

NO_x対策としてのディーゼル車抑制策のシミュレーション分析*

Simulation Analysis on the Policy to Reduce Diesel Automobiles for the NO_x Problem

森杉壽芳**, 大野栄治***, 高木真志****, 清水俊介****

By Hisayoshi MORISUGI, Eiji OHNO, Masashi TAKAGI and Syunsuke SHIMIZU

A cohort type of simulation model for predicting the Diesel automobiles' share was presented in our previous study. By improving and using this simulation model, we analyse the impact of the policy to reduce the Diesel automobiles' share and the nitrogen oxidant pollutant (NO_x) from automobiles. Alternatives of the policy analysed in this study are to increase the light-oil price/tax, to set the upper limit of age on the Diesel automobile, to stop producing the Diesel automobile and so on. According to this simulation, first, the NO_x volume will increase without any policy in 1992. Secondly, though most policy needs to be heavy in order to achieve enough results, a certain combination of light policies may achieve.

1. はじめに

わが国では、ディーゼル車は経済優先の政策の恩恵を受けて、税制面（特に燃料に関わる税）においてガソリン車よりも優遇されているため、近年では普通トラック・バスだけではなく、小型トラック・乗用車においてもディーゼル化が進んでいる。しかし、ディーゼル車 1 台当たりのNO_x排出量はガソリン車の約 5 台分に相当し、当該税制は汚染者負担原則に反したものであると言わざるをえない。

NO_x問題について、アメリカ、イギリス、(旧)西ドイツ等の欧米諸国では自動車用燃料の価格設定においてガソリン車優遇策（ディーゼル車抑制策）を講じており、例えば アメリカでは1982-88年の間に

小型トラック市場におけるディーゼル車普及率を7.1%から2.5%に減少させるという成果を挙げている。また、スイスのように、経済成長よりも自然保護を優先し、(大気汚染物質を排出するような)自動車の利用を制限している国もある。

本研究では、経済活動は現状のまま、かつ排ガス抑制に対するエンジンなどの技術革新はないという条件の下で、NO_x対策としてディーゼル車からガソリン車への乗り換えを推進するような政策を検討する。なお、この検討には、従来の研究¹⁾において提案したコーホート型ディーゼル車普及率予測モデルを改良して適用し、軽油税の引き上げ、ディーゼル車の車齢制限等のディーゼル車抑制策を設定し、それらのNO_x削減効果をシミュレーション分析する。

*キーワード: NO_x問題, ディーゼル車
コーホートモデル

** 正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科

***正会員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科

****学生会員 岐阜大学大学院工学研究科
(〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

2. ディーゼル車普及とNO_x排出量の推移

小型トラック・乗用車 登録台数の時系列変化は、図-1・2に示すとおりである。小型トラックにお

けるディーゼル車 普及率は、1974年の7%から急増し、1991年には56%に達している。乗用車においては、1974年の0.02%から1991年の9%へと急増し、小型トラック以上に急激な伸びを示している。

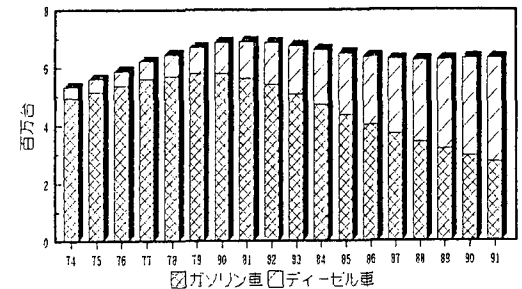


図-1 小型トラック登録台数の時系列変化

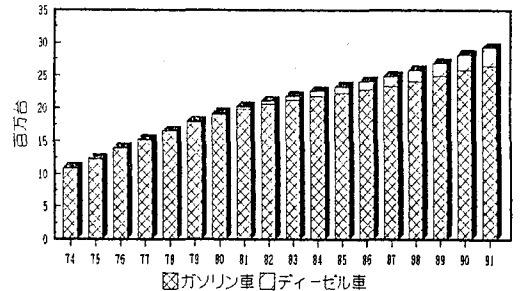


図-2 乗用車登録台数の時系列変化

小型トラック・乗用車の NOx排出量の時系列変化を図-3・4に示す。なお、1台あたりのNOx排出量は 新車時のNOx規制値を適用し、各コーホートの普及台数を掛け合わせるによって算出した。単位は〔ton/h〕、すなわち 単位時間当たりの排出重量に換算した。

