愛媛大学農学部紀要（Mem. Fac. Agr., Ehime Univ.）
53：7－22（2008）

愛媛大学農学部（樽味キャンパス）における各種大気汚染物質の連続測定

岡﨑友紀代*・若松　伸司*

Yukiyo OKAZAKI* and Shinji WAKAMATSU*: The Continuous Measurement of Air Pollutants at Tarumi Campus, Ehime University

Abstract

The continuous measurement of sulfur dioxide, nitrogen oxide, carbon monoxide, ozone, suspended particulate matter, optical black carbon, the number of suspended particles and meteorological factors including ultraviolet has been started at the campus of Ehime University in Tarumi Matsuyama since Mar. 2006.

Monitoring results showed about 600 data of hourly average ozone exceeded 60ppb and the maximum hourly average of suspended particulate matter reached 500μg/m^3. These observed data at Tarumi violated the Environmental Quality Standards of ozone and suspended particulate matter. But this is also common at the most of air quality monitoring stations in Japan recently. The data also showed the concentration of sulfur dioxide is higher in Matsuyama compared to the entire annual average of hourly data in Japan.

To reduce the worsening urban air pollution of Oxidants, it is important to research the precursors of Oxidants and its mechanisms. Also global environmental problems, such as transboundary pollution, are closely linked to this pollution and it is necessary to assess those contributions.

キーワード：大気汚染，大気測定局，オキシダント，浮遊粒子状物質，二酸化硫黄

1．はじめに

大気環境科学研究室では，環境基準に関わる５項目の大気汚染物質について，2006年２／18より連続測定を開始した（ただし３／17までは試運転期間）．中でも，光化学オキシダント（O_X）および浮遊粒子状物質（SPM）は，近年，日本各地で環境基準を大幅に超過する事例が多数観測され，問題となっている物質である．

環境基本法では，大気汚染に係る物質の環境基準値として，二酸化硫黄（SO_2），二酸化窒素（NO_2），一酸化炭素（CO），O_X，SPM と，加えて有害大気汚染物質である，ベンゼン，トリクロロエチレン，テトラクロロエチレン，ジクロロメタンのそれぞれにおいて，人の健康や生活環境にとって維持されることが望ましい大気中基準濃度を定めている．また，ダイオキシン類特別措置法によってダイオキシン類の大気環境基準が定められている．

このような大気中汚染物質（主として先に述べた従来型汚染物質５種）を常時監視するため，都道府県，または政令指定市により，全国各地に大気測定局が設置されている（2039局：2007年３月末時点）．これらは目的により２種に分けられ，一つは，一般的な生活空間における大気の汚染状況の把握を目的とした一般環境大気測定局（以降一般局とする：1585局）であり，もう一つは，自動車排出ガスによる汚染状況の把握を目的とした自動車排出ガス測定局（以降自排局とする：454局）である．

このうち，愛媛県内に設置されている大気測定局は，松山市内に６局（うち２局が自排局），松前町１局，大洲市２局，東予地域の４市（四国中央市，新居浜市，西条市，今治市）に20局の，合計29局である（図１）が，松山市内については，工業プラントが多く立地する沿岸地域に多くの測定局が配置され，松山平野東側には久米の自排局１局のみで一般局は配置されていない（図２）．そのため，松山平野の東側に位置する愛媛大学農学部樽味キャンパスにおいて測定した一般大気データは，松山平野における汚染物質の挙動を把握する上で，地理的なデータ補完の意味においても重要であるといえる．

2008年４月１日受領
2008年５月14日受理
*愛媛大学農学部　大気環境科学教育分野

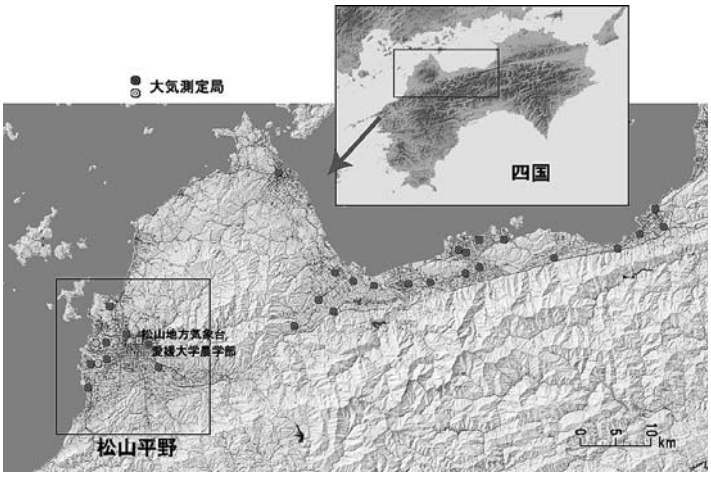


図１　愛媛県　大気測定局の配置（大洲市２局除く）

図２　松山市内　大気測定局の配置

本報告では，まず，愛媛大学農学部において測定されたデータについて，その測定機器やデータの収集方法などの詳細についてまとめた．さらに，本研究室で測定したデータと，松山市内の大気測定局のデータとを併せて解析を行うことで，2006年から2007年の松山市内における大気汚染の状況について，明らかとなった地域的特徴を報告する．

２．大気汚染物質濃度の測定方法とデータの取り扱い

２．１　愛媛大学農学部

大気環境科学研究室で使用している，大気汚染物質自動測定機の詳細を表１に示す．

測定機器は農学部南棟の３階に設置しており（写真

表１　愛媛大学農学部における測定物質の計測機器詳細および環境基準値

		測定機器の詳細	測定解像度	環境基準
ガス状汚染物質	CO	サーモエレクトロン社製 Model 48i 測定方式：ガス相関方式非分散赤外吸収法	１分間移動平均	１時間値の１日平均値が10ppm 以下であり，かつ，１時間値の８時間平均値が20 ppm 以下であること．
	SO_2	紀本電子工業製 SA－633 測定方式：紫外線蛍光法	５分間移動平均	１時間値の１日平均値が40ppb 以下であり，かつ，１時間値が100ppb 以下であること．
	NOx （NO，NO_2）	紀本電子工業製 NA－623 測定方式：化学発光法	５分間移動平均	（NO_2）１時間値の１日平均値が40ppb から60 ppb の範囲内または，それ以下であること．
	O_3	紀本電子工業製 OA－683 測定方式：紫外線吸収法	５分間移動平均	１時間値が60ppb 以下であること．
粒子状汚染物質	SPM $PM_{2.5}$ OBC	紀本電子工業製 SPM－613D 測定方式 SPM/$PM_{2.5}$：β 線吸収方式 OBC：反射型光散乱検出	１時間積算	（SPM）１時間値の１日平均値が100μg/m³ 以下であり，かつ，１時間値が200μg/m³ 以下であること．
	パーティクルカウンタ	リオン社製 KC－01D 測定方式：交軸交角70度側方散乱方式0.3／0.5／１／２／５μm 以上	44秒に１回	－
気象要素	気温 相対湿度 現地気圧	VAISALA 製　ウェザートランスミッター　WXT510 測定方式 気温/気圧/湿度：静電容量式センサ 風向風速：超音波トランデューサ 降水：ピエゾ電気式センサ	瞬時値（１分毎）	－
	風向，風速		10分平均値	－
	降水量		10分積算	－
	紫外線量	EPLAB 製　波長領域290－385nm UV センサ	瞬時値（１分毎）	－

※環境基準の評価方法のうち，短期的評価は上述の通り．NO_2, O_3 の長期的評価は上述の通り．

CO，SO_2，SPM の長期的評価では，日平均値の高い方から２％の範囲内にあるものを除外して評価する．また，日平均基準を超える日が２日以上連続した場合は非達成となる．（環境大気常時監視マニュアル，2007）

１），採気は地上約８m の窓外より行っている（写真２）．配管は，粒子状物質については単独で採気し，その他ガス状物質は，ガラス製の集合管を経由した後，それぞれの測定機器に分配している（2007年10／13に全て単独配管に変更）．気象要素の観測機器は屋上に設置しており，気温，相対湿度，現地気圧，風向，風速，降水量，そしてオゾンの生成に関わる紫外線量（UV）のデータを観測している．

ガス状物質の測定は，CO，SO_2，NO_x，O_3 の全てにおいて，乾式と呼ばれる吸収液体を使用しない測定方法の機器を使用しており，SPM 計を含み，CO 計以外は紀本電子工業の測器である．NO_x 計では NO と NO_2 濃度を測定しており，また，光化学オキシダントのうち90％以上を占める O_3 の濃度を測定し O_x 濃度としている（環境大気常時監視マニュアル，2007）．

写真１　愛媛大学農学部　測定機器

写真２　愛媛大学農学部　採気口

粒子状物質のデータについて，本研究室では一般に大気測定局で監視される SPM に加え，$PM_{2.5}$，粒径別粒子個数，光学的元素状炭素成分（Optical Black Carbon: OBC）の測定を行っている．SPM は『浮遊粉じんのうち粒子径が10μm 以下の粒子状物質』であり，$PM_{2.5}$ はさらに粒径の小さい2.5μm 以下のもの（厳密な定義では，各最大粒径の粒子について，SPM は100％，$PM_{2.5}$ は50％除去される装置を通過した粒子）であるが，$PM_{2.5}$ は肺の深部に進入，沈着しやすく，また，有害な成分を含む割合が高いことから，人体への影響が大きいと考えられており，アメリカでは1997年より環境基準が定められている．これら２粒径に分けた粒子重量（$\mu g/m^3$）の測定に加え，パーティクルカウンタにより，５段階の粒径別（0.3，0.5，１，２，および５μm 以上）における，粒子個数を計数している．また OBC とは，粒子中の元素状炭素（Elemental Carbon: EC）成分の粒子が黒いことから，黒さの度合いを光学的手法によって測定し，これを EC 量の指標として測定するものである．

UV センサーは，波長領域290nm から385nm の紫外線のみを通すフィルタが取り付けられており，0.543 mW/cm^2 あたり１mV の電圧として測定される．この電圧をアンプにより100倍に増幅した値を収録している．

測定した汚染物質のデータは，一分値および一時間値を収録している．ガス状物質，および UV については，一分値データは１分毎の各測器における瞬時値を，一時間値データは１秒毎の解像度で積算したものを収録している．SPM，$PM_{2.5}$，OBC は，テフロンテープ上に一時間に１スポットの粒子を補集し測定を行うため，１分毎の経過値と，１時間補集後のデータが収録される．また，粒子数測定は約44秒に１回の計測がおこなわれ，このデータを連続的に収録している．気象データ（UV を除く）については，風向風速は10分間の平均値を，降水量は積算値を10分毎に収録（2007年３／26から）し，その他は瞬時値を１分毎に収録している．

