

18. 途上国における海域・湖沼に流入する1人あたり水質汚濁負荷量と 経済的發展レベル

Water Pollutant Load per Capita Running into Coastal Area and Lakes, and
Economic Development Level of Developing Countries

都筑 良明*

Yoshiaki TSUZUKI*

ABSTRACT; In regards to water pollution problems in closed coastal zone or rivers, municipal wastewater have been a major target of the environmental measurement after some effective pollution control measurements in decades in developed countries. International corporation or agreement have been developed for international coastal area or rivers including Global Programme Action (GPA), Global International Waters Assessment (GIWA) and Regional Seas Programme lead by UNEP as countermeasures to marine pollution. Environmental accounting housekeeping books for municipal wastewater has been proposed as an effective water pollution reduction measurements in the life of ordinary people in Ebigawa River drainage area, urban river running into Sanbanze tidal zone, Tokyo Bay, in this symposium last year. After that, water pollutants load per capita running into the coastal area has been proposed as an indicator for quantitatively evaluate loads of municipal life onto coastal area. This indicator was applied to six international coastal and lakeside regions and comparative analysis with an economic indicator was conducted in this paper. Whereas BOD load per capita running into aquatic zone has its peak at GDP per capita of \$4,000 and phosphorus load \$10,000. Nitrogen load does not have clear peak for GDP per capita.

KEYWORDS; water pollutant load per capita, developing countries, marine pollution, municipal wastewater

1 はじめに

先進国における河川および閉鎖性水域である湖沼、内湾の水質汚濁問題は、産業系、生活系を中心とする汚濁負荷削減の進展により水質改善の傾向が見られるが、近年では河川、湖沼および内湾に共通して生活系排水による汚濁負荷削減が大きなテーマとなっている。国際的な水質汚濁問題に目を向けると、特に複数国の領域にまたがる湖沼、海域を主な対象として様々な国際機関、国内機関間の連携等による研究および政策的な取り組みが進められている。また、国際河川についても、同様の国際的な連携による取り組みが進められている。

本研究は、昨年、東京湾・三番瀬に流入する河川である海老川等の汚濁負荷について情報提供、環境教育の観点から提案した考え方(都筑, 2003)を、主に途上国沿岸の海域を対象に広げ、1人あたり汚濁負荷量(都筑、小川, 2004)を指標として、海洋汚染対策としての効率的な生活排水による汚濁負荷削減対策を検討するための考え方を提案するものである。海域ごとの1人あたり汚濁負荷量を、経済的發展レベルを指標として国際的に比較検討を行うとともに、途上国における今後の望ましい生活排水対策についての1つの考え方を提供したい。1人あたり汚濁負荷量と経済レベルとの関連については、研究開始時点では生活排水の発生汚濁原単位は生活の質が向上することにより、食事、洗濯、風呂等による汚濁負荷量が増大することにより増加し、水域に流入する1人あたり汚濁負荷量もそれに伴い増加するが、生活レベルがある一定レベルに向上すれば生活排水処理対策が進展することにより減少すると考えた。

(元)宇都宮大学大学院工学研究科講師(研究機関研究員)、School of Engineering, Graduated School of Utsunomiya University (formerly)

Table 1 Regions of the UNEP Regional Seas Programme and similar independent agreements amongst developed countries.

Black Sea
Wider Caribbean
East Africa
East Asia
ROPME Sea Area
Mediterranean
North-West Pacific
Red Sea and Gulf of Aden
South Asia
South-East Pacific
South Pacific
West and Central Africa
North-East Pacific
South-West Atlantic
Baltic
Arctic
North-East Atlantic

Note 1) Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait.