図-3・4より、小型トラックにおける NOx排出量は、現状の度重なる政策によって1979年頃のレベルに抑えられているといえる。乗用車においては、1991年には、1978年の約3分の1へと減少したが、この状態が環境基準を満たしているわけではなく、公害問題が指摘された1970年代より進歩していないと考えるのが妥当であろう。しかも、現在、再び増加傾向にあり、ディーゼル車がその原因であることがわかる。また、この計算では走行パターンや使用頻度が考慮されていないため、日単位のNOx排出量は、近年の交通事情の変化によってそれ以上に増加していると予想される。これらより、小型トラック・乗用車市場においてディーゼル車を抑制する意義が見いだせる。

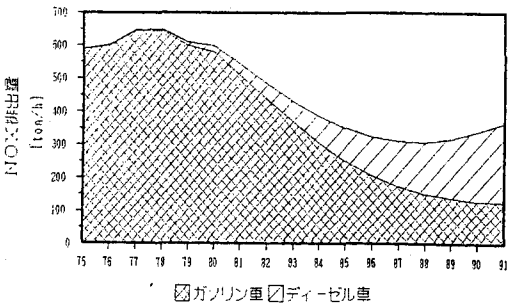


図-3 NOx排出量の時系列変化
(小型トラック)

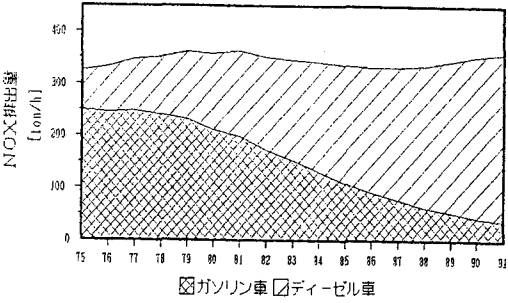


図-4 NOx排出量の時系列変化
(乗用車)

3. コーホート型ディーゼル車普及率予測モデル (コーホートモデル)

人口学の分野において、同じ年次に生まれた人々の集団をコーホートと呼び、コーホートごとの出生、移動、死亡の状況を時系列で追跡して人口を推計するモデルがコーホートモデルである。本研究では、この方法を小型トラック・乗用車市場におけるディーゼル車普及率の予測にそれぞれ独立に適用する。

ここで、本研究で提案するコーホート型ディーゼル車普及率予測モデルのフローを図-5に示す。

まず、(t-1)年の小型トラック・乗用車を ディーゼル車とガソリン車の燃料別に分類し、さらにそれらを車齢別に分けて車齢分布を作成する。t年に移行するとき、(t-1)年の車齢分布に 燃料別車齢別の生存率を掛けて2歳以上の燃料別車齢分布を作成する。このときの燃料別車齢別台数は、次式のように表される。

$$D_{t,M} = DR_{t-1,M-1} D_{t-1,M-1} \tag{1-a}$$

$$G_{t,M} = GR_{t-1,M-1} G_{t-1,M-1} \tag{1-b}$$

D, G : ディーゼル車、ガソリン車台数

DR, GR : ディーゼル車、ガソリン車生存率

添字 t : 年次〔西暦年〕

M : 車齢

一方、新規登録台数予測モデルより、t 年の新規登録台数 N_t を求める。これに新規登録車分担率 Y_t を掛けて車齢 1 歳の燃料別台数を算出する。

$$D_{t,1} = Y_t N_t \quad (2-a)$$

$$G_{t,1} = (1 - Y_t) N_t \quad (2-b)$$

Y : 新規登録車分担率（ディーゼル車率）

N : 新規登録台数

以上、式(1-a,b)(2-a,b)を合わせることより、(t-1)年の燃料別車齢別台数から t 年の燃料別車齢別台数を求めることができる。そのためには、燃料別車齢別生存率、新規登録台数、新規登録車分担率を与える予測モデルが必要となるので以下に構築する。

