

流域GISを用いた物質負荷量解析 —太田川及び芦田川流域の比較—

肖 航^{*1} 清水裕太^{*1} 小野寺真一^{*1} 高橋英博^{*2} 小寺浩二^{*3}

^{*1} 広島大学大学院総合科学研究科

^{*2} (独)農業・食品産業技術総合研究機構 近畿中国四国農業研究センター

^{*3} 法政大学文学部地理学教室

Estimation of nutrient load in the Ota River and the Ashida River watersheds using GIS

Hang XIAO^{*1} Yuta SHIMIZU^{*1} Shin-ichi ONODERA^{*1}
Hidehiro TAKAHASHI^{*2} Koji KODERA^{*3}

^{*1} Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

^{*2} National Agricultural Research Center for Western Region

^{*3} Faculty of Letters, Department of Geography, Hosei University

Abstract

Substance load from land to the ocean has been clarified. In this research, it aims at evaluating the changes in the amount of loads of a basin based on statistical information and geographical information; such as land use and population information using the original unit method. Two rivers located in Hiroshima Prefecture which flow into the Seto inland sea are mentioned as examples. This research showed that the amount of nutrient outflows in the Ota River watershed and the Ashida River watershed was increasing. Although there was little growth of the non-point source load in the Ota River watershed and the Ashida River watershed, a large increase in the amount of discharge by the domestic waste water were seen

1. はじめに

海洋沿岸部の富栄養化や汚染などの環境問題は、世界各地で大きな問題となっている。これは、陸域から海洋へ流出する物質負荷量が増加しているためであると指摘されている (Burt et al., 1993)。我が国では、閉鎖性水域である瀬戸内海で、1970年代から1980年代にかけて赤潮の大量発生という環境問題が生じた。中辻 (1998) は、大阪湾と淀川を対象として、海洋環境と陸域からの河

川流出負荷量の間に関係をみいだした。この発見は後の陸域からの栄養塩類である窒素およびリンの流出負荷量削減を目的とした瀬戸内海水質総量規制に至ることとなった (環境省, 2005)。しかし、河川における負荷量の減少は必ずしも海洋環境の改善につながっていないことも指摘されており (中辻, 1998)、陸域からの影響を把握するためには、今後も多くの事例研究が必要であることを示唆している。

陸域からの栄養塩流出を評価するにあたり、人

間活動の影響が急激に増加した高度経済成長期前後の最近30年を対象に、海洋環境および栄養塩流出の変動を明らかにすることが重要である。しかし、多くの流域で河川からの負荷量を算定するのに必要とする長期的な水文観測データが整備されていないため、比較的長期的にデータが揃っている、地理情報や人口統計情報などの限られたデータをもとに、河川からの負荷量を推定することが必要である。観測データが存在しない期間を統計情報から推定する手法の一つとして、原単位法がある。原単位法とは、例えば生活系では1日1人当たりから、面源系では1日に土地1ha当たりから出る単位当たりの負荷量をそれぞれの統計情報に乗じて、汚濁負荷量を推計する方法である。一般的に、詳細なデータと原単位を用いれば、推定結果の精度も高くなる。高岸(2000)、増田(1998)は琵琶湖集水域を事例として原単位法と詳細な統計情報を用いた河川流域別の負荷量を算出している。しかし、地域によって詳細なデータを揃えることが困難であることや、その組み合わせが膨大であることが問題点である。また、原単位の代表性や適応性をどのように保証するかという問題も指摘されている(武田, 1997)。しかし、時空間上での相対的な比較は有効であると考えられるため、それぞれの流域の特性を明らかにできるという利点がある。加えて、流域環境管理の視点からすると、流域のどの部分が大きな負荷を与えているかについても検討することが可能である。

本研究では、原単位法を用いて土地利用や人口情報などの統計情報と地理情報をもとに流域の負荷量の変遷を評価することを目的とする。ここでは、瀬戸内海に流入する河川流域の中で、広島県に位置する2つの河川流域を例に挙げて評価を行った。特に、対象とした2つの流域は、地理的には近接しているものの都市基盤の整備状況、降水量、地形などが異なるため、これらを比較することで人間活動の影響や自然環境の影響などについても議論できるものとする。

