

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22254001

研究課題名(和文) アフリカ・アジアの水環境汚染実態と汚染メカニズムの比較解析

研究課題名(英文) Comparative study on mechanism of pollution in tropical Asian and African waters : Cosmopolitan waters

研究代表者

高田 秀重 (TAKADA, Hideshige)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：70187970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円、(間接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：アフリカ諸国で深刻な尿尿汚染が観測された。下水処理施設が普及していないことと降雨が少なく希釈効果が働きにくいことが原因と考えられた。都市水域の抗生物質濃度は日本<熱帯アジア<アフリカの順に約一桁ずつ高くなり、サルファ剤が卓越していた。感染症の罹患率が高く、所得も低いため、安価な抗生物質が多用されているものと考えられた。下水処理が十分機能せず、耐性菌と耐性遺伝子が環境へ流出している実態が明らかになった。電子廃棄物(e-waste)、廃棄物埋立処分場、金採掘などに起因する新しいタイプの化学物質汚染が、臭素系難燃剤、PCBs、重金属について、アジア・アフリカで進行中であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Sever fecal pollution was observed in African countries. It was ascribed to insufficient sewage treatment and low precipitation. These also cause discharge of antibiotics resistant bacteria and gene. Antibiotics concentrations in urban waters were one order of magnitude higher in Africa than tropical Asian countries and sulfonamides were predominant. It was ascribed to higher consumption of the cheap medicine due to higher morbidity of infectious disease and lower income. E-waste, municipal landfill, and gold mining cause new types of chemical pollution in Asia and Africa. Increase of some of the chemical pollution has been revealed by the analysis of time-series plastic pellet samples and sediment cores.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：環境動態解析

キーワード：e-waste PCBs PBDEs 金鉱山 rep-PCR法 薬物耐性遺伝子 抗生物質汚染 サルファ剤

1. 研究開始当初の背景

衛生的で安全な水の確保はアジア・アフリカの経済的発展途上国に共通した課題である。アフリカ・アジア地域の水質（河川・湖沼・地下水）の汚染の原因と汚染メカニズムを把握し、効果的な対策を提案することは重要な課題である。経済的発展途上国の水質汚染については、ごく基本的な水質項目について測定が行われているのみである。特に、アフリカについて、化学物質や病原性微生物による汚染の実態は、ほとんど明らかにされていない。

2. 研究の目的

(1) アフリカ4カ国とアジア6カ国の河川水・湖沼水と地下水および水質汚染源（下水、ゴミ処分場浸出水等）の汚染実態を明らかにする。(2) アフリカ・アジア諸国の近年の汚染のトレンドを明らかにする。(3) アフリカ・アジア諸国の汚染実態とトレンドの比較から、これらの地域の水環境汚染に共通した原因と地域固有の問題を峻別し、アフリカ・アジアにおける水質汚濁メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

アフリカと熱帯アジア諸国において河川水、湖沼水、地下水、下水、畜産排水、ゴミ処分場浸出水、河川・沿岸堆積物、農産物等を採取した。これらの試料中の尿尿汚染指標、家畜排水指標、環境ホルモン、残留性有機汚染物質、医薬品・抗生物質、重金属、有機炭素、化学物質耐性菌を測定した。アフリカ・アジア水域の汚染のトレンドを把握するために、10年前の試料採取地点で再度試料採取し、分析した。さらに、沿岸海域で柱状堆積物を採取・分析した。

4. 研究成果

(1) 尿尿汚染・下水関連の汚染

糞便汚染の指標のコプロスタノールは全般にアフリカ諸国で高く、ケニア、ガーナで深刻な糞便汚染が懸念された。アフリカで糞便汚染が深刻化する理由として、降雨量が少なく希釈効果が働きにくいことが考えられた。ステロール組成からアフリカ諸国の高濃度のコプロスタノールはいずれもヒト由来が主要であり、家畜糞便の汚染への寄与は相対的に小さいと考えられた。下水道の機能の状況を合成洗剤由来のアルキルベンゼン濃度とその異性体組成(I/E ratio)から推定した。ガーナ、ケニアでは下水道未普及の状況が確認され、南アフリカにおいては下水処理施設は整備されているが、それらに接続できない低所得層の住民が多い地域での、未処理下水による河川の汚染が明らかになった。

