

都市域とその周辺における大気微量成分の気候学

岩嶋樹也

要 旨

都市域とその周辺における地表付近のオゾンや大気メタン濃度の観測データを解析して、それらの空間分布や時間変動などの気候学的特徴を明らかにしてきた。また都市域の中心部と近郊のメタン濃度差の観測を基に都市人口との関係を検討してきた。ここでは、これまでの主な研究結果を概説する。

オゾンに関しては、宇治(防災研究所屋上)と京都市山科区北花山(京都大学理学部地球物理学教室北花山分室)において継続観測してきた約16年分のデータに、京都府・京都市の常時大気監視観測によるオキシダントデータを加えて、空間分布やその日変化・年(季節)変化・年々変化について解析して興味ある気候学的特徴を見出した。

大気メタンに関しては、名古屋市や京都市などの都市域とその周辺における気候学的特徴(空間分布・時間変動)について、これまでに得た研究結果を概観し、最後に、国内外の都市中心部とその近郊とのメタン濃度差と都市の人口・面積データを基に、都市域の人間活動と大気メタン発生量の関係を検討した。

キーワード: オゾン, 大気メタン, 発生量, 日変化, 季節変化, 年々変化, 都市

1. 序

大気微量成分のオゾンやメタンの実態把握は全地球的環境問題においても基本的な重要事項の一つである。オゾンは、温室効果気体の一つでもあり、人間・動植物に対する紫外線の影響の重大性から、その濃度減少が問題視されている。また大気メタンは二酸化炭素のおよそ20倍の温室効果を有しており、その実態把握が欠かせない。特に、人間活動による影響評価が課題である。近年の都市の拡大を考えると、都市域やその周辺における人間活動に伴う変動とその影響評価は重要課題である。

これまで観測や解析を進めてきた、都市域とその周辺における大気メタンやオゾンの濃度分布と時間変動に関する気候学的特徴や都市域におけるメタン発生量の算定結果をまとめる(岩嶋, 1997, 1998, 2007; 岩嶋・村松, 1996a, 1996b; 1997a, 1997b, 1998; 岩嶋ら, 2000, 2001; 岩嶋ら, 1999, 2002; 岩嶋ら, 2004; 岩嶋・森山, 2007; 岩嶋ら, 2005)。

まず、防災研究所本館屋上(宇治市五ヶ庄)及び理学研究科地球物理学教室北花山分室(京都市山科

区北花山大峰町)において、1990(1992)年5月以降、約15年間継続して観測してきた地表オゾン濃度データや京都府・京都市による大気環境監視観測点におけるオゾン(オキシダント)データに基づいて、その空間分布に注目して解析し、その日変化・季節変化・年々変化に見られる気候学的特徴とその成因についての解析結果を述べる。

続いて、オゾンと同様に、都市域とその周辺における大気メタンの空間分布に関して進めてきた名古屋市・愛知県や京都市・京都府南部での観測・解析結果について述べる。

最後に、都市域におけるメタン発生量を見積もる目的で実施してきた国内・海外の諸都市と周辺における空気採取・簡易気象観測結果を基に、都市中心部と近郊とのメタン濃度差を検討する。これは、国内・海外の様々な規模の都市域において発生するメタン量と人間活動の大きさとの関係を探ろうとしたものである。なお、平成14-16年度に実施した国内・海外での空気採取・気象観測では、『日本大学総長指定総合研究(地球型社会における危機への対応; 自然とのかかわり)』(研究代表者・森山茂)の一

部として財政的支援を得た。また諸外国のいくつかの都市での空気採取においては、森山茂氏(日本大学大学院総合科学研究科教授)・福山薫氏(三重大学生物資源学部教授)にご協力頂いた。

2. 観測資料と採取空気試料分析方法

都市域とその周辺における地表付近のオゾン濃度に関しては、京都大学防災研究所(宇治市五ヶ庄)や京都大学理学部地球物理学教室北花山分室(京都市山科区北花山大峰町17-1)で継続観測してきたデータに、京都府や京都市による大気環境監視観測点のオゾン・オキシダント濃度データを加えて、気候学的特徴(日変化・季節変化・年々変化)について解析した(岩嶋・森山, 2007)。

都市中心部や近郊におけるメタン濃度の測定には、現地で空気試料を採取して研究室に持ち帰り、防災研究所気象・水象災害研究部門災害気候研究分野のガスクロマトグラフ[島津製作所製GC-8APF;水素イオン化検出器FID・モレキュラーシーブ5A充填ガラスカラム使用]により分析した。また、いくつかの府県・都市(愛知県・名古屋市・京都府・京都市・滋賀県・大津市他)管轄の大気環境常時監視測定局における長期間の観測値(メタン・オキシダント・一酸化炭素・気象データ)を使用した。

3. 地表オゾン濃度：日変化・年変化・年々変化

防災研究所及び理学部地球物理学教室北花山分室の二箇所におけるオゾン濃度観測データと、京都府・京都市によるオキシダント濃度観測データを解析して得た空間分布やその時間変化の特徴を概説する(岩嶋・森山, 2007; 岩嶋ら, 2004)。

3.1 宇治・北花山のオゾン濃度日変化・年変化

1992-2003年の約12年間について月毎に平均したオゾン濃度の1時間値の日変化・年変化[岩嶋・森山(2007)の Figs. 1a, 1b] をみると、夜明け前後の7時頃に最低となり、その後、徐々に濃度が上がり、14~15時に最高になる。同じように、両観測点における日変化・年変化の濃度差[岩嶋・森山(2007)の Fig. 2] をみると、日平均では北花山のオゾン濃度がやや(3~10ppbV ほど)高く、日変化の幅は宇治の方が約10ppbV ほど大きい。これは、(2007)の Fig. 5] の特徴を抽出するために、京都

宇治と北花山の両観測点の海拔高度差(約200m)や交通量の多い道路からの距離に差があり、これらに依存して両観測点の平均濃度や濃度日変化幅の差となって現れていると推測される。全年を通じて平均した宇治と北花山における日変化図が Fig. 1である。村松(1993, 1995)の解析結果をみると、宇治における光化学(あるいは化学)過程よりも、北花山における高層からの輸送過程による寄与が大きいと推測される。

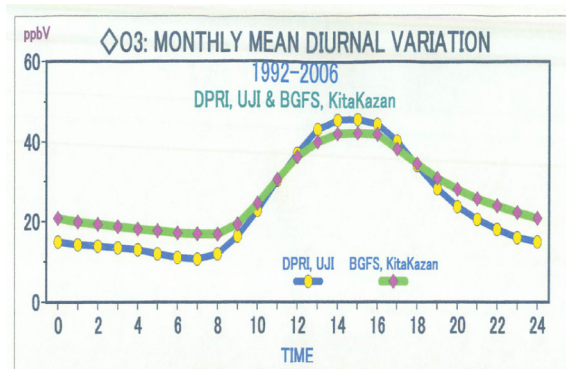


Fig. 1 Diurnal variation of the O₃ concentration observed at a) Uji (DPRI) and b) Kitakazan (BGFS; Yamashina-ku, Kyoto-shi) averaged during the years 1992-2006

3.2 京都市と南部近郊におけるオキシダント濃度分布：年平均・季節平均・月平均

宇治・北花山の二つのオゾン観測点のみならず、都市と周辺の、より広範な空間分布を検討するために、京都市と近郊の大気環境監視観測点(市役所・壬生・南・伏見・山科・左京・西京・久我・北・醍醐・京都タワー)におけるオキシダント(Ox)濃度の年度平均値・月平均値を基に主観解析し、年平均・季節平均・月平均濃度の空間分布図を作成したところ、京都市とその南部では、[岩嶋・森山(2007)の Figs. 3, 4, 5] 3カ所に濃度極大域をもつ特徴的な分布が得られた。さらに季節平均や月平均分布図[岩嶋・森山(2007)の Fig. 4(季節平均)と Fig. 5(月平均)]をみると、時期によって極大域の広がりや濃度が変化しているが、期間を通じて3カ所に濃度極大域がみられ、北部と南東部の極大域濃度が南西域よりもやや高濃度であった。

3.3 京都市と近郊におけるオキシダント濃度分布の年変化

月平均オキシダント(Ox)濃度分布[岩嶋・森山市の11観測点における月平均 Ox データを主成分

分析したところ、第1主成分の寄与が圧倒的に大きく、その寄与率は98.5%、第2主成分の寄与率は1%であった。第1主成分スコアの年変化と固有値の分布図 [岩嶋・森山(2007)の Figs. 6, 7] からすると、第1主成分はバックグラウンド濃度による年変化であり、第2主成分は地域的な寄与によるものと推測される。第1主成分スコアの年変化は、4~6月に最大となり、7~10月は横ばい、12月に最低となっており、中緯度帯の経度平均したオゾン全量の年変化に類似している。これに対して、寄与率としては極めて小さいが、第2主成分スコアの年変化は、3月~4月に最大、7月に最小、10月に第2の極大になった後、やや減少して、12月には極小となった後、増加している。第2主成分スコアの年変化は北花山で観測されたオゾン濃度とほぼ共通する年変化の特徴を示している [Fig. 2 参照]。この北花山における9-10月の第2の濃度極大に着目してその年々の変化を検討してところ、Fig. 3のように3タイプの年変化パターンがみられた。