2. 対象地域概要

2. 1. 太田川流域

太田川は、広島県廿日市市の冠山(標高1,339m)を水源とし、東に向けて流下後、広島デルタ(広島市)において方向を南に変えて瀬戸内海の広島湾に注ぐ。流域面積は1,710km²で、流路長は103kmである。一級河川に指定されている。デルタ地域以外は主に山地河川となっていて、急勾配な区間では溪谷を形成している。デルタでは、放水路と旧太田川に分流、その後旧太田川は更に4流路に分流し瀬戸内海に注ぐ。中国地方最大の都市である広島市を抱えることから、流域人口は980,000人(2005年)である。(国土交通省河川局, 2007 <http://www.mlit.go.jp/river/index.html>)

2. 2. 芦田川流域

芦田川は、三原市大和町の標高570の丘陵地を水源とし、吉備高原を概ね東流した後、福山市北部で南流へ転じ、福山市街を経て瀬戸内海の備後灘に注ぐ。流域面積は860km²で、本流の流路長は86kmである。流域の最高標高は中流に位置し約700mである。中流の急流区間は山地河川となるが、上流の世羅台地、山地河川直下の神辺平野(府中市、福山市)、河口デルタの福山平野と多くは勾配の小さな河川となっている。流域人口は372,010人(1995年)である(国土交通省河川局, 2001 <http://www.mlit.go.jp/river/index.html>)。

3. 研究方法

3. 1. 流域データへの変換

現在入手可能な統計情報のほとんどは、行政界を基準にしたデータであることから、流域単位で計算するには、県・市町村単位の行政界から流域界へ変換する必要がある。そのため本研究ではESRI社製ArcGIS 9.2を用いて、行政界単位である市町村データと土地利用データを、流域界データで切り出して流域単位のデータへ変換した。流域界データは国土数値情報・集水域(面)を、市町村データに関しては、ESRIジャパン株式会社が公開している2万5千分の1の「全国市区町村界デー

タ」(1995年10月初版)を、土地利用データは国土数値情報・土地利用細分メッシュデータを用いた。そして、時期ごとに太田川および芦田川流域内の人口を積算した。

3. 2. 負荷量の算定

流域からの負荷量算定は生活系(点源負荷)と自然・農地系(面源負荷)に分けて算出した。生活系および自然・農地系の負荷量は「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」(1999)を参考にした。生活系負荷量(QI)は(1)式によって算出した。単位は、kg/dayである。

$$QI = Lh \times P \times 10^{-3} \times 365 \quad (1)$$

ここで、Lh(g/人/日)は生活系汚濁負荷原単位であり、1人当たり1日の負荷量である。P(person)は人口である。使用した生活系負荷原単位を表1に示す。

表1 1人1日当たり汚濁負荷量

| 項目 | 原単位 |
|-----|-----|
| COD | 27 |
| T-N | 11 |
| T-P | 1.3 |

(社)日本下水道協会,「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」(1999)

面源負荷量(Qa)は(2)式によって、算定を行った。

$$Qa = La \times A \quad (2)$$

ここで、Laは汚濁負荷原単位(kg/ha/年)、Aは面積(ha)である。本研究にて用いた土地利用別面源負荷原単位を表2に示す。

表2 面源負荷量原単位

| 項目 | 単位:kg/ha/年 | | | |
|-----|------------|------|------|------|
| | 田 | 畑 | 市街地 | 山林 |
| COD | 111.1 | 26.8 | 115 | 25.4 |
| T-N | 15.4 | 68.6 | 16.5 | 3.8 |
| T-P | 1.65 | 0.74 | 2.2 | 0.3 |

(社)日本下水道協会,「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」(1999)

