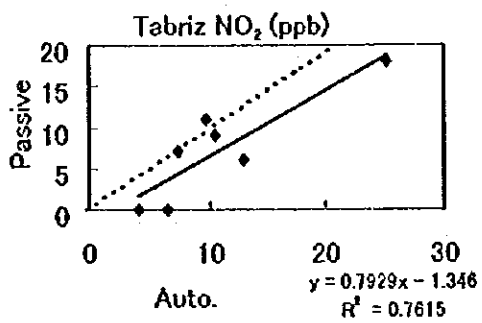
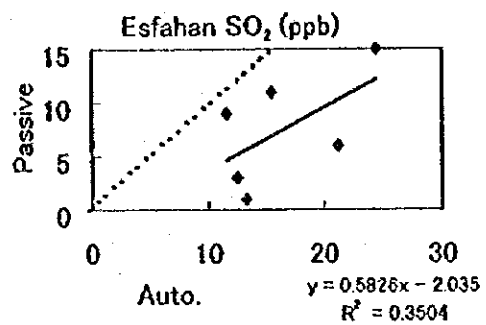
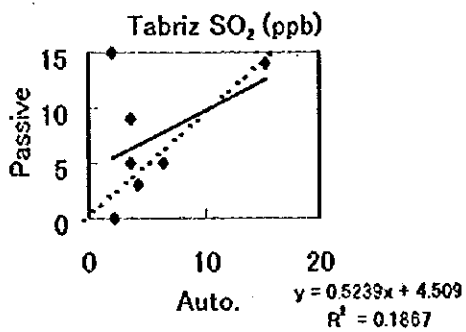


図 9.2.5 簡易法と自動連続法測定データの比較