

## 広島県主要河川流域における栄養塩流出の特性

齋藤 光代\*・小野寺真一\*\*・吉田 浩二\*・峯 孝樹\*・林 政輝\*\*・重枝 豊実\*

\*広島大学大学院生物圏科学研究科

\*\*広島大学総合科学部

### Characteristics of nutrient discharge in the major river basins of Hiroshima Prefecture

Mitsuyo SAITO\*, Shin-ichi ONODERA\*\*, Koji YOSHIDA\*, Takaki MINE\*  
Masaki HAYASHI\* and Toyomitsu SHIGE-EDA\*

\**Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University*

\*\**Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University*

**Abstract:** To estimate the nutrient discharge from land to the sea, we conducted hydrochemical investigations of the major rivers at the 15 catchments located in Hiroshima-Prefecture. The results are summarized as follows:

- 1) Seasonal variations of TN load in Ohta river and Ashida river indicate that precipitation have a large effect on the river runoff and TN load change with the amount of river discharge. It also suggests the characteristics of TN discharge with the difference of precipitation.
- 2) The DOC and DN load from the middle-scale and small-scale catchments are estimated to be not small. We confirmed that the DOC and DN load per unit area are relatively large in the small catchments with low urban infrastructure, such as waste water system.
- 3) DOC and DN fluxes mainly changed with the variation of river runoff and land use.

**Keywords:** Nutrient discharge, Major river basins, Hiroshima Prefecture

### I はじめに

近年、海洋環境の保全のために人為的富栄養化の原因となる陸域から海洋への栄養塩負荷を軽減することが義務づけられ、様々な取り組みが行われるようになってきた。しかし、日本の代表的な閉鎖性海域である瀬戸内海の富栄養化（赤潮など）は、今もなお完全な解決には至っておらず、将来にわたり、より効果的な閉鎖海域の保全策を見いだしていく必要がある。このためには、より広域において陸域から海洋への栄養塩流出を定量化し、その流出機構および流出特性について明らかにすることが重要である。これに関して、竹井ら（2002）は、東広島市西条盆地において地表水の硝酸性窒素濃度と土地利用、地形および標高などの地理情報との関係について検討し、都市部や農地では比較的高濃度の硝酸性窒素が検出され、生活排水および農業排水の影響が地表水の水質により顕著に反映され

ている傾向を見出した。また、峯ら（2003）は、黒瀬川流域の支流において地図上で得られる地形情報をもとに硝酸性窒素流出の空間分布特性について考察を行い、小規模な流域ほどより土地利用の影響を強く受け、大きな流域ほど地形効果による窒素消失過程の影響が顕在化する傾向を明らかにした。しかし、これらの研究結果においては観測地点ごとのばらつきが大きく、瀬戸内海への負荷に関しても十分に言及されていなかった。また、重枝ら（2003）およびOnodera et al.（2004）は、広島県生口島において流域地形特性が河川からの溶存シリカ流出および溶存窒素流出に及ぼす影響について考察し、河川集水性が高い流域ほど流出量が大きくなる傾向を明らかにした。しかし、これらの研究では、流域の土地利用などの影響については考慮されていなかった。

本研究では、瀬戸内海への栄養塩負荷を定量化していくことを念頭に置き、広島県を例に、多様な河川流域における陸域から海洋への栄養塩流出特性を評価することを目的とした。特に、本論では都市部の特性を含めた土地利用および降水量の違いに注目し、溶存有機炭素（DOC）および溶存窒素（DN）の流出を中心に議論を行った。

## II 調査地域および方法

調査の対象とした瀬戸内海沿岸地域は、温暖かつ少雨型の気候であり（岡本、1998；吉田、1975）、花崗岩が広く分布する。試験流域は、太田川、芦田川、沼田川、黒瀬川、瀬野川を含む流域の規模や土地利用、都市基盤の整備状況の異なる広島県内の15河川流域である（図1）。各流域の流域面積は、表1に示す。

