

名古屋地域の NO_x 濃度と経済活動の関係について*

名古屋市立大学大学院経済学研究科附属経済研究所 焼田 党

1. はじめに

環境問題は様々な汚染物質によって引き起こされるが、ここでは大気汚染でも SO_x とともに地域性が高いとされる NO_x による汚染について、愛知県あるいは名古屋地域での NO_x 濃度と地域所得との関係を検討し、経済活動水準が NO_x 汚染に与える影響を探ることにする。¹

愛知県内の測定局（一般測定局のみ）で測定された NO_x 濃度は、図 1 および 2 に見られるように 1975 年以降 1980 年代の前半にかけて減少し、その後 1990 年代前半にかけて上昇して 1990 年代後半には再び低下している。特に 2000 年代後半の低下は非常に大きい。この傾向は愛知県内でも名古屋市内の測定局のデータで一層顕著であるが、愛知県全体の測定局についても、大まかに見れば、変動幅は小さいが、同様の傾向が見て取れる。²

愛知県での NO_x の測定は 1971 年度に開始され、1971 年度には国設名古屋測定局一ヶ所であったが、その後測定局は増え、現在の測定局の体制に（測定局の立地を含めて）近づいたのは 1975 年頃である。1974 年度には測定局数は 38 であったのが、1975 年度には 52 測定局の体制になり、その後 2009 年度には 87 測定局に増えている。他方、名古屋市内の NO_x 濃度に大きな影響を与えると考えられる自動車排気量はこの地域の経済活動水準に大きく影響されると考えられる。しかし、名古屋市内の経済活動は名古屋市内の経済活動水準は愛知県だけでなくさらに広い範囲である東海地域といったやや広い広がりをもってなされるとも考えられるが、ここでは愛知県での県内総支出が名古屋市の自動車利用量に大きな影響を与えており、また、受取県民所得よりはむしろ自動車を利用してなされる生産活動が NO_x 濃度に影響を与えて、所得変数としては愛知県の県内総支出を探ることにする。³

* 本研究の草稿は日本応用経済学会 2011 年秋季大会(慶応大学)で報告された。討論を頂いた伊ヶ崎大里氏はじめセッション参加者に感謝する。

¹ Murdoch et al. (1997)によれば、SO_x が 0.01 から 7 日間程度大気中に残るのに対し、NO_x はそれより少し長く 2 から 8 日間大気中を浮遊すると考えられている。

² 東京（国設測定局）および大阪（国設測定局）の NO_x 濃度もほぼ同様の動きを示している（付録図 A1 を参照されたい）。

³ 愛知県内における名古屋市の 2005 年度における経済規模は域内総支出額で約 34%であり人口規模

本研究では、観察値の利用可能性から、1975年以降の測定値を使って愛知県あるいは名古屋市内の平均的なNO_x濃度と愛知県内総支出の関係を考慮の対象とする。

2. 経済活動とNO_x濃度

NO_x濃度の測定値は図1にみられるように測定局によりやや違いがある。市内を一地域としてとらえるために、ここでは名古屋市内の全測定局の各年次における平均値を名古屋市のNO_x濃度を示すものと仮定する。経年変化をみると、図3に見られるように、名古屋市の平均NO_x濃度の1975年度以降の変化は逆N字形をしているのに対し、一人当たり県内総支出は1991年度から1993年度にかけてと1996年度から1998年度にかけて若干低下するが、趨勢としては1975年度以降ほぼ増加傾向にある(図4)。

本研究の目的はNO_x濃度と経済活動水準の関連を検討することにあるので、それら二つの変数の間の関係をプロットしてみると、図5のひし形の点で表されるように3次関数上の点のように見える。そこで、名古屋市平均のNO_x濃度(NO_x)と愛知県内一人当たり県内総支出(y)の関係を3次関数で回帰すると、以下のような結果が得られる。

$$NO_x = 0.407289 - 0.28336 y + 0.07212 y^2 - 0.00598 y^3$$

$$\begin{matrix} (0.032684) & (0.026059) & (0.00666) & (0.000551) \end{matrix}$$

$$\text{標本数}=33; \text{調整済決定係数 } \bar{R}^2 = 0.849 \quad D \cdot W = 1.624$$

ここで NO_x は名古屋市内の平均NO_x濃度(ppm)、 y は愛知県の一人当たり県内総支出である。また、係数下のカッコ内は標準偏差である。県内総支出の1次の項、2次の項、そして3次の項のいずれについても係数は有意水準1%で統計的に有意である。これらの係数は次のように解釈できるかもしれない。⁴

推定された回帰式は実績値(点で表示)とともに図5に実線として示されている。すなわち、一人当たり県内総支出が200万円を超えるとNO_x濃度は総支出の上昇に伴って減少するが、350万円になる直前に再び上昇に転じている。そして、一人当たり県内総支出が470万円を超えるとNO_x濃度は減少し始め、県内総支出の上昇とともに低下している。NO_x濃度がNO_x排出量と一定の関係を持つとすれば、所得の代理変数としての県内総支出とNO_x排出との間の関係は上記の3次関数で近似されるように見える。上記回帰式の所得の2次の項は所得の成長率に、そして、3次の項はその成長率の増加に対応していると考えられる。そこで、所得が高くなる状況ではそれ以上の速い成長が生じないと考えられるので、所得の係数は排出量を抑える傾向にある。他方、成長率が速い経済では汚染排出も大きく増加する傾向にあり、2次の係数はプラスとなる。さらに、成長率の上昇は、高い成長

