

常呂川流域における汚濁負荷の発生要因について

Research on generating factor of pollutant load in the Tokoro river basin

(株)リブテック ○正員 矢挽哲也(Tetsuya Yabiki)
 (独)北海道開発土木研究所 正員 中津川誠(Makoto Nakatsugawa)

1. まえがき

河川の水質汚濁は、1960年代後半から1970年代にかけて、高度経済成長に伴い急激に進行した。その後、排水規制や下水道の整備などの水質改善対策によって有機物汚染の指標となるBODの環境基準達成率は、濁水の影響などで落ち込んだ平成6年度を除くと年々上昇し、平成14年度の河川環境基準達成率は81.7%(対象河川2,550)と過去最高となっている¹⁾。しかし、一部の河川においては環境基準を満足できていない流域もある。今回の対象地域である常呂川も水環境改善に住民、行政が一体となって取り組んでいるが、なかなか改善が見られない地域のひとつである。常呂川における水質汚濁の原因としては、食品加工業、し尿処理場及び都市下水などの排水の他に常呂川中流域の北見市にみられる菜製糖工場の排水であると示唆され、また、伊藤²⁾によれば畜産排水、生活排水及び流域の面源が主たる汚染源であることが報告されている。さらに水文、気象的な要因として常呂川流域は道内でも降水量が少ない地域であり、河川比流量($m^3/s/km^2$)が低いにも関わらず、流域に住む人口、家畜頭数が多いために高い汚濁負荷が常呂川にかかっていると考えられる。そこで本報告では、常呂川流域の水環境改善に生かすため、既往の知見を参考にしつつ、常呂川流域の汚濁負荷の特徴を定量的に明らかにした。

2. 常呂川流域の概要

常呂川は、北海道東部に位置し(図-1)、源を三国山に発し、1市(北見)5町(常呂、端野、留辺蘂、訓子府、置戸)を流れ、オホーツク海に注ぐ北海道有数の一級河川である。流域面積は1,930 km^2 、流路延長は120kmの規模を有す。流域人口は約14万人でそのうち中流域に位置する北見市の人口が約11万人で流域の約78%を占めており、他の流域市町に比べ都市化が進んでいる。流域土地利用は全体の70%以上が森林で占められており、上流部の林業が盛んな留辺蘂、置戸町では85%以上が森林となっている。中下流にかけては肥沃な土壌に覆われていることもあり、タマネギなどの野菜類、豆類、酪農を中心に生産性の高い農業を展開している。水田を除く農用地面積は全体の18%程度である。宅地の占める割合は小さく、北見市の5.3%を除くと他町では、1.7~0.4%程度となっている。常呂川の水利用は、流域市町の水道水源、農業・工業用水など利用度が高い。とくに農業用水の利用が水利権全体の90%以上と高い割合を占めている。河口部では、*サマシ*の養殖、*サマシ*の生産河川としてオホーツク海沿岸の水産資源に対し、大きな役割を担っている。

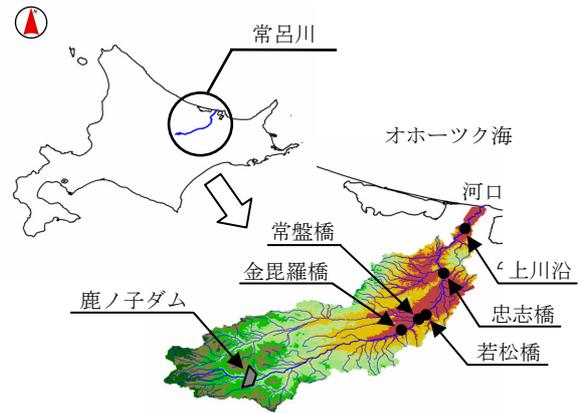


図-1 常呂川流域概要図

3. 常呂川の現況水質

常呂川では公共用水域水質測定箇所として、常呂川4地点(上川沿、忠志橋、若松橋、金毘羅橋)、常呂川の支川である無加川1地点(常盤橋)で行っている。環境基準の類型指定については、利用目的、水質汚濁の現況、汚濁源の立地状況を勘案して、常呂川水系では、北見市取水口より上流でA類型、下流がB類型と定められている。環境基準地点(忠志橋)における水質の経年的変化について図-2~3に示す。忠志橋地点のBOD(75%値)についてみると、環境基準値(3mg/l)は概ねクリアしているが基準値との差は僅かで、年度によっては環境基準値を超えており、経年的変化を見ても改善傾向にあるとはいえない。大腸菌群数に関しては過去10年、環境基準値(5,000MPN/100ml)をクリアしていない。年平均値でも環境基準と比較して3オーダー程度高い年もある。