方法として、2004年の5月および8月の基底流出時に各流域の河口付近において河川流量の観測と河川水の採水を行った。但し、芦田川においては河川水の採水を2004年8月のみに行った。また、沼田川および黒瀬川については、河口部のみでなく中流部および上流部においても同様の観測を行った。河川流量の測定は全て浮子法（Hewlett, 1964）で行い、ポータブルメーターを用いて現地で河川水のpHおよび電気伝導度を測定した。また、採水した水試料は実験室に持ち帰り、0.20 $\mu\text{m}$ メンブレンフィルターを用いて試料を濾過した後、全有機体炭素計（TOC-V, SHIMADZU）により溶存有機炭素（DOC）および溶存窒素（DN）濃度の定量分析を行った。なお、分析に用いた全有機体炭素計の定量下限はDOCで約0.1 $\text{mgL}^{-1}$ 、DNで約0.01 $\text{mgL}^{-1}$ である。

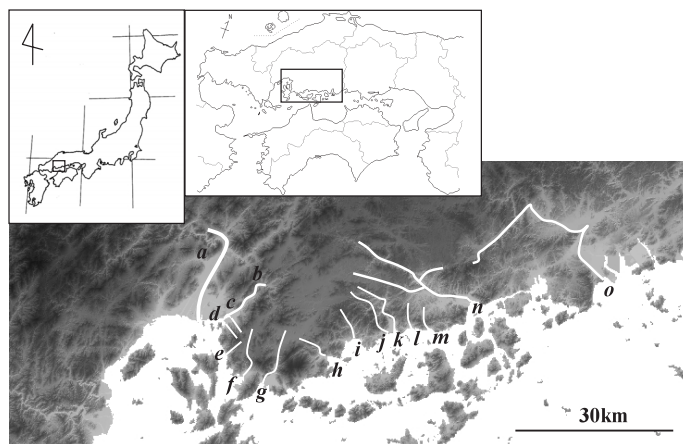


図1 調査地域概要

表 1 各流域の流域面積、河川流量および河川水のDOC、DN濃度

	Catchment area (km <sup>2</sup> )	Runoff (m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup> )		DOC (mgL <sup>-1</sup> )		DN (mgL <sup>-1</sup> )		
		May-04	Aug-04	May-04	Aug-04	May-04	Aug-04	
<i>a</i>	太田川	1700	1327562	4049879	0.97	0.52	1.81	0.85
<i>b</i>	瀬野川	122.2	275454	107136	1.88	—	1.27	—
<i>c</i>	矢野川	5.7	23927	7776	1.70	1.36	2.32	1.57
<i>d</i>	総頭川	4.2	15288	7776	1.26	2.22	2.52	1.85
<i>e</i>	大屋川	5.9	26593	10368	0.89	1.29	1.33	1.74
<i>f</i>	堺川	12.5	14715	7776	0.55	2.28	1.85	2.76
<i>g</i>	黒瀬川	238.8	275314	355968	2.81	—	2.02	—
<i>h</i>	高野川	17	34560	18144	1.35	2.15	1.22	0.89
<i>i</i>	三津大川	25.3	56775	6048	1.56	0.51	2.11	0.75
<i>j</i>	賀茂川	75.8	122322	83808	1.63	0.87	2.11	1.04
<i>k</i>	本川	6.6	9458	10022	1.44	2.51	5.57	3.83
<i>l</i>	大乗川	4.5	6652	1728	1.18	1.79	1.67	1.04
<i>m</i>	忠海川	1.9	7543	1728	2.66	2.65	1.38	1.29
<i>n</i>	沼田川	540	859965	372384	2.33	3.33	4.77	2.70
<i>o</i>	芦田川	402.6	170026	166360	—	2.81	—	1.43