は約31%であるから、結果の解釈には注意が必要かもしれない。

⁴ ここでは、地域を固定して時系列データを用いていることから、先行文献のクロスカントリーデータによる分析のように、地域の違いをコントロールするための変数は考慮していない。

率がより急速な排出増加をもたらす可能性があり、排出量をより抑制する方向に働くと考えられる。しかし、これらの変数の間の見かけの関係はそれらの間の因果関係を何ら示すものではないことに注意が必要である。

他方で、NO_x については、SO_x と同様にいわゆる環境クズネツ曲線が得られることが多くの文献で示されている。⁵ほとんどの文献ではNO_x の排出量が一人当たりで測られ、しかもクロスカントリーデータによって推計されている。たとえば、伊ヶ崎 (2002)ではアジアの12の国・地域の1975年、1980年、1985年および1987年のアジア諸国のデータを用いて、NO_x についても一人当たりGDPに関して一人当たり排出量が逆U字形となっていることを示している。逆U字のピークは8500USドル(1985年ドル換算)である。⁶ここでは、一人当たり排出量ではなく、測定濃度を汚染の程度を表す変数として採用しているので、それらの文献と必ずしも比較が可能ではないかもしれないが、逆U字ではなく、逆N字形に近い関係が導かれたことは興味深い。⁷ここでは、NO_x の排出量を推定するのではなく、実際の測定値を使っているが、NO_x 汚染の地域性が十分に高い場合には、それらの乖離は大きくないと考えてよいだろう。SO_x とは異なり一人当たり所得と濃度の関係が逆U字形とならないことの説明は本研究ノートの守備範囲を超えるが、次節で若干の考察を行う。⁸先行文献における逆U字形の環境クズネツ曲線の場合には2次の項までで説明されるが、ここでは3次の項も有意に効いており、ここでは環境政策の効果が反映されていると解釈している。さらに、環境クズネツ曲線が逆U字形になることについても、先行文献では理論的にいくつかの説明が提示されており、見解が一致しているわけではない。ここで見いだされた関係についても、これらの点に注意しながら、さらに研究がすすめられる必要がある。

最後に、この推定式にしたがって変化するとすれば県内総支出が616万円近くになるとNO_x 濃度はほぼゼロとなると予想される。1990年度からの県内総生産の平均成長率が1.3%程度であり、今後この程度の成長率が見込めるとすると、2015年頃にはNO_x 濃度はほぼゼロとなると予想されるこ

⁵ 環境クズネツ曲線はGrossman and Kruger (1981)によって見出されて以来、環境分析のキーワードの一つとなっている。もともとのクズネツ曲線は経済発展と所得分配の不平等との関係を表したものであり、クロスカントリー・データよりはタイムシリーズ・データに基づく関係である。

⁶ Selden and Song (1994)、Stern et al. (1996)等も参照されたい。

⁷ 第2次大戦後の一人当たりSO_x 排出量と一人当たりGDPの関係に関して、A.S.L.and Associates (1997)およびMadison (2003)から計算してみると、日本やイギリス、フランスなどは逆U字の関係を導くことができるが、アメリカに関しては逆N字の関係がみられる。この点はさらに考察が必要であろう。Asahi and Yakita (2011)を参照されたい。既に環境クズネツ曲線の理論的な説明は多くなされている。たとえば、Arrow et al. (1995)、Stokey (1998)、Andreoni and Levinson (2001)や、Copeland and Taylor (2003) や最近のMarkandya et al. (2006)やTsurumi and Managi (2010)などのサーベイも参照されたい。また、Jones and Manuelli (1995)は、汚染物質排出量と所得水準の関係が政策決定メカニズムに依存して様々な形状を採りうることを、理論モデルによって示している。また、Harbaugh et al. (2002)は環境クズネツ曲線が逆U字形となる実証的根拠はないと主張している。

⁸ 四日市地域のSO_x 汚染に関して、時系列的にも、一人当たりの所得とSO_x 排出量について逆U字形の環境クズネツ曲線が得られる可能性がAsahi and Yakita (2012)によって示されている。

となる。もちろんこの議論の前提条件として、県内総支出の上昇が単純に NOx 濃度を下げる訳ではなく、県内総支出の上昇に伴う汚染対策が従来と同程度に十分に効果的に NOx 濃度を上げるようになされることが必要である。