2 国際的な海域汚染防止対策の概要

生活排水由来の水質汚濁物質の海域への流入負荷量については、国際的には主に UNEP(国際環境計画)を中心に検討が行われている。生活系、産業系、農業系の水質汚濁負荷が海洋汚染の約 8 割を占めており、1995 年に海域ごとに重要な海洋汚染対策を検討、実施することを目的として、Global Programme of Action (GPA) for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities が設立された(UNEP, 2003b)。また、UNEP の主導により、Kalmar 大学(スウェーデン)が中心になって実施された 4 年間の Global International Waters Assessment (GIWA)では、世界中の 66 の海域の調査が実施され、それまで予算的に限られていた国際水域の水質汚濁問題に Global Environment Facility(GEF)の資金を導入することや、海域ごとに海洋汚染対策の優先順位を決定する等の面で貢献してきた。これらに先立ち、1972 年の国連環境サミット(リオデジャネイロ、ブラジル)を受け、1974 年に UNEP は Regional Seas Programme を開始した。表 1 に Regional Seas Programme とその他の途上国間の協定が締結されている海域を示す。140 か国以上が何らかのプログラム、協定に参加している(UNEP/GPA Coordination Office, 2002)。海域の環境保護のために生活系排水対策の改善が必要であり、適切な処理が実施されている地域においても海域に流入する汚濁負荷量の削減が必要であることが認識されている。

Table 2 Regions, Countries or Cities Investigated in this Paper.

Regions	Countries (Cities)
Pacific Islands	American Samoa, Cook Islands, Federated States of Micronesia, Fiji, Kiribati, Marshall Islands, Nauru, Niue, Palau, Papua New Guinea, Samoa, Solomon Islands, Tonga, Tuvalu, Vanuatu
East Asian Seas	Cambodia, China, Indonesia, Malaysia, Philippines, Thailand, Viet Nam
ROPME Sea Area, Red Sea and Gulf of Aden	Bahrain, Iran, Kuwait, Oman, Qatar, Saudi Arabia, UAE, Saudi Arabia (Jeddah)
West and Central African	Mauritania, Senegal, Gambia, Guinea-Bissau, Guinea, Liberia, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Benin, Nigeria, Democratic Republic Congo,
Eastern African Region	Kenya (Mombasa), Tanzania (Tanga), Tanzania (Dar es Salaam), Seychelles, Madagascar, Comoros
Caspian Sea	Azerbaijan, Iran, Kazakhstan, Russia, Turkmenistan

3 海域に流入する 1 人あたり水質汚濁負荷量の算定方法

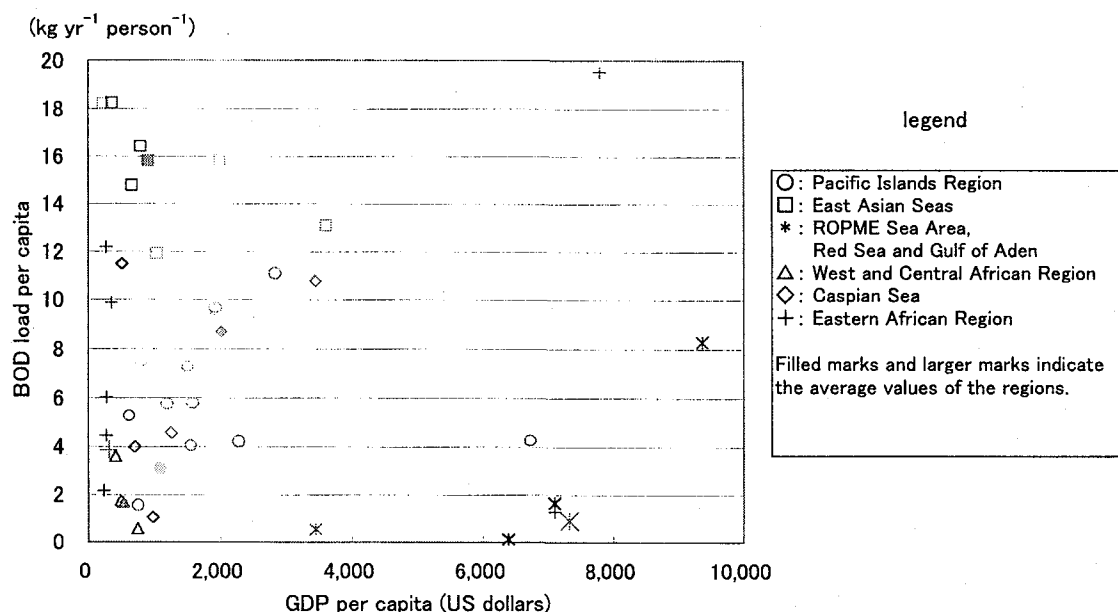
Global Programme of Action (GPA), Global International Waters Assessment (GIWA)を中心とする既存の文献調査により、海域に流入する汚濁負荷量を調査した。得られた汚濁負荷量のうち、対象とする人口が分かっている値について、1 人あたり汚濁負荷量を算定した。算定は主に途上国を中心とする対象地域について行った(UNEP, 2003a, 2000a, b, 1999a, b)。本研究における調査対象地域と対象国(都市)を表 2 に示す。