大腸菌密度はアクラ市（ガーナ）で $10^5 \sim 10^7$ と、カントー市（ベトナム）の $10^3 \sim 10^5$ CFU/100 mL に比べ高密度で、ガーナ都市域における深刻なふん便汚染が懸念された。Chromocult Coliform Agar (CCA) 培地 (Merck) の大腸菌陽性率はカントー市で 90%以上で

あったのに対して、アクラ市で 55%であった。CCA 培地を用いた場合、大腸菌密度は過大評価されることのあることが明らかとなった。

カントー市においては、すべての採水地点において 35%以下の大腸菌株が、ヒト・ブタ・都市下水由来の菌株と高い相同性を示した。アクラ市においては、8ヶ所の採水地点中4ヶ所において、家畜由来の菌株と相同性の高い大腸菌が検出されたものの、その割合は 35%以下であった。さらに、ヒト由来の菌株と相同性の高い菌株は検出されなかった。由来を特定できなかった菌株の割合が高かったことから、本研究では対象としなかった家畜や、野生動物のふん便による汚染、または環境中に常在する大腸菌の存在が考えられた。

大腸菌密度と試水中の分子マーカ濃度との間には高い相関 ($r^2 > 0.9$) が確認された。また、環境中においては、大腸菌密度は分子マーカ濃度と比較して減衰しやすい傾向がみられた。

カントー市の試水において、家畜に用いられる抗生物質とヒトに用いられる抗生物質の濃度比は 2:3 であった。いっぽう、rep-PCR 法を用いた汚染源推定により検出されたブタ由来およびヒト・都市下水由来の大腸菌株の比は、本流で 1:2、合流点で 2:3、運河で 2:1 であり (図 1)、抗生物質の組成比とおおむね一致した。したがって、カントー市においては、ふん便汚染の由来推定に rep-PCR 法の適用は有効であると考えられた。

アクラ市の試水から検出された、家畜用とヒト用の抗生物質の濃度比は 4:1 であった。いっぽう、rep-PCR 法を用いた汚染源推定ではヒト由来の大腸菌株が検出されなかった。アクラ市においては、ふん便汚染の由来推定に rep-PCR 法は有効ではないと考えられた。

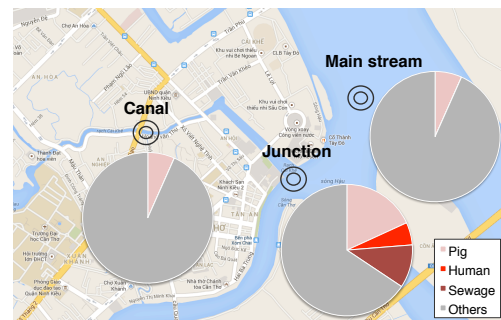


図 1. rep-PCR 法を用いた大腸菌の汚染源推定

インドネシアのジャカルタにおいて 2010 年に 10 年前に調査した時とまったく同じ場所で堆積物試料を採取し、汚染の経年変化を考察した。ホパンによる汚染は 10 年前に比べて、濃度が低下する地点が多く、多環芳香族炭化水素の場合は濃度が上昇する地点と減少する地点が認められ、自動車やバイク等への発生源対策の効果が現れたと考えられる。一方で、合成洗剤由来の LABs 濃度は大半の地点で増加していた。下水処理場の普及率も低いままで、人口の増加と経済発展によ