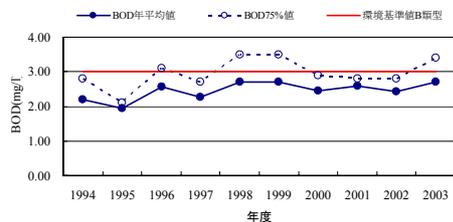


図-2 常呂川のBOD経年変化(忠志橋)

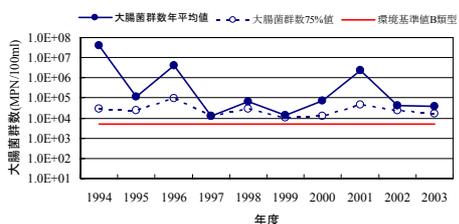


図-3 常呂川の大腸菌群数経年変化(忠志橋)

4. 総負荷量の算出

河川流域から流出する水質成分負荷量は、降雨や融雪などによる流量変化によって大きく変動する。すなわち、水質成分負荷量の発生や流出は低水時と高水時とは大きく異なる。水質成分総負荷量を的確に推定するには低水時と高水時を区別し、合わせた量を総負荷量とする方法が有効である。よって、水質成分総負荷量の推定には以下の方法を取ることにした。各水質項目及び各観測所について、X 軸に単位面積当たりの流量(比流量)、Y 軸に単位面積当たりの負荷量(比負荷量)をプロットして式(1)に示す指数関数型の式を立てる。

$$L/A = c \times (Q/A)^n \quad (1)$$

ここで、L:負荷量(g/s)、A:流域面積(km²)、Q:流量(m³/s)、c、n:定数である。低水時 L-Q 式の作成には各水質観測地点で毎月1回行われている水質定期観測のデータから観測時流量が豊水流量以下の時を低水時とした。高水時 L-Q 式の作成には豊水流量以上の時と平成14年8、10月の出水時調査データを使用した。L-Q 式の係数、忠志橋地点における関係図の一例を表-1、図-4に示す。定数n値は水質成分発生負荷量と対応しており、流出を表すパラメーターである。n>1;洗い出し型、n≒1;濃度一定型、n<1;希釈型に分類される³⁾。忠志橋地点の結果を見ると低水時は、n値が1前後だが、高水時には、n値が大きく降雨に伴い洗い流されることがわかる。とくにT-Pについては、n値が2.31と大きく濃度増加型とも考えられ、土壌及び河道に堆積していたものが降雨に伴い流出すると示唆される。なお、伊藤²⁾によれば降雨時に常呂川のT-P、T-N濃度を押し上げる不溶性分の多くが農地土壌由来であること、平水に戻る際にこれらが底質を形成することなどが報告されている。

表-1 L-Q式係数の一例

$$L/A = c \times (Q/A)^n, L(\text{g/s}), A(\text{km}^2), Q(\text{m}^3/\text{s}), R(\text{相関係数})$$

水質項目	定数	忠志橋	
		低水時	高水時
BOD	c	1.20	6.30
	n	0.88	1.35
	R	0.57	0.90
COD	c	5.90	189.54
	n	1.05	1.93
	R	0.87	0.97
SS	c	1.71	4649.00
	n	0.81	3.13
	R	0.39	0.95
T-N	c	0.36	14.20
	n	0.63	1.51
	R	0.76	0.96
T-P	c	0.002	9.89
	n	0.23	2.31
	R	0.24	0.95