3. 2000 年代の NOx 濃度の急激な低下

2000 年代後半に NOx 濃度が大きく低下した背景を類推してみよう。一般的に NOx 汚染の主な原因は自動車の排ガスにあると言われることが多い。そこで、自動車工業会のデータから、自動車の排ガス規制の影響を見てみよう。1980 年代後半からいわゆるバブル景気に伴って、経済活動が活発化するにつれて NOx 測定値が増えたのに対し、1990 年代に入り所得の伸びの鈍化とともに NOx も横ばいに推移したが、1990 年代終盤からは所得が持ち直しているにもかかわらず、NOx 測定値は減少傾向にあり、2000 年代中盤に差し掛かると急激に低下している。⁹自動車の販売台数を見てみると、2000 年代に入り、いわゆる低公害車の出荷台数が生産台数に占める割合が高くなっており、特に 2005(平成 17)年規制に合わせて、排気汚染が小さくなっている自動車が多く出荷されていることが分かる(図 6)。¹⁰自動車の排ガス規制は 1973(昭和 48)年規制以降、年々強化されてきている。1975 年にいわゆる日本版マスキー法が導入され、1976 年度には軽自動車も規制されるようになった。1986 年度および 1987 年度にはディーゼル車を主として対象とした規制、1990 年度には軽自動車を対象にした規制が実施された。2000 年度には 1978(昭和 53)年規制を大幅に強化した規制が実施され、その後の規制の基準とされることが多い。2005(平成 17)年規制も早期達成車の生産実現を通じて低排ガス・低燃費車の開発に影響を与えた。

図 6 から、いわゆる低公害車の生産・出荷が 2000 年度以降急激に増大していることが分かる。全車種で見た生産台数は 2007 年を境に 2009 年度に約 9000 万台まで減少しているが、2000 年度から 2007 年度までは 1000 万台から 1200 万台に増加している。これに対して、台数のみならず、2003 年度には 2005(平成 17)年基準排ガス 50%低減レベルの出荷が低公害車出荷台数の 1 割弱を占めるほどに質的にも排ガス対策が進んでいる。2009 年度にはハイブリッド車の出荷台数が低公害車の出荷台数の約 12%にもなっている。2009 年度には全生産台数の約半分がいわゆる低公害車となっていることからすれば、自動車の排ガスが原因の NOx 汚染はかなり緩和されていると期待してよいだろう。もし NOx 汚染の原因の多くが自動車であるとすれば、自動車の排ガス規制の強化が、特に 2000 年度以降、NOx 濃度を大きく低下させたと考えることができよう。¹¹東京都や大阪府の NOx 濃度の測定値が名古屋市内の測定値の平均値とほぼ同じ経年変化をしており、一人当たり県内総支出も東京都お

⁹ バブル期には自家用車の大型化・高級化がみられたが、これらが NOx を増やした可能性は否定できない。

¹⁰ 2009 年 10 月から順次強制適用される。平成 12 (2000) 年規制値に比べ、NOx を 40~65%、PM (粒子状物質) を 53~64%低減することが期待されている。

¹¹ NOx 排出が主に自動車でなされるとすれば、自動車の使用次の排出量をコントロールすることは困難であろう。むしろ、自動車の製造(出荷)段階でのコントロールが有効である。この点は同じ様に地域性が強い SOx の場合とは大きく異なる。

よび大阪府で伸び率に多少の違いはあるものの、愛知県の県内総支出とほぼ同じ変動を時間的には示していることを考えると、これらの地方にも同じように効果をもつ排ガス規制政策が NOx 濃度に影響を与えたと考えることが妥当であるように思われる。¹²

4. NOx の環境への影響

最後に、NOx の影響を見てみる。一般に光化学スモッグ被害が指摘されているが、光化学スモッグの原因とされる光化学オキシダントは工場や自動車などから一次汚染物質として窒素酸化物と炭化水素が排出され、それから一定の時間的な遅れを伴って、光化学反応などによって大気中で二次的に生成される物質である。したがって、直接 NOx 濃度が光化学スモッグを引き起こして環境被害を生じる訳ではない。名古屋地区の光化学スモッグ予報・注意報の発令回数と NOx 濃度を時系列的に見たのが、図 7 である。1975 年度から 1977 年度にかけては NOx 濃度が比較的高く、光化学スモッグ予報・注意報が多く発令されているが、NOx 濃度が低くなった 1980 年代には発令数が増加し、再び高くなった 1990 年代には発令数がほとんどゼロとなっている。他方、NOx 濃度が低下した 2000 年代後半には光化学スモッグ予報・注意報がかなり頻繁に出されている。したがって、1 年間単位の対応であり、名古屋市地域の NOx 濃度と光化学スモッグ予報・注意報との時間的対応関係は正しく反映されているとは言えないが、年単位で見ると、その年の平均的な NOx 濃度が高いとしても、必ずしも光化学スモッグ予報・注意報が多く発令されているとはいえない。NOx 濃度そのものよりも気象条件等が大きく影響している可能性がある。NOx とともに光化学オキシダントの原因物質とされる揮発性有機化合物 (VOC) などの濃度にも依存している可能性がある。この点は科学的にもより詳細な検討が必要である。¹³

5. 終わりに

NOx の測定値がその地域内の一人当たり総支出に関して逆 N 字形になっていることを見出した。

¹² NOx は数日間大気中に残るので、偏西風により中国大陸から流されてくる可能性はある。しかし、清水 (2010)によれば、中国の NOx 排出量は 1980 年の約 62 億 NOx 換算 Kg から 1995 年には約 121 億 NOx 換算 Kg、2005 年には約 226 億 NOx 換算 Kg そして 2007 年には 272 億 NOx 換算 Kg 弱と増加しており、その影響が名古屋地域の測定値の変化に大きな影響を与えているとは考えにくい。図 A1 に示されている東京や大阪だけでなく、新潟や福岡でも 1990 年代後半以降 NOx 濃度観測値は単調に低下している。