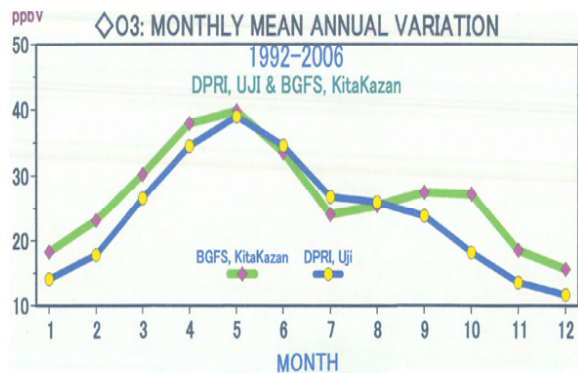


Fig. 2 Annual variation of O₃ observed at Uji (DPRI) and Kitakazan (BGFS; Yamashina-ku, Kyoto-shi) averaged during the years 1992-2006

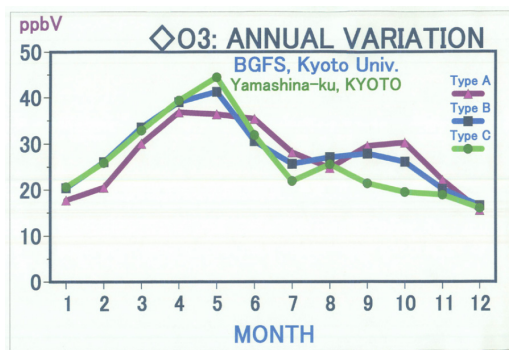


Fig. 3 Three types of annual march of monthly mean O₃ observed at Kitakazan (BGFS; Yamashina-ku, Kyoto-shi)

日中と夜間に分けたときの年変化をみると第2の極大は夜間に顕著であった。期間が不揃いでやや短い1992-2003年度の月毎に平均した日変化を主成分分析した結果 (Fig. 4)からも秋季の第2極大に夜間の寄与が大きいことがうかがわれる。

このことは光化学過程の寄与によるものではないことを示唆している。また、オキシダント濃度観測値の第2主成分固有値の分布パターンをみると、その分布状況としては、北側で正、南側で負となっており、問題の北花山辺りには正值領域が伸びている。このような分布状況は、第2主成分が高緯度側からのオゾン輸送によって、3~4月や10月の極大をもたらしていることを推測させる。

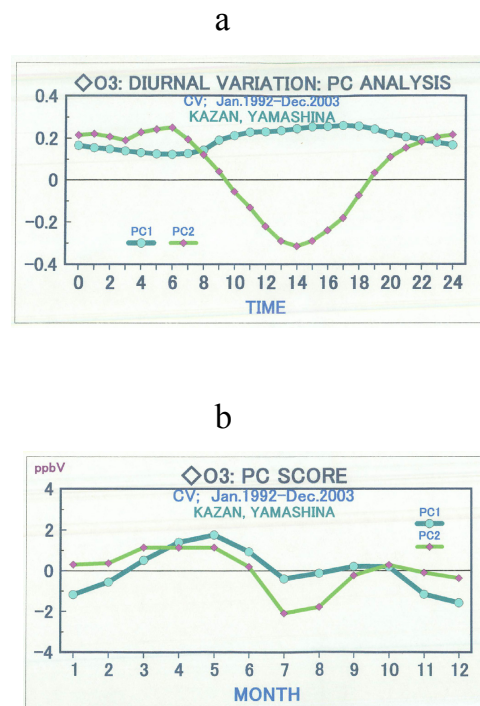


Fig. 4 Diurnal variation of the 1st and 2nd principal components of EOF analysis of monthly mean O₃ at BGFS: a) Eigen vectors of the 1st and 2nd principal components, b) Annual variation of score of the 1st and 2nd principal components

3.4 オキシダント濃度分布の日変化

一年を通じてみられる地表オキシダント (Ox) 濃度分布の日変化には次のような気候学的特徴がみられた：京都市の11観測点における Ox 1時間値を基にして得た4つの時間帯における年平均 Ox 濃度分布図 [岩嶋・森山(2007)の Fig. 8] には、時間帯によってやや位置・濃度が異なるが、全年

平均と同様に京都市と近郊に3カ所の極大域がみられ、いずれも13-15時頃に最大となっている。京都市南部の極大領域の日変化は顕著で、その濃度と極大域面積は昼間に最大で、夜明け前に最小になる

Ox 濃度分布日変化の特徴をみるために、京都市の11観測点における月平均 Ox 時間値を主成分分析した結果をみると、バックグラウンド濃度の日変化と推測される第1主成分の寄与が99.6%と極めて高く、第2主成分の寄与率は極めて低く0.3%程度であった [岩嶋・森山(2007)の Figs. 9, 10]。第1主成分は14時頃に最大濃度となり、南方ほど高い濃度分布を示している。これに、わずかながら、京都市北西部に高い濃度を示す分布の第2主成分が夜明け前と夕方に加わっている。

3.5 オゾン濃度の年々変化：宇治・北花山

宇治・北花山において観測してきたオゾン濃度の年平均値(Fig. 5)をみると、宇治の年々変動がやや大きく、1997年以前には増加傾向、それ以降には減少傾向がみられるものの、いずれにおいても観測全期間を通じての一方的な上昇・下降傾向はみられない。

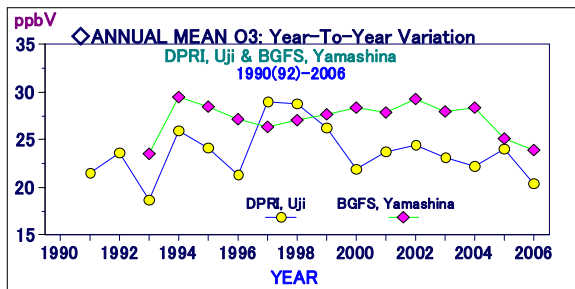


Fig. 5 Year-to-year variation of the annual mean O3 concentration observed at Uji (DPRI) and Kitakazan (BGFS)

さらに昼夜で傾向が異なるかどうか検討してみたところ、Fig. 6のように、昼・夜の両観測点ともに年々変動が大きく、期間を通じての明確な一方的増加・減少傾向はみられない。詳細にみると宇治の昼間のオゾン濃度には、1997年以降に減少傾向が認められる。北花山でも、2000年以降の最近では、夜間が横ばい傾向にあるのに比べると昼間の濃度はやや減少傾向にみえる。そこでこのように、傾向が場所によって異なるかどうか確認しておくことにする。

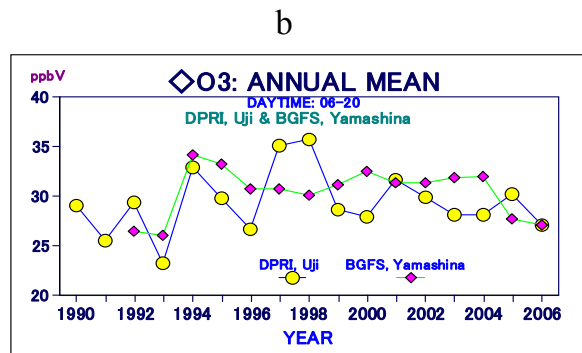
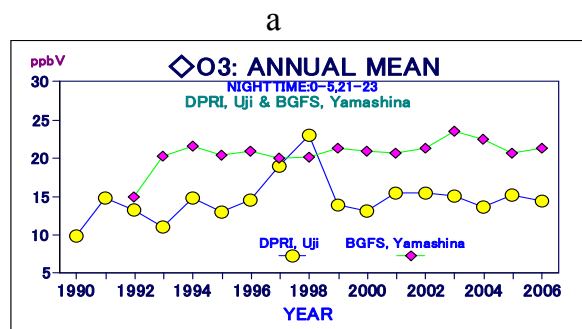


Fig. 6 Year-to-year variation of the annual and daytime or nighttime mean O3 concentration at Uji (DPRI) and Kitakazan (BGFS): a) Daytime (6-20) and b) nighttime (0-6 and 20-24)