3. 3. 土地利用別面積と人口からの原単位法による物質負荷量の算出

GISを用いて、太田川流域および芦田川流域の1ha単位の土地利用別面積を集計し、これらの土地利用面積に面源負荷原単位(表2)を乗じることにより、各流域の面源負荷量を算出した。面源負荷量算定のため、本研究では1976年度、1987年度、1991年度および1997年度の国土数値情報土地利用細分メッシュデータを使用した。ただし、年度により土地利用分類が異なるため、表3に示すように各年度の土地利用分類を4項目に再分類した。そして、分類した土地利用図をGISで作業・解析処理できるよう数値化を行った。

次に、各流域内の人口を積算し、それらに表1に示している1人1日当たりの汚濁負荷量を乗じることによって、流域内の人口による負荷量を算出した。ここで用いた人口データは、5年ごとに実施される国勢調査が行われた年の流域内市町村の人口統計データである。ただし、土地利用メッシュデータと一致する年が存在しないため、それに最

表3 土地利用の再分類

| | 1976 | 1987 | 1991 | 1997 |
|-----|------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|
| 田 | 田 | 田 | 田 | 田 |
| 畑 | 畑 果樹園 その他の樹木畑 | 畑 果樹園 その他の樹木畑 | その他の農用地 | その他の農用地 |
| 山林 | 森林 荒地 | 森林 荒地 | 森林 荒地 | 森林 荒地 |
| 市街地 | 建物用地A 建物用地B 幹線交通用地 その他の用地 | 建物用地 幹線交通用地 その他の用地 | 幹線交通用地 その他の用地 | 幹線交通用地 その他の用地 |

国土数値情報(土地利用細分メッシュ)製品仕様書第1.0版(2006)より作成

も近い1975年, 1985年, 1990年および1995年の人口統計データを使用した。以上の二つの計算結果を合計し, 流域別物質負荷量を算出した。

4. 結果と考察

4.1. 太田川流域

図1に原単位法によって算出した太田川流域におけるCOD年間排出量の経年変化を示す。太田川流域のCOD年間排出量は1976年から1997年にかけて増加しているが, 土地利用別面積換算による増加量(以下, 流域面積換算増加量)の197tに対し, 人口からの原単位法による物質負荷量(以下, 人口換算排出量)の増加は1,519tであった。この21年の間, 太田川流域の人口は154,157人増加した。

図2に原単位法によって算出したT-N排出量, 図3にT-P排出量を示す。1976年から流域全体のT-NおよびT-Pの排出量の8割以上は人口量に起因するものであり, 特に1976年から1997年にかけて太田

川流域の人口は789,436人から943,593人まで増加した。この急激な人口増加によってT-NおよびT-Pの人口換算排出量は1976年に比べ, 1997年は1割以上増加した。一方, 土地利用は田や畑, 山林の面積が減少し市街地面積が増加した(図4)。しかし, その変化量は流域全体で見ると小さいため, 土地利用面積換算による物質負荷量は微増している。

図5は流域全体の土地利用別面積の推移を表している。1976年から1997年にかけて土地利用が市街地(主に建物用地)に変わった部分は赤く示している。主に広島市内および広島市北部の太田川周辺に集中している。

4.2. 芦田川流域

図6は, 芦田川流域におけるCODの排出量を表す。1976年から1997年にかけて人口換算負荷量および流域面積換算負荷量は緩やかに増加しており, 太田川流域のような急速な人口増加による

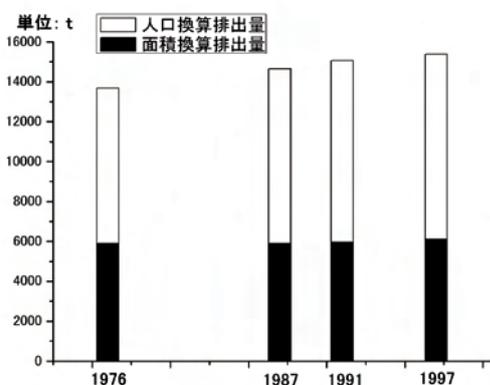


図1 太田川流域におけるCODの推移 (1976～1997年)