経済的発展レベルの指標としては、各国の 1 人あたり GDP を用いた(World Bank, 2003)。

4 結果と考察

海域に流入する 1 人あたり BOD 負荷量と 1 人あたり GDP との関係を図 1 に示す。

海老川流域の生活排水の処理種類別の 1 人あたり COD 汚濁負荷量は、生活排水の処理種類別に 0.1 ~ 1.9 kg yr⁻¹ person⁻¹であった(都筑, 2003; 都筑、小川, 2004)。指標が BOD と COD であるので単純に比較



はできないが、生活排水由来の BOD と COD がほぼ同程度であると考ええると、多くの国・地域で、日本と比較すると汚濁負荷量が大きいことが分かる。

太平洋諸島地域の 1 人あたり GDP は 627～6,722 (1,095, 括弧内は加重平均。以下同様とする) US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ で、1 人あたり BOD 汚濁負荷量は 1.6～11 (3.1) $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と算定された。1 人あたり GDP が 4000 US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ 以下では GDP の増加に伴い 1 人あたり汚濁負荷量が増加する傾向が見られ、Nauru は 2,800 US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ で 11 $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ であった。これに対して、6,700 US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ の Palau では 4.3 $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と算定され、GDP が増加すると汚濁負荷量が減少する傾向を示した。Cook Islands は 45 $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と他の地域に比べて大きな値となったため図 1 には記載していない。この原因として、観光客の影響が考えられた。

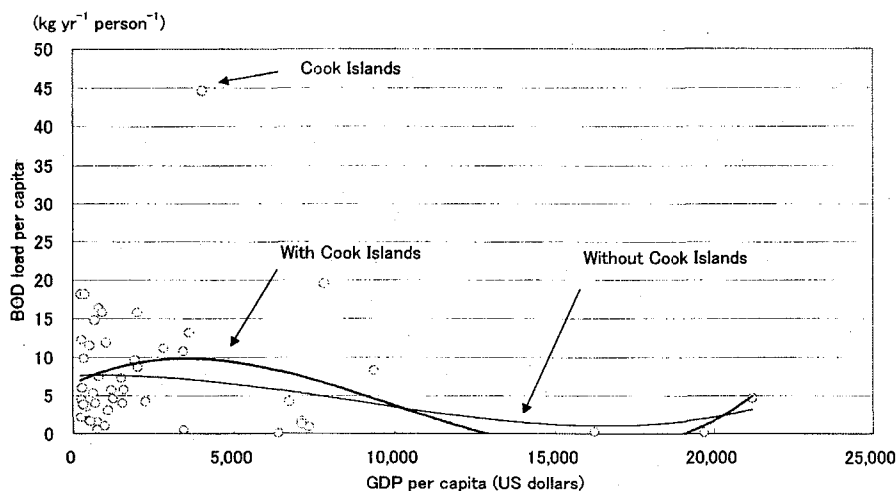
南シナ海(東アジア)地域では、1 人あたり GDP は 238～3,613 (904) US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ で、1 人あたり BOD 汚濁負荷量は 12～18 (16) $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と算定された。1 人あたり GDP の範囲および加重平均は太平洋諸島地域とほぼ同程度であるが、Philippines を除くと 1 人あたり GDP の増加に伴い、1 人あたり汚濁負荷量が減少する傾向にあることが分かった。

Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME, 海洋環境保全地域機構、クウェート)の対象地域であるペルシア湾、アラビア海沿岸地域および紅海、アデン湾沿岸地域では、1 人あたり GDP は 3,445～21,220 (7,322) US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ で、1 人あたり BOD 汚濁負荷量は 0.1～8.3 (0.9) $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と算定された。1 人あたり GDP が他の地域に比べて大きく、1 人あたり BOD 負荷量は小さい。この原因としては、他の地域に比べて経済レベルが比較的高いために生活排水処理対策が進んでいること、地域特性から処理水の再利用が進んでいること、が挙げられる。

西・中央アフリカ(WACAF)地域では、1 人あたり GDP は 416～748 (538) US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ で、1 人あたり BOD 汚濁負荷量は 0.6～3.6 (1.7) $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と算定された。1 人あたり GDP、汚濁負荷量とも他の地域に比べて小さい。北部、中部、南部の地域ごとの算定結果を比較すると、1 人あたり GDP の増加に伴い 1 人あたり汚濁負荷量が減少する傾向があった。

カスピ海地域では、1 人あたり GDP は 513～3,445 (2,021) US dollars $\text{yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ で、1 人あたり BOD 汚濁負荷量は 1.1～12 (8.7) $\text{kg yr}^{-1} \text{ person}^{-1}$ と算定された。Azerbaijan を除くと 1 人あたり GDP の増加に伴って 1 人あたり汚濁負荷量が増加する傾向があることが分かった。

Cook Islands の有無の 2 つの場合により、2 つの指標の相関を 3 次式により近似させた結果を図 2 に示す。特異点と考えられた Cook Islands を入れた場合には図 1 で BOD 負荷量が増加から減少に転じると考



Without Cook Islands: $R^2 = 0.0788$

$$Y = 3 \cdot 10^{-12} \cdot X^3 - 9 \cdot 10^{-8} \cdot X^2 + 0.0001 \cdot X + 7.619$$

With Cook Islands: $R^2 = 0.0696$

$$Y = 1 \cdot 10^{-11} \cdot X^3 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot X^2 + 0.002 \cdot X + 6.5345$$

(X: GDP per capita, Y: BOD load per capita)

Fig.2 Correlation between BOD load per capita and GDP per capita.

えられた GDP 4,000 ドル付近にピークを持つような曲線が得られたのに対して、Cook Islands を除いた場合には明確なピークを持たない曲線となった。この原因としては、1 人あたり GDP が 4,000 ドル以下の範囲で両指標の間に明確な傾向が見られなかったことが影響していると考えた。図 1 から低所得の地域で 1 人あたり汚濁負荷量が多い国としては、南シナ海沿岸(東アジア)の各国に加えて西アフリカ沿岸の都市が分布している。

図 3 は窒素、図 4 はリンの海域に流入する 1 人あたり汚濁負荷量を、データが得られた太平洋地域、PORME および紅海、アデン湾沿岸、カ

スピ海沿岸の各地域について 1 人あたり GDP との関係を示したものである。海老川流域の窒素の 1 人あたり汚濁負荷量は $0.91 \sim 1.6 \text{ kg person}^{-1} \text{ year}^{-1}$ と算定されており(都筑, 2003; 都筑, 小川, 2004)、これらの地域と比較すると窒素の 1 人あたり汚濁負荷量が多い地域もあるが、海老川流域と同程度の地域も多い。これらの地域のデータの範囲では、経済レベルが高くなるにしたがって、窒素の 1 人あたり汚濁負荷量が緩やかに減少する傾向が見られた。同様に、海老川流域のリンの 1 人あたり汚濁負荷量は $0.08 \sim 0.16 \text{ kg person}^{-1} \text{ year}^{-1}$ と算定されており、今回対象とした地域の 1 人あたり汚濁負荷量はかなり大きい。