### Ⅲ 結果と考察

#### Ⅲ-1 広島県二大河川における瀬戸内海への窒素負荷の変動

図 2 に、国土交通省水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp>) に基づいて作成した、2002 年 5 月から 2004 年 2 月までの太田川および芦田川における月間降水量と河川流量、河川水の TN 濃度および河川水の TN 負荷量の変動を示す。なお、TN の分析法は、国土交通省 1997 年版河川水質試験方法 (案) に基づく。また、TN 負荷量は、河川流量と河川水の TN 濃度との積により算出した。太田川流域は芦田川流域と比較して降水量が多く、この期間の総降水量は芦田川において 1466mm であったのに対し、太田川では 2996mm と約 2 倍の差があった (図 2 a)。また、太田川の河川流量は芦田川と比較して格段に大きく、降水量の大きさを強く反映していると考えられる (図 2 b)。一方、河川水の TN 濃度は芦田川で比較的高く、太田川の約 2 ~ 4 倍の値を示した (図 2 c)。しかし、濃度の値は流量に比べて非常に小さな値であるため、両者の積である TN 負荷量は流量に依存して変動し、降水量が最も大きかった 2003 年 7 月においては、太田川における負荷量が芦田川の約 6 倍に達していた (図 2 d)。以上の結果から、正味の窒素流出負荷量は河川流量の大きさにほぼ依存し、太田川のような大規模流域ほど、流出負荷量は大きくなると推定される。

また、図 3 に 2002 年 5 月から 2004 年 2 月までの太田川および芦田川における月間降水量と単位面積あたりの河川流量、河川水の TN 濃度および河川水の TN 負荷量との関係を示す。図 3 a より、単位面積あたりの河川流量は、芦田川と比較して太田川でより大きく、月間降水量の大きさに対応して顕著に増加する傾向を示した。一方、河川水の TN 濃度は、太田川では降水量の変動によってほぼ変化していないのに対し、芦田川においては降水量の大きさに対応して上昇する傾向を示した (図 3 b)。その結果、月間降水量と TN 負荷量との相関を示す式の傾きは太田川と芦田川とでほぼ等しくなると推定された (図 3 c)。芦田川において、降水量の増加にともない TN 濃度が上昇する原因としては、比較的降水量が少ないため、流域にインプットされた窒素が降雨によって洗い流されず流域内に蓄積し、比較的高濃度を保った状態で河川へ流出しているという可能性が考えられる。以上の結果から、降水量の

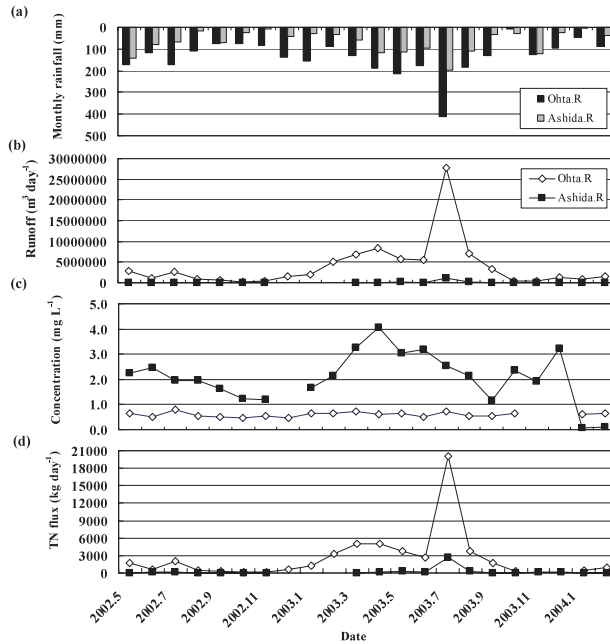


図2 太田川および芦田川における月間降水量と河川流量、TN濃度およびTN負荷量の変動 (a : 月間降水量、b : 河川流量、c : TN濃度、d : TN負荷量)

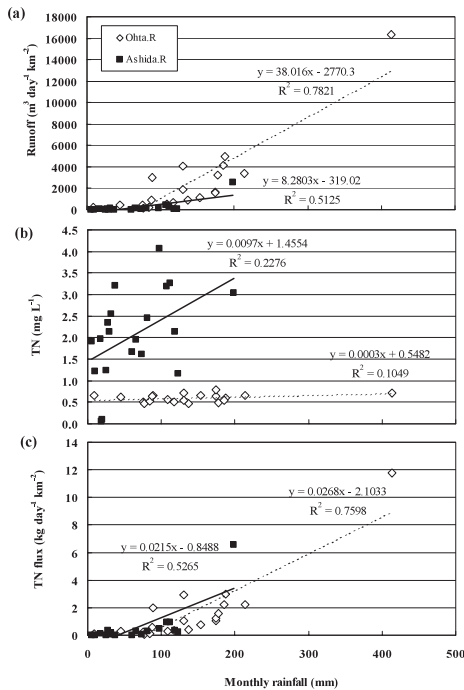


図3 太田川および芦田川における月間降水量と河川流量、TN濃度およびTN負荷量との関係 (a : 河川流量、b : TN濃度、c : TN負荷量)