り、合成洗剤汚染の深刻化が起こっていると考えられた。

(2) 抗生物質汚染

熱帯アジアの都市河川・排水路の水中抗生物質濃度は日本の下水中の濃度と同程度（タイ）あるいは一桁高かった（ベトナム、インドネシア、フィリピン；図2）。アフリカ（ガーナ、ケニア、南アフリカ、モザンビーク）の都市河川中の抗生物質濃度は熱帯アジアよりもさらに1桁高かった（図2）。抗生物質

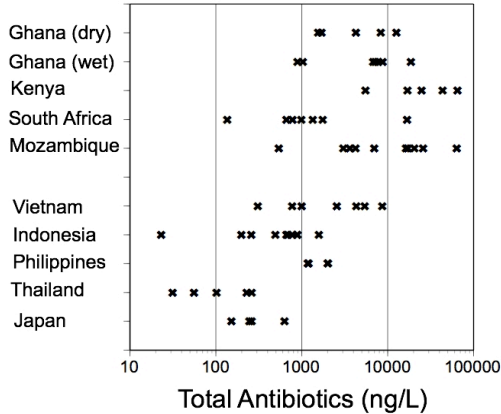


図2. アジア・アフリカの下水、都市排水、都市河川水中の抗生物質濃度

濃度はいずれの国においても糞便汚染の指標のコプロスタノールとよい相関が認められた（図3）。このことから、アフリカと熱帯アジアの都市河川・排水路中の抗生物質は、ヒト由来のものが主要で、家畜由来の抗生物質の寄与は相対的に小さいと考えられた。熱帯アジア・アフリカで高い濃度の抗生物質が検出される背景には、これらの国で感染症の罹患率が高く、抗生物質を多用していることが考えられる。濃度だけでなく、熱帯アジア・アフリカの抗生物質の組成は日本と大きく異なり、サルファ剤、特にサルファメトキサゾール、の割合が高かった（図4）。サルファ剤のマクロライドに対する比率が低所得国ほど高いこと（図5）から、サルファ剤の割合が高いことは、サルファ剤が安価であることと関連があると考えられた（Shimizu et al. 2013）。サルファ剤は水溶性が高いことから、その汚染は深度 250m の地下水まで広がっていた。今回調査したアフリカ諸国では下水は素掘りの下水溝で排水されているため、容易に地下への浸透が起こっていると考えられた。

(3) 薬剤耐性遺伝子数と耐性菌数

アフリカでは高濃度の抗生物質が検出され、薬剤耐性の惹起が懸念されたので、薬剤耐性遺伝子の分布をガーナと南アフリカで調査した。薬剤耐性は、金属・元素類の汚染でも惹起されることが知られているため、ガーナでは複合汚染の懸念される電子・電気製品の廃棄物（電子廃棄物）解体場を調査に加えた。その結果、ラグーン、養殖場および電子廃棄物解体場いずれでもテトラサイクリン耐性遺伝子 tet (M) と水銀耐性遺伝子 merA