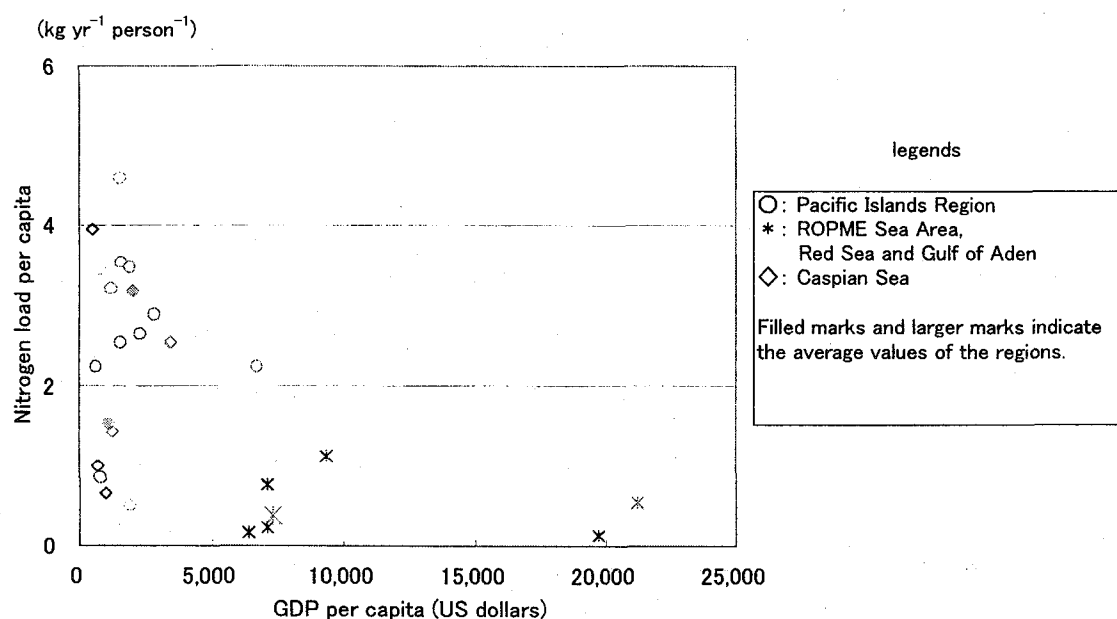


Fig. 3 Relationship between nitrogen load per capita and GDP per capita of developing countries.