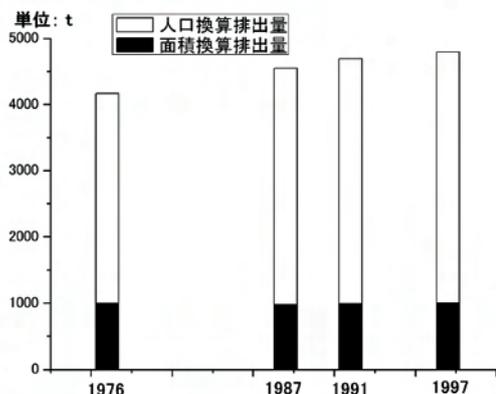


図2 太田川流域におけるT-Nの推移 (1976～1997年)

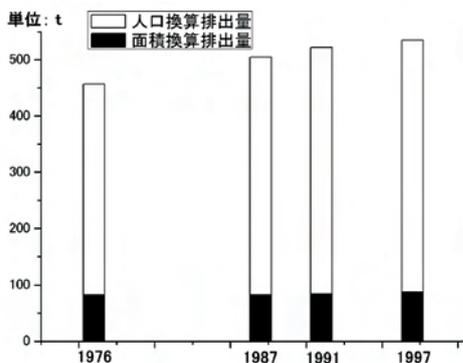


図3 太田川流域におけるT-Pの推移 (1976～1997年)

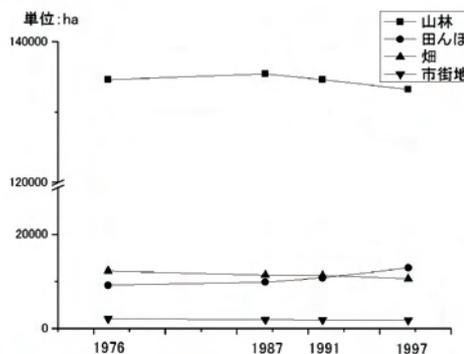


図4 太田川流域における土地利用別面積の推移 (1976～1997年)