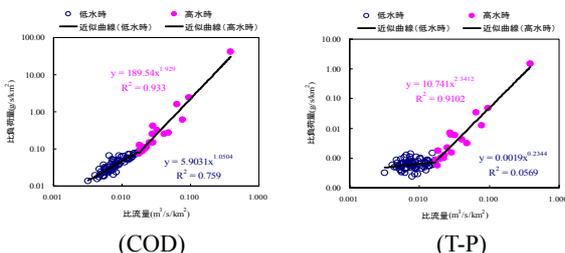
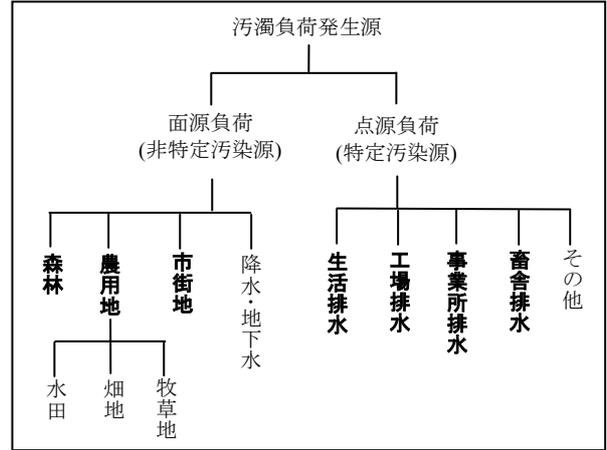


図-4 忠志橋における比流量と比負荷量の関係

表-2 汚濁発生源の分類



*太字ゴシックは今回の検討で考慮したもの

5. 点源負荷量の算出

点源負荷については、生活排水、工場排水、事業所排水、畜舎排水による負荷量を対象とした(表-2)。これらの負荷量は、原単位と下水処理人口、下水未処理人口、業種別製造品出荷額、従業員数、家畜頭数等から求めることができる(表-3)。各発生原単位に関しては既往の文献値^{4),5)}を参照し計算を行った。最初に流域市町別に算出し、生活排水、工場排水、事業所排水、畜舎排水について負荷量を合算したものを点源負荷量とする。この結果から水質観測所流域毎の点源負荷量を割り出すが、市町村全体の面積に対する市町村がかかる流域面積比によって負荷量を比例配分し点源負荷量を求めた。以上の方法によって求めた点源負荷量の一例を図-5に示す。

表-3 点源負荷量算出式

生活排水による負荷量

$$M_g = \beta_g \times G_s \times P_g / 1000$$

$$M_m = \beta_m \times G_s \times P_m / 1000$$

$$M_t = \beta_t \times G_s \times P_t / 1000$$

M:処理方法別による負荷量(kg/日)、g;下水処理水、m;下水未処理水、t;合併処理浄化槽水、β:処理方式別排出率、G_s;生活排水に関わる原単位、P:処理方式別人口(人)

*下水処理水の排出率、発生原単位に関しては北見市浄化センター(平成15年度)実測水質データより算出したものを使用した。

工場排水(第2次産業)による負荷量

$$M_m = \sum (\beta_j \times G_j \times F) / 1000$$

M_j;工場排水による負荷量(kg/日)、β_j;排出率、G_j;業別工場排水の原単位(g/百万円・日)、F;業種別製造品出荷額(百万円)、業種別製造品出荷額は平成14年工業統計調査結果を引用

事業所排水(第3次産業)による負荷量

$$M_j = \beta_j \times G_j \times P_j / 1000$$

M_j;業務下水発生負荷原単位(kg/日)、β_j;処理方式別排出率、G_j;業務下水発生負荷原単位(g/人・日)、P_j;従業員数(人)、従業員数は平成14年工業統計調査結果を引用

畜舎排水による負荷量

$$M_c = G_c \times P_c \times (1 - \beta_c) \times (1 - \gamma_c) / 1000$$

$$M_p = G_p \times P_p \times (1 - \beta_p) \times (1 - \gamma_p) / 1000$$

M;発生負荷原単位(kg/日)、β_c;ボロ出し除去率(70%)、γ_c;固液分離による除去率(80%)、G_c,G_p;家畜発生負荷原単位(g/人・日)、P_c,P_p;牛、豚の飼育頭数(頭)、飼育頭数は農林水産省統計データを引用

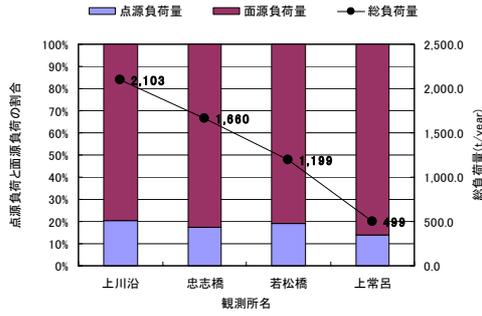


図-5 観測所別総負荷量と点源・面源割合(T-N)