3.6 京都府全域のオゾン・オキシダント濃度年々変化

京都市・京都府の気象常時監視による昼間のオキシダント濃度年度平均値を利用して市域と市域外に分けて平均したものが、Fig. 7である。

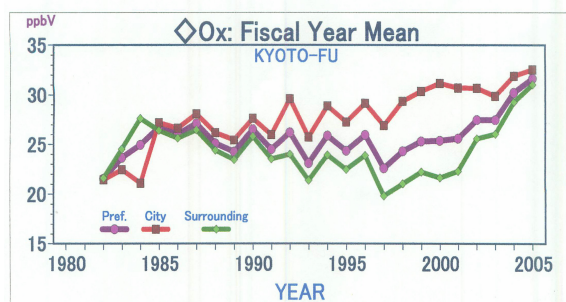


Fig. 7 Year-to-year variation of Ox for all area, the city area and the suburbs

1997年以降は、全域で上昇向にあり、特に郊外の濃度上昇が急速である。2000年度頃までの年々

変化をみると、京都市域では10年間におよそ5ppb V の濃度増加があり、市域外では逆にほぼ同程度かやや大きな減少をしていた。2001年度以降は京都市域外の濃度が急速に上昇しており、近年では京都市域と差が殆どみられない状況である。期間が(1982-2004年)やや短い、主成分分析結果にも京都市域と市南部郊外との差が近年に小さくなってきている様子がみられた(岩嶋・森山, 2007)。

次章では、これまで進めてきた都市とその周辺における大気メタンについての研究結果の概略を述べる。

4. 大気メタン濃度分布の日変化・季節変化

これまで進めてきた都市とその周辺における大気メタンの日変化・季節変化に関する結果について概説する。

4.1 名古屋市と京都市における大気メタン濃度分布の比較

村松(1989, 1994)は、京都市や大阪市においてメタン濃度の極大域が中心部に存在することを示した。また一酸化炭素濃度もほぼ同様な分布をしており、両者には1次式で表現できる密接な関係があるとして、都市域からの寄与分とバックグラウンドからの寄与分に分離した。これらの研究を基に、名古屋市とその周辺の大気メタンについて解析を進めた。京都市や大阪市より面積などの大きな名古屋市では、メタン濃度極大域が3カ所みられた(岩嶋, 1998; 岩嶋・村松, 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1998)。また都市域では、大部分が自動車からの発生によるものと推測していた一酸化炭素濃度の分布には2カ所の極大域がみられた。村松(1989, 1994)の示した京都市・大阪市の場合ほど明確ではないが、大気メタン濃度の3カ所の極大域のうち、2カ所はそれぞれ一酸化炭素濃度分布の極大域と対応していた(岩嶋・村松, 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1998)。名古屋市南西部には、一酸化炭素濃度の極大域がみられない。この辺りのメタン濃度の年変化・季節変化をみると5~7月の春季から夏季にかけて濃度が高く、ここのメタン発生源は、冬季に濃度がより高くなる他の2カ所の極大域とは異なり、水田からの寄与によるものと推測される(岩嶋・村松, 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1998)。このように都市とその近郊では、異なる発生源からの寄与の大きさに依存する特徴的な季節変化がみられる。後ほど、このような例を琵琶

湖周辺3観測点のデータによって示す。研究対象域を名古屋市から愛知県に拡大してメタン濃度分布について解析したところ、大きくみて人口の集中する都市域とみられる3カ所に極大域がみられ、一酸化炭素濃度分布には2カ所に濃度極大が認められた(岩嶋・村松 1996a; 岩嶋ら, 1999)。しかしながら分布はやや複雑で、両者の対応は名古屋市域ほど明瞭ではなかった。これは、都市周辺の広い領域を対象にするとメタン発生源が異なることに起因しているものと推定される。すなわち、いくつかの発生源の寄与の程度によってメタンの高濃度域が都市域からさらに広がり、その結果、都市域のみで大きな一酸化炭素濃度の分布との対応が明瞭でなくなるのであろう。主成分分析結果においても対応関係が明瞭でなかった(岩嶋ら, 1999)。

4.2 京都市と京都府南部における大気メタン濃度分布

名古屋市では3カ所にメタン濃度極大域がみられたので、村松(1994)が示した京都市内におけるメタン濃度分布を再確認するための観測を実施した：京都市内については、12カ所で、2006年6月19日(10:40-15:15)に空気採取と簡易気象観測を実施し、京都市の常時大気監視による11-15時の1時間観測値を平均した値と併せて分布図を描いたところ〔岩嶋・森山(2007)の Fig. 15〕、市内中心部にのみならず、市域から南部にかけて第2の極大域がみられた。さらに京都市内からはるか南の府南部にも極大域が存在することが明らかになった：京都市伏見区から南部域について 2006年5月22日に5カ所で空気採取した：京都市近郊には高濃度域がみられたが、府南部の濃度はそれほど高くなかった〔岩嶋・森山(2007)の Fig. 14〕。

ここで、上記のような1日だけの空気採取地点の間隔がやや小さいものと、京都市などの(長期にわたるとはいえ)大きな観測点間隔のデータを解析して得た分布図〔村松(1994)の論文中の Fig. 2に相当〕と対応の程度を比較しておくことにする。

メタン濃度極大域が市内中心部と京都駅より南部の2領域に分かれている。市中心部に北西から南東に延びる北部の極大域を詳細にみると、中に2つの極大域がある：そのうちの南の極大域は、村松(1994)の解析して示した分布図における極大域より、東方に約1~2km 離れている。京都市から府南部までのデータを併せて、1986年12月について再解析した図〔岩嶋・森山(2007)の Fig. 16〕をみると、京都市の中心部と南に極大域が分かっていた

ことがわかる(ここには示さないが、1986年度平均分布図でもほぼ同様な状況であった)。

上記の都市域と周辺において各季節にみられる特徴的な大気メタン濃度分布について、対応する季節(月)毎の日変化をみると、極大域などの分布形状は殆ど変化しておらず、その濃度が日の出前に最大、14~15時頃に最低となるような混合層高度の日変化に依存した変化をしている(岩嶋・村松1996b, 1997a, 1997b, 1998)。名古屋市域で大気メタン濃度に対応する一酸化炭素濃度の日変化をみると、後者には、朝夕2回の濃度極大が出現しており、メタン濃度の日変化との対応は必ずしもよくない。これはメタン濃度が発生源と発生量にも大きく依存することを示唆している。日変化の大きさ(幅)も場所によって大きく異なる。そこで、大気メタンと一酸化炭素濃度の日変化が季節によって対応状況が異なる好例を示すことにする。

4.3 琵琶湖周辺における大気メタン濃度の季節変化・年変化

残念ながら現在は廃止されている滋賀県大津市堅田の大気環境常時監視観測点における測定結果である。ここでのメタン・一酸化炭素の季節毎の濃度日変化をみると、夏季とその他の時期・季節に分けられる[Fig. 8; 岩嶋ら(2004)の Fig. 11]。上記のとおり、夏季のメタン濃度とその日変化は、他の季節のそれより遙かに大きい。

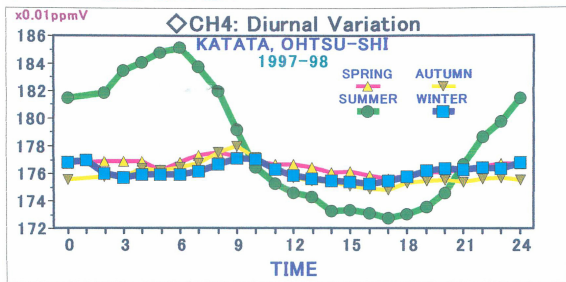


Fig. 8 Seasonal mean diurnal variation of CH₄ concentration at Katata (Honkaka, Otsu-shi, Shiga-ken) [岩嶋ら(2004)の Fig. 11]

一酸化炭素濃度の日変化との対応状況をみると、夏季以外は両者の対応関係が極めて良いことがわかる(Fig. 9)。これは、夏季には周辺の水田からのメタン発生が支配的であり、観測点近くの国道161号線を往来する自動車などから発生するメタンの寄与(一酸化炭素がその量に対応していると仮定のもと)を凌駕している。これに対して、冬季など

には、水田からのメタン発生が殆どないため、自動車などからの寄与がかなり明白にみられる。このように季節によって発生源と発生量が異なることが、メタン濃度の年変化や季節変化に特徴的に表れる。その具体例として上記の堅田も含めた琵琶湖周辺の3観測点[大津市膳所・長浜市・大津市堅田]の年変化を示す(Fig. 10)。各観測点周辺の土地状況から判断すると、水田からの寄与が大きな堅田(KATATA)では、6・7月の濃度がきわだって高い。次に年平均値の差を除いて比べると、長浜(NAGAHAMA)では、7・8月の濃度が堅田の場合よりは低くなっている。特に8月の濃度は1年を通じて最低である。これら2点の年変化に比べるとセンター(CENTER; 滋賀県衛生環境センター)のメタン濃度年変化は、長浜のそれのように6月に濃度極大を持ち、10月から3月にかけて12月に同程度の極大をもつ変化を示している。センターの周辺には殆ど水田がみられないことから、広い周辺からの(すなわちバックグラウンドの)水田から発生するメタンの影響が6月にみえるものの冬季に市街地の近辺道路の自動車などから発生するメタンの影響が大きいものと推定する。