¹³ 揮発性有機化合物(炭化水素)が 2006 年に化学工場等に対する削減義務設定により、2000 年からの十年で約 4 割強減少したにもかかわらず、光化学オキシダントが微増を続けている原因を環境省が調査している。実際名古屋国設局の測定値でも全炭化水素の値は 1990 年代後半以降むしろ減少しているのに対し、オキシダントは逆に 1990 年代後半から徐々に上昇している。(図 A3 を参照されたい。)近年、国内での NOx の観測自体は低下しているが、大陸で生成された光化学オキシダント (オゾン) が越境輸送された可能性は広く認識されている。たとえば、大原 (2009)によれば、2007 年 5 月の光化学オゾンの高濃度の内 20-50%が中国の影響と考えられている。また、同時に、季節や地理的条件により国内の要因による場合も否定できないことも示唆されている。たとえば、大原(2009)を参照されたい。

¹⁴NO_x 汚染が自動車の排ガスが主な原因であるとする、2000 年代後半の急激な濃度低下は排ガス規制の強化によってもたらされたと考えてよいかもしれない。本稿での議論は愛知県あるいは名古屋市に限って、地域での時系列的な変化について考察したものである。しかし、東京や大阪についてこれらの国設測定局での NO_x 濃度の経年変化をみると、名古屋市内の平均 NO_x 濃度の経年変化と非常に似た動きをしているし、都内・府内総支出の動きも愛知県内総支出とほぼ似た動きをしていることから、東京や大阪についても NO_x 濃度と地域内経済活動の間にここで示したのとよく似た関係があるとみてよいだろう。¹⁵従来の文献ではクロスカントリーデータを使って多くの場合環境クズネット曲線を導出している。これら間の整合性がどのように図られうるのかを探ることが今後の研究課題の一つである。

また、NO_x の影響として光化学スモッグの原因であると一般には言われてきたが、光化学オキシダント濃度や光化学スモッグ注意報の発令回数等から見て、国内の NO_x 濃度は大きな影響を持つてはいないように思われる。とすれば、地球環境の温暖化に大きな影響を持つと考えるべきであろうか。しかし他方で、NO_x が地域性の高い汚染物質であることを考えると、むしろ地域の温暖化と考えるべきであろうか。また、NO_x 自体が地域性を持つとしても、光化学オゾンという形で地球全体の影響を与えている可能性もある。この点については、今後の検討を必要とするように思われる。

【付録】 対数表示の NO_x 濃度と愛知県内総支出

名古屋市内の平均 NO_x 濃度の対数と愛知県内総支出との関係を見てみると以下のようなになる。

$$\log(NO_X) = 4.587903 - 6.09198 y + 1.56973 y^2 - 0.13167 y^3$$

$$(0.681422) \quad (0.543292) \quad (0.138844) \quad (0.011481)$$

$$\text{標本数}=33; \quad \text{調整済決定係数 } \bar{R}^2 = 0.861 \quad D \cdot W = 1.5646$$

係数はいずれも 1%有意水準で統計的に有意であり、決定係数は log 値の場合の方が若干高い。この場合の相関関係が図 8 に示されている。2007 年度から年率 2.73% で県内総支出が増大するとすれば、2018 年度には一人当たり県内総支出は 767 万円となり、NO_x 濃度と県内総支出との関係が成立しているとすれば、その時の名古屋市内の平均 NO_x 濃度は 0.0002ppm 以下となっていると予想される。

¹⁴ Akimoto (2003) によれば、NO_x 排出量が 1970 年から 2000 年にかけて、北米（合衆国及びカナダ）では M 字形、旧ソ連を含むヨーロッパでは逆 U 形（1975 年以降では逆 N 字形）、そしてアジアでは急激に増加していることが示されている。日本は北米のパターンと類似していると言える。

¹⁵ 地域内の総支出がほぼ単調に増加している限りは、谷底と山頂での県内総支出の水準は異なるが、3 次関数で回帰されると考えてよい。（付録図 A2 を参照されたい。）