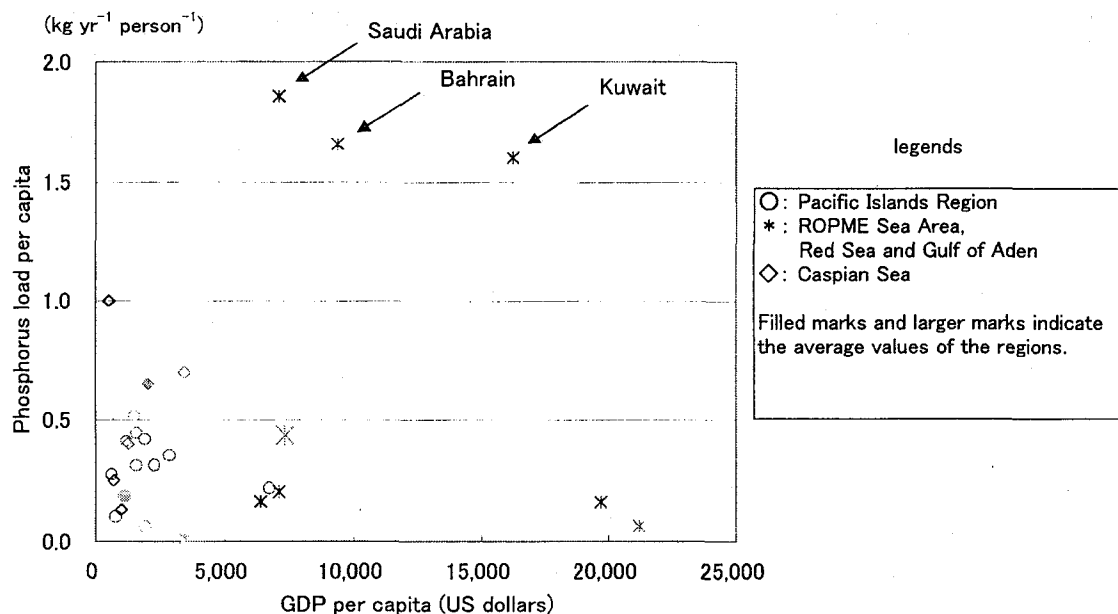


Fig. 4 Relationship between phosphorus load per capita and GDP per capita of developing countries.

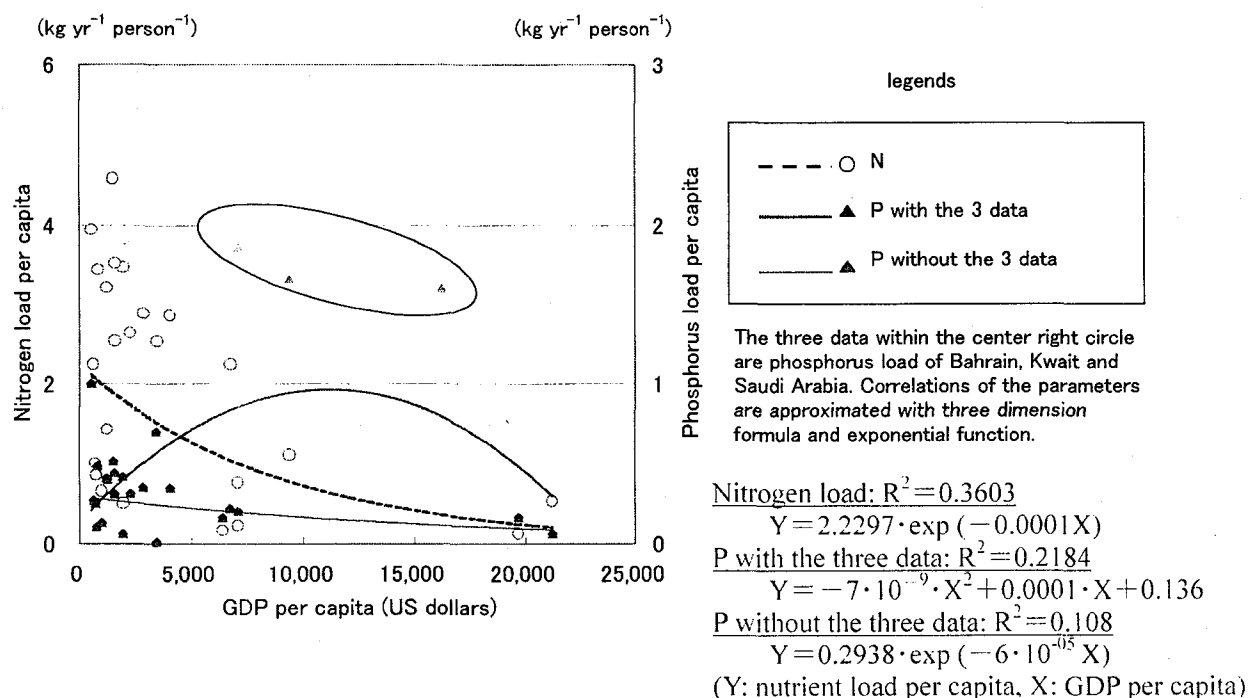


Fig.5 Correlation between nutrient load per capita and GDP per capita.