測定機器の感度確認は，ゼロガスおよび標準ガスを流して指示値の確認・校正を行い，およそ月に１回（2007年10月より月２回）の頻度で実施している．

２．２　松山市大気測定局

愛媛県松山市内には，一般局４カ所，自排局２カ所，さらに参考局として，環境省登録外であるが松山市が独自に設置している測定局が２カ所あり（図２），それぞれ表２に示した項目について常時監視をおこなっ

表２　松山市内における大気測定局の設置状況と測定項目

局　名	富久町	和　気	味　生	本町消防（自排）	久　米（自排）	垣生小学校	東垣生（参考）	弁天山（参考）	農学部
標高／採気口高さ（地上 m）	6.0/2	2.0/4	15.0/8	20.0/1.5	45.0/3	2.7/3.3	4.2/3	20.0/3	42/9
配管長さ*1（m）（集合・単独／外＋中）	単独 2～4	単独 5～7	単独 3～6	単独 3	集合／4＋2～3	集合／4＋4～6 SP 単独8	集合／4＋3～8（SPM が8）	単独 6	集合／5＋1～3 SPM 単独 4
測定項目*2									
SPM	T	H	H	－	T	T	T	T	
SO_2	T	H	H	－	T	T	T	T	
NO	T	T	H	－	T	T	T	－	
NO_2									
NO_x									
O_x	T	－	－	－	T	T	T	－	
CO		－	－	H	T	H	T	－	
THC	T	－	－	－	T	T	T	－	
NMHC									
CH_4									
風向	○	○	○	－	○	○	○	○	
風速									

＊１　集合の場合は，採気口からマニホールド出口までの長さ＋各機器までの配管長さ
　　単独の場合は，採気口から各機器までの合計長さ
＊２　－：測定なし
　　T：東亜 DKK　H：堀場　○：光進電気工業風向風速計

ている．

一般局（参考局含む）のうち，和気局および味生局は官舎に設置され地上約４～８m，弁天山局は標高100m 程度の山の中腹（西側）に測定局が設置され，地上から約20m の大気をそれぞれ測定しているが，その他の局は地上の独立局で，採気口は地上約３m である．自排局における道路から採気口までの距離は，本町消防局は国道196号線より5.2m，高さ1.5m，久米局は国道11号線より25m，高さ３m の位置に設置されている．

測定局の現地調査を行ったところ，集合管で大気を採取していた局は，同型の採気管（写真３）とマニホールド（吸入ファンのついた集合管：写真４）を使用していたが，垣生小学校局では SPM 計のみを単独配管で採気していた．

測定機器については，松山市内の測定局では全て乾式の測定法による機器を使用している．機器メーカーは東亜 DKK が多くを占めるが，和気局と味生局の SO_2，SPM 計，味生局の NO_x 計，本町消防局と垣生小学校局の CO 計は，堀場製作所の測定器を使用している．気象要素については，風向と風速のみを観測しており，全ての局で同一の風車型風向風速計を使用している．

写真３　松山市内測定局　採気口

非メタン炭化水素（NMHC）は，農学部では測定をおこなっていない物質であるが，光化学オキシダントの原因物質の一つとして対策が推進されており，測定網の整備が進められている．測定方式は直接法であり，カラムによってメタン（CH_4）を分離した後，炭化水

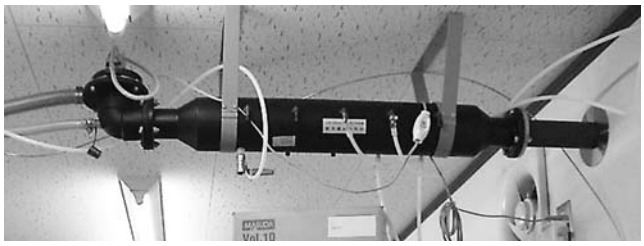


写真４　松山市内測定局　マニホールド

素を燃焼させて NMHC 濃度を測定する（THC は NMHC と CH_4 の合計値）．値は炭素数で換算した濃度（ppmC）で示される．

測定された各物質のデータは，大気汚染常時監視システムとして体系化された，テレメータによるオンライン・リアルタイム処理により伝送，収録され，愛媛県および松山市によって運用，管理されている．

２．３　解析に用いたデータについて

データの解析には一時間値を使用した．各汚染物質（パーティクルカウンタを除く）および UV については，１時間の平均値が一時間値として収録されている．気象要素のうち降水量は１時間の積算値を求め，その他気象要素とパーティクルカウンタのデータは，毎正時直近の値を一時間値とした．

パーティクルカウンタの測定データは各粒径以上の重複したデータであるため，差をとり，0.3～0.5，0.5～１，１～２，２～５，５μm 以上とした．また，UV のデータは，収録されている数値に係数（0.543/100×10［W/m^2］）をかけた値を用いた．ただし UV の値は一時間平均値であり，各１時間の平均紫外線強度となる．

CO のデータについて，濃度のベース値（連日の最低濃度値）が徐々に上昇するゼロドリフト現象がみられたため，校正時に記録したゼロの指示値と，前回校正時からの経過時間との直線の傾きを求めることで，濃度補正を行った．加えて，2006年12月に校正作業以外でのゼロリセット（指示値が急激に０まで下がっていた）現象が起こったが，データの補正はおこなっていないため，2006年12／２～2007年１／27の CO データは参考値とする．また，2007年２／１より，毎日23時15分から30分間ゼロガスを流す自動ゼロ校正を導入したため，０時の一時間値は校正中となる．そのため2007年２／１以降の０時（24時）の一時間値データは，同日23時59分の一分値データで置き換えた．

農学部屋上で観測した気象データは，松山地方気象台で観測されたアメダスデータと比較し検証をおこなった．その結果，湿度，風向風速，降雨のデータにおいて，農学部と松山気象台（松山市持田：図２）との間で地点差がみられた．2007年３月までの降雨データは，データの収録方法を感知方式にしていたが正常に感知されていなかったため，2006年３月から2007年２月までの降雨データについては，松山気象台のアメダスデータを用いた．気温と気圧についてはほぼ同等の値を示していた．

松山市内測定局のデータは，松山市提供によるテレメータの一時間値データ（2005年４月～2007年５月）を集計し使用した．なお，NMHC および CH_4 については農学部で観測をおこなっていないため今回は解析から省いた．

３．愛媛大学農学部の観測結果と日本全国・愛媛県・松山市内との比較

愛媛大学農学部で測定した，2006年３月から2008年５月までの各汚染物質および気象データの一時間値について，３ヶ月ごとにまとめたグラフを図３（３－１～３－９）に示す．環境省（2007a），愛媛県（2007）によってまとめられている，全国と愛媛県下の測定局についての環境基準達成状況と，農学部の各年度における達成状況とを比較し，農学部地点（松山市樽味）における大気汚染状況を検討した（a）．各物質における環境基準値は表１に示すとおりである．

また，農学部を含む松山市内９測定局の2005年４月から2007年５月までの月平均濃度について，物質ごとに地点間差を比較したグラフ（図４　４－１～４－５）より，松山平野における大気汚染物質分布の特徴について検討した（b）．

各物質における（a），（b）についての考察を以下に示す．

３．１　SO_2

SO_2 は，石油や石炭に含まれる硫黄分が燃焼することで（または原料を処理することで）発生する．高濃度で呼吸器に影響を及ぼすが，水に対する可溶性が高いため吸入されると上部気道に大きな影響を与える．また，酸性降下物の主要因でもある．

３．１（a）

1950年代以降の日本の環境問題において，粉塵問題が克服された後の主要な大気汚染物質が SO_2 であったが，1960～70年代に著しく汚染が改善した後，近年の濃度は横這い傾向にあり，2006年度の SO_2 全国年平均値は，一般局３ppb，自排局４ppb である．ほとんど全ての測定局で環境基準を達成しており（長期的評価），非達成であった鹿児島市の２局（年平均値：９ppb，17ppb）については，自然要因によると考えられる（環境省，2007a）．

愛媛県内で測定を行っている27測定局における，2006年度の SO_2 日平均値の最高濃度は各局で10～24 ppb の範囲であり，長期的評価における環境基準はすべての測定局で達成している（愛媛県，2007）．しかし一時間値で見ると，垣生小学校局で100ppb を超えた時間数が３時間あり（最高濃度138ppb），短期的評価においては非達成となっている．また，参考局である弁天山局でも同様に短期的評価で非達成となっている．このように，松山市内の測定局で環境基準を超過する事例が発生する原因について，大気汚染防止法による排出基準である K 値をみてみると，松山市では11.5と高めの設定であることから（四国中央市：6.0，新居浜市・旧西条市：2.34），排出源の影響を顕著に受ける地点では，条件により高濃度になると考えられる．また，愛媛県全測定局（一般局）の年平均値を計算すると5.5ppb であり，全国平均と比較して愛媛県における SO_2 濃度は高いことが分かる．

愛媛大学農学部における SO_2 の日平均値は，2006年度が最小２～最大14ppb，2007年度が最小0.4～最大12ppb，また，一時間値の最大濃度はそれぞれ42ppb，31ppb であり，この２年間において環境基準は達成している．農学部における SO_2 の濃度変化の特徴としては，特定の日変化を示さず，高濃度のピークが現れる時間も日によって異なっていたため，農学部と発生源における風向風速の関係が濃度に大きく影響していると考えられる．

図３　愛媛大学農学部測定データ

上から
① SO_2
② NO，NO_2，NO_x
③ O_3
④ CO，OBC
⑤ SPM（左軸），$PM_{2.5}$（左軸），$PM_{2.5}$/SPM（比：右軸）
⑥ パーティクルカウンタ
（各粒径の合計個数を100％としたときの割合　2006年８／12～2007年３／23までは機器の故障のため欠測）
⑦ UV（左軸），気温（右軸），相対湿度（右軸）
⑧ 平均風速（左軸），気圧（右軸），降水量（左軸）（※３－１～３－４の降雨データは松山気象台のデータ）