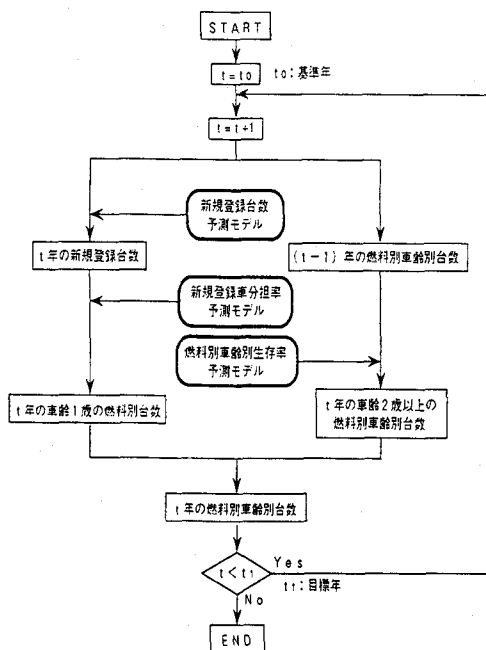


図-5 コーホートモデルのフロー

【燃料別車齢別生存率予測モデルの特定化】

保有自動車を乗り続けるか廃車にするかといったユーザーの存廃選択行動について、燃料別車齢別生

存率予測モデルを二項ロジットモデルで構築する。

モデルの説明要因としては、技術革新による耐久性の向上に年次を、保有車の使用年数による耐久性の衰えに（平均車齢－車齢）を用いた。また、ディーゼル車には、さらに経済要因として燃料価格比を用いた。

◎ディーゼル車

$$DR_{t,M} = \frac{\text{EXP}[DL_t]}{\text{EXP}[DL_t] + \text{EXP}[DD_t]} \quad (3-a)$$

$$= \frac{1}{1 + \text{EXP}[DD_t - DL_t]} \quad (3-b)$$

$$DD_t - DL_t = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 \ln(t - t_0) + \varepsilon_2 (MD_{t-1} - M) + \varepsilon_3 \ln(DP_{t-1} / GP_{t-1}) \quad (3-c)$$

◎ガソリン車

$$GR_{t,M} = \frac{\text{EXP}[GL_t]}{\text{EXP}[GL_t] + \text{EXP}[GD_t]} \quad (4-a)$$

$$= \frac{1}{1 + \text{EXP}[GD_t - GL_t]} \quad (4-b)$$

$$GD_t - GL_t = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 (t - t_0) + \varepsilon_2 (MG_{t-1} - M) \quad (4-c)$$

DL, GL : ディーゼル車、ガソリン車を乗り続ける効用

GD, GD : ディーゼル車、ガソリン車を廃車にする効用

MD, MG : ディーゼル車、ガソリン車の平均車齢

t₀ : 基準年（1974年）

パラメータ	小型トラック		乗用車	
	数値	t 値	数値	t 値
ε_0	-4.400	17.41	-5.185	16.36
ε_1	-3.102×10^{-1}	4.620	-3.857×10^{-2}	2.759
ε_2	-3.212×10^{-1}	31.12	-3.907×10^{-1}	22.17
ε_3	1.021	3.242	1.825	3.622
相関係数	0.916		0.858	
ε_0	-3.055	20.98	-3.605	25.18
ε_1	-3.478×10^{-1}	5.333	4.231×10^{-2}	3.314
ε_2	-3.234×10^{-1}	28.55	-4.574×10^{-1}	26.47
相関係数	0.901		0.893	

【新規登録台数予測モデルの特定化】

新規登録台数は、買い換えによる台数と新規購入による台数に分けられる。その予測方法として関数

モデルより直接求める方法も考えられるが、総台数から生存台数を差し引くことによって間接的に新規登録台数を求めることにする。

$$N_t = T_t - (\sum_M DR_{t-1,M-1} D_{t-1,M-1} + \sum_M GR_{t-1,M-1} G_{t-1,M-1}) \quad (5-a)$$
$$T_t = \beta_1 + \beta_2 (GP_{t-1} + DP_{t-1}) / 2 + \beta_3 T_{t-1} \quad (5-b)$$

T : 総台数

パラメータ	小型トラック		乗用車	
	数値	t 値	数値	t 値
β_0	7.214×10^5	1.153	2.285×10^6	10.75
β_1	-5.098×10^3	2.015	-7.933×10^3	4.104
β_2	9.821×10^{-1}	7.337	9.825×10^{-1}	112.7
相関係数	0.954		0.999	