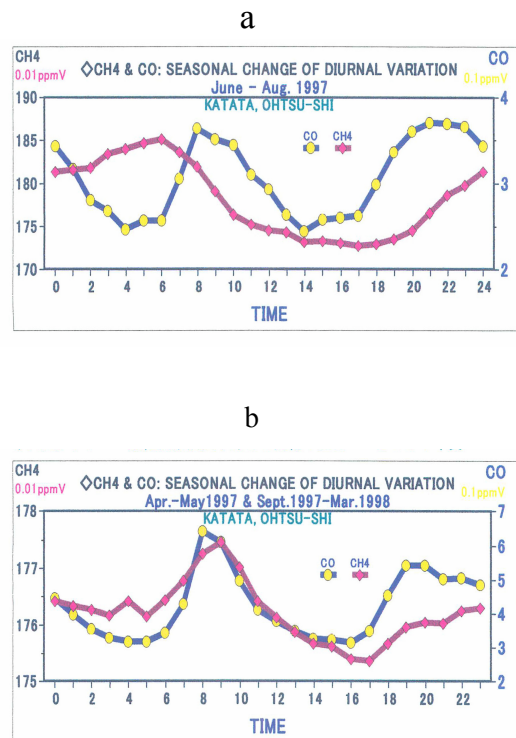


Fig. 9 Diurnal variation of the CH₄ and CO concentrations at Katata, Otsu-shi for the fiscal year 1997: a) June-August; b) April & May 1997, and Sept. 1997 ~ Mar. 1998 [岩嶋ら(2004)の Fig. 10]

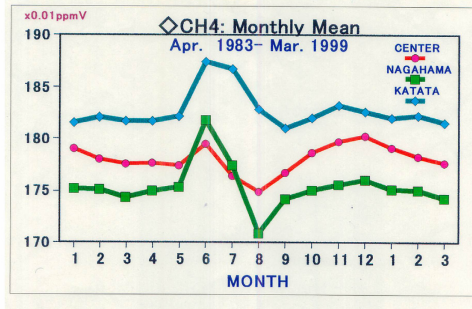


Fig. 10 Annual variation of monthly mean CH₄ at three observation sites averaged for the fiscal years 1983-1999: CENTER (Zeze, Otsu-shi), NAGAHAMA (Nagahama-shi), KATATA (Katata, Otsu-shi)

堅田におけるメタン濃度の日変化への発生源の寄与が季節によって異なることを推測したが、これは次のように1987-1997年度のメタン濃度1時間値を主成分解析結果で示される (Fig. 11)。

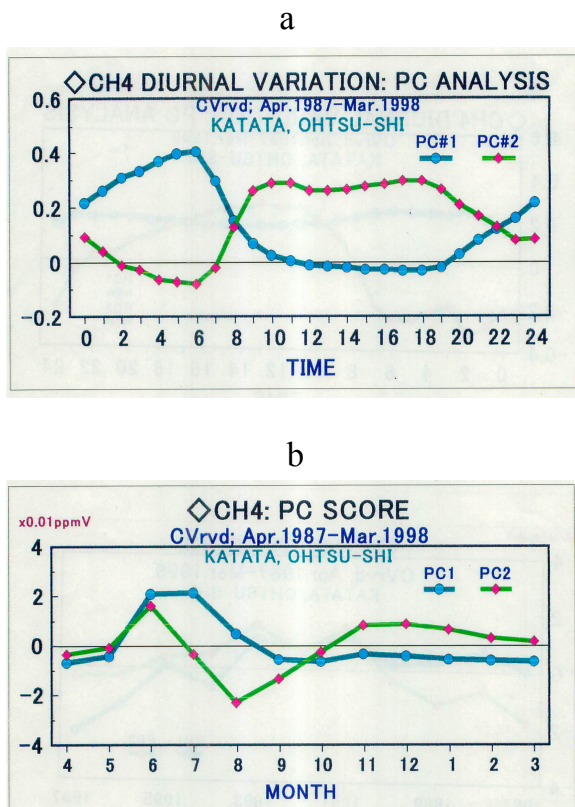


Fig. 11 EOF analysis of hourly mean CH₄ concentration at Katata, Otsu-shi for the fiscal years 1987-1997:
a) Eigen vectors of the 1st and 2nd principal components,
b) Annual variation of score of the 1st and 2nd principal components

第1主成分(寄与率85.7%)は夜間に濃度が高くなる混合層高度の日変化に依存するバックグラウンドと周辺の水田起源メタンによる日変化を示しており、6・7月に濃度が高くなる。第2主成分(寄与率13.8%)は、日の出後から夜半にかけて濃度が高くなることを示しており、センター(滋賀県衛生環境センター; 大津市膳所)の月平均メタン濃度の年変化 (Fig. 10) によく似ている。

上記の予備的確認観測を背景にして、京都市・京都府による1985-1998年度のメタン濃度観測値を利用して、空間分布やその時間変化(日変化・年変化・年々変化)などの気候学的特徴について解析した。

4.4 京都市・京都府南部における大気メタン濃度の季節変化・年変化

京都市および京都府南部の大気環境調査で実施されてきた11観測点の1985-1998年度月平均データを使用して、大気メタン濃度の季節平均分布図を主観解析によって作成した (Fig. 12)。

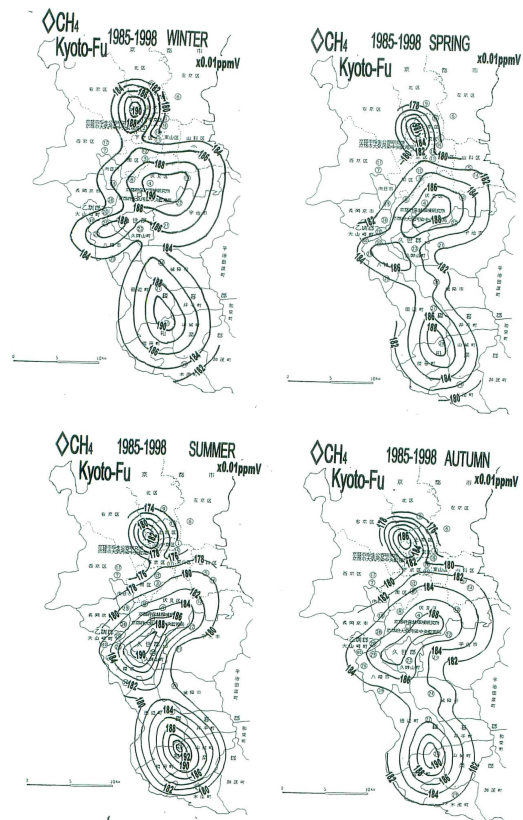


Fig. 12 Spatial distribution of seasonal mean of CH₄ concentration for the fiscal years 1985-1998 in Kyoto City and its southern area: Winter (upper left), Spring (upper right), Summer (lower left) & Autumn (lower right)

季節平均メタン濃度分布に次のような二つの特徴がみられる：

- 1) 1年を通じて京都市内から京都府南部にかけて、京都市内・市南部から府中南部・府南部の3~4カ所に濃度極大域がみられる。
- 2) 京都市内の濃度極大域では、冬季に最大であり、府南部の2つの濃度極大域では、夏季に最大となっている。

このような特徴的季節変化の差異は、各地域におけるメタン発生源の違いから生じていると推測される。さらに京都市と京都府南部の11観測点のメタン濃度月平均値を基に主成分分析して Fig. 13に示されるスコア変化、各観測点における固有ベクトルを主観解析して Fig. 14 の分布図を得た。

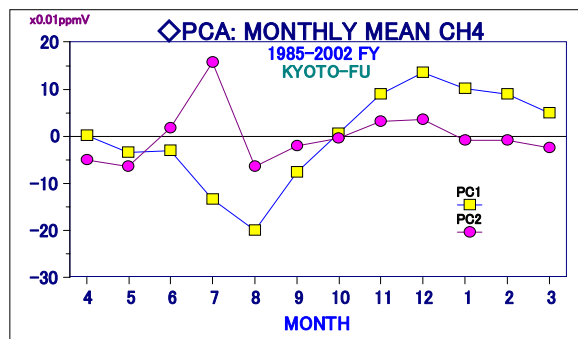


Fig. 13 Score of the 1st and 2nd principal components of EOF analysis of monthly mean CH₄ concentration at 11 observational sites in Kyoto City and its southern area [岩嶋・森山(2-007)の Fig. 18]