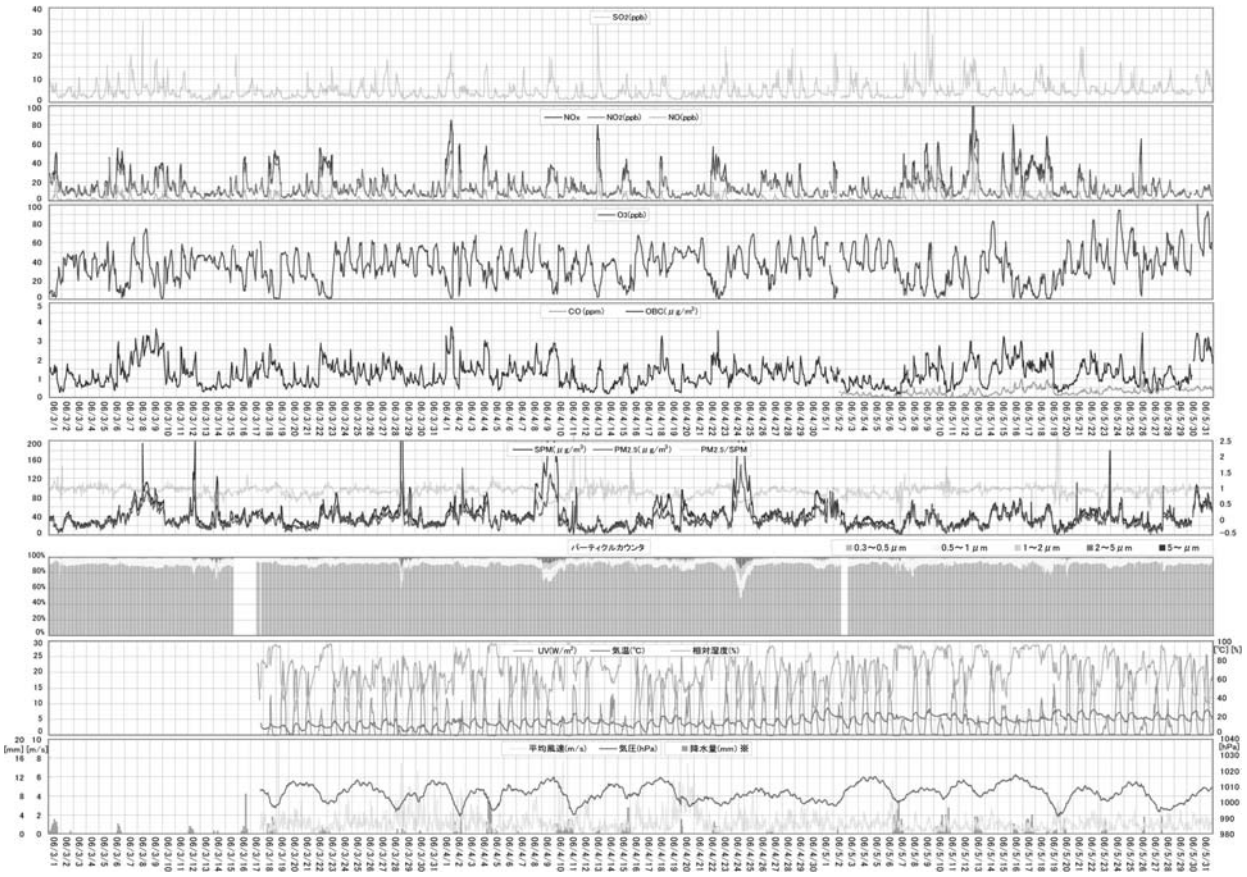


図３－１　愛媛大学農学部測定データ　2006年３～５月

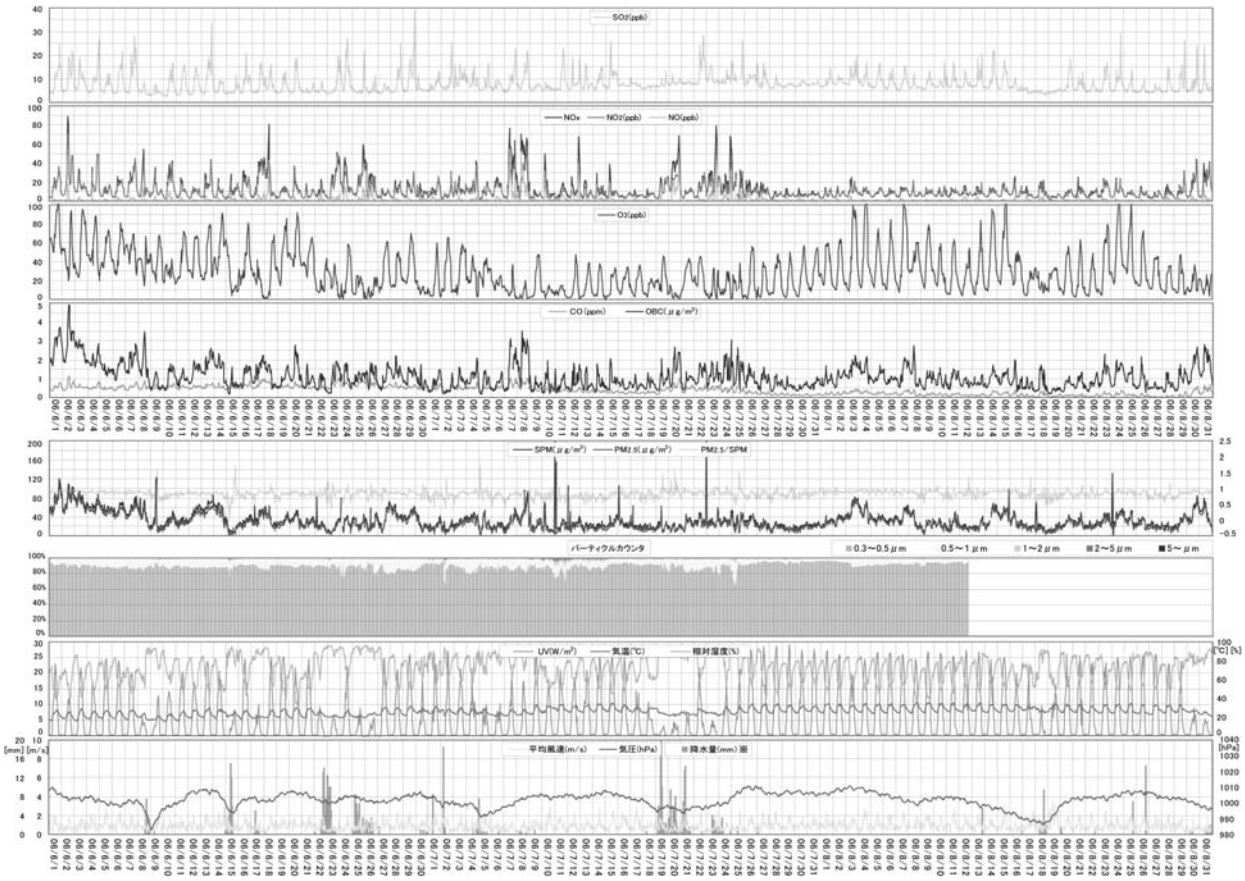


図３－２　愛媛大学農学部測定データ　2006年６～８月

図３－３　愛媛大学農学部測定データ　2006年９～11月

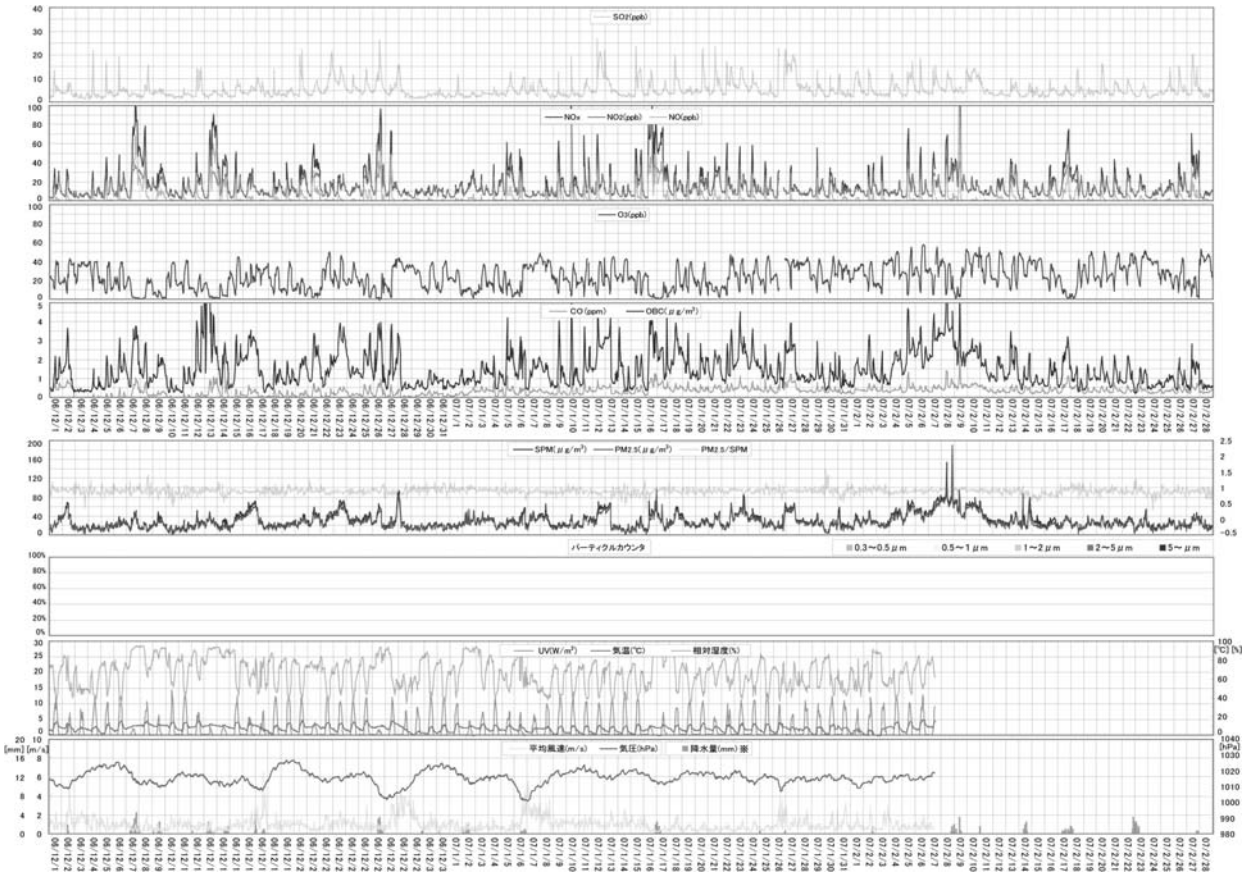