6. 面源負荷の原単位の推定

面源とされる森林、畑、水田、市街地のような土地利用は汚濁発生源(表-2)の特定が難しいために、水質への影響の程度が明らかにされていない。しかし、下水道整備、排水規制などの点源施策がなされてきた今、面源の水質への影響を把握することが常呂川流域の水質保全・管理に非常に重要であると考え。そこで、面源とされる土地利用の森林、畑、市街地について単位面積当たりの負荷発生量(t/km²/年)という形で原単位を求めることを試みた。この原単位を求めることによって流域の土地利用の河川水質への影響を把握することができる。

面源とされる土地利用と面源負荷量の間には以下のような関係があると考える。

$$L = AX$$

$$L_n = \begin{pmatrix} L_{1n} \\ L_{2n} \\ L_{3n} \\ \vdots \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} A_{1w} & A_{1f} & A_{1t} \\ A_{2w} & A_{2f} & A_{2t} \\ A_{3w} & A_{3f} & A_{3t} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} X_w \\ X_f \\ X_t \end{pmatrix}$$

ここで、 A は各土地利用別の面積(km²)、添字の数字は流域、 w, f, t は森林、畑、市街地である。 X は土地利用別の原単位ベクトル(t/km²/年)、 L_n は面源負荷量である。サフィックスの数字は水質観測所流域の番号を表す。最初に流域土地利用が森林のみの鹿の子ダムの総流出負荷量から森林の原単位を算出した。次に先に記した式を水質観測所(4 地点)で立て、原単位がマイナス値にならないように考慮しながら連立方程式を解いた。表-4 に今回求めた原単位の結果を示す。推定した原単位をみると森林の COD 原単位が文献値にくらべ大きいことがわかる。これは、常呂川流域に腐食質(フミン質)を生成する褐色森林土壌が広く分布しているため、土壌から河川へフミン質が供給されるためと推察される。また、SS の原単位では、森林の原単位が他に比べて小さい、これは森林が持つと言われる表面侵食防止機能などのためと考えられる。推定した原単位を用いて面源負荷量を計算したものと点源負荷量を足し合わせたものと $L-Q$ 式から求めた総負荷量を比較したものを図-6 に示す。

表-4 推定原単位 (t/km²/年)

	COD	SS	T-N	T-P
森林	3.22 (0.03-3.15)	2.75 (0.31-410)	0.29 (0.05-0.69)	0.009 (0.002-0.18)
農用地	1.92 (0.95-1.22)	118.0 (0.10-690)	1.82 (0.75-3.57)	0.090 (0.03-3.54)
市街地	7.19 (3.4-180.0)	180.0 (0.22-230)	4.41 (0.20-20.0)	0.247 (0.0003-6.6)

下段()書きは文献値

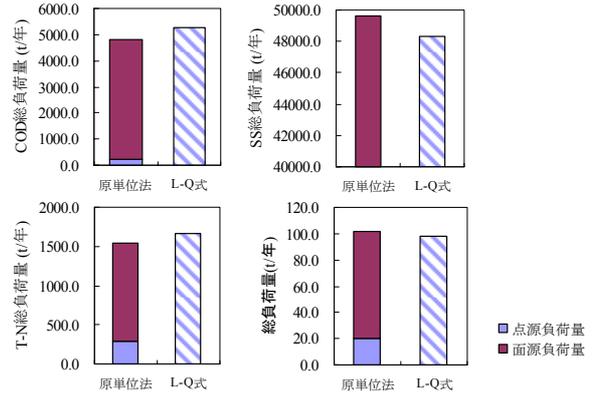


図-6 推定原単位と $L-Q$ 式による総負荷量比較 (忠志橋)

次に推定した面源負荷量の原単位から水質観測所流域別に面源負荷量を算出し、水質観測所間の負荷量の増分を流域面積で除した値を比負荷量とし、この値と流域条件の関係について整理を行った。流域面積あたりの農地面積、流域面積あたりの家畜頭数(牛)について整理を行った結果を図-7~10 に示す。明確ではないが農用地率、家畜密度ともに値が大きくなるに伴い比負荷量の値も大きくなる関係がみることができた。とくに家畜密度と比負荷量には、家畜糞尿が原因と考えられる T-N, T-P に関して正の相関関係が見られた。これは、農地還元や野積みにされたもの、放牧による畜舎外での排便による影響と推察される。

