

GISデータに基づく非点源汚濁負荷流出量の評価

野口 正人*・西田 渉*
水野 良宣**・野村佐和美***Evaluation of the Non-point Pollutant Runoff Based on
Geographic Information System

by

Masato NOGUCHI*, Wataru NISHIDA*

Yoshinobu MIZUNO** and Sawami NOMURA***

Recently, eutrophication becomes serious in the enclosed water bodies. In order to attain the sound and sustainable water environment, reduction of pollutant runoff from the watershed should be pursued as well as purification of water at the water bodies themselves. From the viewpoint mentioned above, pollutants from not only the point source but also the non-point one must preferably be reduced. For this purpose, detachment rates of pollutants from the non-point source were discussed related to the condition of watershed and a series of rainfall. Discussing the effects of several factors on the detachment coefficient, the following equation has been derived.

$$k = a \times R^b \times L^c \times S^d$$

Here, k is the detachment coefficient, R the antecedent rainfall, L the class of land use, S the soil type, and a to d the parameters. Here, parameters included in the equation have been identified, referred to the data of the Honmyo River basin. This kind of equation is surely expected to be available for an estimation of pollutant runoff rates from the non-point sources.

1. 序 論

好ましい水環境を達成するためには非点源汚濁負荷流出を抑制することが重要である。そのため、多くの研究がこれまでに行われてきた。よく知られているように、汚濁物質の蓄積、剥離、輸送の割合は汚濁負荷物質の流出機構を明らかにする上で定量化が欠かせない。

本論では、非点源汚濁負荷の剥離量を流域の状態や降雨時系列に関連づけて検討した。著者らはすでにタンクモデル、KW(Kinematic Wave)法、落水線図を用いたDEM(Digital Elevation Model)モデルなどの汚濁負荷流出モデルについて検討している。(Noguchi, et

al.,2001) 汚濁負荷流出量を適切に予測するためには剥離量の見積もりを正確に行う必要がある。

2. 非点源汚濁負荷流出

好ましい水環境を効果的に達成するためには汚濁負荷流出を抑制すべきである。とりわけ、非点源汚濁負荷流出を制御することが重要になり、多くの研究がこれまでに行われてきた。しかしながら汚濁負荷流出量を評価するための系統的な手法が必ずしも確立されていない。

非点源汚濁負荷流出が流域の状態や降雨時系列に影

平成14年4月18日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**東京設計事務所 (Tokyo Engineering Consultants Co.Ltd.)

***大学院生産科学研究科博士前期課程環境システム工学専攻

(Graduate student, Department of Environmental Systems Engineering)

響していることは容易に推察される。したがって、たとえ汚濁流出割合と流量との間に一意的な関係を求めようとしても、この種の間関係を正確に求めることはできない。(Noguchi, et al.,1999)

そのため、本明川流域の5つの小流域である境川、深海川、本明川、千鳥川、山田川を取り上げて、汚濁負荷流出量の検討を行った。(Figure 1, Figure 2) 検討に用いられた観測データは地方自治体の公共水域で得られたものである。

汚濁負荷流出量を正確に予測するために剥離量を蓄積量や輸送量と同様に合理的に評価しなければならない。次節では、剥離量を精度良く評価する方法を試みた。この手法の提示を通して、水質の観測は晴天時だけでなく雨天時のもとでも行うべきであることが示される。

3. 汚濁負荷流出モデルと剥離係数

一般に、流れの基礎方程式は以下の式によって表される。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\theta u_j) = Source \quad (1)$$

(j = 1~3)

ここで、 θ は物理量、 u_j は速度、 t と x_j はそれぞれ時間と空間座標、 $Source$ は単位時間、単位体積あたりの質量、運動量、エネルギー量などの生成量である。通常、上述された方程式はコントロールボリュームに対して積分された形に変形される。

汚濁負荷の質量保存を考えると、(1)式は平面流に対して以下のように表すことができる。

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\zeta_{(j)} C U_j h) = q^{(a)} + q^{(b)} \quad (2)$$

(j = 1,2)

この方程式において、 C は汚濁濃度、 U_j は平均流速、 h は水深、 $\zeta_{(j)}$ は汚濁の移流量に対する補正係数、 $q^{(a)}$ 、 $q^{(b)}$ はそれぞれ表面と底面を通して流入する単位面積、単位時間あたりの汚濁量である。上の式を用いて現象を正確に把握するためには、汚濁物質の剥離量を適切に評価しなければならない。