違いによって流域における窒素流出の特性が異なることが示唆された。

### Ⅲ－２ 海洋への溶存有機炭素および溶存窒素流出量の推定

図4に、2004年5月および8月における各流域（表1－a～o）からの正味のDOCおよびDN流出負荷量の分布を示す。流出負荷量は、各流域の河口部で観測された河川流量（表1）と河川水中のDOC、DN濃度との積によって求めた。なお、太田川および芦田川の河川流量に関しては、実測値を国土交通省水文水質データベースの水位流量データと照らし合わせ、整合性を確認した。これらの結果から、2004年5月における一日あたりの流出負荷量は沼田川（n）において最も大きく、次いで太田川（a）、黒瀬川（g）、瀬野川（b）の順に大きくなっており（図4 a）、8月における一日あたりの流出負荷量は太田川（a）、沼田川（n）、芦田川（o）の順に大きくなっていった（図4 b）。今回調査を行った流域の中では、河川流量は5月、8月とも太田川において最大であり、8月におけるDOC、DN流出負荷量も太田川で最大であった。しかし、5月においては、太田川における河川水のDOC、DN濃度が他の流域と比較して低かった（DOC=0.97mgL<sup>-1</sup>、DN=0.52mgL<sup>-1</sup>）ことから（表1）、流出負荷量は比較的小さいと見積もられた。一方、5月における沼田川の河川流量は太田川と比較して小さかったが、河川水のDOC濃度が2.33mgL<sup>-1</sup>、DN濃度が3.33mgL<sup>-1</sup>と高かったことから（表1）、結果的に太田川を超える流出負荷量になると見積もられた（図4 a）。

広島県においては、瀬戸内海に流入する河川の中では太田川流域の規模が最も大きいことから、瀬戸内海へ与える栄養塩負荷も大きいことが想定される。しかし、今回の結果から、太田川以外の中規模、小規模流域からの溶存有機炭素および溶存窒素負荷も無視できない量となっていることが示唆された。したがって、瀬戸内海への栄養塩負荷を評価するにあたっては、大規模流域に加え、比較的中規模および小規模の流域による影響を含め、総合的に議論していくことが重要であると考えられる。

### Ⅲ－３ 河川からの溶存有機炭素および溶存窒素流出特性

図5に、各流域における単位面積あたりのDOCおよびDN流出負荷量の分布を示す。正味の流出負荷量の結果（図4）とは異なり、単位面積あたりの流出負荷量は、5月においては忠海川（m）、総頭川（d）、矢野川（c）の順に大きくなっており、8月においては本川（k）、総頭川（d）の順に大きくなっていった。また、これらの流域は、今回調査を行った中で流域面積および河川流量がいずれも

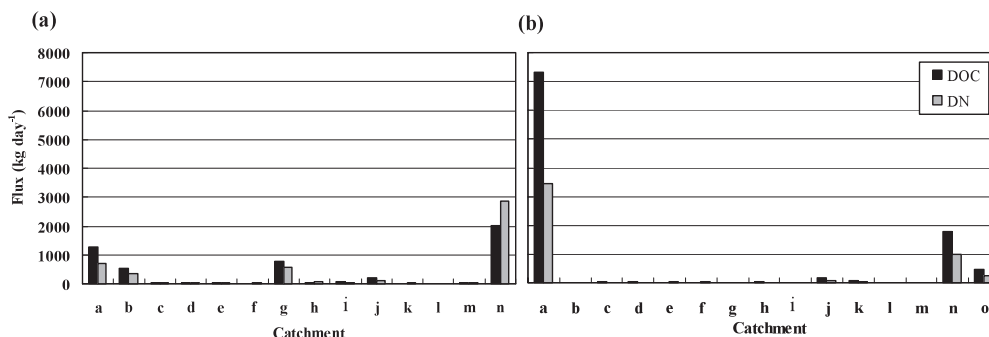


図4 各流域におけるDOC、DN流出負荷量  
 (a : 2004年5月、b : 2004年8月、流域 a～o は表1を参照)