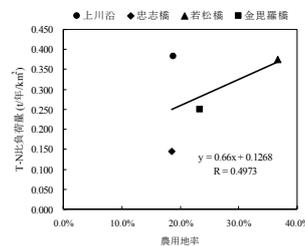


図-7 農用地率と比負荷量 (T-N)

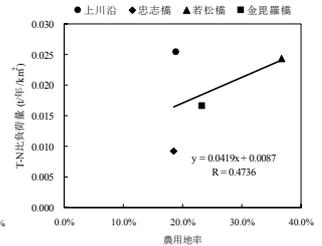


図-8 農用地率と比負荷量 (T-P)

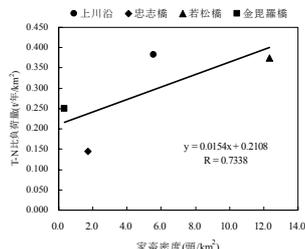


図-9 家畜密度と比負荷量 (T-N)

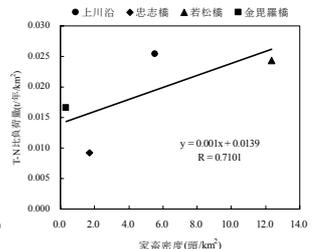


図-10 家畜密度と比負荷量 (T-P)

7. 流域条件のちがいによる汚濁負荷量

前節までは、常呂川流域の総負荷量の推定、点源負荷量の推定、面源原単位の推定をおこなってきた。そして面源比負荷量と流域条件(農用地率、家畜密度)に着目し、これらの条件と比負荷量との関係について整理及び検討を行った。ここでは、常呂川に流入する人為的 point source 負荷の影響が少ないと思われる小支川(図-11)を対象として流域面積あたりの農地面積、森林面積、流域面積あたりの

家畜頭数についてと各水質項目の比負荷量との関係について整理を行った。水質は平成14年度に月に1回、平水時に行われた調査結果を使用し(表-5)、土地利用については国土数値情報の土地利用メッシュ及び流域・非集水域メッシュを使用し整理を行い、畜産データについては農業集落カードより農業集落別に集計されたものを引用したが、流域の農地面積に対する農業集落がかかる農地面積比によって酪農家数、家畜頭数を配分した。

今回の対象流域では、畑地では主にタマネギ、豆類などが耕作されており、家畜に関しては7割が乳牛である。

流域面積あたりの農用地率、森林率、家畜密度についてと各水質項目の比負荷量との関係について整理を行った。ばらつきは見られたが農用地率が大きくなれば、各水質比負荷量も大きくなる関係がみられた。とくに T-N、T-P との間には有意な相関関係がみることができた(図-12, 13)。森林率の場合には、逆相関の関係がみられた(図-14, 15)。これは、流域の土地利用状況が人為的な影響を受ける土地利用が増えるほど水質への影響が大きくなる傾向が推察される。次に流域面積あたりの家畜頭数と比負荷量との関係をみると、こちららばらつきはあるが各水質比負荷量との間に正の相関関係がみられた(図-16)。また、糞便性大腸菌と流域面積あたりの家畜頭数との関係についても整理をおこなった(図-17)。糞便性大腸菌は、ヒトや動物の糞便に由来するもので衛生的な水質指標として用いられている。結果をみると有意な相関関係とはいいがたいが流域面積あたりの家畜頭数が多くなれば糞便性大腸菌も高くなる傾向がみられた。

8. あとがき

今回、常呂川流域を対象に各水質項目に関して総負荷量を算出し定量的な把握を行った。また、点源・面源負荷量を算出することにより面源から河川への負荷の影響が大きいことが示唆された。次に土地利用などの流域条件に着目して比負荷量との関係を整理した結果、農用地率、家畜密度との間に関係が見られた。これらは、出水を考慮した本川の解析と平水時の支川別の解析結果ともに同様の傾向が表れ、流域の土地利用など流域条件が水質汚濁に影響があることが推察された。

謝辞：本研究を行うに当たり、北海道開発局網走開発建設部、北見市浄化センターより貴重なデータを提供して頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 環境省;平成14年度公共用水域水質測定結果, <http://www.env.go.jp/water/suiiki/h14/index.html>
- 2) 山田俊郎, 大江史江, 清水達雄, 橋治国;土木学会環境工学研究論文集, pp85~93.1998.
- 3) 伊藤純一;ぶんせき, pp560~561.2002.10
- 4) 國松孝男, 村岡治爾;河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版 pp.11-21,1984.
- 5) 建設省土木研究所;土木研究所彙報 第53号 河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案), pp.29.1989.