参考文献

- Akimoto, H. (2003) Global air quality and pollution. *Science* 302(5651), 1716-1719.
- A.S.L.and Associates, 1997. Sulfur Emissions By Country And Year. Report DE96014790, US Department of Energy, Washington, DC (http://www.asl-associates.com/sulfur_1.htm: cited on 24 June 2011).
- Andreoni, J. and Levinson, A. (2001) The simple analysis of the environmental Kuznets curve. *Journal of Public Economics*, 80, 269-286.
- Arrow, K. J., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., Jansson, B. O., Levin, S., Maler, K. G., Perrings, C. and Pimental, D. (1995) Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science*, 268, 520-521.
- Asahi, S. and Yakita, A. (2011) SO_X emissions reduction policy and economic development: A case of Yokkaichi. *Modern Economy*, 3, (forthcoming).
- Barbaugh, W. T., Levinson, A. and Wilson, D. M. (2002) Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. *Review of Economics and Statistics* 84, 541-551.
- Copeland, B. R. and Taylor, M. S. (2003) Trade and the environment: Theory and evidence. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Grossman, G.M. and Krueger, A.B. (1995) Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics* 110, 353-377.
- 伊ヶ崎大理 (2002) 「環境クズネツ曲線の理論と実際」九州経済学会年報 40, 1-8.
- Jones, L. E. and Manuelli, R. E. (1995) A positive model of growth and pollution controls. NBER Working Paper Series No. 5205.
- Madison, A., 2003. The World Economy: Historical Statistics. OECD.
- Markandya, A., Golub, A. and Pedroso-Galinato, S. (2006) Empirical analysis of national income and SO₂ emissions in selected European countries. *Environmental and Resource Economics* 35, 221-257.
- Murdoch, J.C., Sandler, T. and Sargent, K. (1997) A Tale of two collectives: Sulphur versus nitrogen oxides emission reduction in Europe. *Economica* 64, 281-301.
- 大原利眞 (2009) 「越境大気汚染~広域的な光化学オゾン汚染の現状と要因 (環境最前線第 9 回)」国立環境研究所 [<http://www.nies.go.jp/kenkyusaizensen/200905/200905.html>]
- Selden, T.M. and Song, D. (1994) Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 147-162.
- 清水政行 (2010) 「中国における産業別・地域別 SO_2 、 NO_X 、 CO_2 排出量の推計と考察」日本国際経済学会第 69 回全国大会報告論文 (2010 年 10 月 16 日 大阪大学)

Stern, D.I., Common, M. S. and Barbier, E.B. (1996) Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development, *World Development* 24, 1151-1160.

Stokey, N. L. (1998) Are there limits to growth? *International Economic Review*, 39, 1-31.

Tsurumi, T. and Managi, S. (2010) Decomposition of the environmental Kuznets curve: scale, technique, and composition effects. *Environmental Economics and Policy Studies*, 11, 19-36.

内閣府社会経済研究所『県民経済計算年報（平成 22 年度版）』

国立環境研究所

「環境数値データベース http://www.nies.go.jp/figreen/air/1975/nox_y/ippan/231975_nox_y_1.html:
各年度」(いずれも 2011 年 7 月 5 日参照。)

日本自動車工業会

「低公害車出荷台数(http://www.jama.or.jp/eco/eco_car/shipment/index2000.html:各年度)

「生産統計(四輪)車種×メーカー (<http://jamaserv.jama.or.jp/newdb/prod4/prod4TpMkEntry.html>:
各年度)」(いずれも 2011 年 7 月 12 日参照。)

図3 名古屋市内測定局におけるNOx濃度の各年平均濃度 (1975-2009)

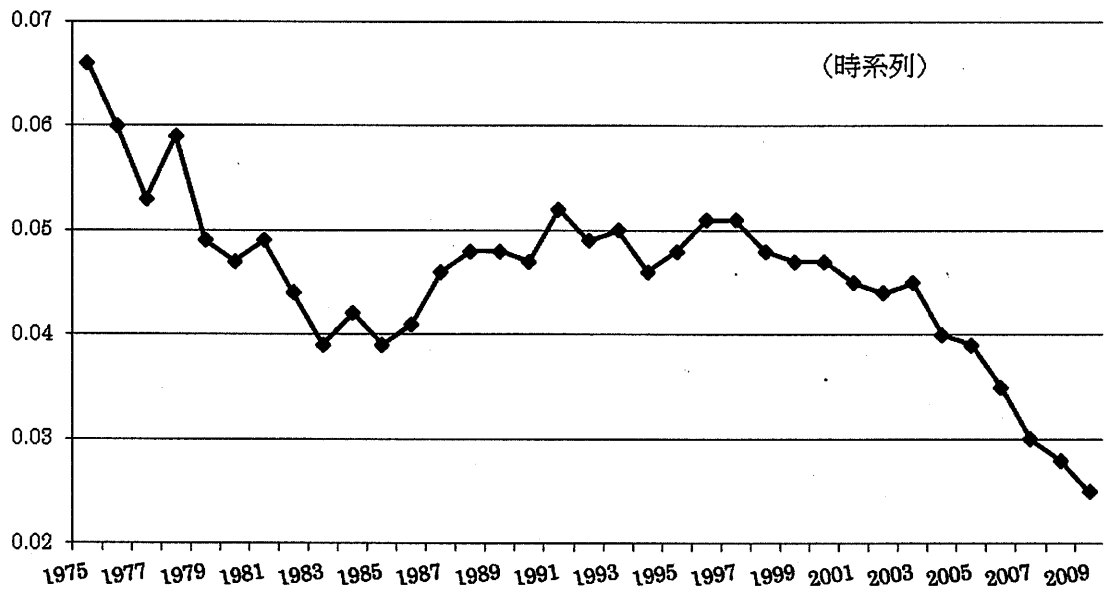


図4 愛知県における一人当たり県内総支出の変遷 (1975-2007)