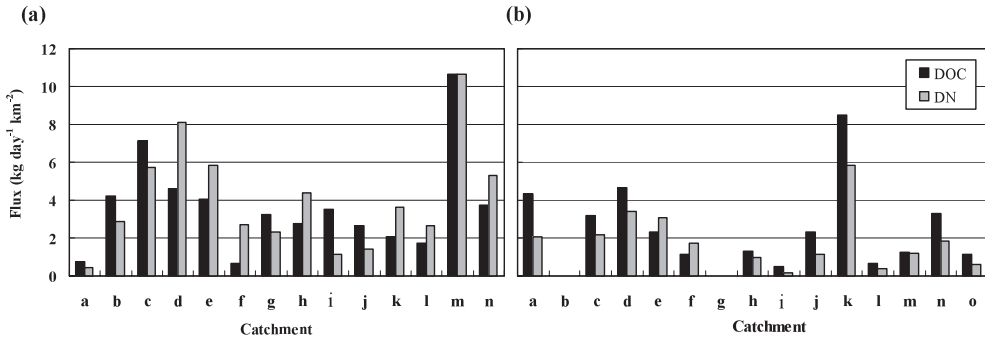


図5 各流域における単位面積あたりのDOC、DN流出負荷量  
 ( a : 2004年5月、b : 2004年8月、流域 a ~ o は表 1 を参照)

比較的小さい流域であった。従来の研究で、規模の小さな流域ほど、河川水の水質は流域内の土地利用による影響を受けやすいことが明らかにされており(峯ら, 2003)、これらの流域は、太田川などの大流域と比較して下水道の普及率が低いこと、流域内の農地面積率の割合が高いことなどが想定されることから、人為的負荷の影響をより強く受けていると考えられる。

また、図6に2004年5月(図6 a)および8月(図6 b)に各試験流域の河口部で採水した河川水のDOC濃度とDN濃度との関係を示す。但し、8月に調査を行った地点のうち瀬野川(表1-b)および黒瀬川(表1-g)においては、河川水の電気伝導度の値から海水の侵入が示唆され、河川水としての評価が困難であると判断し、データから除外した。図6の結果から、研究地域では、全体的にみてDOC濃度が高い河川ほどDN濃度も高いという傾向を示した。近年の研究において、河川水の水質形成に関連する土壌層中のC/Nは常に一定の値をとるため、森林域においては、河川へ流出する炭素濃度と窒素濃度は逆相関の関係を示すが、人間活動の影響の大きな河川では、炭素、窒素濃度ともに大きくなることが明らかにされている(木平ら, 2003)。このことから、調査を行った地域の河川は、人為的汚染の影響を比較的強く受けていることが示唆される。

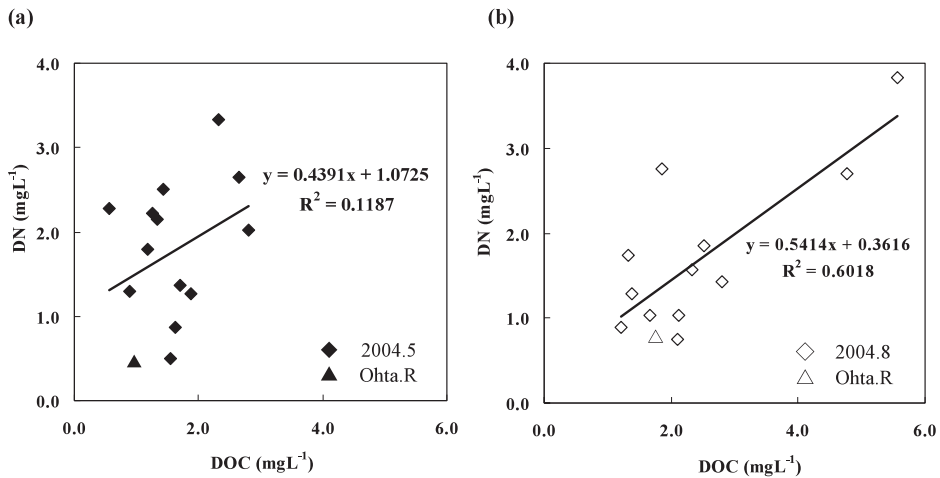


図6 河川水のDOC濃度とDN濃度との関係 ( a : 2004年5月、b : 2004年8月)