図３－４　愛媛大学農学部測定データ　2006年12～2007年２月

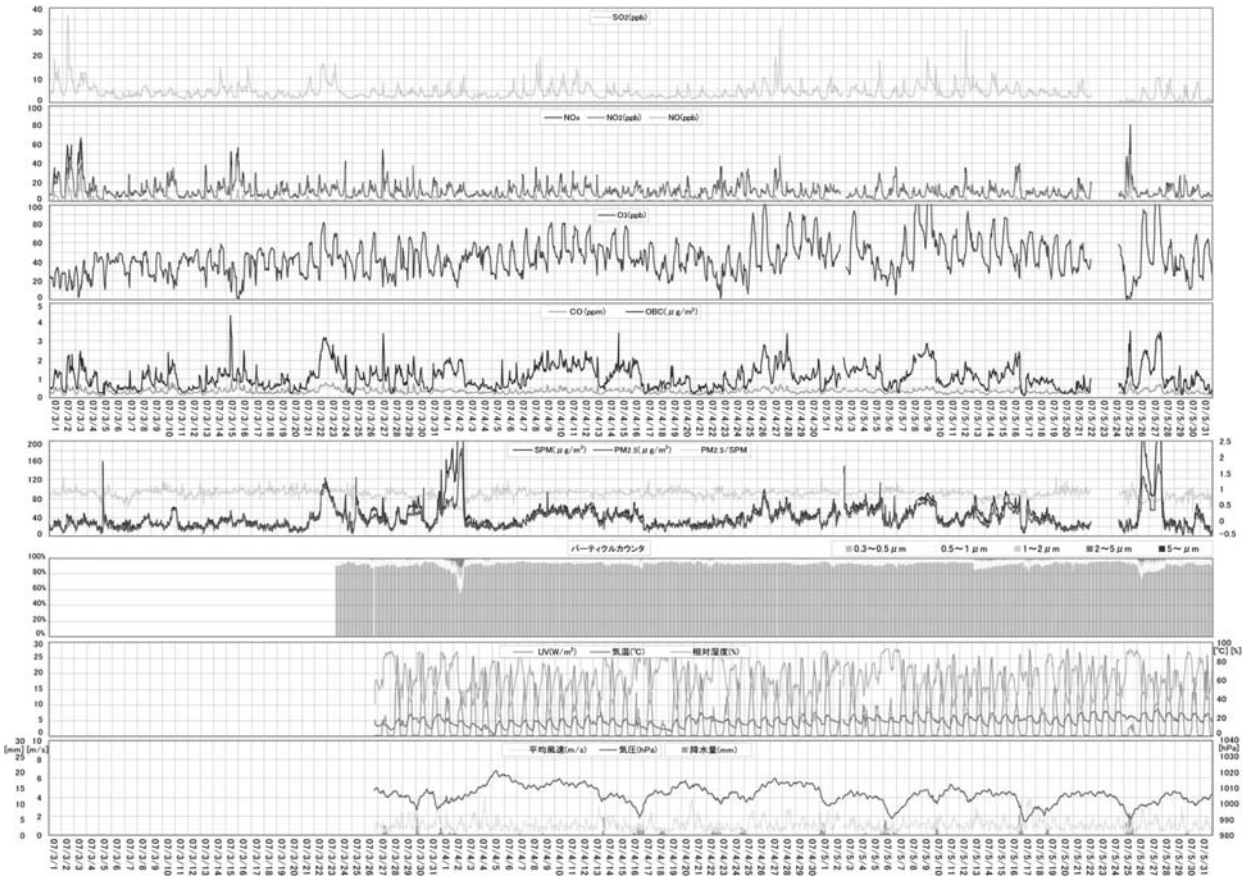


図３－５　愛媛大学農学部測定データ　2007年３～５月

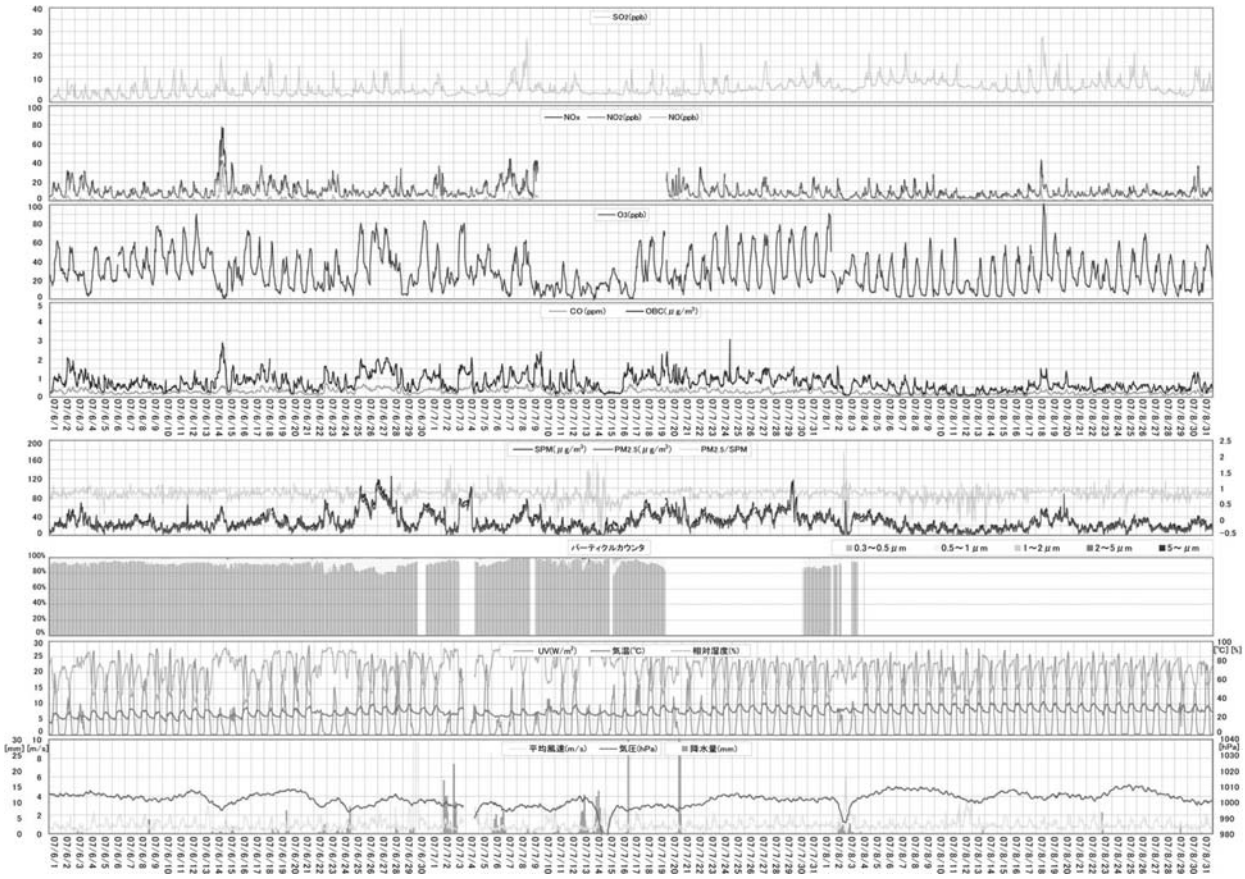


図３－６　愛媛大学農学部測定データ　2007年６～８月

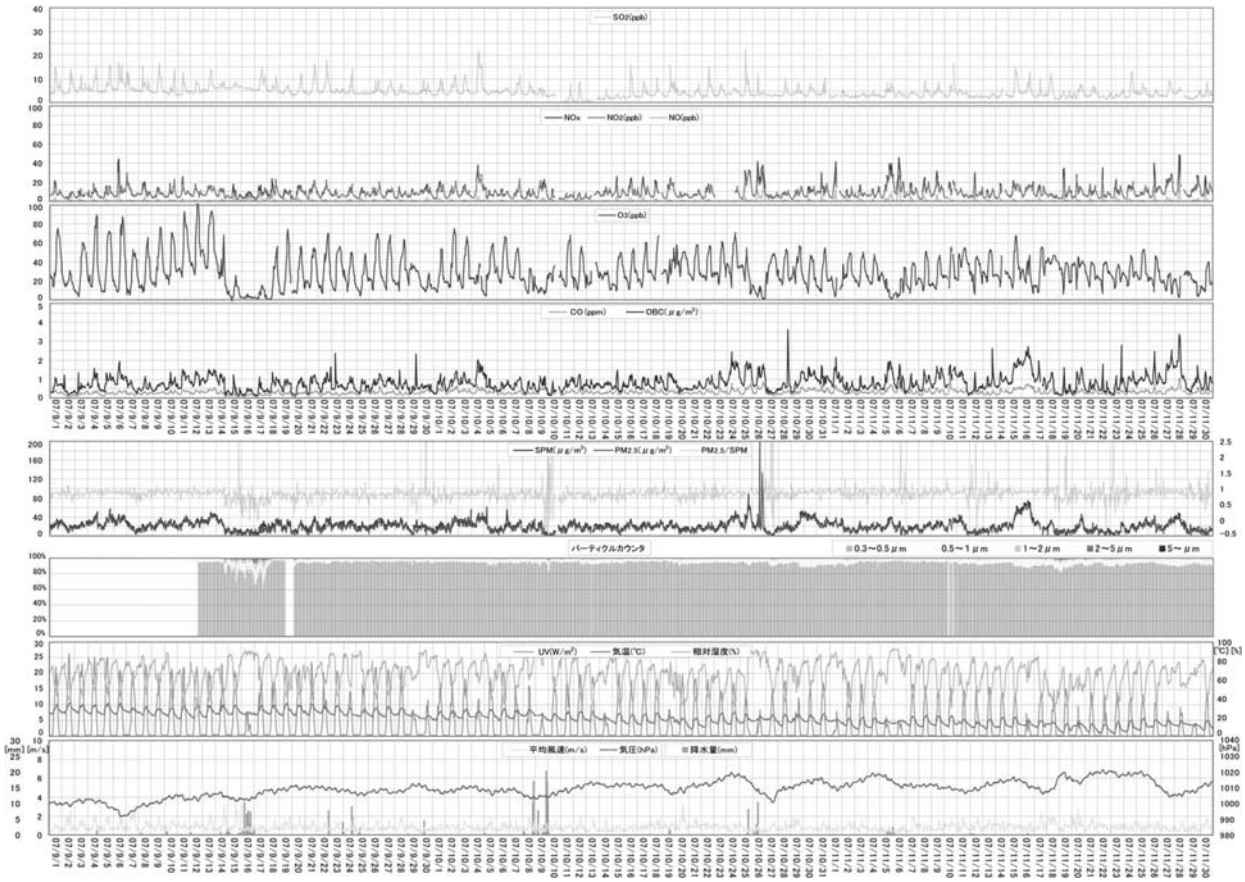