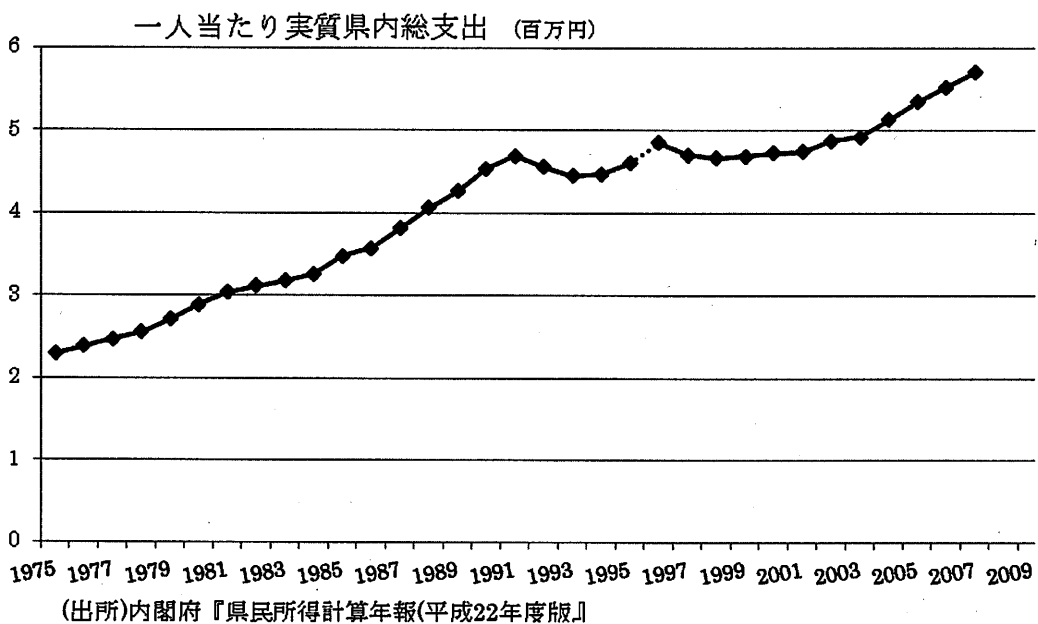


図5 NOx濃度と愛知県一人当たり県内総支出の関係 — 実績値と3次回帰曲線 (1975-2007)