このようなことから、汚濁物質の剥離量は地表面に作用するせん断応力に比例すると考え、次式で表した。

$$q^{(b)} = k\tau = k2\mu(V/h) \quad (3)$$

ここに、 $q^{(b)}$ は汚濁物質の剥離量、 τ はせん断応力、 μ は粘性係数、 V は平均流速、 h は水深、 k は流域の状態や降雨を関連づけて評価した剥離係数である。剥離係数の評価は次節で詳しく検討される。

4. 汚濁負荷の剥離係数：結果と考察

本明川は諫早湾に流れ込んでおり、ここでは現在、潮受け堤防と干拓地の建設が行われている。そのため、流域からの汚濁負荷流出量を抑制することが重要になってくる。Figure 1, Figure 2は長崎と諫早湾流域、本明川流域と裏山橋地点のそれぞれの概略図である。

汚濁物質の剥離量は地表面に作用するせん断応力に比例すると考えられる。しかしながら、汚濁負荷流出機構を考えると剥離の現象は降雨時系列や流域の特性等に影響され変化するものと考えられる。そのため剥離係数は一定ではないと考えられる。Universal Soil Loss Equation (USLE)は流域からの土砂量を評価する

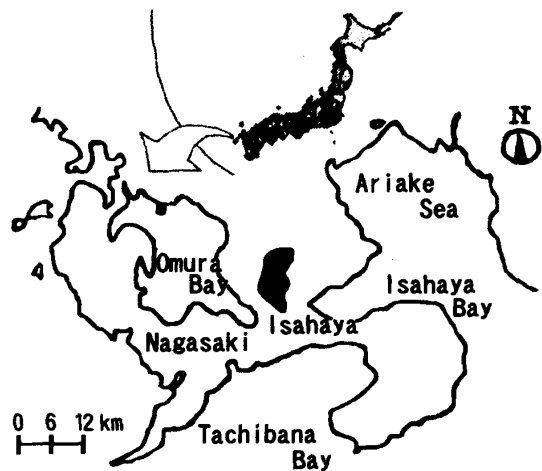


Figure 1 Schematic view of Nagasaki, Japan

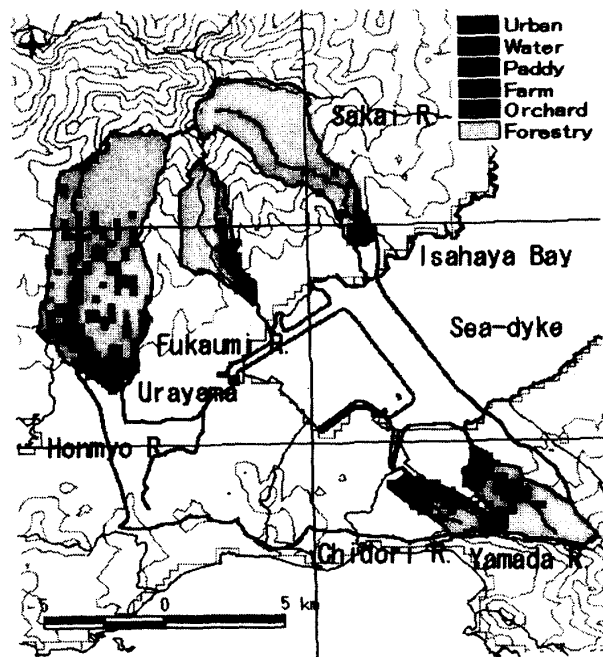


Figure 2 Percentage of land use at five sub-basins of the Honmyo River.

Table 1 Adopted values of class of land use (L), soil type (S), and moisture content (R).

Land Use	Meadow	Forests	Overall Site-Farm	Roads/Paving
L	53	60	67	76
Soil Type	well drained	moderate	moderate	poorly drained
S (mm/h)	10	6	2.5	0.5
Rain Condition	scarce	moderate	frequ Figure 1ent	
R (mm)	6	20	40	

Table 2 Percentage of land use at five sub-basins of the Honmyo River. (Values in parenthesis show the percentage of land use.)