図３－７　愛媛大学農学部測定データ　2007年９～11月

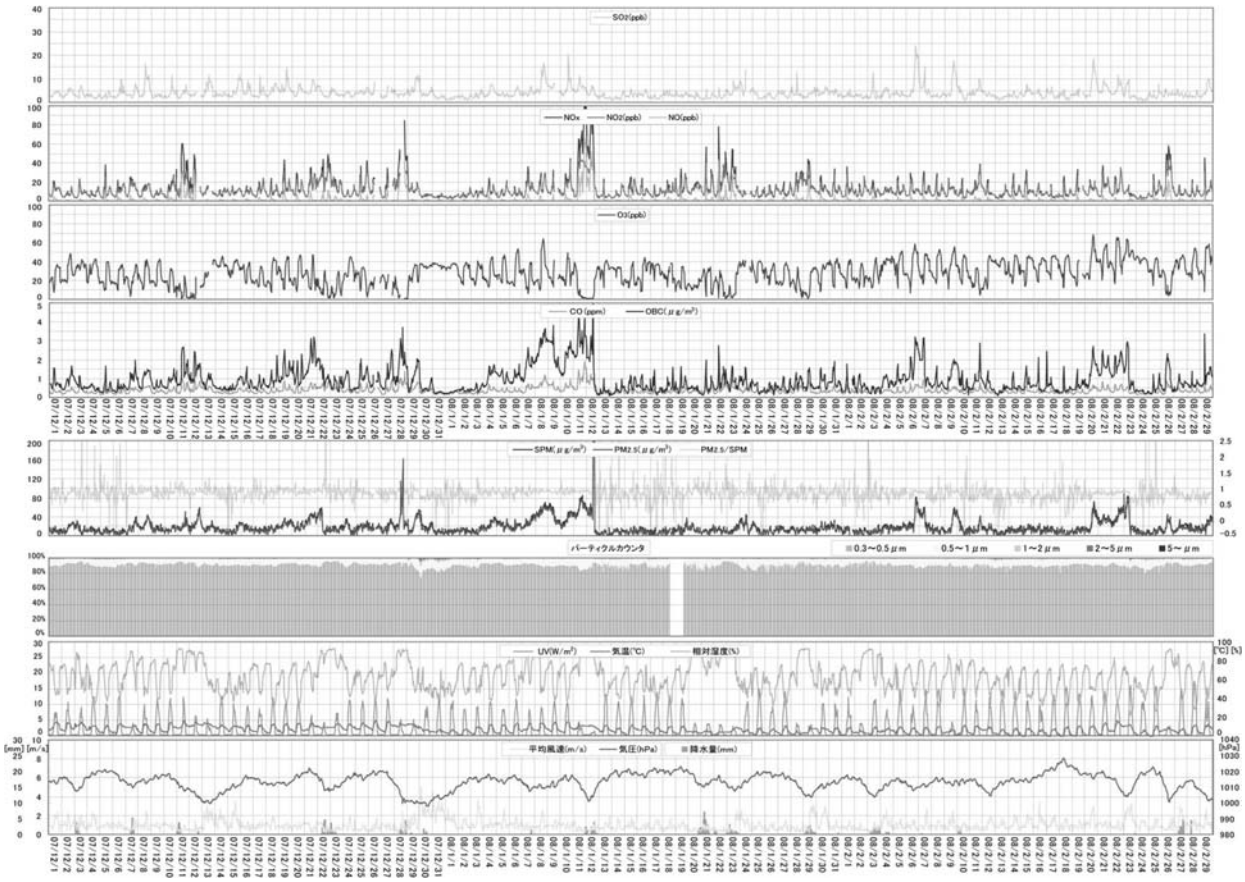


図３－８　愛媛大学農学部測定データ　2007年12～2008年２月

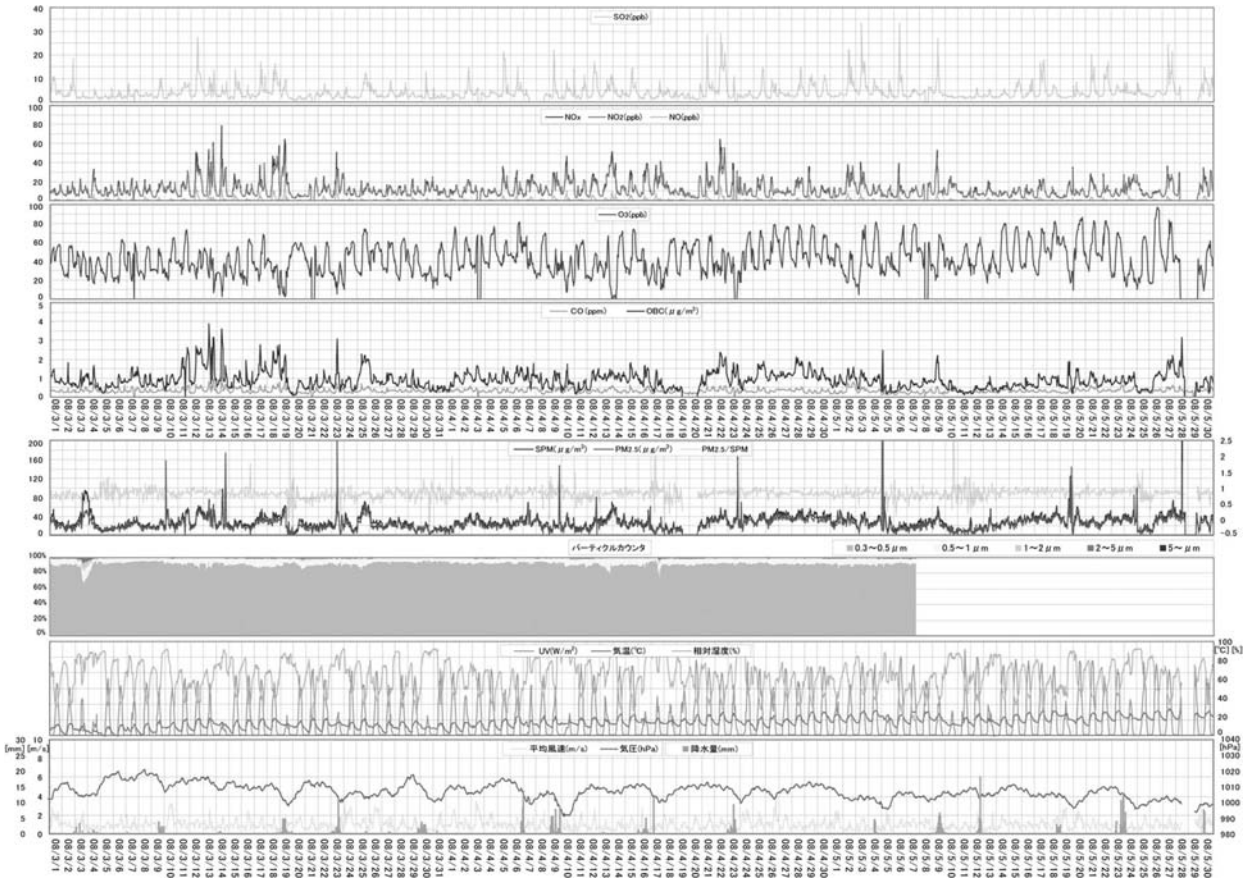
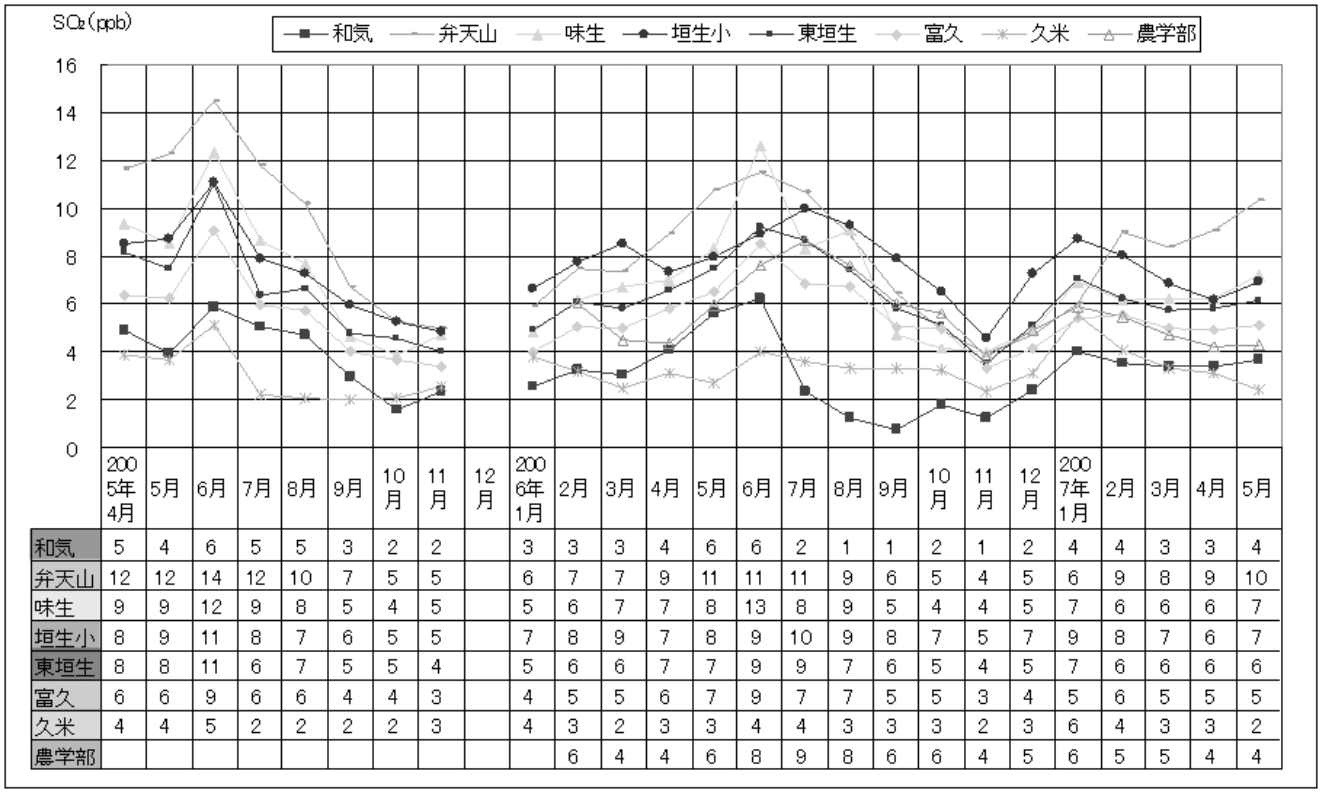