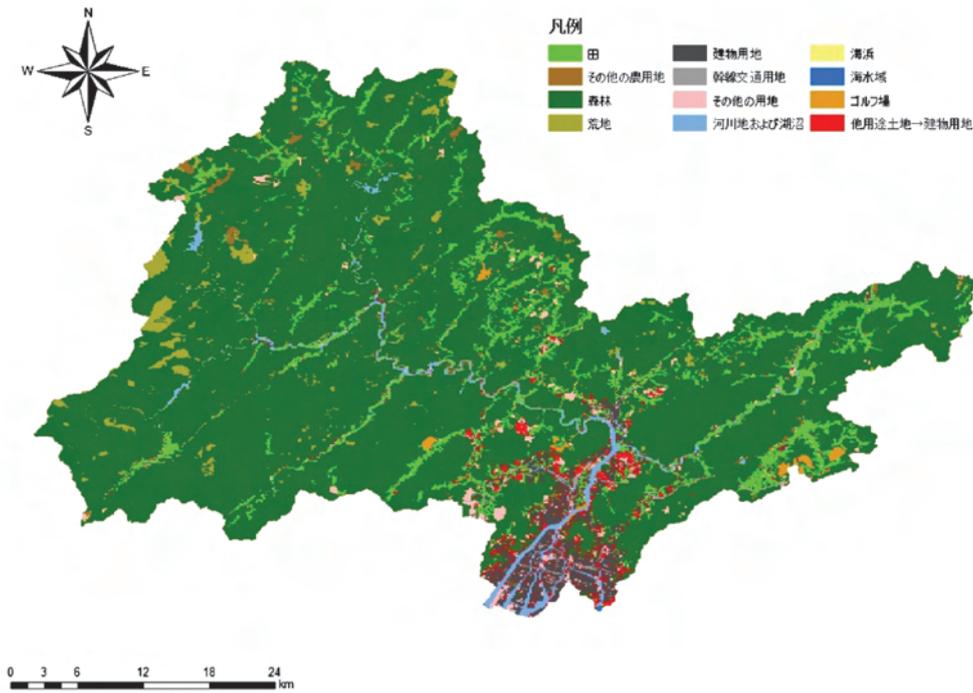


図5 太田川流域における土地利用の比較（1976年～1997年）

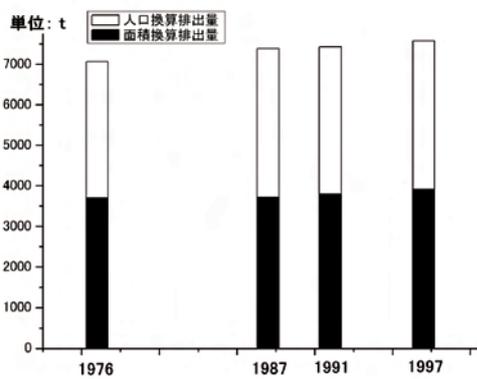


図6 芦田川流域におけるCODの推移（1976～1997年）

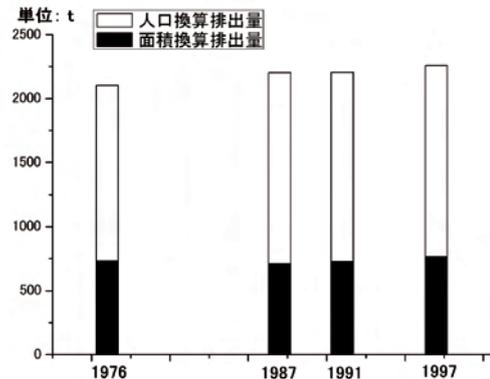


図7 芦田川流域におけるT-Nの推移（1976～1997年）

COD負荷量の増加は見られない。

また、太田川流域と異なり芦田川流域の人口換算COD排出量と面積換算COD排出量は、ほぼ1対1である。これは面源負荷原単位の高い水田が多く流域内に存在することによって、面積換算CODの排出量の割合を引き上げたと考えられる。また流域内の人口数は太田川流域の43%しかないため、人口換算COD負荷量は太田川流域に比べ低い。

図7および図8に示すように、芦田川流域におけるT-NとT-Pの総排出量は増加している一方で、面

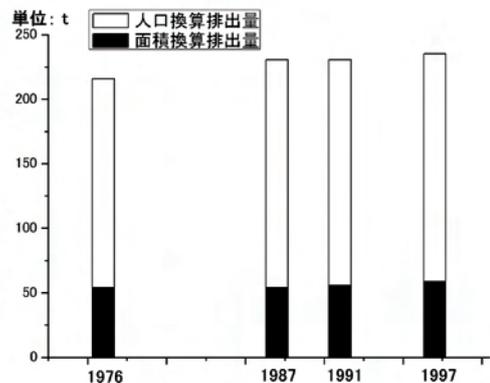


図8 芦田流域におけるT-Pの推移（1976～1997年）

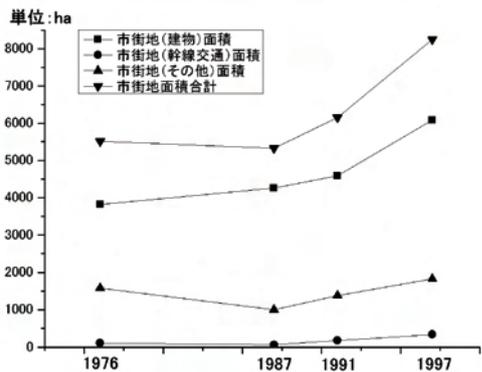


図9 芦田川流域における市街地面積の推移 (1976～1997年)

