

## 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(V) — 都市域と郊外における大気メタン濃度差 —

岩嶋樹也・森山茂\*・福山薫\*\*

\* 日本大学生産工学部

\*\* 三重大学生物資源学部

### 要 旨

国内外の諸都市の中心部とその周辺において地表付近の大気メタン濃度を測定して、都市中心部と近郊のメタン濃度差を求め、人間活動との関係について検討した。

国内及び欧州・北米・豪州の諸都市の中心部と苑近郊における大気メタン濃度の差は、都市域の人間活動や都市規模に依存しており、人口や都市の大きさなどを用いた1次式で表現できること、ボックスモデルを適用都市域からのメタン発生量の算定が可能であることを示す。

**キーワード:** 大気メタン濃度, メタン発生量, 都市モデル半径, 人間活動, 人口, 人口密度

### 1. 序

大気微量成分の一つであるメタンの実態把握は全地球的環境問題を考える際にも重要である。すなわち、大気メタンは二酸化炭素の約20倍の温室効果を有しており、その濃度分布や発生量などの調査・研究はまだ欠かせない。特に都市域及びその周辺における人間活動に伴う濃度変動やその発生量評価はとりわけ重要な課題の一つである。これまで、都市域及びその周辺における大気メタンに注目して、その濃度分布や変動の詳細について調査・解析を進めてきた〔岩嶋, 1997, 1998; 岩嶋ら, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004a, b; 岩嶋・村松, 1996a, b, 1997a, b, 1998〕。

大気メタンの全地球的な増加傾向は、やや鈍ってきてはいるものの、まだ引き続いて増加傾向にある。全地球的にみた場合には、湿地・水田・家畜などによる寄与が大きく、地域的にみると、都市では人間活動によって発生した大気メタンがバックグラウンド濃度に加わっている。村松(1989, 1994)は、大阪や京都などの都市域の大気メタンには自動車からの寄与が大きいことを示した。岩嶋・村松(1996a, b, 1997a, b, 1998)は、人

間活動の活発な都市を代表する名古屋市やその周辺の愛知県における大気メタン分布と変動について調査解析を進めた。この解析で得た都市域とその周辺部の濃度分布について確認・検討するために、研究対象域を拡張して、伊勢湾岸に沿った都市域や三河湾内の佐久島での観測、伊勢湾・三河湾における三重大学実習船「勢水丸」による海上観測を進めた。さらに熊野灘などの外洋域における海上観測を実施するとともに、バックグラウンド濃度についての調査を試み、研究対象域を名古屋市・愛知県から、伊勢湾、伊吹山周辺や琵琶湖(滋賀県)及びその周辺府県へと拡張してきた。本報告はこれらの経験をもとに都市域からのメタン発生(総)量の算定を試みるために、都市部と近郊のメタン濃度を測定して、人間活動との関係について検討したものである。2003年度に実施した予備的検討結果(岩嶋ら, 2004a)に基づいて、より多くの都市について調査を進めた。本稿は、「日本大学総長指定の総合研究」の一部として、2003/2004年度に実施した国内外の諸都市とその近郊における大気メタン観測・簡易気象観測結果に基づくものである。

## 2. 空気試料採取・分析方法

空気採取及び簡易気象観測の実施期間や季節が異なるが、2003年3月以降に国内・海外の諸都市で10数回に分けて実施した(Table 1)。いずれも代表的なものとなるように時期や時間帯を選んで空気採取を行った。しかしながら、採取・観測箇所によっては天候など諸般の事情から時間帯や天候条件が必ずしも良好なものではなかった。このように、天候が悪く明らかに代表性が悪いものは除外した。

採取した空気試料は研究室に持ち帰り、防災研究所大気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-8APP;水素イオン化検出器FID・モレキュラシーブ5A充填ガラスカラム使用]により分析した。

## 3. 都市・郊外メタン濃度差と人間活動度

都市域では、序でも述べたような自動車からのメタン排出以外にも、さまざまな発生源からの排出が考えられている。いずれにしてもその排出量は人間活動に依存している。人間活動は、概略では人口に比例しているであろう。すなわち、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てもよいだろう。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(パッ

クグラウンド)との濃度差が維持されているであろう。そこで、メタン濃度の日変化からみて時間変化が小さい昼間の濃度極小となる時間帯に諸都市の中心部と郊外で空気を採取・分析し、濃度差を求めて、この濃度差を、人間活動を表わす一つの尺度として採用した人口や人口密度と対比してみることにした。