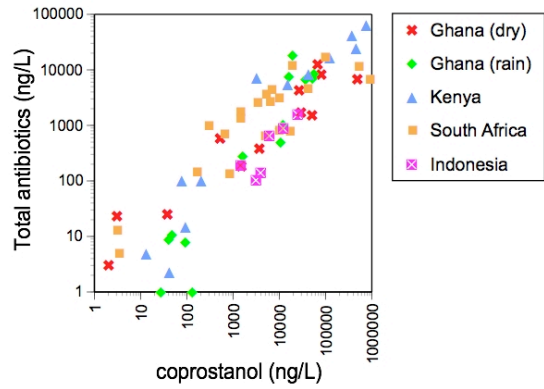


図3. アフリカ・アジア水域における抗生物質濃度と糞便汚染マーカーの coprostanol 濃度の関係

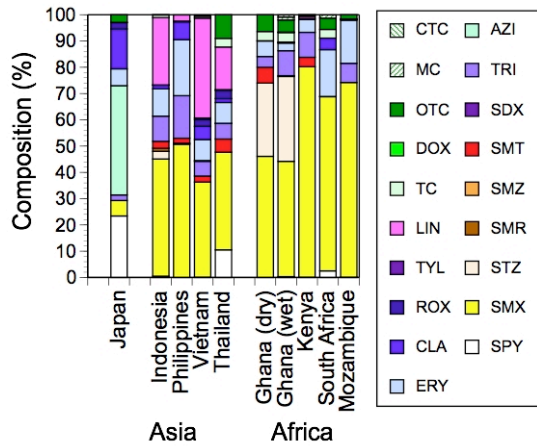


図4. アフリカ・アジア水域の抗生物質組成

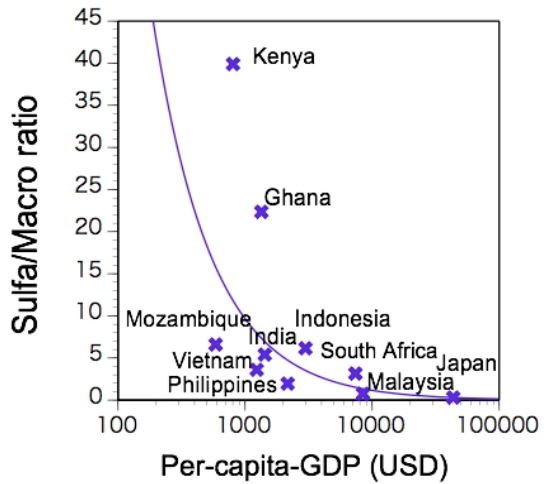


図5. アフリカ・アジア諸国の抗生物質組成（サルファ剤/マクロライド比）と所得の関係

コピー数の相関はなく、かつコピー数は 10^{-8} ~ 10^{-7} コピー/16S rRNA 遺伝子数と少なかった。ガーナの環境細菌群集では tet (M) と merA の共耐性は少なく、耐性遺伝子の増加・拡散は低度なのもかもしれない。

一方、南アフリカの郊外河川、市内河川および下水処理場排水の結果では、郊外河川水ではサルファ剤、テトラサイクリンの耐性遺伝子は少なかったが、市内河川と下水処理場水では sul1, sul2 がともに 10^{-2} ~ 10^{-1} コピー/16S

と高く、tet(M)は 10^{-3} であった(図6)。環境細菌群集中にこれらの耐性遺伝子が高率に保有されている実態が分かった。sul3は群集中では主要ではないが、培養可能なサルファ剤耐性菌が保有しており、遺伝子種によって、ことなる細菌群が保有していることが示唆された。

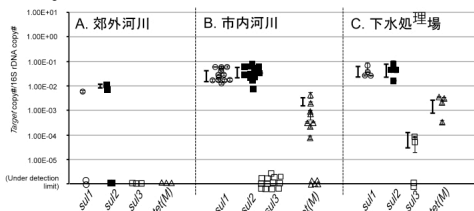


図6. 南アフリカ(ダーバン)の河川および排水におけるサルファ剤およびテトラサイクリン耐性遺伝子の群集中におけるコピー数

耐性菌出現率は下水処理場が郊外・市内河川を有為の上回っており、人間排水由来の耐性菌が環境へ流出していることが明らかになった。

都市人口が多く、経済的にも発展している南アフリカでは、一方でインフラ整備が遅れている。本研究で、下水処理が十分機能せず、耐性菌と耐性遺伝子が環境へ流出していること、および環境細菌群集に耐性遺伝子が伝播・蓄積している実態が明らかになった。

熱帯アジア水圏の調査では、フィリピンの河川から沿岸にかけての耐性遺伝子定量において、培養できない細菌群集が sul3 を 10^{-3} コピー/16S 程度保有していることが初めて明らかになった(Suzuki et al., 2013)。これは、南アフリカの場合と異なっていた。国や環境によって耐性遺伝子の保有状況が多様であることが示唆され、今後、環境微生物の薬剤耐性リスクを知るには、非培養菌群集における遺伝子分布も調べる必要があるかもしれない。