第1・第2主成分スコアの年変化(Fig17)をみると、第1主成分の年変化は、冬季に濃度が高く12月に極大、第2主成分は7月が最大である。これまでの愛知県・滋賀県内の諸都市と周辺における月平均メタン濃度観測結果(岩嶋・村松, 1997b; 岩嶋ら, 2002; 岩嶋ら, 2004)と類似しており、第1主成分スコアの年変化は、バックグラウンドを含む都市域の年変化の特徴に、また第2主成分は、水田などのある郊外のメタン濃度年変化の特徴を示している。

このように、第1・第2主成分には、それぞれ都市域と郊外におけるメタン濃度の年変化の寄与が大きいことは、EOFベクトルの空間分布(Fig. 14)からも明らかである：第1主成分は都市域より濃度が高く、第2主成分は、都市域中心から離れるほど濃度が高い分布状況を示している。

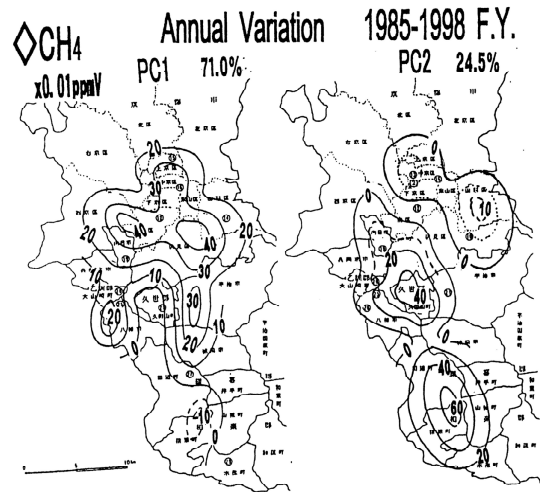


Fig. 14 Spatial distribution of the 1st and 2nd EOFs of monthly mean CH₄ concentration during the fiscal years 1985-1998: Unit is 0.01ppmV. [岩嶋・森山(2007)の Fig. 19]

4.5 京都市・京都府南部域における大気メタン濃度の年々変化

京都市から京都府南部域に1年を通じてみられる特徴的メタン濃度分布が、長期的にはどのような変動をしているかについて主成分解析した。

京都市・京都府南部域の11観測点におけるメタン濃度の1986-2004年度の年度平均値を利用して主成分解析をした(Figs. 14, 15)。第1、第2主成分の寄与率が72.2%、15.4%であった。

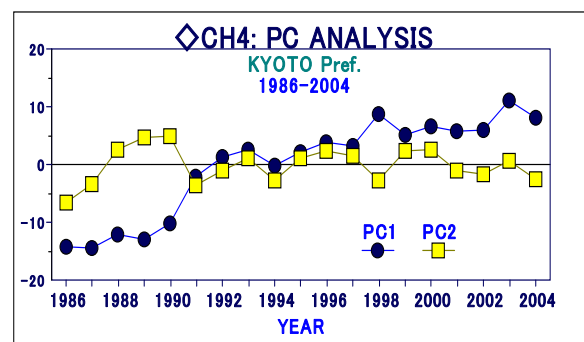


Fig. 15 Year-to-year variation of score of 1st and 2nd principal components of EOF analysis of the 1986-2004 fiscal year mean CH₄ concentration [岩嶋・森山(2007)の Fig. 20]

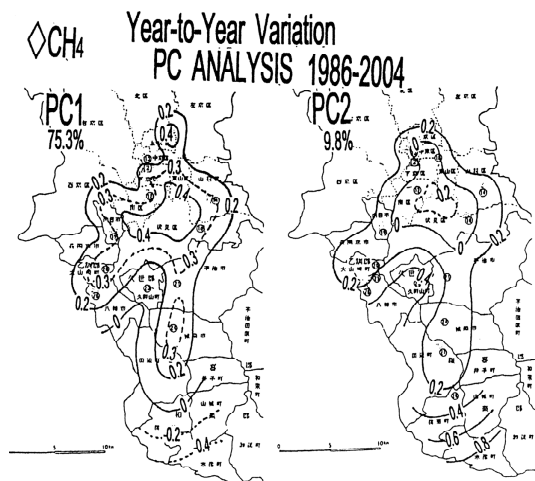


Fig. 16 Spatial distribution of eigen vectors of the 1st and 2nd EOFs of the fiscal year mean CH₄ concentration during the fiscal years 1986-2004 [岩嶋・森山(2007)の Fig. 21]

各成分スコアの年々変化 (Fig. 16) をみると、第1主成分は、1992年以前には(年々の増加率でみるとおよそ1.6~1.7%)濃度増大し、その後は横ばいあるいはやや上昇状態を示しており、バックグラウンド濃度を含む京都市域のメタン濃度増大を示しているものとみられる。これに対して第2主成分は、1990年までの急速な濃度増大とその後には小幅な年々変動を繰り返しながら横ばい状態にあり、京都市域外のメタン発生源による年々変化傾向を示しているものと推測される。

次章では、国内外の諸都市におけるメタン発生量と人間活動の関係について検討してきた結果を述べる。

5. 国内外の諸都市とその周辺の大気メタン濃度差と発生量

これまで、国内および海外の諸都市の中心部と都市周辺において大気メタン濃度を測定してきた。これは、都市域とその周辺におけるメタン濃度についての実態把握とともに、種々の発生源が複合している都市域におけるメタン発生(総)量を都市の規模(人口・面積)から算定することを目指したものである(岩嶋, 2007; 岩嶋ら, 2004; 岩嶋ら, 2005; 岩嶋・森山, 2007)。

5.1 都市中心部 - 近郊のメタン濃度差と人口

それぞれの都市の中心部とその郊外における空気をアルミニウムバッグに採取して研究室に持ち帰り、ガスクロマトグラフにより分析してメタン濃度を求めた。空気採取は、可能な限り、混合層内のメタン濃度がほぼ定常になると考えられる時間帯の実施を心がけた。空気採取と同時に、気温・湿度・風向・風速などの簡易気象観測も実施し、風の影響を考慮した。

都市域からのメタン総発生量を算定する方法は、前報(岩嶋ら, 2005)で述べた次のような考え方に基づいている:「都市域では、さまざまな発生源からの排出があるが、その排出量は人間活動に依存しており、その人間活動度は人口に比例しているであろう。従って、都市域からのメタン発生量は人口に比例していると考えられる。さらに、都市域からのメタン発生により、都市中心部と近郊(バックグラウンド)との濃度差が維持されているであろう」。また、メタン濃度の日変化は、昼間には時間変化が小さく、14時前後に濃度極小となる。そこで「この昼間の濃度変化が小さい時間帯に都市の中心部とその郊外で空気を採取・分析して濃度差を求める。この濃度差を、人間活動の一つの尺度として採用した人口と対比する」。

これまで、人口を尺度として整理してきたが、規模の異なる都市を可能な限り追加して、国内外の諸都市での観測を実施してきた。整理してきた最終結果を示す[2005年度までの観測・解析結果については、先に出版された『環境危機—その対応と持続可能システム—』(森山茂編著)中に示した(岩嶋, 2007)]。

人間活動の内容、都市の構造や規模などの点において、国内と海外の諸都市間では異なるであろう。そこで、都市中心部と近郊とのメタン濃度差と人口・都市の幾何学的大きさとの関係、都市全域からのメタン総発生量、あるいは都市単位面積当たりのメタン発生量についても検討してきた。Figs. 17, 18は、それぞれ国内・海外の諸都市の中心部と近郊のメタン濃度差を都市人口を尺度にまとめたものである。これまでの観測結果と同様に、「国内・海外の諸都市いずれにおいても、ある程度のばらつきがあるものの、都市中心部と近郊のメタン濃度差は、人口に比例している」。回帰式は次のようになった。

$$\text{国内諸都市: } Y = 0.0034 + 1.56 \times 10^{-(5)} X$$

$$\text{海外諸都市: } Y = 0.0146 + 1.16 \times 10^{-(5)} X$$

それぞれの係数については t検定により、また回帰式は分散比のF検定によって0.5%水準でも有意であるこ

とを確認した:

国内都市: 自由度=22; t=6.224; F=38.7

海外都市: 自由度=22; t=5.643; F=31.8

メタン濃度差は、国内の諸都市より、やや大きい(約1.5倍)ようである。

次に都市域からのメタン発生量と人間活動度との関係について検討した結果を示す。

同程度の人口規模でみると海外の諸都市における

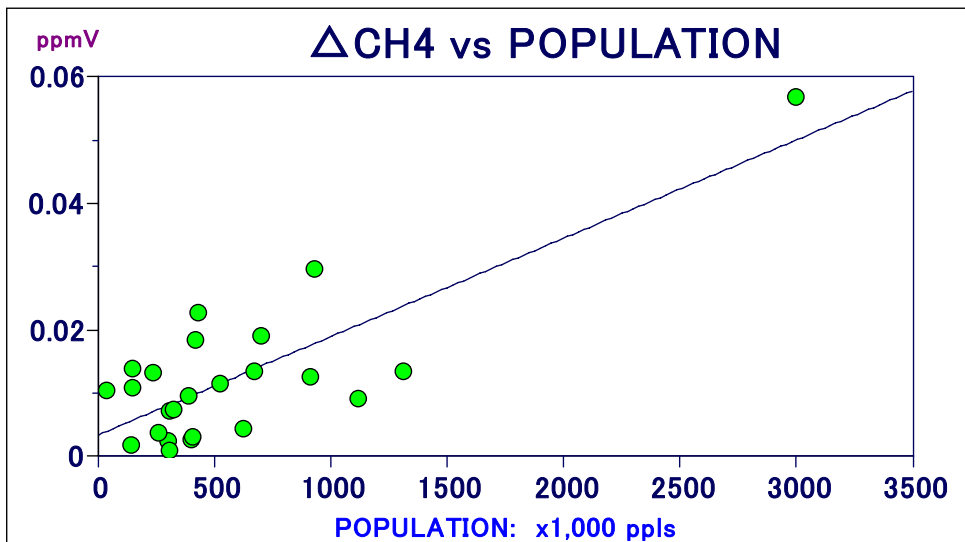


Fig. 17 Difference between CH₄ concentrations at central part and suburbs of 24 large cities in Japan (Sapporo, Hakodate, Sendai, Niiigata, Takasaki, Shizuoka, Hiroshima, Miyazaki, Okayama, Ogaki, Gifu, Chiba, Sakaiminato, Yonagao, Tottori, Naha, Kumamoto, Nagasaki, Fukuyama, Kurashiki, Wakayama, Tokushima, Kochi, Fukuoka): Ordinate and abscissa denote the difference of CH₄ concentrations at central part and suburbs of the cities, and population of the cities respectively.

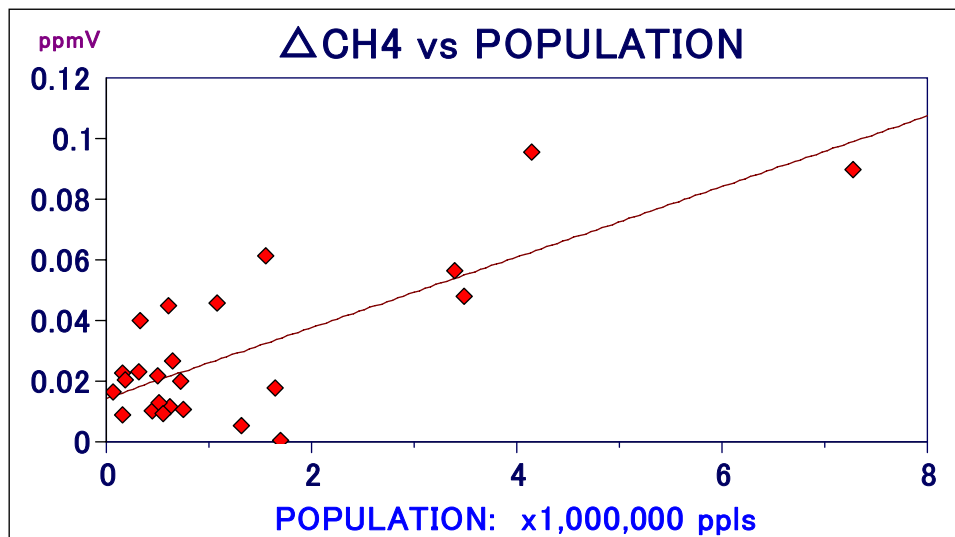


Fig. 18 Difference between CH₄ concentrations at central part and suburbs of 24 metropolises in foreign countries (Amsterdam, Zurich, Vienna, London, Edinburgh, Glasgow, Uppsala, Raykjavik, Vancouver, Victoria, Winnipeg, Ottawa, Quebec, Brisbane, Melbourne, Sydney, Berlin, Hamburg, Munich, Frankfurt, Helsinki, Oslo, Stockholm, Copenhagen): Ordinate and abscissa denote the difference of CH₄ concentrations at central part and suburbs of the cities, and population of the cities respectively.

5.2 都市メタン発生量と人間活動度

この節では、都市域からのメタン発生総量を、先に提案した「箱模型(ボックスモデル)」をもとにした方法(岩嶋ら, 2005)で見積もり、人間活動度との関係を検討した結果を示す。

濃度支配方程式を基礎にして「箱模型」を都市域に適用し、発生総量を見積もった：発生量の算

定には「都市中心部と郊外のメタン濃度差」に乗ずる係数(A)を求めねばならない。このために都市の面積や混合層高度、風速などの設定が必要である[条件などは岩嶋ら(2005)を参照]。

算定した「都市全域からのメタン発生量」と都市域「人口」との関係性を日本国内と外国に分けてみたものが Figs. 19, 20である。

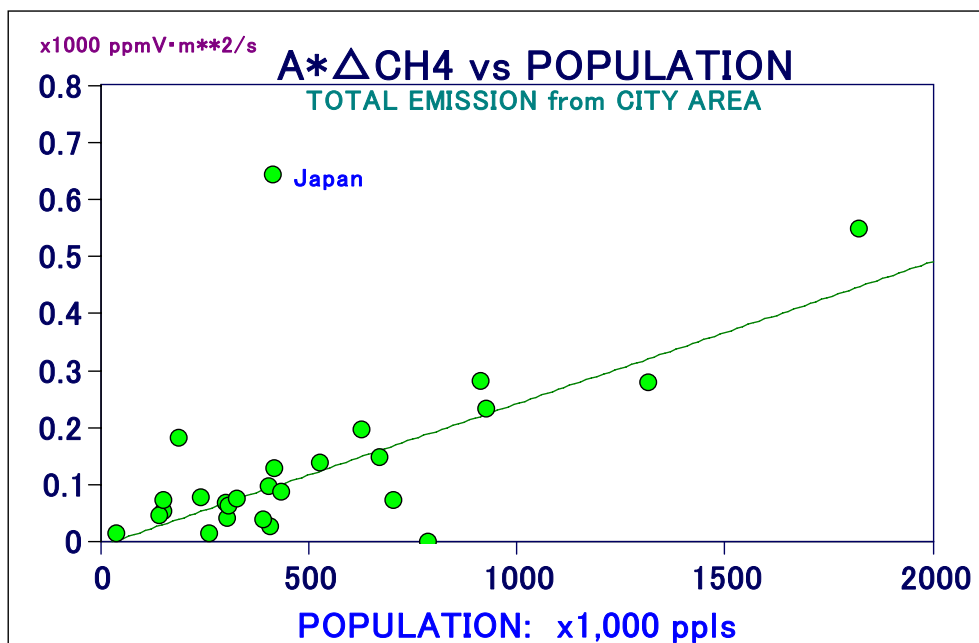


Fig. 19 Methane emission from the city area in Japan. Ordinate and abscissa denote the CH₄ emission from the city area and population respectively. Unit : one million peoples (abscissa), 1000 ppmV/m² /sec (ordinate)

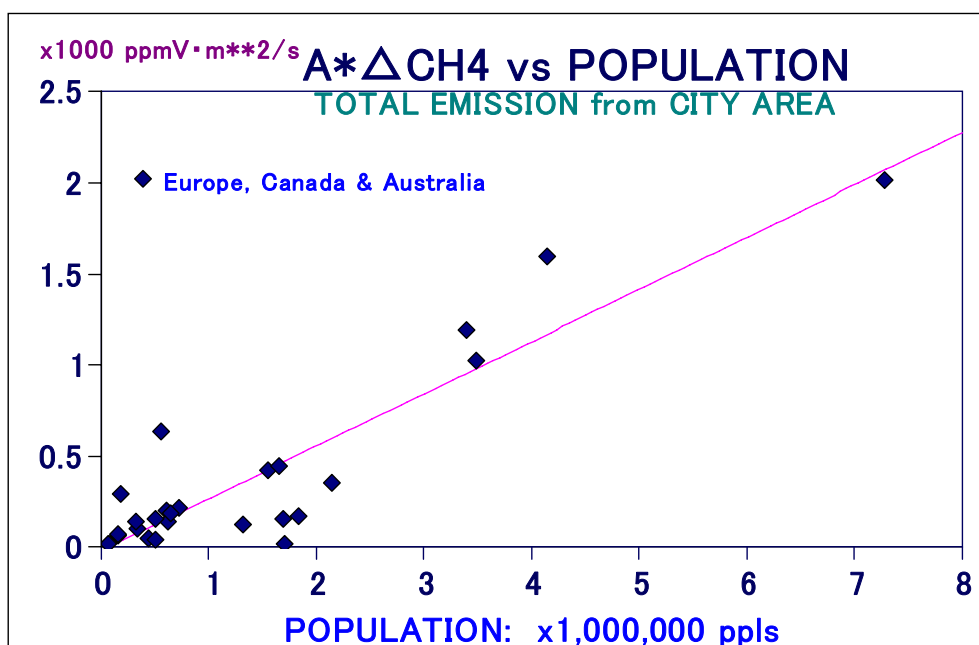


Fig. 20 The same as Fig. 19 except for Europe, Canada and Australia

これらを見ると、国内・海外いずれの都市についても「都市全域からのメタン発生総量」は都市域「人口」に比例している：それぞれの相関係数は、0.91, 0.90となり極めて1に近い。国内外それぞれについて回帰式は次の通りである。