### 3.1 人間活動度の指標として人口を用いた場合

人間活動度の指標・尺度として「人口」を用いて、「都市中心部と郊外のメタン濃度の差」に対比してまとめた場合が Fig.1 である。国内・外のいずれの都市においても、「メタン濃度差(Y)」が「人口(X)」に比例しているようである。回帰式は次のようになった。

$$\text{国内諸都市: } Y = 0.00504 + 1.378 \times 10^{-5} X$$

$$\text{海外諸都市: } Y = 0.0158 + 1.1978 \times 10^{-5} X$$

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。

$$\text{国内都市: 自由度}=17; t=3.597 ; F=12.9 ,$$

$$\text{海外都市: 自由度}=19 ; t=6.229 ; F=38.8$$

同程度の人口について国内の場合に比べると、海外都市の濃度差がやや大きいようである。[国内・外いずれも人口の多い都市の数がまだ不足しており、今後さらに大都市の観測を実施追加したい。]

**Table 1** Sites and term of air-sampling and observing of air temperature, relative humidity, and speed and direction of wind near the ground.

Term	Sampling & Observing Cities
2003/3/2-5	Kushiro・Otaru・Sapporo・Akita
2004/2/23-26	Hiroshima・Fukuoka・Beppu・Oita・Miyazaki・Kagoshima・Matsuyama・Okayama
2004/2/28,29	Ogaki・Gifu
2004/3/2-4	Fukui・Kanazawa・Toyama・Niigata・Takasaki・Shizuoka
2004/3/8-10	Asahikawa・Hakodate・Sendai
2004/6/8	Chiba
2004/6/28-30	Himeji・Matsue・Sakaiminato・Yonago・Tottori
2005/1/19-22	Naha・Kumamoto・Nagasaki・Fukuyama・Kurashiki
2003/9/9-21	Amsterdam・Stockholm・Zurich・Wien・London
2004/9/10-28	Vancouver・Victoria・Winnipeg・Toronto・Quebec・Ottawa・Montreal・Reykjavik・London
2005/2/14-18	Brisbane・Melbourne・Sydney
2003/9/16-18	Oslo・Tromso
2004/9/14-24	Edinburgh・Glasgow・Uppsala・Copenhagen

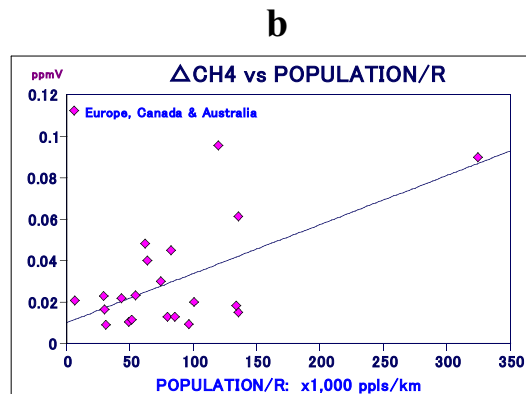
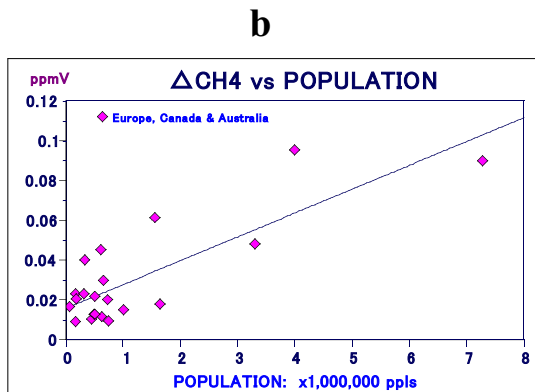
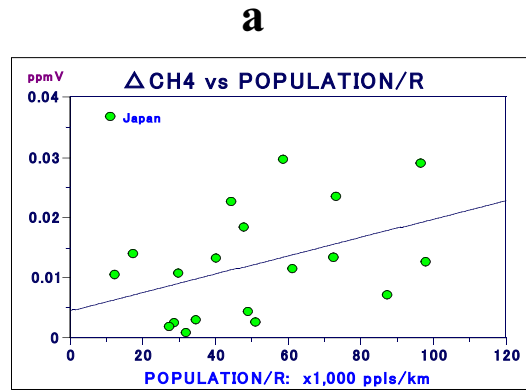
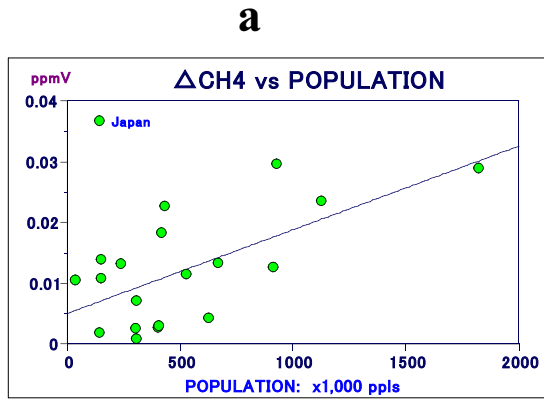