/River	Sakai R.	Fukaumi R.	Honmyo R.	Chidori R.	Yamada R.
Area (km ²)	18.6	9.3	36.6	5.0	10.0
High(m)	862.0	742.0	832.0	191.0	592.0
Low(m)	26.0	21.0	16.0	3.0	13.0
Distance (m)	8869.92	6128.92	10986.44	4206.81	5846.16
Slope	0.094	0.118	0.074	0.045	0.099
Land Use					
Urban	2(1)	1(1)	24(4)	10(14)	12(8)
Water	2(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
Paddy	5(2)	18(13)	77(14)	14(19)	27(18)
Field	1(0)	5(4)	46(8)	31(41)	14(9)
Orchard	17(6)	12(9)	44(8)	0(0)	4(3)
Forestry	249(90)	102(73)	352(66)	19(26)	91(62)
Total	276(100)	138(100)	543(100)	74(100)	148(100)

Table 3 Parameters of regression curve.

Regression/River	Sakai R.	Fukaumi R.	Honmyo R.	Chidori R.	Yamada R.
Proportionality const.	1.00E-09	2.00E-09	3.00E-09	4.00E-09	4.00E-09
Power	0.2071	0.0981	0.0065	0.1246	0.1025

のによく知られた方程式のひとつである。(Reible, 1999) この方程式は流域からの土砂損失量を流域の特性を示した物質質量で評価したものである。上で述べた剥離係数をこのような物質質量と関連づけて評価することを試みた。また、アメリカ合衆国土壤保全局によって開発された雨水の表面流出の経験的手法に従って、降雨に対する土壤の貯留能: S_r は土地被覆分類、土壤特性、土中に含まれる初期含水量に基づいて決定される流出曲線指標: CN と相互に関係している。(Reible, 1998) これらの結果を汚濁負荷流出量の評価の参考にした。上に述べた物質質量の回帰曲線を得るために、土地利用(L)、土壤特性(S)、水分含有量(R)の分類をTable 1に示した。

この方程式より雨水流出量は土地利用、土壤特性、水分含有量と関係があることが予測される。このことから汚濁流出量は土地利用、土壤特性、水分含有量から予測することができる。

全窒素の剥離係数を同定するにあたり、先に述べた本明川流域の5つの小流域の観測データを用いた。本来ならそれぞれの土地利用ごとに汚濁負荷流出量を求めなければならないが、現在、非点源汚濁負荷に関するデータがほとんどないため、今回は、公共用水域の水質結果の全窒素のデータを用いて行った。Figure 2はこれらの5つの小流域の土地利用分類図であり、その値はTable 2にまとめている。