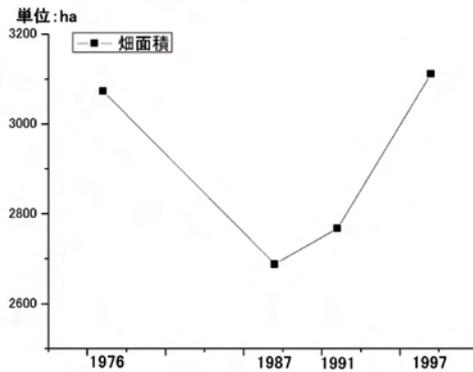


図10 芦田川流域における畑面積の推移 (1976～1997年)

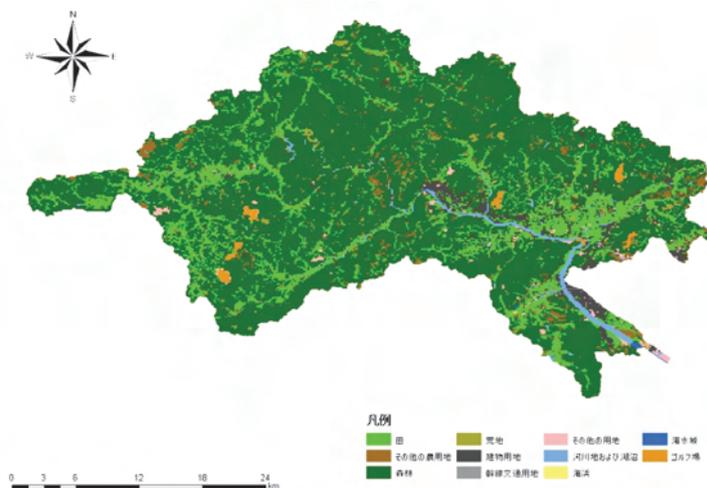


図11 芦田川流域土における土地利用 (1991年)



図12 芦田川流域における土地利用 (1997年)