国内都市： $Y = -0.020 + 0.000287 X$

海外都市： $Y = -0.006 + 0.000263 X$

係数・回帰式はいずれも、危険率0.5%以下で有意であった。なお、ここで縦軸の数値を61.7(あるいは22.5)倍すれば、1日(年)当たりのメタン発生総量 [Kg/day (Mg/year)] が得られる。国内と海外の人口が同程度の都市についてメタン発生総量を比較すると海外の都市がやや多いように見える [例えば国内の200万人都市では、縦軸の値で0.5よりやや小さく、海外の都市では0.5より幾分か大きい]

が、人口が少ない都市ではあまり差がないようである。このことから推測されるように、国内・海外の都市に分けて、「単位面積当たりの発生量」と「人口密度」とには、やや海外の都市にばらつきがあるものの、ほぼ「発生総量」・「人口」の場合と同程度の対応関係がみられた (Figs. 21, 22) [岩嶋ら(2005)の Fig. 5参照]。「都市域単位面積当たりメタン発生量」の「都市域人口密度」に対する回帰式は以下の通りである：

国内都市： $Y = 0.427 + 0.612X$

海外都市： $Y = 1.812 + 0.235X$

回帰式・係数ともに、厳しい0.5%水準でも統計的に有意であった。ここで、縦軸の値を61.7倍すると、単位面積から1日のフラックス量に相当するものが得られる (mg/m²/day)。

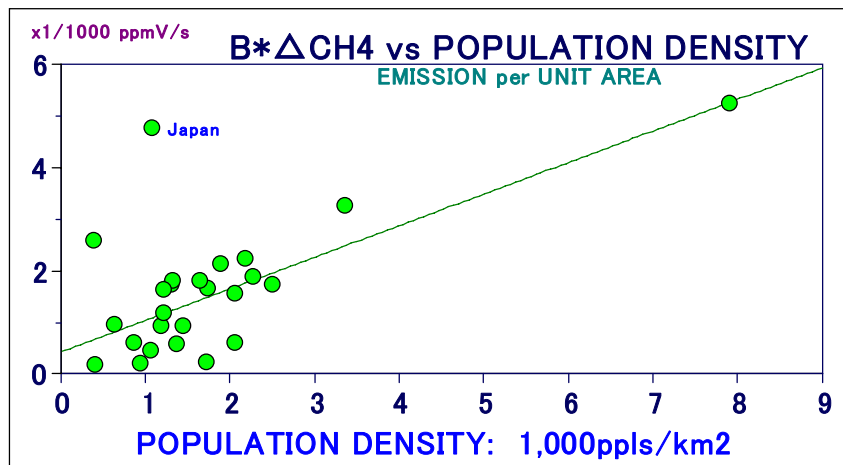


Fig. 21 The same as Fig. 19, except for CH₄ emission rate from the unit city area related to population density. Ordinate and abscissa denote the amount of CH₄ emitted from the unit city area and its population density respectively. Unit : 1000 peoples/km² (abscissa), and 1/10⁶ ppmV/sec (ordinate).

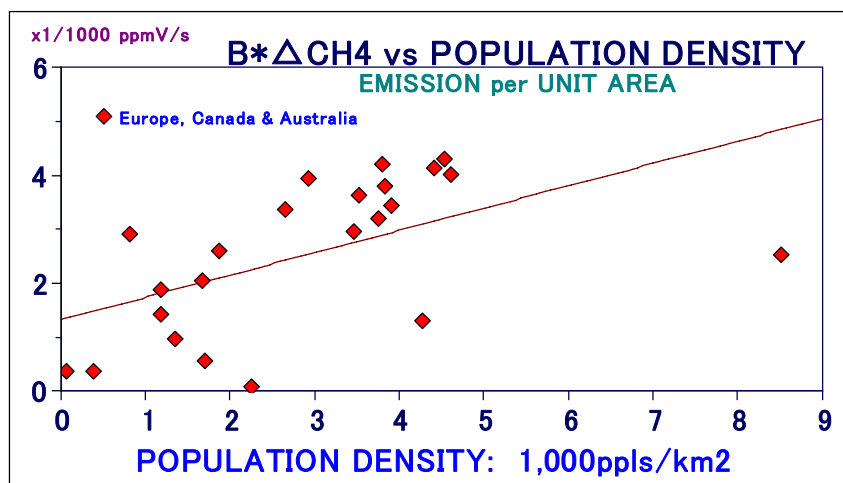


Fig. 22 The same as Fig. 21, except for Europe, Canada and Australia

これまでに国内・海外の多くの都市とその近郊で空気採取してきたが、必ずしも常に理想的な気象状況であったとはいえない。採取時の状況が適切とはいえない国内のいくつかの都市については、再度、空気採取を実施した。しかしながら、海外の諸都市については、時間的にも、また研究費という面からも、再度出かけることは極めて困難であった〔幸いにも、2003-2004年度は「日本大学総長指定総合研究(地球型社会における危機への対応：自然とのかかわり)」の一部として研究費支援を受けて実施できた〕。観測例数を増やし、精密な結果を求めるには、個人研究ではなく、大がかりな組織的研究にということになるのであろうグループで大がかりな研究にすとしても、街中ではあるが、野外では手頃な携帯型の測定機器が機動的で便利である。都市域と周辺における大気メタンに関する研究を開始した10数年前から、空気採取と同時に直接メタン濃度計測ができる手軽な器具ができることを待ち望んできた。残念ながら、やや大きな可搬型測定機の開発はあったようだが、精度が高くても携帯にも便利な測定器機は未だに出現していない。短時間に、しかも広い範囲において、測定結果をその場で検討しながら何度も測定を繰り返すためには、簡易気象観測機器と同程度の、片手で容易に扱える携帯型メタン濃度測定器の開発が大いに期待される。

6. 結び

地表オゾン濃度や大気メタン濃度の空間分布やその時間変化に関する気候学的特徴について検討した。オゾン観測は、前任の村松久史京都大学名誉教授が、「対流圏下層におけるオゾンの生成・消滅過程の研究」の際に設置・使用された、宇治(防災研究所屋上)と北花山(理学部地球物理学教室北花山分室;京都市山科区北花山大峰町)の観測計を受け継いで実施してきた。継続観測してきた約15年分の地表オゾン濃度データに京都市・京都府による11観測点のオキシダント濃度データを加えて、空間分布やその日変化・年変化・年々変動など気候学的特徴を検討してきた:京都市と近郊に3カ所の極大域があり、濃度の日変化・年(季節)変化をについて検討したところ、局所的な影響の小さな北花山においては、濃度増加傾向にあることが示された。またオキシダント濃度データを京都市域と市域外に分けて年々変化をみると、1997年度頃までは、京都市域では増加、市域外では減少傾向にあった。その後、近年までは、市域外の濃度は急速な増加傾向にあり、市域との差がかなり減少しているようである。

この傾向は、宇治・北花山のオゾン濃度データの変化からもうかがえた。

第2の研究課題として、名古屋市を対象地域として始めた大気メタン濃度の研究を京都市・京都府や滋賀県域に拡大してきた。大気メタンの場合には、その発生源が多く、それぞれ発生量測定も困難である。発展する都市域ではさまざまな人間活動にともなうメタンの発生が知られている。村松(1989,1994)は、自動車から発生するメタンに注目して研究を進めた。この研究に触発されて、地表付近の大気メタンの空間的分布や時間変動などの実態を明らかにすべく、「大気メタンの気候学」を研究課題として、いくつかの府県や市における大気環境常時監視による長年の観測データを利用して解析するとともに、都市域やその近郊での観測も実施して、大気メタン濃度とその空間分布にみられる年変化・年々変化の気候学的特徴及び推定される発生源との関係について検討してきた。これらをごく簡単にまとめると次のようになる:都市域の大気メタン濃度は、都市と近郊を含むさらに広いバックグラウンドの影響を背景に、都市とその近郊の発生源からの寄与の程度に応じた特徴的な年変化・季節変化をしている。都市の規模や発生源の種類や分布状態にも依存している。名古屋市では、春季から秋季まで南西域郊外の水田から発生するメタンが市内のメタン濃度分布にも大きく影響している。これに対して水田からの影響を受けにくい京都市とその周辺の場合には、冬季にメタン濃度が高くなる京都市部分と、夏季(7月)における水田からの発生が大きく寄与している京都府南部に明確に分かれている。