(3)式に示されたように、剥離係数はせん断応力の

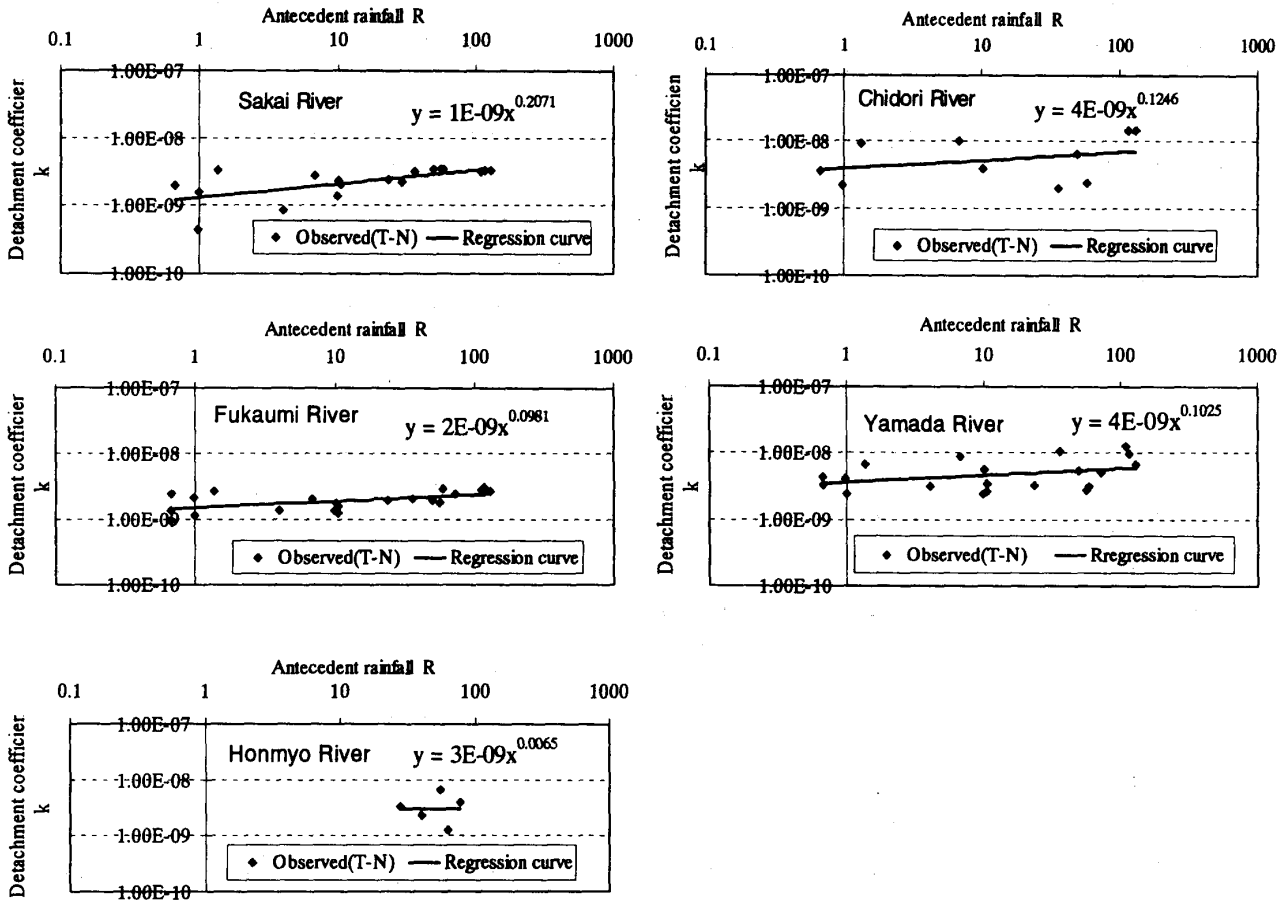


Figure 3 Relationship between the detachment coefficient of T-N and antecedent rainfall.

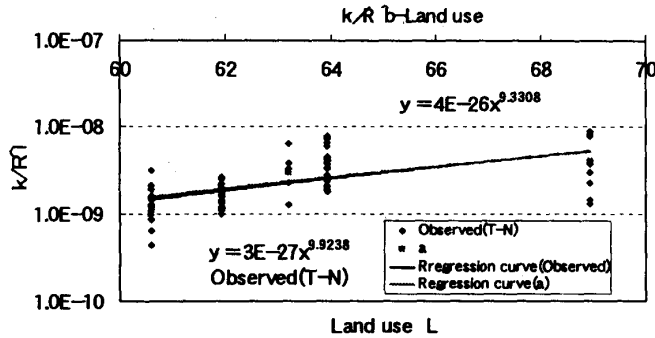


Figure 4 Effect of Land use on the detachment coefficient

比例定数として定義されているため、降雨強度や流出量などの現行降雨の影響はすでに考慮されていると考えられる。そのため、剥離係数は主として流域の特性との関連で考察されなければならない。

Figure 3(a)-(e)にそれぞれの小流域において全窒素の剥離係数と先行降雨との関係を示した。ここで、先行降雨は観測前7日間の降雨量にそれぞれ重みをつけて考慮した。また、公共水域の水質結果には点源・非点源汚濁負荷の両方が含まれているため、今回は点源汚濁負荷の原単位を差し引いて非点源汚濁負荷量を求

めた。これらの図から、ほかの要因から生じたと考えられる小さなばらつきがあるものの剥離係数と先行降雨には高い相関がみられた。本明川（裏山橋）においては全窒素の観測データが3ヶ月ごとしかないので、データの数が他と比べて少ない。本明川の場合を除いて式のべき乗は0.1~0.2の範囲であることが予想された。

Figure 4に剥離係数から先行降雨の影響を取り除いたものと土地利用の関係を示した。土地利用の値はTable 1に示された値を用いて計算を行った。Figure 4