Fig. 1 Population (abscissa) and difference between CH<sub>4</sub> concentration at the central part of city and its suburbs (ordinate): a) Japan; b) Europe, Canada and Australia. Unit: 10\*6 peoples (abscissa), ppmV (ordinate)

Fig. 2 The same as Fig. 1, but the abscissa is the ratio of population to the radius (R) of the model circle derived from the area of city. Unit: 1000 peoples (abscissa), ppmV (ordinate)

### 3.2 人間活動度に人口と都市規模を用いた場合

「濃度差」や「人口」に加えて、都市の水平方向の広がり(規模)を考慮するために、「円型の都市」をモデルとしてを想定・適用し、「都市の面積」から半径(R)を求め、「都市中心部と郊外のメタン濃度差」と「人口/都市モデル半径R」を対比してみる。これは、「都市中心部と郊外のメタン濃度の傾度」と「人間活動の指標として人口密度」とを対応させることに相当している。

この結果 (Fig. 2) は、「人口」と対比した場合 (Fig. 1) とほぼ同様であり、外国都市の濃度差がやや大きく、また国内都市のばらつきが大きい。「濃度差(Y)」の「人口(X)/都市半径 (R)」に対する回帰式は次のようになった。

$$\text{国内都市: } Y = 0.0045 + 0.000152X$$

$$\text{海外都市: } Y = 0.0102 + 0.000236X$$

回帰式(F値)及び係数(t値)いずれの統計検定においても、海外都市の場合には0.5%の水準でも有意であったが、国内の場合には有意でなかった。

国内都市: 自由度=17; t=1.966; F=3.864,

海外都市: 自由度=19; t=3.485; F=12.14

次に、濃度支配方程式に基づいたモデルを援用して、「都市域からのメタン発生量」を見積もるために、「人間活動度」を表す指標・尺度として「人口」・「人口密度」を用いた場合についての検討を試みる。

#### 4. 「都市メタン発生量」と人間活動度

本章では、都市域と郊外のメタン濃度差といわゆる「箱模型(ボックスモデル)」をもとにして、都市域からのメタン発生量を見積り、人間活動度との関係を検討する。

##### 4.1 人間活動度を「人口」とした場合

濃度方程式を基礎にして「箱模型(ボックスモデル)」を適用(Fig.3参照)することによって、「都市域からのメタン発生量」を見積もるには、都市域の風や拡散の影響を考慮することが必要になる。すなわち都市域の幾何学的大きさの指標として面積(あるいは都市域モデル半径R)に加えて風速(U)や拡散係数(K)を用いて「都市域のメタン発生量」を考えてみる。ここで、風速(U)は、時間的にも空間的にも都市域を代表する一般風にあたる観測値を使うことが理想的であり、それが望ましい。ここでは無理なので、簡便にして採取地点で得た観測値を用いることとし、また水平拡散係数(K)としては代表値として  $10\text{m}^2/\text{s}$  を使うことにする。またモデルの「箱」の高さは混合層の高さに相当するとし、これも取り扱い単位として簡単にするために1kmと考える。このようなモデル設定の上で、「都市中心部と郊外の濃度差」に次のような係数A,Bを乗じて、それぞれ「都市全域からのメタン発生量」や「都市の単位面積当たりのメタン発生量」に相当する量を求め、都市の「人口」や「人口密度」との対応関係について検討する:

「都市全域からのメタン発生量」への変換係数

$$A = U \cdot R + K$$

「都市単位面積当たりのメタン発生量」への変換係数

$$B = U/R + K/R^2$$

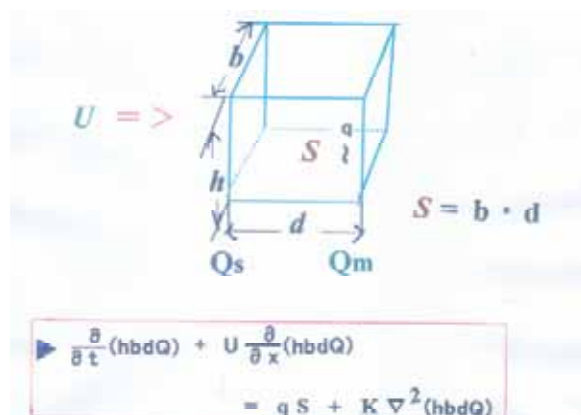


Fig. 3 Box model and governing equation of CH<sub>4</sub> concentration used for an estimation of the amount of CH<sub>4</sub> emission from the urban area.

「都市全域からのメタン発生量」と都市域「人口」の関係(Fig.4)についてみると、国内・海外いずれの都市においても「人口」に比例しており、相関係数もそれぞれ0.97, 0.98となり極めて1に近い。回帰式は以下の通りである。

$$\text{国内都市: } Y = -0.0111 + 0.000287 X$$

$$\text{海外都市: } Y = 0.0261 + 0.000293 X$$

係数・回帰式はいずれも、危険率0.5%以下で有意であった。ここで縦軸の数値を61.7(あるいは22.5)倍すると、1日(年)当たりの都市全域からのメタン発生総量 [Kg/day (Mg/day)] が得られる。厳密な比較はできないが、ここで得たメタン発生量はこれまでにロンドンなどについて見積もられた量とほぼ同程度であり、妥当な大きさである。

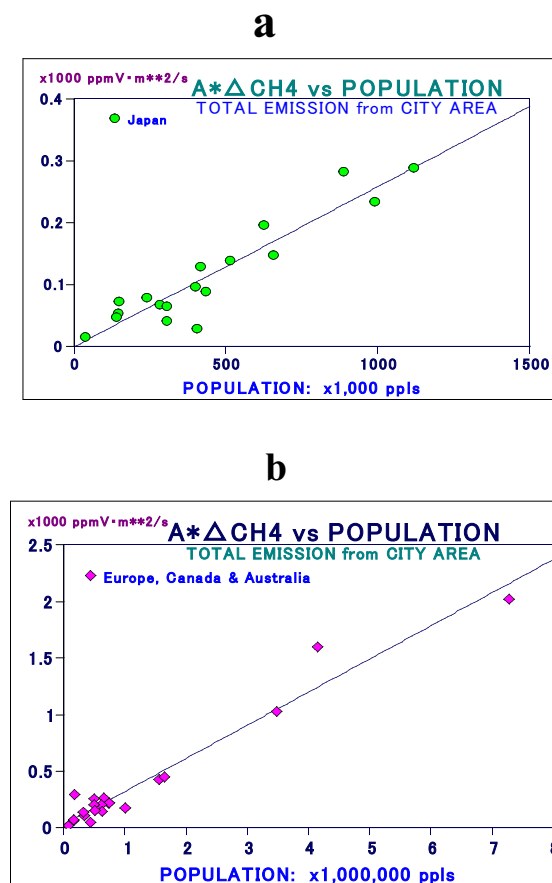


Fig. 4 Methane emission from the urban area: a) Japan; b) Europe, Canada and Australia. Ordinate and abscissa denote the CH<sub>4</sub> emission from the urban area and population respectively. Unit:  $10^6$  peoples (abscissa),  $1000 \text{ ppmV/m}^2/\text{sec}$  (ordinate).

#### 4.2 「都市域単位面積当たりメタン発生量」：「人口密度」との関係

次に「都市域単位面積当たりメタン発生量」と「都市域人口密度」の関係(Fig.5)をみると、国内・海外いずれも比例関係にあるが、「人口」と対比した場合に比べるとややばらつきが大きい。特に海外都市の場合が大きい。「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。