PORME 地域の3か国の汚濁負荷量が他の地域と比べて大きいのが特徴的である。この3か国を除くと、窒素と同様に経済レベルが高くなるにしたがって、1人あたり汚濁負荷量が緩やかに減少している傾向がある。

栄養塩の1人あたり汚濁負荷量と1人あたりGDPとの相関を2次式と指数関数で表してみた(図5)。窒素については経済レベルが高くなると汚濁負荷量が緩やかに減少しているのを指数関数で近似した。リンについては、上記の3か国を含んだ場合と除いた場合との2通りを近似し、前者は2次関数で、後

者は指数関数で近似した。相関係数の二乗の値はいずれも 0.1~0.4 程度とそれほど大きくはなかったが、分布の傾向を示していると考えた。二乗関数で表現したリンの汚濁負荷量と GDP との関係を見ると約 10,000 ドル前後にピークが見られ、生活排水から栄養塩を除去するには、有機物除去よりも高い経済レベルが必要であるのではないかと考えられた。これは下水処理場での二次処理、三次処理を考えてみると、肯定できる結果である。

5 結論

生活排水による水質汚濁の指標の 1 つとして、海域に流入する 1 人あたり汚濁負荷量について経済レベルと関連付けて検討を行った結果、BOD、窒素、リンの GDP に対する特徴を見出すことができた。

太平洋諸島、南シナ海、PORME および紅海、アデン湾沿岸地域、アフリカ東海岸地域、カスピ海沿岸の 6 つの地域で国ごとの 1 人あたり GDP と 1 人あたり汚濁負荷量とを比較検討した結果、BOD については 1 人あたり GDP が 4,000 US dollars yr-1 person-1 付近に、リンについては同じく 10,000 US dollars yr-1 person-1 付近にピークがあった。窒素についてはピークは見られず、経済レベルが高くなるにしたがって、汚濁負荷量が緩やかに減少する傾向が見られた。

謝辞

本研究の一部は、土木学会地球環境委員会途上国研究小委員会の活動の一環として行った。

参考文献

- 都筑良明 (2003)、東京湾・三番瀬への汚濁負荷と個人の生活についての情報提供および環境教育についての提案、第 11 回地球環境シンポジウム講演論文集、pp.213-218.
- 都筑良明、小川かほる (2004)、水質汚濁負荷についての情報提供および環境教育についての提案、第 31 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 CD-ROM、第Ⅶ部門
- UNEP (1999a) Regional Overview of Land-based Sources and Activities Affecting the Coastal and Associated Freshwater Environment in the West and Central African Region. UNEP/ GPA Co-ordination Office & West and Central Africa Action Plan, Regional Co-ordinating Unit. 110 pp.
- UNEP (1999b) Overview on Land-based Sources and Activities Affecting the Marine Environment in the ROPME Sea Area. UNEP/ GPA Coordination Office & ROPME. 127 pp.
- UNEP (2000a) Overview of Land-Based Pollutant Sources and Activities Affecting the Marine, Coastal, and Freshwater Environment in The Pacific Islands Region. UNEP/GPA Coordination Office & SPREP. Regional Seas Report and Studies Series no. 174. 45 pp.
- UNEP (2000b) Chia, L.S. and H. Kirkman. Overview of Land-Based Sources and Activities Affecting the Marine Environment in the East Asian Seas. UNEP/GPA Coordination Office & EAS/RCU, Regional Seas Report and Studies Series. 74 pp.
- UNEP/GPA Coordination Office (2002), Water Supply & Sanitation Coverage in UNEP Regional Seas Need for Regional Wastewater Emissions Targets?, 1st DRAFT.
- UNEP (2003a) Global International Waters Assessment, GIWA Regional assessment 23, Caspian Sea.
- UNEP (2003b), Regional Seas Strategies for Sustainable Development. 40p.
- World Bank (2003) World development indicators 2003.