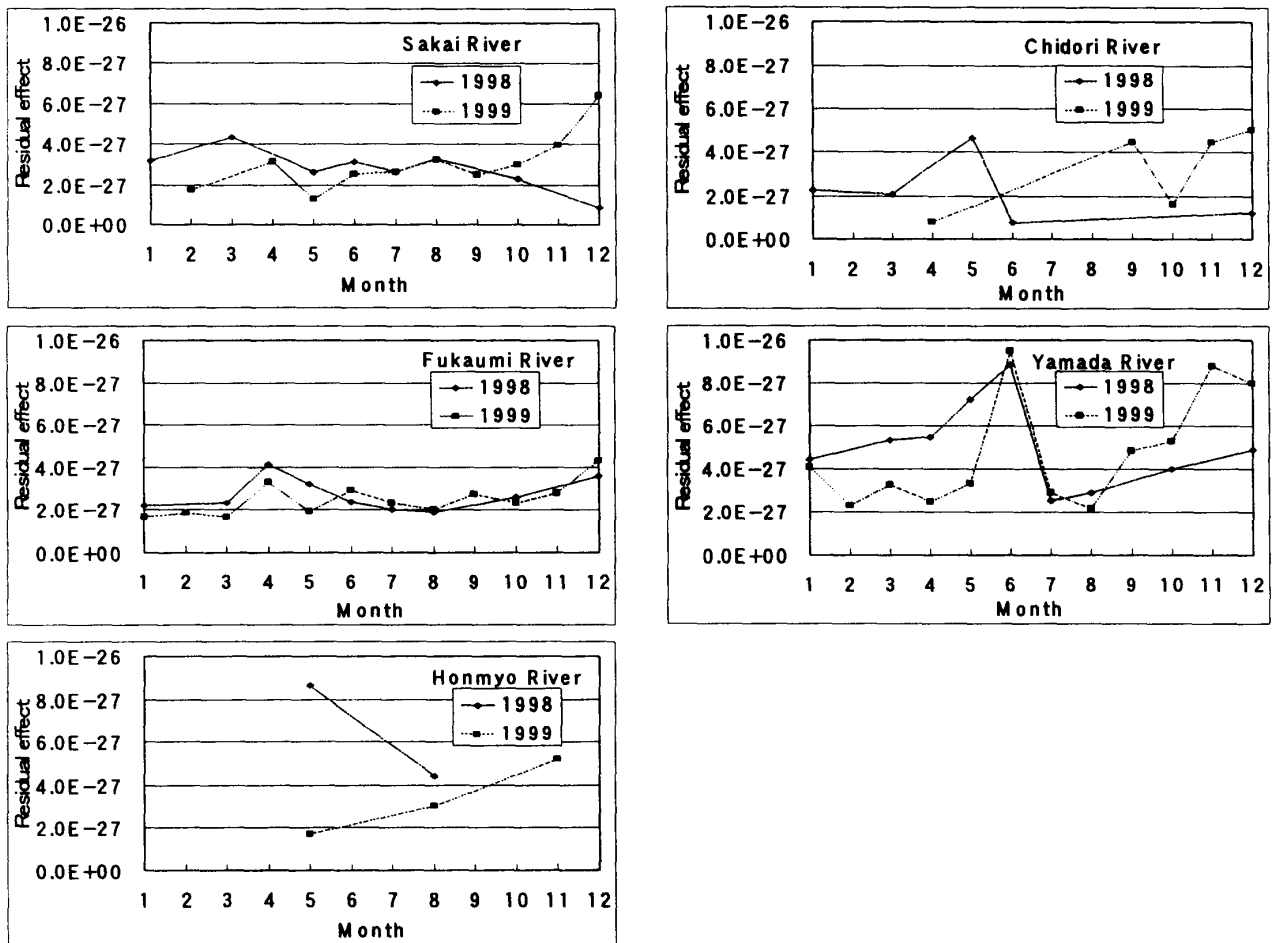


Figure 5 Residual influence for the detachment coefficient

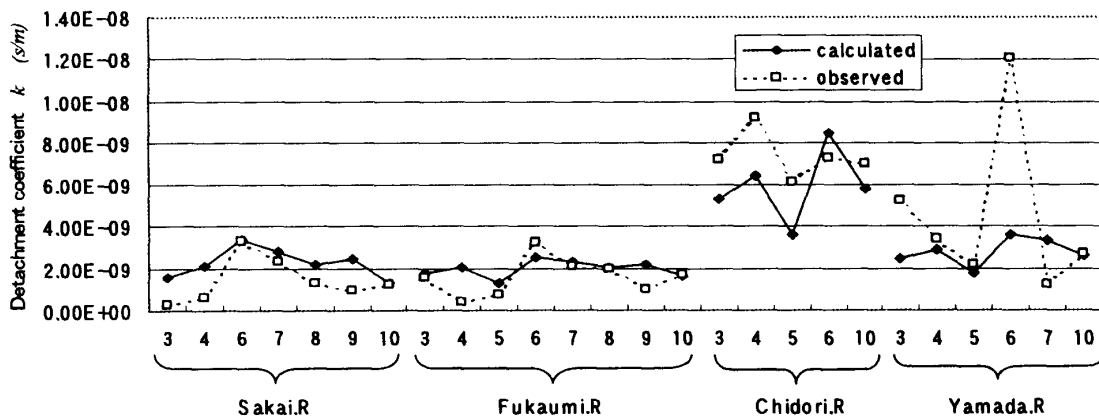


Figure 6 Temporal variation of the detachment coefficient.

で横軸の値は土地利用の比率を考慮したものであり、一方、縦軸の値は剥離係数から先行降雨の影響を取り除いたものとして評価された。横軸と縦軸の値はお互いに独立に得られたが、相互に高い相関が見られた。Figure 3に書かれている式の値はTable 3に示されている。また、これらの値はFigure 4に(a)として示されている。

非点源汚濁負荷流出量を適切に求めるため、流水のせん断応力に比例定数を定義し、その値を流域の特性や降雨時系列との関連で検討し、次式を求めた。

$$k = a \times R^b \times L^c \times S^d \quad (4)$$

ここに、 k は剥離係数、 R は先行降雨、 L は土地利用、 S は土壌特性、 $a \sim d$ はパラメータである。

また、剥離係数から先行降雨と土地利用の影響を取り除いたものをFigure 5の(a)-(e)に示した。これらの図から剥離の季節変化を検討することができる。今後は、より多くの流域データに対して剥離係数の特徴を調べたい。

前節では、全窒素の剥離量を公共用水の水質結果のデータから求めた。このことから基準点での水質は汚濁負荷流出機構を踏まえて系統的に管理されることが望ましい。そこで、全窒素の剥離係数を上述した式を用いて計算した。Figure 6は剥離係数の計算値と観測値を比較したものである。両方の値はある部分を除いて、かなり良く一致している。このことより提案されたモデルが非点源汚濁負荷からの剥離量を評価するのに有効であることが推察される。

5. 結 論

上述されたことから本論では以下のことが結論として上げられる。