$$\text{国内都市: } Y = 0.367 + 0.661X$$

$$\text{海外都市: } Y = 0.746 + 0.693X$$

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/m<sup>2</sup>/day)。

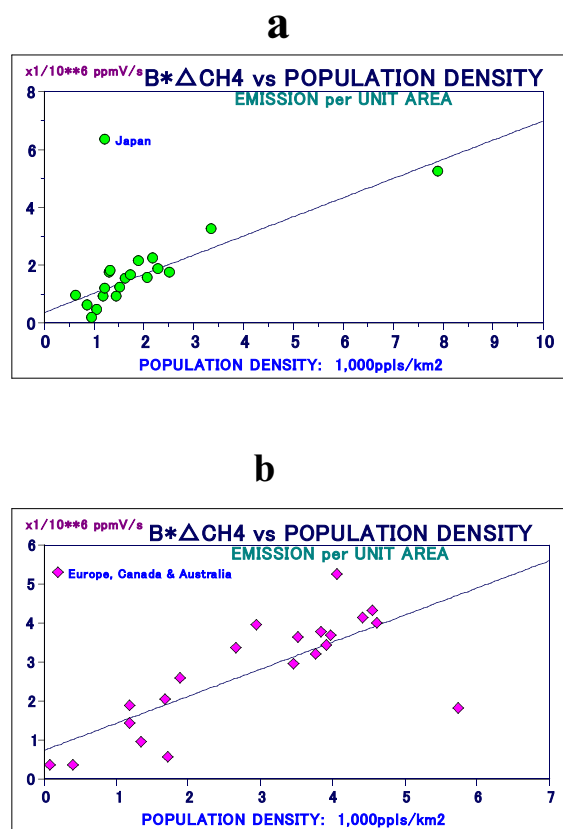


Fig. 5 The same as Fig.4, except for CH4 emission rate from the unit urban area related to population density. Ordinate and abscissa denote the amount of CH4 emitted from the unit urban area and its population density respectively. Unit :1000 peoples/km<sup>2</sup> (abscissa), and 1/10<sup>6</sup> ppmV/sec(ordinate).

#### 5. 結び

2003年9月に実施した欧州諸都市と近郊における大気メタン濃度の観測結果について、人間活動の指標として「都市人口」や「都市面積」を尺度にして整理したところ、推測のとおり、「都市域中心部と近郊のメタン濃度差」が「都市人口」に比例し、「都市の幾何学的大きさ(都市が円形であるとしたときのモデル半径)」に反比例することを示唆する結果を得た。このような興味ある予備的調査結果を基に、さらに詳細な検討を加えて確認するために、日本や海外の諸都市でおおよそ10数回にわたって追加観測を実施してきた。本稿はこれまでの観測結果をまとめたものである。推測のとおり、「都市中心部と近郊のメタン濃度差」は、「人口」や「人口密度」に比例しているようである。さらに「箱模型(ボックスモデル)」を適用して発生量の算定を試みたところ、「都市域からのメタン発生量」の算定に利用できることがわかった。都市域のさまざまなメタン発生源の個々それぞれについての調査分析や発生量測定には限界があり、従って個々の結果を得てそれらを積算する算定方式は時間を要し、またその精度向上にも大きな期待はできない。このような状況からすると、都市域全体からの発生量の見積りには、ここで用いた方法が大いに有用であろう。

#### 謝辞

本研究は、2003-2004年度に実施された「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)」の一部として研究費の支援を受けたものである:空気採取・気象観測の実施にあたってお世話になった方々に衷心より謝意を表したい。

#### 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, 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・森山茂・福山薫(2004): 都市とその周辺における大気メタン濃度差-欧州・北米・日本の諸都市についての比較-, 日本気象学会2004年度秋季大会講演予稿集 86, p.225.

- 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)―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―, 京都大学防災研究所年報, 第47号 B, pp.327-338.
- 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-1, 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)―琵琶湖周辺における大気メタン濃度の長期変動―, 京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp.209-220.
- 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.
- 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(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.

## **Spatial Distribution and Temporal Variation of Atmospheric Minor Constituents in the Urban Area and Its Surrounding Region (V)**

### **— Difference in the Amount of Atmospheric Methane between the Central Urban Area and the Suburbs and Population or Population Density of the Urban Area —**

Tatsuya IWASHIMA, Shigeru MORIYAMA\*

and

Kaoru FUKUYAMA\*\*

\* College of Industrial Technology, Nihon University

\*\*Faculty of Bioresources, Mie University

#### **Synopsis**

For the purpose of estimating the amount of CH<sub>4</sub> emission from the whole urban area, we observed the CH<sub>4</sub> concentration at central urban area and its surrounding suburbs, and examined the relationship between the difference of the concentrations at both area and the population or population density of the city; here we presumed the population or population density of the urban area as a parameter relating to the magnitude of human activity of city.

**Keywords:** atmospheric methane; CH<sub>4</sub> emission; model radius of urban area; population; population density