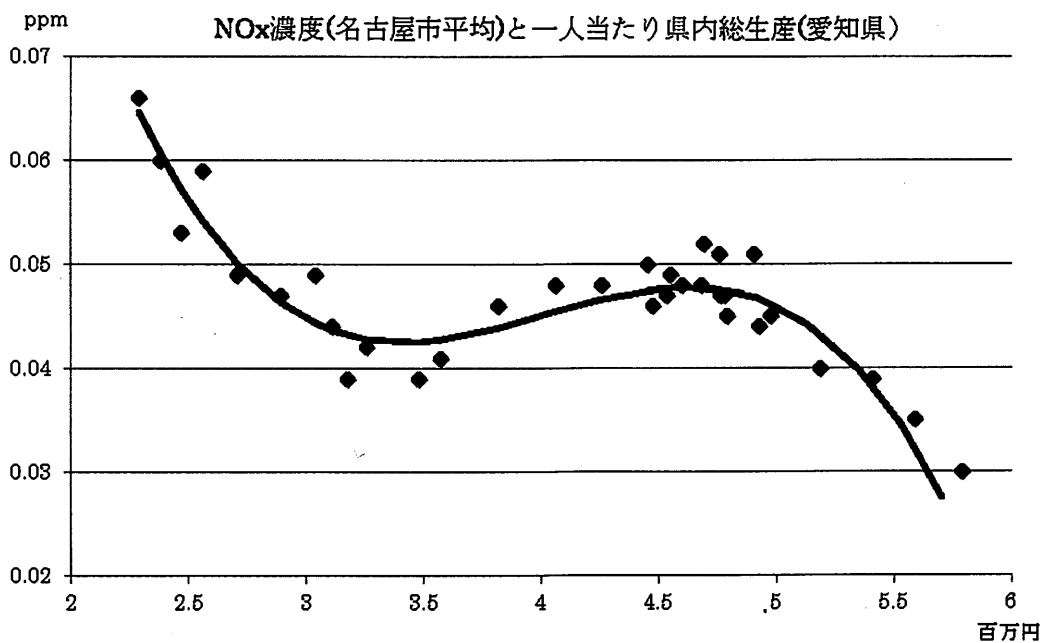


図6 日本の自動車生産企業の低公害車出荷台数と全生産台数

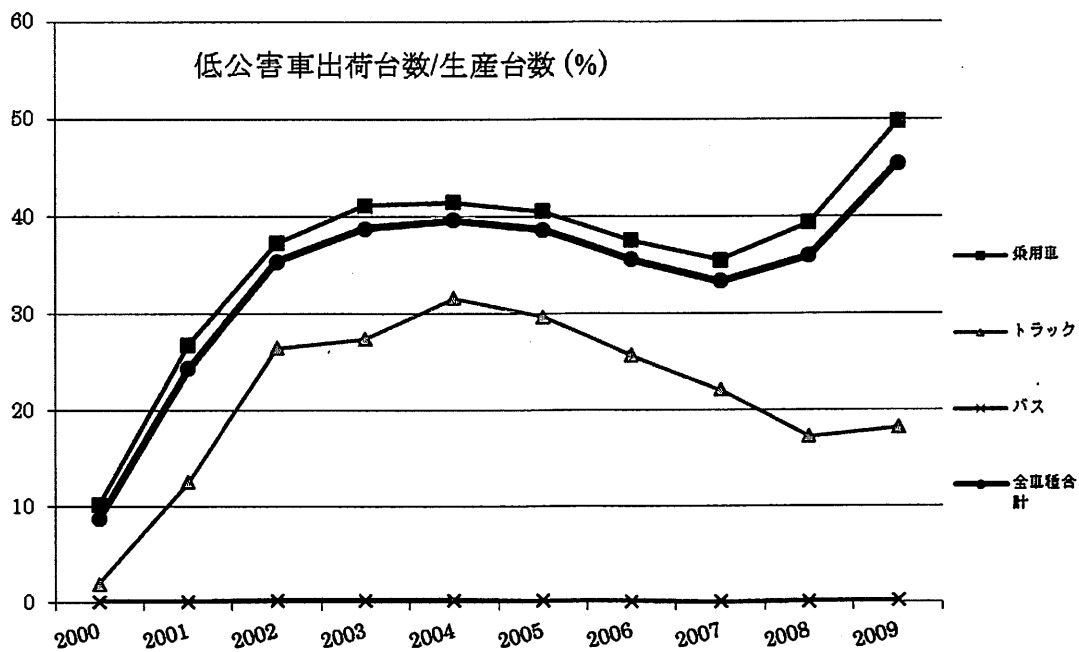


図 7 NOx 濃度と光化学スモッグ予報・注意報の頻度

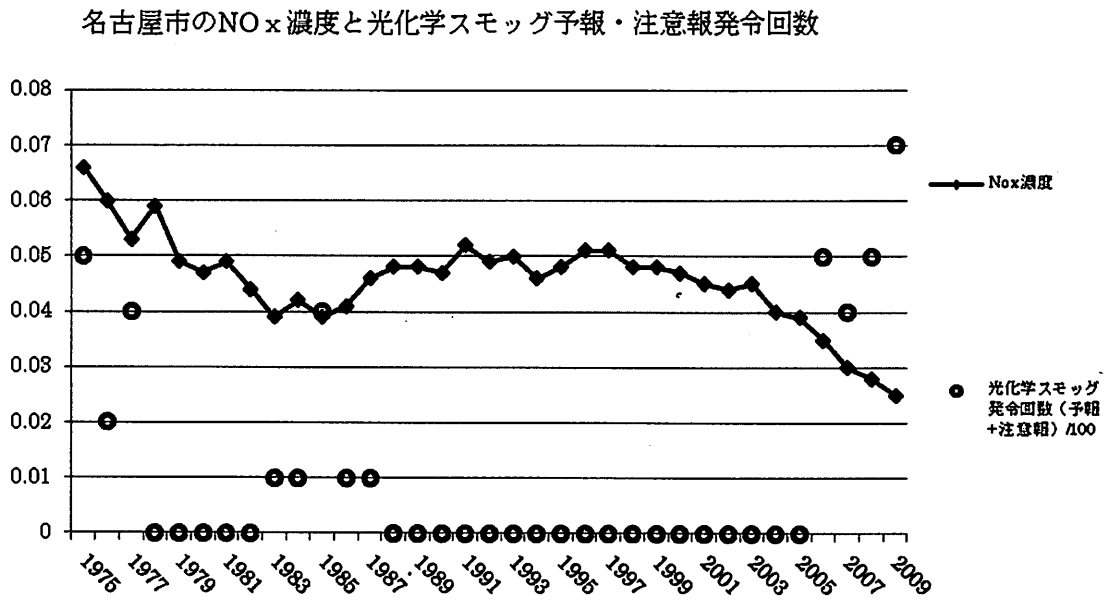
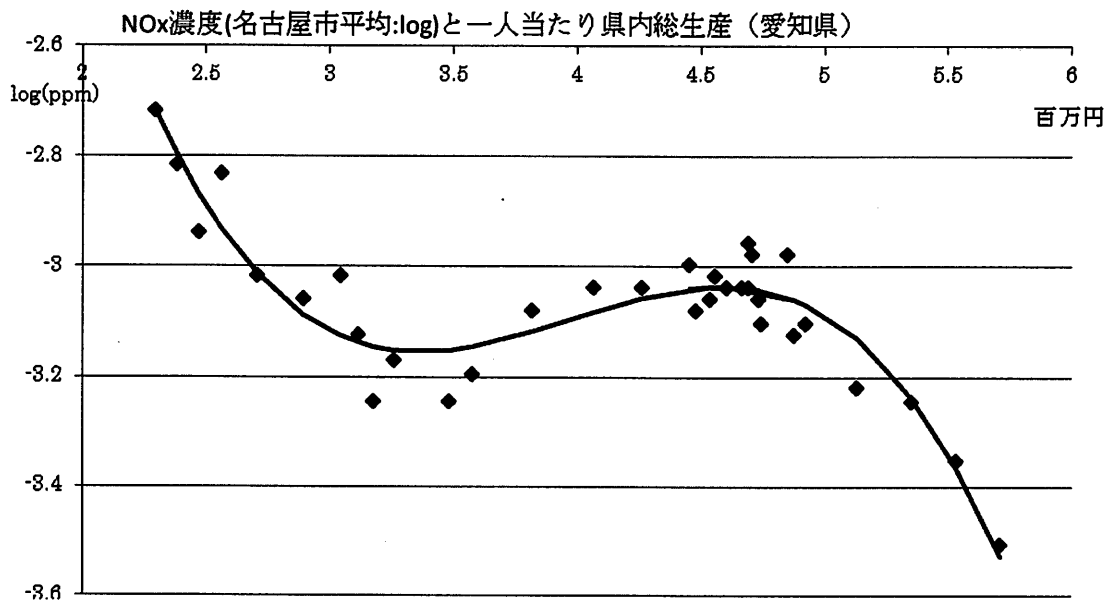