最後に、これまで継続実施してきた国内・海外の諸都市とその近郊における大気メタン濃度観測結果をまとめて、都市人口を一つの尺度にして人間活動の指標として整理した:前報告(岩嶋ら、2004)で述べた、「都市域中心部と近郊のメタン濃度差は、都市人口に比例している」こと、さらに、諸都市におけるメタン発生量(都市全域からの総発生量・単位面積当たりの発生量)についてまとめた。

大気メタンに関連しては、都市域や近郊だけでなく、バックグラウンドにあたる(愛知県内では三河湾佐久島・渥美半島・知多半島;伊吹山山麓から頂上;滋賀県東南部から三重県にかけて)の大気メタン濃度やその高度分布を測定するために、空気採取・簡易気象観測を実施してきた。また自動車からのメタン発生量を見積もるために、長等トンネルでも空気採取をした。これらは、いずれも単発的な観測ではあったが、それなりに興味ある結果が得られた。また、空気採取に用いた塩化ビニール製袋(テドラーバッグ)・アルミニウ

ム製袋の性能試験をかねて、周辺の方々をお願いして頂いた呼気を分析して、ひとからのメタン発生量についての検討をした。このような身近なところでのことも含めて、野外での観測は、その準備段階から実施まで、そのときそのときで実にささやかなながしかの発見があって、実に楽しいものであった。残念ながら、上記のように分析には、大きな高圧ボンベとガスクロマトグラフィーに頼らざるを得ず、時間と手間がかかった。この難点が早く克服できることを期待する。

謝 辞

防災研究所屋上(宇治市五ヶ庄)、および京都大学理学部地球物理学教室北花山分室(京都市山科区北花山大峰町)におけるオゾン観測は、村松久史氏(現京都大学名誉教授)によって、それぞれ1990年5月・1992年5月に開始された。以後、何度かの短い欠測はあったものの、2007年4月まで何とか観測を継続してきた。宇治では、研究棟の耐震補強・改修のためにやむなく屋上での観測を終えることになった。北花山における観測継続には、京都大学理学部技官であった故森二郎氏にご助力が大きかった。この北花山でのオゾン観測も諸般の事情から停止することになった。およそ18年間、陰に陽にお世話になった多数の方々に謝意を表しておきたい。都市域でのメタン研究においては、バックグラウンドにおけるメタン濃度の実態把握のために都市域を離れたところで何回か空気採取・気象観測を実施した。三河湾佐久島や伊勢湾・三河湾などの海上での観測では、福山薫氏(三重大学生物資源学部教授)や寺尾徹氏(現香川大学教育学部准教授)のご支援を受けた。寺尾徹氏には、伊吹山と山麓での空気採取・簡易気象観測もお手伝い頂いた。京都府や琵琶湖周辺の滋賀県域では、時には「小企業」のつねとして愚妻・愚息2人にも助手を務めてもらった。

国内・海外における空気採取・簡易気象観測は、平成14-15年度に『日本大学総長指定の総合研究(地球型社会における危機への対応；自然とのかかわり)』(研究代表者・森山茂)の一部として財政的支援を得て実施した。この研究参加によって、メタン発生量算定問題にまで取り組めることとなった。ご配慮・ご協力頂いた森山茂日本大学大学院総合科学研究科教授や協同参加した三重大学生物資源学部の福山薫教授にも併せて謝意を表する次第である。また最後に、いかに『防妻対策(井上ひさし流にあれこれ思案すると、暴妻対策も候補に

なるか?)』とはいえ、一人では怪しまれて難儀しかねない国内・海外での空気採取に、ぶつつかいながらも同行して気象観測を担当してくれた専属助手にもささやかながら謝意を表しておきたい。

参考文献

- 岩嶋樹也(1997): 都市とその周辺における大気メタン・オゾンに関する解析, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 第79号, pp.19-22.
- 岩嶋樹也(1998): 都市とその周辺における大気メタン濃度とその変動(IV), 京都大学防災研究所年報, 第41号B-1, pp.293-307.
- 岩嶋樹也(2007): 都市のメタン発生量と人間活動, 「環境危機—その対応と持続可能システム—」(森山茂編著), 第5章, pp.91-103, 開成出版.
- 岩嶋樹也・寺尾徹・村松久史(2000): 都市域とその周辺における大気微量成分濃度とその変動(I), 京都大学防災研究所年報, 第43号B-1, pp.169-183.
- 岩嶋樹也・寺尾徹・村松久史(2001): 都市域とその周辺における大気微量成分濃度とその変動(II)—バックグラウンド大気メタン濃度—, 京都大学防災研究所年報, 第44号B-1, pp.25-36.
- 岩嶋樹也・村松久史(1996a): 都市とその周辺における大気メタン濃度とその変動(I), 情報文化研究(名古屋大学情報文化学部・大学院人間情報学研究科), 第3号, pp.1-22.
- 岩嶋樹也・村松久史(1996b): 都市とその周辺における大気メタン濃度とその変動(II), 情報文化研究(名古屋大学情報文化学部・大学院人間情報学研究科), 第4号, pp.41-64.
- 岩嶋樹也・村松久史(1997a): 都市とその周辺における大気メタン濃度とその変動(III), 情報文化研究(名古屋大学情報文化学部・大学院人間情報学研究科), 第5号, pp.29-51.
- 岩嶋樹也・村松久史(1997b): 都市とその周辺における大気メタン濃度, 京都大学防災研究所年報, 第40号B-2, pp.201-212.
- 岩嶋樹也・村松久史(1998): 都市域とその周辺における大気メタン濃度とその変動, 京都大学防災研究所特定研究集会10S-2『都市域とその周辺における大気メタンの発生・分布に関する研究』, pp.83-93.
- 岩嶋樹也・村松久史・寺尾徹(1999): 都市とその周辺における大気メタン濃度(V), 京都大学防災研究所年報, 第42号B-2, pp.333-342.
- 岩嶋樹也・村松久史・寺尾徹(2002): 都市域とその周

- 辺における大気微量成分濃度とその変動(III),
 一琵琶湖周辺における大気メタン濃度の長期変動一,
 京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp.209-220.
 岩嶋樹也・村松久史・福山薫・森山茂(2004):都市域と
 その周辺における大気微量成分濃度とその変動(IV),
 一地表付近におけるオゾン・大気メタン濃度の気
 候学的特徴一, 京都大学防災研究所年報, 第47
 号B, pp.327-338.
 岩嶋樹也・森山茂(2007):都市域とその周辺における
 大気微量成分濃度とその変動(VI), 一地表付近に
 におけるオゾン・大気メタンの気候学一,
 京都大学防災研究所年報, 第50号B, pp.407-418.
 岩嶋樹也・森山茂・福山薫(2005):都市域とその周辺に
 における大気微量成分濃度とその変動(V),
 一都市域と郊外におけるおける大気メタン濃度差一,
 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp.439-444 .
 村松久史(1989): 阪神地方のメタンの分布・発生に
 ついて, 京都大学防災研究所年報, 第32号B-2,
 pp.219-229.
 村松久史(1993): 地上オゾンに対する輸送・生成・消
 滅の効果, 京都大学防災研究所年報, 第36号B-2,
 pp.121-130.
 村松久史(1994): 都市からのメタンの発生,
 京都大学防災研究所年報, 第37号B-2, pp.173-181.
 村松久史(1995): 対流圏下層のオゾンに対する生成・
 消滅・輸送の寄与, 平成6年度科学研究費補助金
 (一般研究C;課題番号05680446)研究成果報告書,
 144頁.

Climatology of Atmospheric Trace Gases in the City and Its Surrounding

Tatsuya IWASHIMA

Synopsis

Analyzing the data of O₃ (O_x) and CH₄ observed in the city and its surrounding, we describe the characteristic features of spatial distribution and its temporal variation: diurnal or seasonal variation, and year-to-year variation of their spatial distribution. Secondly we show the results of EOF analysis of O_x and CH₄ in order to clarify their characteristic spatial distribution in Kyoto City area and its southern part of Kyoto Prefecture. Finally we compare the difference of CH₄ concentration at central part of the domestic and foreign large cities and their suburbs with the population and size of the cities, and estimate the amount of methane flux from the urban area.

Keywords: O₃; O_x; CH₄; diurnal variation; seasonal variation; year-to-year variation; city population, flux