積換算によるT-NとT-Pの排出量はほぼ変わっていない。芦田川流域におけるT-Nの排出量について1976年と1997年を比較すると、面積換算T-N排出

量の31tの増加に対し、人口換算T-N排出量の増加はその4倍の125tであった。また、T-Pの排出量に関して1976年は1997年に比べて、面積換算T-P排

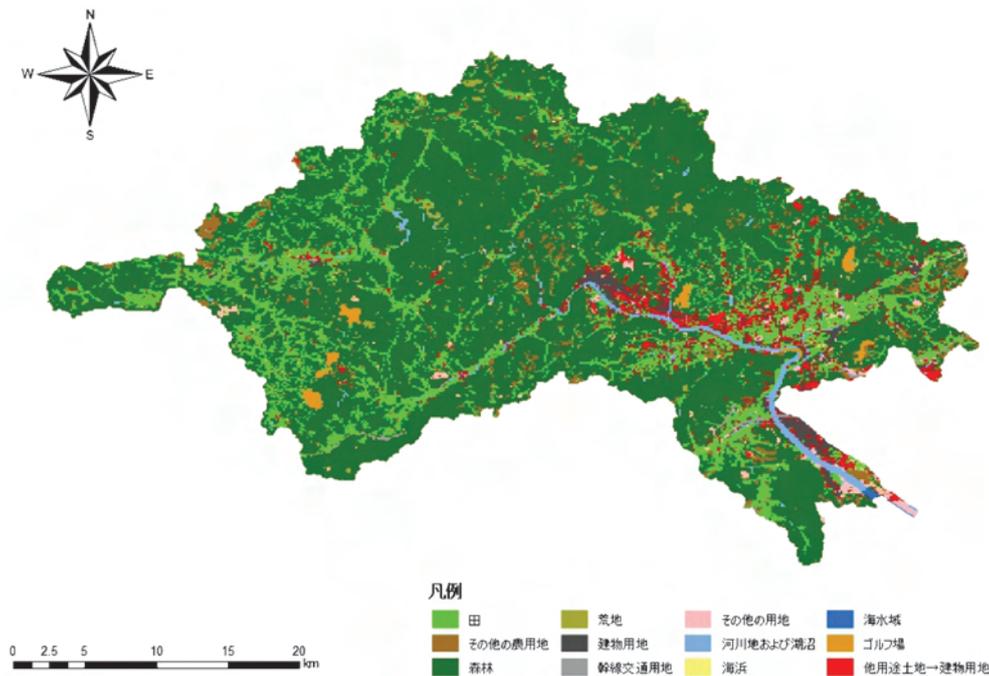


図13 芦田川流域における土地利用の比較（1976～1997年）

出量の4.5tに対し、人口換算T-P排出量の増加はその3.3倍の14.8tであった。芦田川流域全体のT-NとT-Pの総排出量の増加は、主に人口増加によるものと考えられる。

図9に示しているように、市街地面積の増加の中で最も変化しているのは建物の急増であることから、面積換算によるT-NとT-Pの増加は芦田川流域内の市街地面積の増加によるものと考えられる。T-Nの面源排出量原単位の高い畑面積は1987年までに一時的に減少したが、1997年になると1976年の面積を上回っている（図10）。

図11は、1991年の芦田川流域土地利用を表している。図5と比較すると、芦田川流域の水田の割合は太田川流域よりも大きい。また、図12は1997年の芦田川流域の土地利用を表しているが、府中、新市および神辺周辺において急激に都市化が進んでいることが明らかとなった。

4.3. 太田川及び芦田川流域の比較

図13は1976年から1997年にかけての芦田川流域全体の土地利用の変化を表している。土地利用が市街地変わった部分を赤く示した。太田川流域の土地利用による変化は、主に流域内の主要都市域である広島市周辺で発生しているが、芦田川流

域では流域内の主要都市である福山市周辺での著しい変化は見られない。福山市の周辺の都市で土地利用の市街地化が進行している。

太田川流域では、1987年から1997年にかけて、市街地が20%も増加していた。芦田川流域でも、1987年から1997年にかけて25%増加していた。

同時期の太田川流域の人口増加率は5.8%であるが、人口の総数が多いため、生活系排出量の増加が著しくみられる。一方、芦田川流域の人口増加率は0.2%であるため、生活系排出量の増加はあまり大きく変動していない。

5. おわりに

本研究では数値化した2万5千分の1土地利用図および人口・土地利用別汚染負荷原単位を用いて太田川流域および芦田川流域の物質負荷量について解析し、その結果を以下のようにまとめた。

- 1) 1976年から1997年にかけて太田川流域および芦田川流域の物質負荷量は増加していた。
- 2) 1976年から1997年にかけて太田川流域および芦田川流域における面源負荷の伸びは少なかったが、生活系と思われる排出量の増加がみられ

た。

3) 太田川流域では、1987年から1997年にかけて市街地の増加率が著しく、20%であった。芦田川流域でも、1987年から1997年にかけて25%増加していた。同時期の太田川流域の人口増加率

は5.8%であるが、人口の総数が多いため、生活系と思われる排出量の増加がみられた。一方、芦田川流域の人口増加率は0.2%であるため、生活系と思われる排出量の増加はあまり大きく変動していない。

参考文献

Burt, T. P., A. L. Heathwaite and S. T. Trudgill (1993) Nitrate; Processes, Patterns and Management. John Wiley & Sons Press, Chichester, p444.

環境省 (2005) 環境白書<平成17年版>

(社) 日本下水協会 (1999) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, p31.

高岸 且 (2000) GISを用いた琵琶湖保全のための環境解析.水環境学会誌23-9, pp553-560.

武田育郎 (1997) 農地におけるノンポイント汚染源負荷.水環境学会誌, 20-12, pp12-16.

中辻啓二 (1998) 2.4沿岸域の水環境, 『水循環と流域環境』(地球環境学7) 高橋 裕・河田恵昭編, 岩波書店, 83-107.

増田貴則 (1998) GISを用いた琵琶湖流域のノンポイント汚染源の評価とその限界, 第一回日本水環境学会シンポジウム講演集.