また、太田川の河川水はDOC、DN濃度とも比較的low濃度であったのに対し、その他の流域は太田川と比べて高い値を示した(図6)。この原因の一つとして、各流域における都市基盤の整備状況の違いが影響している可能性が考えられる。すなわち、太田川が流れる広島市は人口100万人を超える大都市であり、公共下水道普及率が約90%と高く(広島県統計年鑑、2003)、家庭排水の流入などによる河川への影響は比較的小さいということが推定される。しかし、広島市以外の都市の下水道普及率は、福山市で約66%、東広島市で約26%、三原市で約15%であり(広島県統計年鑑、2003)、依然として整備が行き届いていない地域も多いことが分かる。したがって、太田川以外の流域においては、人為活動の影響が河川水質により強く反映されており、DOCおよびDN濃度が高い値を示したと考えられる。

以上の結果から、単位面積あたりの流出負荷量は、都市基盤の整備状況が悪いと想定される小流域において比較的大きい傾向にあることが明らかになった。

### Ⅲ-4 河川の流下にもなう溶存有機炭素および溶存窒素負荷量の空間変化

図7に、2004年5月における黒瀬川(図7 a) および沼田川(図7 b) の上流から下流にかけての河川流量、河川水のDOCおよびDN濃度、DOCおよびDN負荷量の変化を示す。

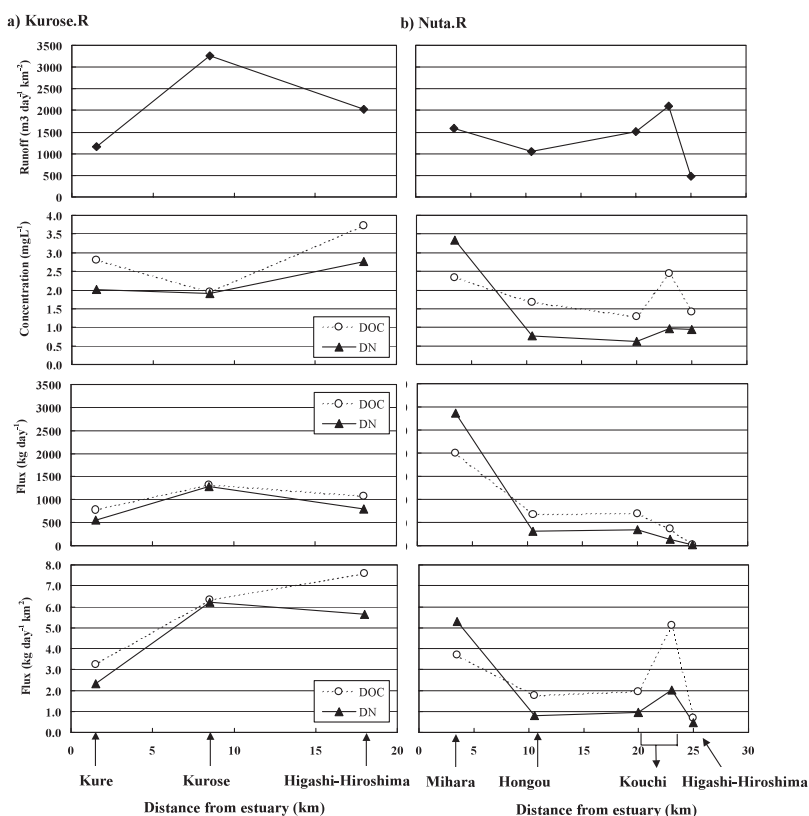


図7 2004年5月における河川の上流から下流にかけての河川流量、河川水のDOCおよびDN濃度、DOCおよびDN負荷量の変化

図7 aより、黒瀬川においては中流部の黒瀬地区において流量が最大となり、下流側の呉地区に向かって減少する傾向を示し、DOCおよびDN負荷量の変動もほぼ同様の傾向を示した。下流域において流量が減少した原因としては、農業用水の取水による影響などが考えられる。また、河川水のDOCおよびDN濃度は上流部の東広島地区で最も高い傾向を示した。前述したように、東広島市においては公共下水道の普及率が30%未満と低いことから、上流部においては河川水が家庭排水などの流入の影響を受けていたと考えられる。