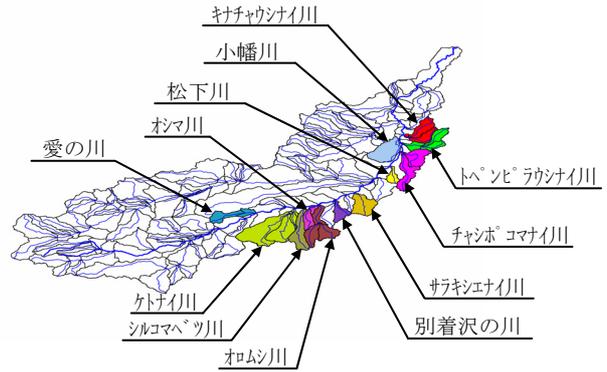


図-11 検討対象支川位置図

表-5 検討対象河川年平均水質濃度(mg/L)

河川名	BOD	COD	SS	T-N	T-P
キチャウナイ川	1.83	5.83	10.92	1.91	0.062
小幡川	1.55	5.55	11.83	1.85	0.079
トヘンビラウナイ川	2.06	7.12	8.67	3.23	0.106
チャシボコマナイ川	1.76	6.56	67.58	3.80	0.082
松下川	1.89	6.44	11.33	3.99	0.082
サラキエナイ川	1.28	5.84	7.17	1.58	0.058
別着の沢川	1.13	4.12	2.27	1.52	0.044
オムシ川	1.99	3.76	2.08	1.23	0.057
ボマ川	1.50	4.19	8.08	2.45	0.068
シルコハヅ川	1.05	3.59	3.33	1.40	0.030
ケナイ川	2.32	5.20	5.58	1.50	0.068
愛の川	1.22	5.36	5.42	1.36	0.064

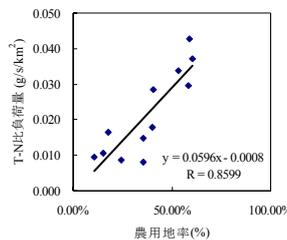


図-12 農用地率と比負荷量 (T-N)

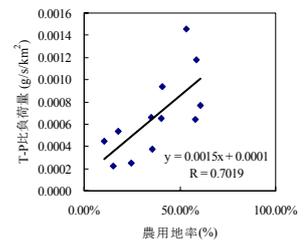


図-13 農用地率と比負荷量 (T-P)

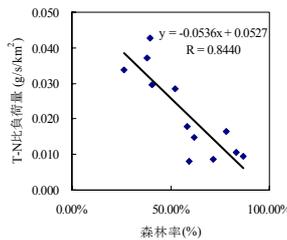


図-14 森林率と比負荷量 (T-N)

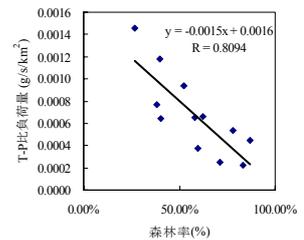


図-15 森林率と比負荷量 (T-P)

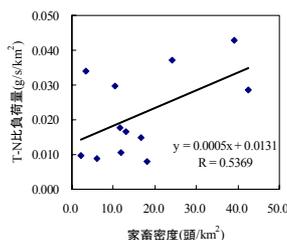


図-16 家畜密度と比負荷量 (T-N)

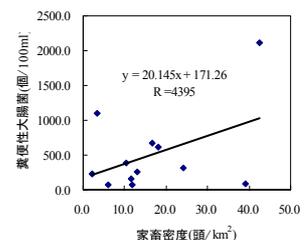


図-17 家畜密度と比負荷量 (糞便性大腸菌群数)