【新規登録車分担率予測モデルの特定化】

ユーザーが自動車を新規登録する際には、ディーゼル車とガソリン車の中で車種選択が行われる。ユーザーの車種選択行動において考慮される要因として、動力要因、環境要因、経済要因の3種類が考えられる。これらの要因を用いて、この選択行動モデル（＝新規登録車分担率予測モデル）を二項ロジットモデルで構築する。

ここで、ユーザー（特に乗用車ユーザー）には、そもそもディーゼル車を選択肢として考慮しない人もあり、ディーゼル車の普及率には上限値が存在するものと考えられる。そこで、新規登録車分担率のディーゼル車率の上限値を γ ($0 \leq \gamma \leq 1.0$)と設定した。

$$Y_t = \frac{\gamma \text{EXP}[DU]}{\text{EXP}[DU_t] + \text{EXP}[GU_t]} \quad (6-a)$$

$$= \frac{\gamma}{1 + \text{EXP}[GU_t - DU_t]} \quad (6-b)$$

◎小型トラック

$$GU_t - DU_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(GP_{t-1} / DP_{t-1}) + \alpha_2 (\sum_M G_{t-1,M} / \sum_M D_{t-1,M}) \quad (6-c)$$

◎乗用車

$$GU_t - DU_t = \alpha_0 + \alpha_1 (GP_{t-1} - DP_{t-1}) + \alpha_2 \ln(\sum_M G_{t-1,M} / \sum_M D_{t-1,M}) \quad (6-d)$$

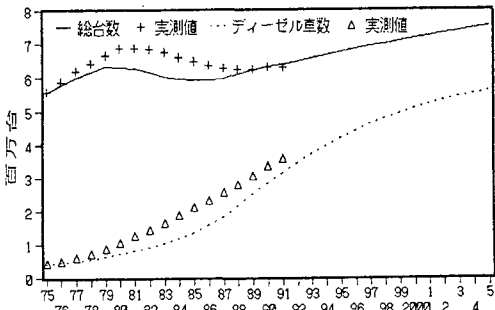
DP,GP : 軽油価格、ガソリン価格 [円/ℓ]
DU, GU : ディーゼル車、ガソリン車を選択する効用

パラメータ	小型トラック		乗用車	
	数値	t 値	数値	t 値
α_0	-1.396×10^{-1}	1.391	-1.231×10^{-1}	0.06
α_1	-1.195×10^{-2}	4.853	-4.260×10^{-2}	1.01
α_2	2.643×10^{-1}	30.97	9.167×10^{-1}	10.6
γ	1.0	—	0.3	—
相関係数	0.994		0.946	

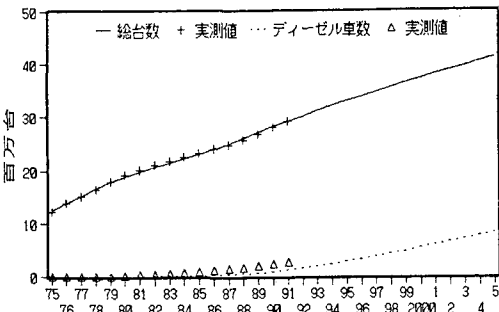
以上、式(3)～(6)の推定には1974年から1991年までの時系列データを用いた。ここで、各モデルの関数型 および式(6-a)の γ については、試行錯誤の上、各パラメータのt値や相関係数より最適なものを選び、決定した。

【適合度の検討】

上記のモデルによる2005年までの総台数とディーゼル車数の推定値と実測値のグラフを、図－6・7に示す。小型トラックにおいては、多少過小推定という傾向ではあるが、乗用車ともども全体的に十分な予測精度であるといえる。



図－6 小型トラック登録台数の推定結果



図－7 乗用車登録台数の推定結果

4. NOx対策のシミュレーション分析

上記のモデルを用いて、1992年に以下の政策が行われた場合のNOx排出量の変化を予測する。

①<軽油税の引き上げ>

軽油税を操作して、軽油価格をガソリン価格並に引き上げるという政策。ここでは、軽油価格を、ガソリン価格の80%（現在の軽油価格の約150%の値上げ）、同額、120%（Case1,2,3）となるように設定した。