一方、図7 bより、沼田川においては上流の東広島地区から河内地区までの区間で流量が増加し、その後本郷地区にかけてはわずかに減少する傾向を示し、最下流の三原地区においては再び増加した。その結果、DOCおよびDN負荷量は、全体的にみて上流から下流に向かって増加する傾向を示した。また、流量が増加した東広島地区から河内地区、および本郷地区から三原地区までの区間では、河川水のDOCおよびDN濃度が若干上昇する傾向を示したことから、この区間においては家庭排水および農業排水の流入により、河川流量が増加していた可能性が考えられる。

以上の結果から、DOCおよびDN負荷量はほぼ河川流量の変動に依存して変化するが、濃度に関してはその地域の土地利用の影響を強く受けていることが示唆された。今後は、河川水の取水などの影響を明らかにし、より詳細な負荷量の変動を捉えていく必要がある。

#### IV まとめ

本研究では、広島県の多様な河川流域において陸域から海洋への栄養塩流出特性を評価することを目的とし、特に、都市部の特性を含めた土地利用および降水量の違いに注目し、溶存有機炭素 (DOC) および溶存窒素 (DN) の流出を中心に議論を行った。その結果、以下のことが確認された。

- 1) 太田川および芦田川における窒素負荷の季節変化から、河川流量は降水量の大きさに強く影響され、窒素負荷量は河川流量の大きさに依存することが明らかになった。また、降水量の違いにより窒素流出特性が異なることが示唆された。
- 2) 中規模、小規模流域から海洋への溶存有機炭素および溶存窒素負荷も無視できない値であると推定された。また、単位面積あたりの流出負荷量は都市基盤の整備状況が悪いと想定される小流域において比較的大きいという傾向が示された。
- 3) 河川の流下にとまらぬDOCおよびDN負荷量の変化は河川流量の変動および観測地点付近の土地利用の影響を反映していることが示唆された。

#### 引用文献

- 木平英一・吉岡崇仁・M.G.M. Khan・田上英一郎 (2003) 琵琶湖への溶存有機物とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の流入—集水域におけるC/Nの変動として—, 陸水学雑誌, 64, 65-67.
- 木平英一・吉岡崇仁・武重祐史・楊 宗興 (2003) 溪流における溶存有機物濃度とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の逆相関関係—森林生態系内におけるC-Nリンカー, 陸水学雑誌, 64, 67-68.
- Hewlett, J. D. (1964) Principles of Forest Hydrology, The University of Georgia Press Athens, Georgia 30602.
- 広島県 (2003) 第48回広島県統計年鑑 (平成15年度版)
- 国土交通省水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp>)
- 峯 孝樹・小野寺真一・齋藤光代・吉田浩二・重枝豊実・竹井 務 (2003) 黒瀬川流域における窒素



- 流出の空間分布特性とそれに及ぼす地形の影響, 広島大学総合科学部紀要IV理系編, 第29巻, 115-122.
- 岡本一士 (1998) 気候, 41-70, 「蒲刈町の自然」蒲刈町誌編集委員会・蒲刈町教育委員会編, 蒲刈町, 352pp.
- Onodera, S., Saito, M. and Shige-eda, T. (2004) Nitrate load in various coastal catchments of Seto Inland Sea in western Japan: effects of topography and rainfall, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> international nitrogen conference.
- 重枝豊実・小野寺真一・齋藤光代・吉田浩二・竹井 務・峯 孝樹 (2003) 広島県生口島における  $\text{SiO}_2$  フラックスの空間分布特性, 広島大学総合科学部紀要IV理系編, 第29巻, 95-103.
- 竹井 務・小野寺真一・成岡朋弘・西宗直之・齋藤光代 (2002) 広島大学総合科学部紀要IV理系編, 第28巻, 69-75.
- 吉田栄夫 (1975) 厳島 (宮島) の気候環境に関する若干の特性, 「厳島の自然」天然記念物弥山原始林・特別名勝厳島緊急調査委員会編, 広島, 63-82.