(4) 新しい化学汚染源：電子廃棄物、金鉱山、および廃棄物埋立処分場

有害な化学物質を含む電子・電気製品の廃棄物(電子廃棄物)が先進工業化国から経済的発展途上国に持ち込まれて、途上国における有害化学物質汚染を引き起こしている可能性が懸念されている。本研究では有害化学物質として PCBs、PBDEs、重金属を対象に



図7. ガーナ(アクラ)の電子廃棄物解体場周辺の河川堆積物中 PCBs 濃度 (ng/g-OC)

して、廃棄物に関連する汚染を調査した。ガーナでは最近我々が開発したモニタリング手法(ペレットウォッチ)を用いて、調査を行った。首都アクラとガーナ最大の貿易港チェム周辺のパレット中の PCBs 濃度は、世界的なバックグランドレベルに比べて6倍程度高く、ローカルな PCBs の発生源の存在が示唆された。河川の堆積物も採取し、分析した結果、電子廃棄物の解体場の近傍と下流の堆積物中で PCBs 濃度が高く、電子廃棄物がガーナにおける PCBs 汚染源となっている可能性が示唆された(図7; Hosoda et al., 2014)。

ガーナでは2011年9月に首都 Accra 市および第二の都市 Kumasi 市、Kumasi 市に近い金鉱山である Obuasi 鉱山、そして対照地として農村である Gomoa 村において、露店から Yamuimo、キャッサバ、キャベツ、タマネギなど代表的な22種の作物を購入した。また Obuasi 鉱山地帯からキク科など5種の野草と表層土、および河川・水路の底質を採取し水銀やヒ素、カドミウムなど28種の微量元素濃度を定量した。とくに、注目した水銀は、ガーナの主要な鉱物資源である金の小規模採掘に「アマルガム法」として大量に使われている可能性が高い。

ガーナ第二の都市である Kumasi 市は、近隣に多くの鉱山を有し、それらは現在も活発な採掘活動が行われている。分析の結果、Kumasi 市近郊で生産されたキャベツ、トウガラシ、タマネギにおいて、総水銀濃度が首都アクラなどより有意に高い濃度で検出された($p < 0.05$ by Mann Whitney's U test)。特筆すべき点は、上記3種だけでなく、ほぼ全ての作物について、他地点にくらべ明らかに高い水銀濃度がみられた点である。つまり、Kumasi 市周辺では、近隣の鉱山活動が、長年に渡る操業の結果、農地を広域に汚染し、高レベルで蓄積している可能性が懸念された。

さらに、Kumasi 市の南に位置する Obuasi 鉱山付近で採取された農作物(可食部)についても、分析した全ての種から高い総水銀濃度が検出された(Yamuimo: 0.25 mg/kg、キャッサバ: 0.32 mg/kg、プランテン(バナナ): 0.20 mg/kg いずれも乾重あたり)。また Obuasi 鉱山で採取された非食用の野生植物の葉部における水銀濃度も、これまで報告された一般的な植物の濃度より明らかに高値であった。これらの結果から Obuasi 鉱山が近隣の水銀汚染の起源になっている仮説が支持されると結論された。

Obuasi 鉱山から採取された野生植物の微量元素28種の濃度についてクラスター分析を行った(図8)。その結果、大きく3つのクラスターに分けられ、1つ目はカルシウム、マグネシウム、ストロンチウムなど土壌に多量に含まれる元素によって構成されていた。そのため、このクラスターは自然起源の元素グループであると考えられた。一方、他の2つのクラスターについては、自然界値より高濃度が認められた元素を多く含んでいたこ