- 1) 汚濁負荷流出における剥離量を精度良く評価するために、(3)式によって定義された剥離係数を本明川流域の流域特性を考慮して検討した。
- 2) 剥離係数に係る要因を検討し、次式が導き出された。

$$k = a \times R^b \times L^c \times S^d$$

ここに、 k は剥離係数、 R は先行降雨、 L は土地利用、 S は土壌特性、 $a \sim d$ はパラメータである。また、この式のパラメータはTable 3, Figure 4に示されている。

- 3) 本論で示されたモデルの有効性については、別の年の観測データを用いた数値シミュレーションの結果からも立証している。これについては、別の機会に発表する。今後は、さらに、本手法を用いて諫早湾に流入する汚濁負荷量の評価を行っていく予定である。

参考文献

- Noguchi, M., W. Nishida and W.B. Park (1999): Pollutant Runoff and Its Effect on the Newly Constructed Regulatory Pond in a Bay, Proc. 8th International Conference on Urban Storm Drainage, Vol.4, pp.1631-1638.
- Noguchi, M., T. Hiwatashi, Y. Mizuno and M. Minematsu (2001): Pollutant Runoff from the Non-point Sources and Its Estimation by Runoff Models, Proc. Asian Waterqual 2001, First IWA Asia-Pacific Regional Conference, Vol. 1 (Oral Presentation), pp.95-100.
- Reible, D. D. (1998): Fundamentals of Environmental Engineering, Lewis Publishers.