②<ディーゼル車の車齢制限>

一定車齢に達したディーゼル車は廃車しなければならないという政策。ここでは、ディーゼル車の車齢の上限を14,12,10,8,6歳に設定した。また、ディーゼル車生産中止も考慮にいたれた。

③<ガソリン車の一定割合販売義務規制>

(t-1)年におけるディーゼル車 新規登録台数の一定割合のガソリン車をt年において販売しなければならない。ここでは、ガソリン車の販売義務台数を、前年のディーゼル車新規登録台数の10,20,30,40%に設定した。

①<軽油税の引き上げ>

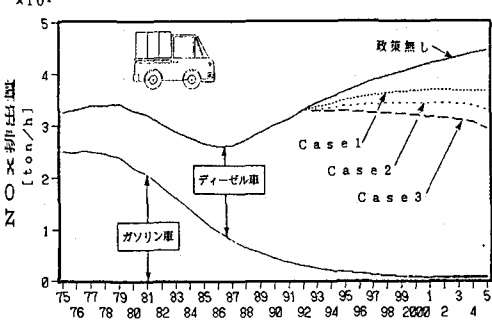


図-8 小型トラックのNOx排出量の変化(①)

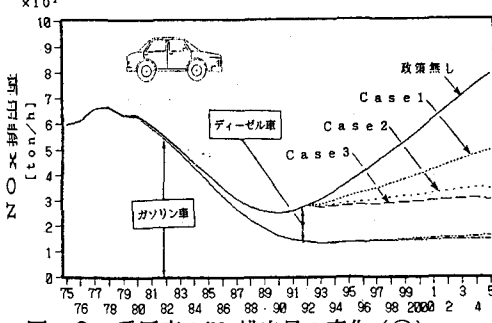


図-9 乗用車のNOx排出量の変化(①)

②<ディーゼル車の車齢制限>

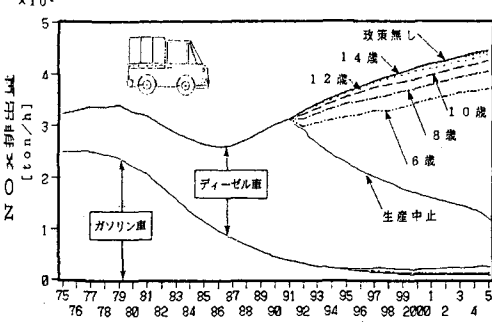


図-10 小型トラックのNOx排出量の変化(②)

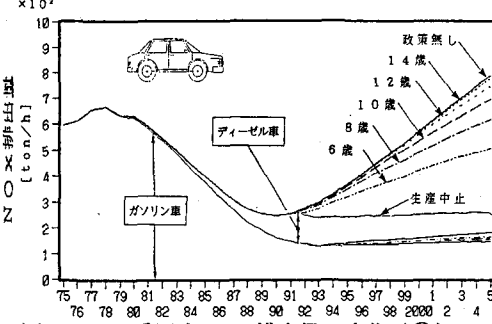


図-11 乗用車のNOx排出量の変化(②)

③<ガソリン車の一定割合販売義務規制>

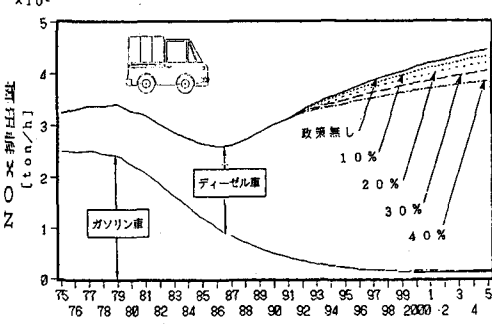


図-12 小型トラックのNOx排出量の変化(③)

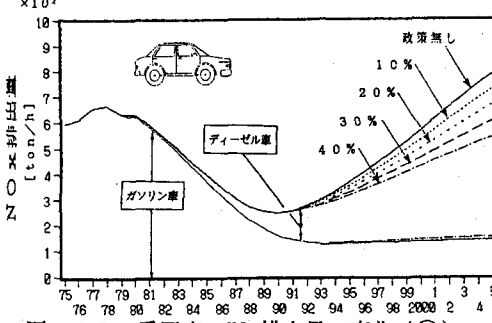


図-13 乗用車のNOx排出量の変化(③)