図 8 名古屋市平均NOx濃度(log)と愛知県一人当たり県内総支出



付録図

図 A1 東京（国設測定局）・大阪（国設測定局）・福岡（門司港測定局）・新潟（国設測定所）とのNOx濃度の比較

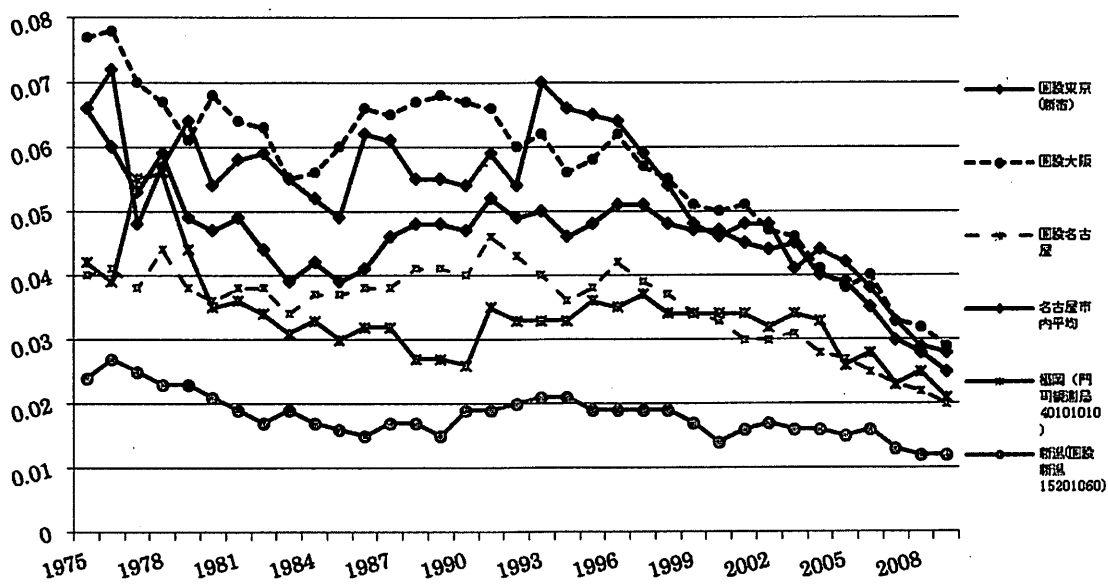
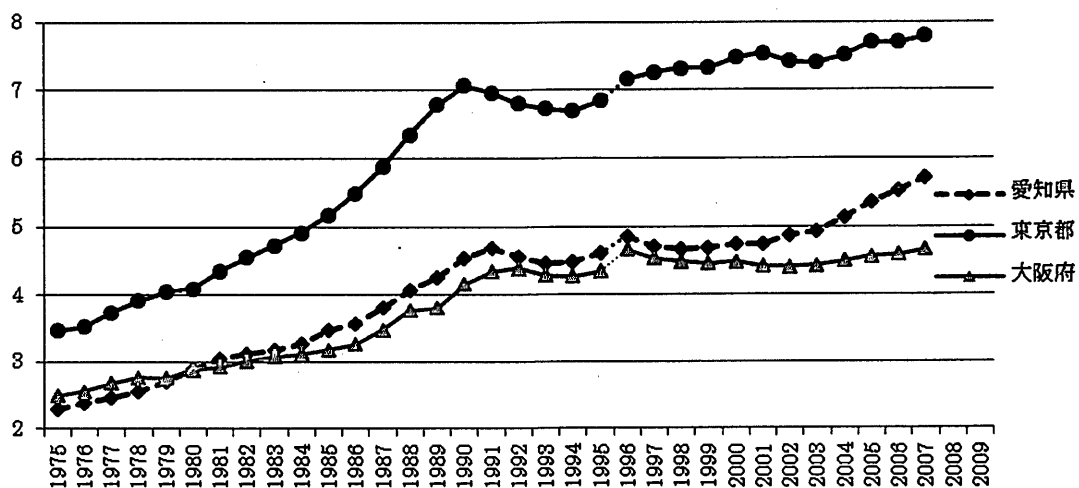


図 A2 愛知県、東京都、大阪府の一人当たり県内総支出

一人当たり県内総支出 (100万円)



(出所)内閣府『県民所得計算(平成22年度版)
(1995年度まで1990年基準1996年度から2000年基準)

図 A3 全炭化水素およびオキシダント濃度（名古屋国設局）