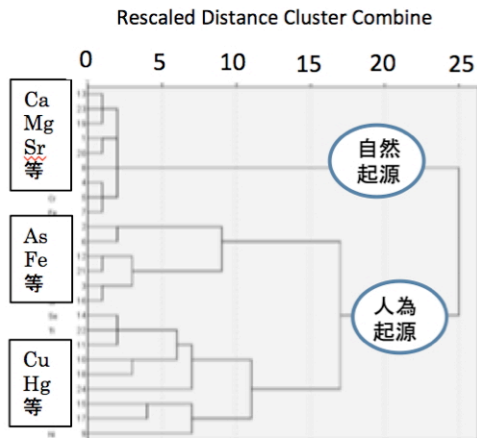


図 8. ガーナ Obuasi 鉱山周辺の野生植物における微量元素 28 種の濃度によるクラスター分析の結果

とから、人為起源の元素クラスターであると推察された。なかでも、水銀と同様の挙動を示した銅などの元素は、金-アマルガム法などの特殊な採鉱活動によって環境中に放出されている可能性がある。またヒ素と鉄は、金鉱石に随伴することが知られる硫砒鉄鉱 (FeAsS) などの鉱石に多量に含まれることから、採掘活動によって地表に露出した鉱石から環境中へ多元素が放出されていると考えられた。これらの結果からも、Obuasi 鉱山の周辺で行われる活発な採掘や採鉱活動は周辺地域の作物や農地自体に重金属汚染をもたらしていることを支持した。

PBDEs は様々な電子・電気製品、自動車、カーペット等に添加されてきた難燃剤である。分子に含まれる臭素の数によりいくつかの製剤が存在し、ストックホルム条約で規制されている製剤もあるが、一部の製剤は未規制である。また、規制以前に生産された製品の廃棄により、環境への放出が考えられる。大きな排出源となるリスクの高い廃棄物埋立処分場からの浸出水中の PBDEs 濃度を示す (図 9)。タイ、インド、フィリピン、マレーシアでは高い濃度の PBDEs が検出された。工業化が進んだ国ほど PBDEs 濃度は高い傾向が認められた。これらの濃度はこれまで先進工

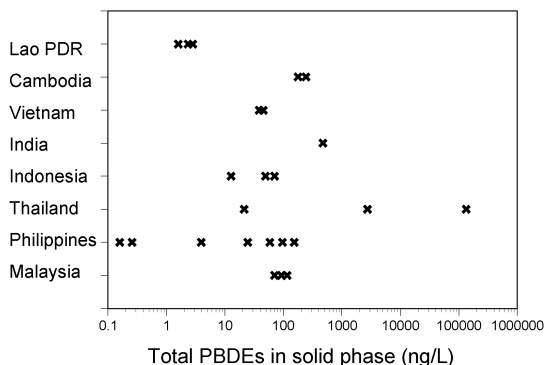


図 9. 熱帯アジア 8 カ国の廃棄物埋立処分場浸出水中の臭素系難燃剤 (PBDEs) 濃度

業化国の浸出水中で検出された濃度と同程度かそれより高い濃度であった (Kwan et al., 2013a)。熱帯アジア 8 カ国の都市水域堆積物からも広く PBDEs が検出された。堆積物中の

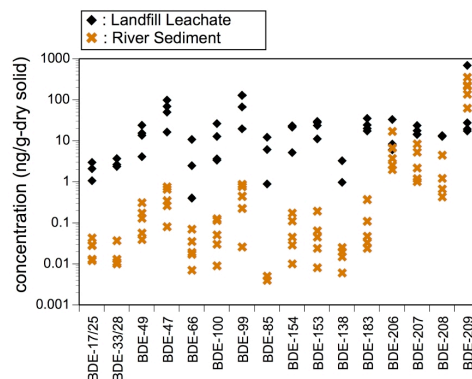


図 10. 堆積物と廃棄物埋立処分場浸出水中の臭素系難燃剤 (PBDEs) 濃度の比較 (フィリピン)