以上より、まず、小型トラック・乗用車ともNOx削減策を講じなければ、NOx問題は悪化することがわかる。また、ディーゼル車の車齢制限、ガソリン車の販売義務規制では、その規制を強化することによって一定割合でNOx排出量が減少はするが、一番厳しい規制である車齢6歳で廃車、あるいは40%の販売義務の場合でも、2005年には小型トラックにおいて現状の約120%、乗用車は約200%のNOx排出量が見込まれ、現在の排出量を維持することも困難である。なお、ディーゼル車を数年で廃車するような政策では、廃車の処分問題（廃棄物問題）等の新たな問題が発生し得る。

ここで、現況を維持・改善できるのは、ディーゼル車の生産中止と軽油税の引き上げ（Case 2・3）である。ディーゼル車の生産中止では、小型トラックのNOx排出量は現況維持、乗用車は約3分の1の排出量となる。また、軽油税の引き上げ（Case 2・3）では、両市場ともににおいて現況維持となる。しかし、これら規制でも、実際の適用にあたっては大変厳しい規制であり、輸送費用の増加を通して物価上昇につながる可能性がある。

5. 結論

本研究では、軽油税の引き上げなどの政策によるNOx削減策（＝ディーゼル車抑制策）を講じた場合、乗用車・小型トラック市場におけるNOx排出量の変化をシミュレーション分析した。本研究のシミュレーション分析より以下のようなことがいえる。

- ①現在（1992年）において何らかのNOx対策を講じないと、NOx排出量は年々増加して公害問題が指摘されていた時期（1970年代）より悪化する。
- ②ディーゼル車の生産中止によって、NOx排出量は2005年において現在の約半分となる。
- ③軽油税を引き上げて軽油をガソリンと同価格にすることにより、現在のNOx排出量水準に維持することが可能である。
- ④ディーゼル車の車齢制限、ガソリン車の販売義務規制では、現在のNOx排出量水準を維持することもできない（悪化を防止できない）。

NOx対策として以上のような単独規制ではなく、複数

の規制を組み合わせることによるNOx排出量の削減効果をも検討してみたが、特筆すべき相乗効果はみられなかった。しかし、一定のNOx排出量水準を達成するための規制が、単独では厳しくせざるをえないところ、複数では比較的緩く抑えることができ、世間としては受け入れ易く、また現実的なものと思われる。例えば、軽油税操作（軽油価格をガソリン価格の80%）とディーゼル車の車齢制限の二政策を行った場合のNOx排出量の削減効果は、単独規制の場合には軽油税の引き上げにおいて軽油価格をガソリン価格と同額にした場合に相当する。

以上が本研究の成果であるが、実際の政策決定に適用する場合、以下の事項が問題となる。

- ①余暇活動が見直され、レクリエーションビークル（小型トラックに分類）の需要が今後ますます増加すると予想されるので、乗用車と小型トラックの間の転換（車種間の転換）、車保有の誘発等を考慮した総合的なディーゼル車普及率予測モデルへの拡張が必要である。
- ②本研究で検討したようなNOx削減策（＝ディーゼル車抑制策）は輸送費用の上昇などの物価上昇を招く可能性があるため、その影響を分析できるように一般市場均衡モデルと本モデル（コーホートモデル）を統合する必要がある。
- ③上記の②の統合モデルを用いて、環境対策に関する費用負担問題を検討する必要がある。

<参考文献>

- 1) 森杉壽芳, 大野栄治, 川俣智計: コーホート型ディーゼル車普及率予測モデルの提案と燃料価格弾力性分析, 土木計画学研究・論文集, No.8, pp.41-48, 1990.
- 2) 環境庁: 環境白書, 平成3年度版.
- 3) (財)自動車検査登録協会: 自動車保有車両数, No.1-No.18, 1973-1991.
- 4) 大山俊雄, 川島弘尚: 乗用車の需要構造の分析と予測, オペレーションズ・リサーチ, 1983.7.
- 5) 中村英夫, 鹿島茂, 肥田野登: 乗用車保有の現状と将来予測, 高速道路と自動車, Vol.27, No.11, pp.22-32, 1984.11./Vol.27, No.12, pp.25-36, 1984.12./Vol.28, No.1, pp.38-47, 1985.1.