図３－９　愛媛大学農学部測定データ　2008年３～５月

図４　松山市内大気測定局　各地点の観測結果比較
2005年４月～2007年５月（農学部：2006年２月～2007年５月）



	2005年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年1月	2月	3月	4月	5月
和気	5	4	6	5	5	3	2	2		3	3	3	4	6	6	2	1	1	2	1	2	4	4	3	3	4
弁天山	12	12	14	12	10	7	5	5		6	7	7	9	11	11	11	9	6	5	4	5	6	9	8	9	10
味生	9	9	12	9	8	5	4	5		5	6	7	7	8	13	8	9	5	4	4	5	7	6	6	6	7
垣生小	8	9	11	8	7	6	5	5		7	8	9	7	8	9	10	9	8	7	5	7	9	8	7	6	7
東垣生	8	8	11	6	7	5	5	4		5	6	6	7	7	9	9	7	6	5	4	5	7	6	6	6	6
富久	6	6	9	6	6	4	4	3		4	5	5	6	7	9	7	7	5	5	3	4	5	6	5	5	5
久米	4	4	5	2	2	2	2	3		4	3	2	3	3	4	4	3	3	3	2	3	6	4	3	3	2
農学部											6	4	4	6	8	9	8	6	6	4	5	6	5	5	4	4

図４－１　SO_2

３．１（b）

松山市内大気測定局の月平均値比較のグラフ（図４－１）より，松山平野における SO_2 濃度は，垣生小学校局をはじめとして臨海地域の局で濃度が高く，特に高濃度である弁天山局は，海に面した山の斜面の，標高20m 地点に設置されている．工場の煙突より排出された汚染物質は，煙突出口を中心として風下に向かって円錐状に拡散することで徐々に濃度が低下していくため，上述した２局では，工場からの距離や高度といった立地条件が悪いため，工場の排気煙突からの影響を強く反映するのではないかと考えられる．

農学部における SO_2 濃度が，農学部から約3.6km の位置にある久米局と比較してやや高いが，この点について考慮しておくべき問題として，農学部で使用している紫外線蛍光法の測器には，妨害物質となる炭化水素（HC）を除去するカラムが取り付けられているが，このカラムが飽和する現象がおこっている．このことより，HC が SO_2 測定値に影響を与えている可能性があると共に，農学部での特徴的な汚染として，HC の濃度が高いことが予想される．

３．２　NO・NO_2

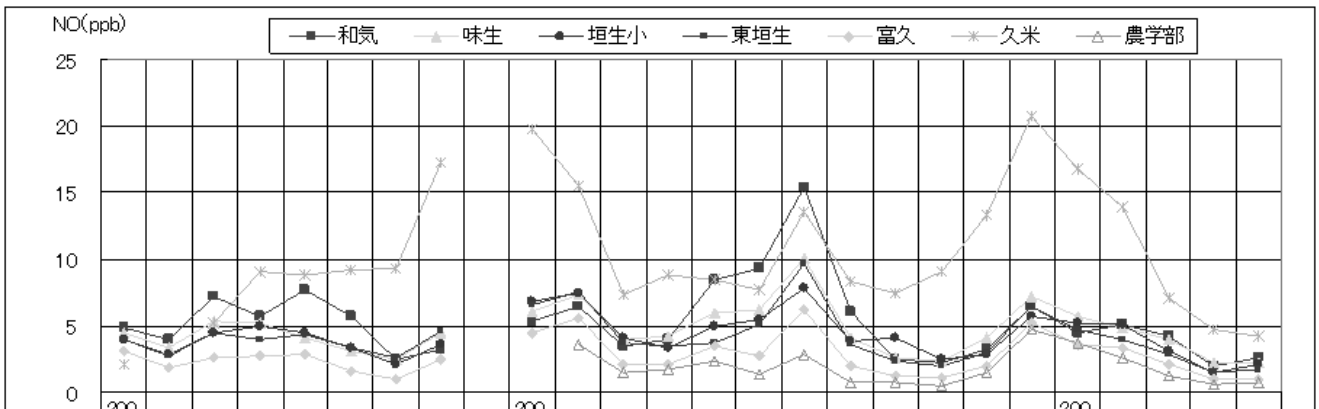
NO，NO_2 等の窒素酸化物（NO_x）は主に化石燃料の燃焼に伴って発生するが，高温燃焼に伴い必然的に発生するため，自動車や工場での燃焼だけでなく，家庭からの排出や自然界からの排出も無視できない．

発生源は，工場等の固定発生源と自動車等の移動発生源に分けられ，大部分が NO として排出された後に，大気中で O_3 等により酸化されて NO_2 となる．特に NO_2 は中毒学的観点からは毒性が強く，緩慢な水溶性であるため下部気道に侵入し，高濃度で呼吸器に影響を与える．また NO_x は酸性雨や光化学大気汚染の原因物質となる．

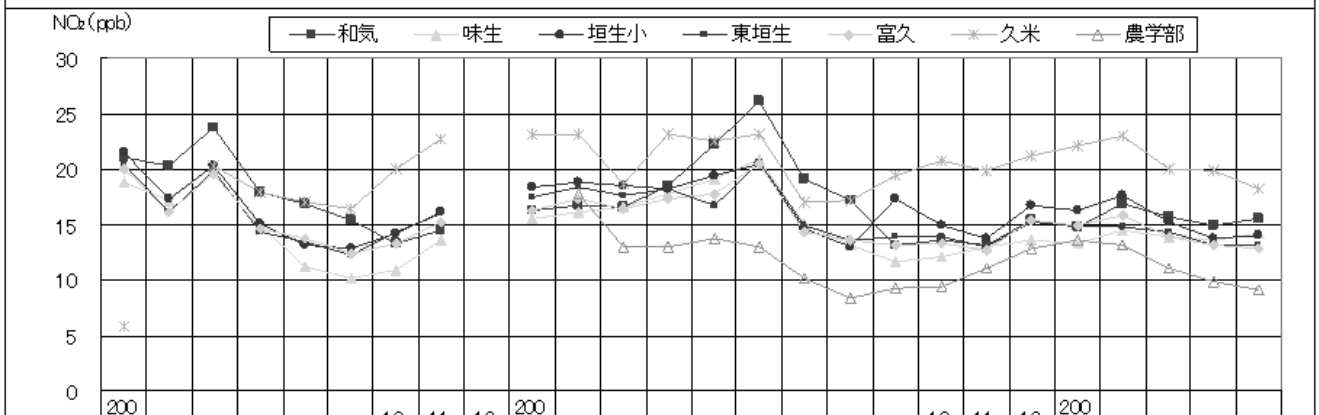
３．２（a）

全国における NO 濃度は一般局，自排局共に年々減少傾向にあるが，対して，NO_2 濃度の改善割合は少ないか，ほぼ進んでいない．2006年度の NO_2 の全国年平均値は，一般局15ppb，自排局27ppb であり，環境基準の達成状況は，一般局では2003年度よりほぼ100％，自排局は2006年度の時点で90.7％の達成率となっている（環境省，2007a）．

愛媛県の13測定局における，2006年度 NO_2 日平均値の98％値（年間の日平均値のうち低い方から98％に



	2005年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年1月	2月	3月	4月	5月
和気	5	4	7	6	8	6	2	3		5	6	3	4	8	9	15	6	3	2	3	7	4	5	4	2	3
味生	4	3	5	5	4	3	3	5		6	7	4	4	6	6	10	4	3	2	4	7	6	5	4	2	2
垣生小	4	3	4	5	5	3	2	4		7	7	4	3	5	5	8	4	4	3	3	6	5	5	3	2	2
東垣生	4	3	4	4	4	3	3	5		7	8	4	3	4	5	10	4	2	2	3	6	5	4	3	1	2
富久	3	2	3	3	3	2	1	2		4	6	2	2	3	3	6	2	1	1	2	5	4	3	2	1	1
久米	2		5	9	9	9	9	17		20	16	7	9	8	8	14	8	7	9	13	21	17	14	7	5	4
農学部											4	1	2	2	1	3	1	1	1	2	5	4	3	1	1	1



	2005年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年1月	2月	3月	4月	5月
和気	21	20	24	18	17	15	13	14		16	17	17	19	22	26	19	17	13	14	13	15	15	17	16	15	16
味生	19	17	20	15	11	10	11	14		15	16	17	18	19	21	15	13	12	12	13	14	13	14	14	14	14
垣生小	22	17	20	15	13	13	14	16		18	19	18	18	19	20	15	13	17	15	14	17	16	18	15	14	14
東垣生	21	16	20	14	13	12	14	16		17	18	18	18	17	21	15	14	14	14	13	15	15	15	14	13	13
富久	20	16	19	15	14	12	13	15		16	17	16	17	18	20	14	14	13	13	13	15	15	16	14	13	13
久米	6		20	18	17	16	20	23		23	23	19	23	23	23	17	17	19	21	20	21	22	23	20	20	18
農学部											18	13	13	14	13	10	8	9	9	11	13	14	13	11	10	9

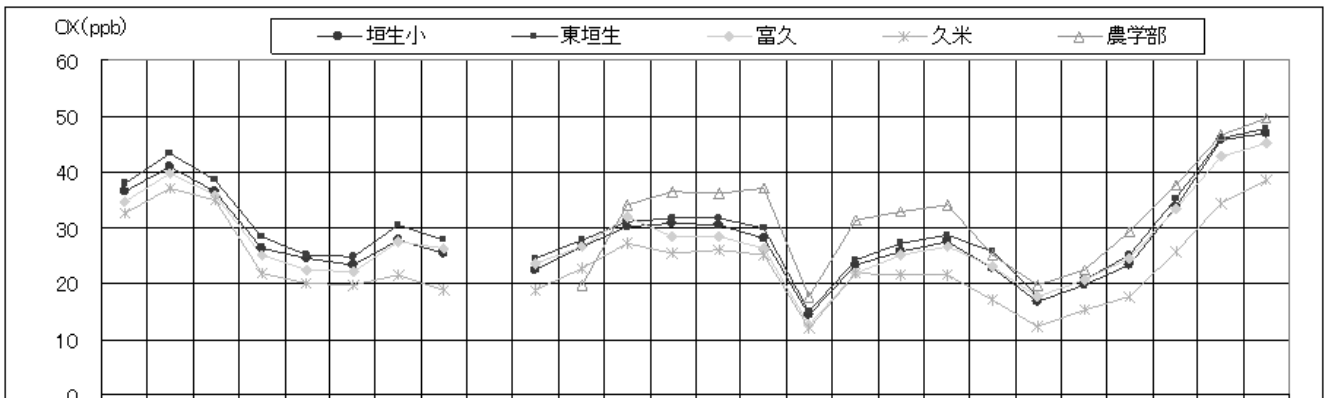
図４－２　NO，NO_2

あたるデータ）は28～44ppb であり，前年度に引き続いてすべての測定局で環境基準を達成している（愛媛県，2007）．年平均値は一般局17.5ppb，自排局（久米局１局のみ）21ppb であり，一般局の濃度は全国の値より高い．

愛媛大学農学部における NO_2 の日平均値は，2006年度が最小４～最大31ppb，2007年度が最小３～最大29ppb であり，この２年間において環境基準は達成している．NO については，2006年度が0.1～27ppb，2007年度が0.1～22ppb であった．NO_x 濃度の特徴として O_3 の濃度変化と強い関連性があり，NO_x の濃度が高いと O_3 の濃度が低く，NO_x の濃度が低いと O_3 の濃度が高くなるといった，逆相関の関係が見られる．

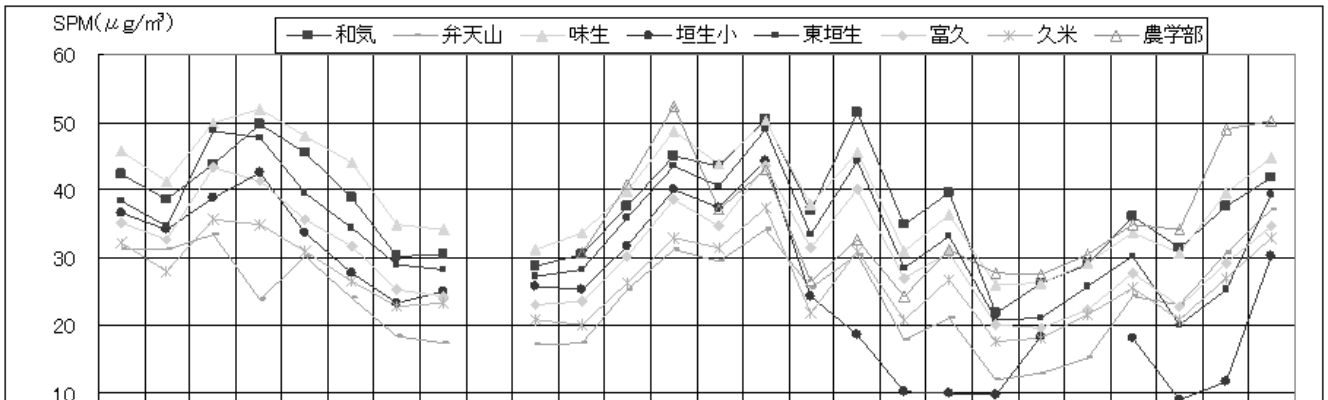
３．２（b）

松山市内大気測定局の月平均値比較のグラフ（図４－２）より，NO および NO_2 は，久米局で非常に高濃度であり，農学部では一番低かった．ここで NO_2 についてみてみると，久米局と農学部での濃度変化が良く一致しており，月平均値から各地点の相関を求めると，久米と農学部で相関が高い一方，垣生小，東垣



	2005年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年1月	2月	3月	4月	5月
垣生小	36	41	36	26	24	23	28	25		22	27	30	31	31	28	14	23	26	27	23	17	20	23	34	46	47
東垣生	38	43	38	28	25	25	30	28		24	28	31	32	32	30	15	24	27	29	26	18	21	25	35	46	48
富久	35	40	36	25	22	22	27	26		24	27	32	28	28	26	13	22	25	27	23	17	21	25	33	43	45
久米	32	37	35	22	20	20	21	19		19	23	27	25	26	25	12	22	22	21	17	12	15	18	26	34	38
農学部											20	34	36	36	37	18	31	33	34	25	20	22	29	37	47	50

図４－３　O_x



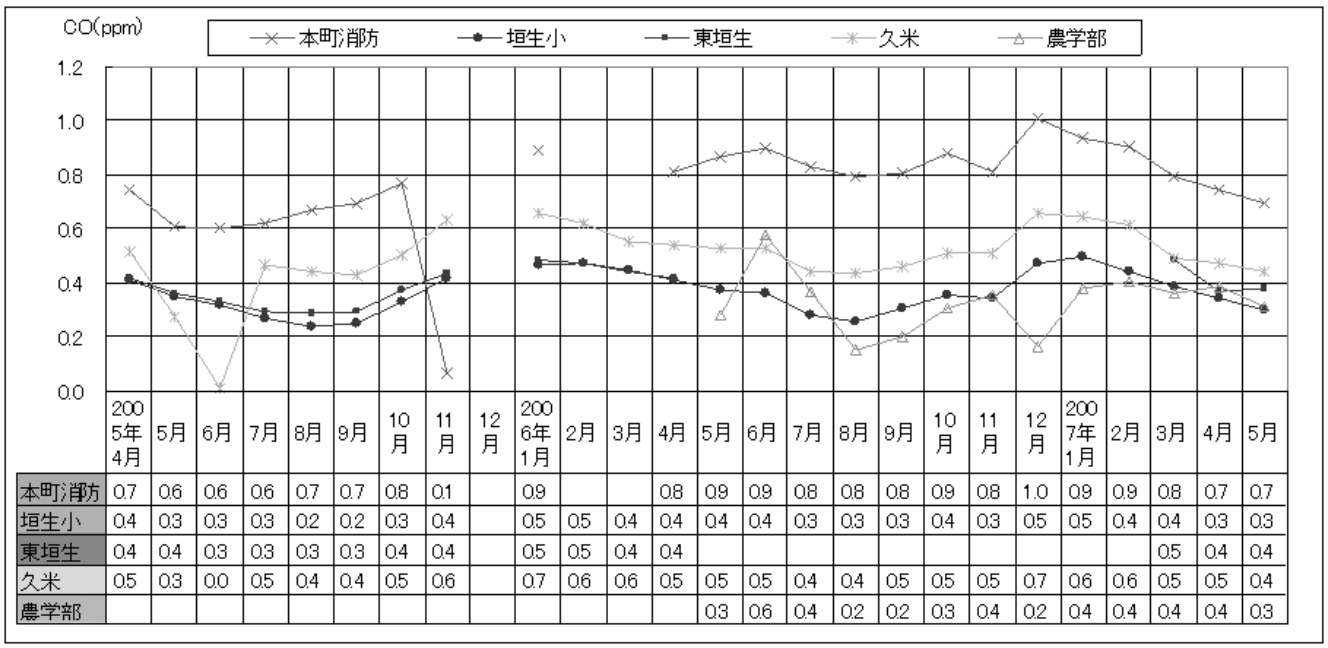
	2005年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年1月	2月	3月	4月	5月
和気	42	39	44	50	45	39	30	30		29	30	37	45	43	50	37	51	35	40	22	26	29	36	31	38	42
弁天山	31	31	33	24	30	24	18	17		17	17	25	31	29	34	25	30	18	21	12	13	15	24	23	31	37
味生	46	41	50	52	48	44	35	34		31	34	40	49	44	50	38	46	31	36	26	26	29	34	31	40	45
垣生小	37	34	39	42	34	28	23	25		26	25	32	40	37	44	24	19	10	10	10	18		18	9	12	30
東垣生	38	35	49	48	39	34	29	28		27	28	36	44	41	49	33	44	28	33	21	21	26	30	20	25	39
富久	35	33	43	41	35	32	25	24		23	23	30	39	34	44	31	40	27	31	20	19	22	28	23	29	35
久米	32	28	36	35	31	27	23	23		21	20	26	33	31	37	22	31	21	27	18	18	21	25	21	27	33
農学部											31	41	52	37	43	27	32	24	31	28	28	30	35	34	49	50

図４－４　SPM

生，富久，味生の西側の４地点でそれぞれ0.9以上の高い相関があり，２つのグループに別れることがわかった．これより，NO，NO_2 の濃度分布には松山市内において地域差がみられ，各地域における発生源寄与の違いが予想された．

3. 3　O_x

NO_x や揮発性有機化合物（VOC:　NMHC も含まれる）を主体とする一次汚染物質に太陽光線（紫外線）が照射されると，光化学反応によって O_3，パーオキシアセチルナイトレート（PAN），アルデヒド等の物質が二次的に生成する．光化学オキシダント（O_x）



	2005年4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2007年1月	2月	3月	4月	5月
本町消防	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.1		0.9			0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7
垣生小	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4		0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
東垣生	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4		0.5	0.5	0.4	0.4											0.5	0.4	0.4
久米	0.5	0.3	0.0	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6		0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
農学部														0.3	0.6	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

図４－５　CO

はこれらの総称（O_3 が90％以上を占める）であり，いわゆる光化学スモッグの原因となる．

O_x は強い酸化力を持つ物質であり，人体への影響では，O_3 は NO_2 に極めて類似した生態影響を示し，PAN は眼やのどへの刺激作用を持つ．また，O_x は植物被害や農作物収量の減少などの植物に対する毒性影響も強い．

３．３（a）

2006年度の O_x 日最高値（昼間：５～20時）の全国平均値は，一般局46ppb，自排局37ppb であり，1970年代前半に大幅に減少した後の濃度より徐々に増加している．全国の測定局における環境基準達成率が１％未満であり，120ppb 以上を基準として発令される，光化学オキシダント注意報発令のべ日数も，1970年代と比較して増加の傾向がみられる（環境省，2007a）．

愛媛県における O_x の2006年度（11測定局）環境基準達成状況は，昼間の一時間値が60ppb を越えた時間が，各測定局でそれぞれ54～647時間あり，すべての測定局で環境基準を達成していない（愛媛県，2007）．また光化学オキシダント注意報は，2005年度及び2006年度には発令がなかったが，2007年度に３局において１～３回（５／９，５／27，９／12）発令された（被害報告は無し）．O_x の昼間の１時間値について愛媛県の年平均値を求めると，一般局26.6ppb，自排局（久米局１局のみ）23ppb であった．

愛媛大学農学部における O_3 の一時間値の最高濃度および基準を超えた時間数は，2006年度が124ppb で562時間，2007年度が128ppb で635時間であり，この２年間において環境基準の達成率は非常に悪く，基準を超過した時間数が愛媛県内の測定局の中でも多い．年平均値はそれぞれ，30ppb，32ppb であった．また，120ppb を超過した時間数は，2006年度３時間（２日），2007年度７時間（２日）である．このうち2007年５／27に，農学部では５時間にわたって120ppb 以上を記録し（123～128ppb），大気の状態が非常に悪かったことがわかる．このような高濃度現象は，O_x が紫外線によって生成するため，UV（日射）量が多く風の弱い日に起こりやすく，逆に，日射の少ない雨や曇りの日に O_x は低濃度となる．また NO_x の項でも述べたが，O_x は NO_x の濃度変化に大きく影響を受ける．

３．３（b）

松山市内大気測定局の月平均値比較のグラフ（図４－３）より，O_x は他の物質と比較して，各局の濃度が非常に良く一致していた．これより，O_x の発生は主に気象条件など，広い範囲で一様となる環境要因によって左右されていることが予想される．その中でも，農学部が最も濃度が高く，久米局が一番低かったが，久米局は自排局であるため，自動車から排出された NO との反応によって O_x の濃度が低いと考えられる．一方農学部は，採気口が他の局よりも高い位置（８m）にあるため，O_x の反応（生成・消滅）状況が他局と異なり，測定濃度に反映している可能性が考えられる．

O_x は春と夏に濃度が上昇するが，2007年の春は３月から５月まで急激に上昇し，例年と比較して非常に高濃度であった事がわかる．

3．4　SPM・$PM_{2.5}$

大気中に浮遊する粒子状物質には，工場や自動車等の人為的発生源から，あるいは土壌の巻き上げや黄砂等の自然発生源から，直接大気中に放出される一次粒子と，大気中のガス状物質が粒子状物質に変化する，二次生成粒子が存在する．二次的に生成する粒子には，硫酸塩，硝酸塩，有機炭素成分などの汚染物質が含まれ，動物実験では，粒子と混在し肺や気管に吸入されることによってその影響に相加～相乗効果がみられる（産業環境管理協会，1998）．

3．4（a）

2006年度の SPM 全国年平均値は，一般局26μg/m³，自排局30μg/m³ で，近年緩やかな改善傾向が見られる．環境基準達成状況は1999年より大きく変動しており，1999年まで改善傾向であったのが，2000年から2002年にかけて達成率が50％以下まで減少したが，ここ数年では90％を超えるまで改善している．これは，評価基準にある「２日以上連続して基準値を超えた」局数が変動したためであり（環境省，2007a），黄砂の影響によると考えられる．

愛媛県における2006年度（26測定局）の，各局における一時間値最高値は148～700μg/m³ であり，環境基準達成率は84％である．愛媛県の SPM 環境基準達成状況は，近年ほぼ70％前後で横ばいが続いている（愛媛県，2007）．2006年度年平均値は，一般局32μg/m³，自排局（久米局１局のみ）25μg/m³ で，一般局における濃度が全国平均と比較して高い．

愛媛大学農学部における SPM 日平均値の濃度範囲は，2006年度が８～198μg/m³，2007年度が５～232μg/m³ であり，基準を超過した日数はそれぞれ，２日，４日となっている．また，一時間値の最大濃度および基準を超えた時間数は，2006年度564μg/m³，24時間，2007年度509μg/m³，27時間であり，2006年度は短期的評価において，2007年度は両方の評価において環境基準が達成されていなかった．基準超過した時間の多くは，黄砂が飛来する３月～５月に観測されている．一方，黄砂飛来時のような短期間の濃度増加とは異なり，数日単位で濃度が上昇する現象が年間を通してみられる．このような濃度変化は気圧の変化と対応していることが多く，発生源として，地域の外から輸送されてくる汚染気団による影響が考えられる．

3．4（b）

松山市内大気測定局の月平均値比較のグラフ（図４－４）より，SPM は，各局の濃度差はあるがほぼ同様の濃度変動を示し，SO_2 のように臨海の工業地域から内陸に向かう挙動とは異なることが予想される．ここで，農学部のデータにおいて，SPM が高濃度となる４月だけ平均値が高くなる現象がみられることから，一時間値データの詳細な検討をおこなったところ，黄砂飛来時の大粒子が増加するときに，農学部の観測値が他局よりも特に高いピークを示すことがわかった．これは，粒子状物質の挙動には重力などの力学的な影響が大きく関わるため，配管の長さや採気口の状況などによって各局の観測結果に差が生じることが予想される．以上より，松山市内における SPM 濃度の分布は，小規模な地域固有の発生源影響よりも大規模な濃度変動を反映しており，各局における濃度差は，測定機器の設置状況の違いによるものではないかと考えられた．

3．5　CO

CO は燃料等の炭素および有機物の不完全燃焼によって生じるが，固定燃焼施設の対策がほぼ行き届いていることから，都市大気中に存在する CO は自動車排気ガスの寄与が大きい．CO は血液中のヘモグロビンと結合して酸素運搬機能を阻害し，中枢神経や心筋に影響を与える毒性の強いガスである．

3．5（a）

CO 濃度は1970年代より1980年代にかけて大幅に改善したが，近年は一般局ではほぼ横ばいであり，自排局で漸減傾向にある．2006年度の全国年平均値は，一般局0.4ppm，自排局0.6ppm で，環境基準値は全ての測定局で達成している（環境省，2007a）．

愛媛県における2006年度（８測定局）の CO 年平均値および，各局の一時間値の最高濃度は，一般局0.37ppm，1.4～7.6ppm，自排局（久米局，本町消防局）0.7ppm，2.4～3.8ppm であり，前年度に引き続いてすべての測定局で環境基準の長期及び短期的評価のいずれも達成し，近年はどの地域も低濃度で推移している（愛媛県，2007）．

愛媛大学農学部における CO 日平均値の濃度範囲は，2006年度が０～0.7ppm，2007年度が0.1～1.0ppm，また，一時間値の最大濃度はそれぞれ2.6ppm，1.9ppm であり，この２年間において環境基準は達成している．CO 濃度が上昇するイベントでは，OBC，NO_x の濃度も同様に上昇していることが多く，これら３物質は自動車の排気ガス中に含まれることから，農学部における CO の高濃度発生は，主に自動車の影響と考えられる．

3．5（b）

松山市内大気測定局の月平均値比較のグラフ（図４－５）より，本町消防局で非常に高濃度であり，次いで久米局が高い．この２局は共に自排局であることから，自動車排出ガスによる影響が現れていることがわ

かる．しかし一方で，CO 濃度は SPM と同様に全域で類似した濃度変化をしており，局所的な汚染源とは異なる大きな汚染影響も反映していることが予想される．

4．まとめと今後の検討

以上の結果をまとめると，松山平野における SO_2 濃度は，環境基準値は達成しているものの，地理的条件などによっては環境基準を超える高濃度となる場合もあり，十分な監視や濃度低減に向けての対策が必要であるといえる．松山平野における SO_2 の拡散分布を明らかにするために，今後，モデルシミュレーションによって，臨海地域の発生源から平野の東側へ向かいどのように輸送されるか検討をおこなう予定である．

NO_2 濃度は環境基準値を達成しているが，近年高濃度発生が問題となっている O_x の濃度は松山平野においても環境基準を超過しており，この対策には NO_x 濃度の削減が有効である．しかし，NO および NO_2 は他の物質に比べ，排出源が多様で排出量が多く，松山平野においても単一でない汚染源影響が示唆された．また，自動車，船舶，航空機などの移動発生源が排出量に大きく寄与しているため対策が容易ではない．こういった事から，今後松山平野における NO_x 濃度削減の対策目標をより明確にするためには，まず，それぞれの汚染源を詳細に把握する必要があると考えられる．また，O_x の濃度上昇に関して，国外からの越境汚染の影響についても今後さらに問題になると考えられる．その対策として，高濃度現象の解析などにより各汚染物質の相互関係を明らかにし，松山平野における O_x 発生のメカニズムを把握する必要がある．これについて，長距離輸送の指標とされる CO と，O_3 のデータを用いて統計解析をおこない，大陸からの輸送汚染とローカルな汚染との寄与割合について検討する予定である．

SPM 濃度の測定局による差について，観測方法（配管など）や機器メーカー（測定方法）の違いによる影響が，どの程度測定結果に寄与するかを検討する必要があると考えられる．この点については今後愛媛県や松山市の協力を得て，各測定局の設備状況の詳細な検証，または，測器の並行試験を行うなどにより検討していく予定である．

摘　　要

愛媛大学農学部において2006年３月より2008年５月まで連続自動測定器による大気汚染物質の観測を行った結果，松山平野における大気汚染の状況は，SO_2 は全国濃度と比較して高い値であること，NO・NO_2 は松山平野における複数の汚染源寄与が予想されること，O_x は近年高濃度で観測され松山市においても環境基準を超過する事例が増えていること，SPM も黄砂現象により高濃度が観測され，加えて，日本国外からの汚染輸送が示唆されることなどが明らかとなった．

謝　　辞

本研究を進めるにあたり，観測機器の整備にご尽力いただいた紀本電子工業株式会社の酒井隆様に深く感謝致します．また，愛媛県内の大気測定局に関わるデータを快くご提供いただいた，愛媛県立衛生環境研究所，および，松山市環境部に御礼申し上げます．

引用文献

愛媛県，2007，平成19年度版　愛媛県環境白書
環境省，2007a，大気環境・自動車対策　平成18年度大気汚染状況について，http://www.env.go.jp/air/osen/jokyo_h18/index.html
環境省，2007b，平成19年版　環境・循環型社会白書
環境省　水・大気環境局，2007，環境大気常時監視マニュアル　第５版
産業環境管理協会，1998，五訂　公害防止の技術と法規
若松伸司，2008，環境工学の新世紀・７章，社団法人土木学会編，技報堂出版，209－220