PBDEs 濃度との比較から、廃棄物埋立処分場浸出物が水域への負荷源となっている可能性が示唆された (Kwan et al., 2013b; 図 10)。PBDEs 組成を詳細に検討すると、製品に含まれないあるいは微量しか含まれない同族異性体が浸出水や堆積物から検出されることが明らかになった。ごみ処分所の地中の環境が嫌氣的になっており、脱臭素化が起こっていることが示唆された。BDE209 自体は、生物濃縮性が低い、脱臭素化すると生物濃縮性の高い同族異性体へ変化するので、脱臭素化は影響評価においては重要な意味を持つ。本研究では同族異性体組成の詳細な検討からごみ処分場での BDE209 の脱臭素化の可能性が示唆された。熱帯アジア諸国ではゴミの分別が行われず、分解性の有機物もプラスチックなどと共に廃棄物埋立処分場へ投棄され、分解に伴い嫌気環境が形成され、PBDEs の脱臭素化が促進されていると考えられる。ゴミの分別を進めることが化学汚染対策としても重要であることが示された。

(5) 化学汚染の歴史的傾向

南アフリカで 1984 年より 10 年おきに採取保存されていたレジンペレットの提供を受けて、南アフリカの 3 地点について PCBs, DDTs, HCHs の分析を行った。HCHs と DDTs については 1980 年代から 2000 年代にかけて、それぞれ 50% から 95%、50% から 98% の減少が認められたが、PCBs については減少は比較的小さく、30% から 60% で、2000 年代に 1990 年代よりも濃度が増加する地点が 2 地点認められた。電子廃棄物等に由来する汚染が懸念される。

柱状堆積物の分析からも、環境汚染のトレンドを調べた。マニラ湾 (フィリピン) で採取したコアでは、PCBs, PBDEs 共に汚染が進行する傾向が認められた (図 11)。PBDEs は難燃剤を含む製品の使用量・廃棄量の増加が考えられる。PCBs については、フィリ

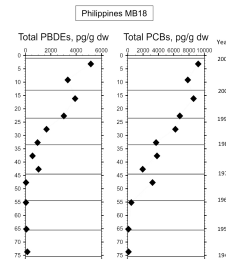


図 11. 柱状堆積物を用いた化学汚染の経時変化傾向の把握 (マニラ湾)

ンへの電子廃棄物の流入量の増加によるものと考えられる。大気や水 (pellet watch) 中でも周辺国よりも高濃度の PCBs が検出された (Kwan et al., 2014)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

Hosoda, J., Onwona-Agyeman, S., Takada, H. 他 (全 7 名, 2 番目, 7 番目), 2014. Monitoring of organic micropollutants in Ghana by combination of pellet watch with sediment analysis: E-waste as a source of PCBs. *Marine Pollution Bulletin*, 査読有, in press.

Kwan, C.S., Takada, H., 他 (全 9 名, 2 番目) 2014. Historical occurrences of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in Manila Bay, Philippines, and in the upper Gulf of Thailand. *Science of The Total Environment*, 査読有, 470-471, p.427-437. DOI : j.scitotenv.2013.09.076

Ozaki, H., Tarao, M., Takada, H. 他 (全 15 名, 6 番目, 15 番目) 2014. Human factors and tidal influences on water quality of an urban river in Can Tho, a major city of the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 査読有, 186, p. 845-858, DOI : 10.1007/s10661-013-3421-y

Kwan, C., Takada, H. 他 (全 9 名, 2 番目) 2013a. PBDEs in leachates from municipal solid waste dumping sites in tropical Asian countries: phase distribution and debromination. *Environmental Science and Pollution Research*, 査読有, 20, p.4188-4204, DOI : 10.1007/s11356-012-1365-3

Kwan, C.S., Takada, H. 他 (全 6 名, 2 番目) 2013b. Sedimentary PBDEs in urban areas of tropical Asian countries. *Marine Pollution Bulletin*, 査読有, 76, p. 95-105, DOI : j.marpolbul.2013.09.023

Pruden, A., Suzuki, S. 他 (全 13 名, 8 番目) 2013. Management Options for Reducing the Release of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes to the Environment. *Environmental Health Perspectives*, 査読有, 121, p. 878-885, DOI : 10.1289/ehp.1206446.

Shimizu, A., Takada, H., Suzuki, S. 他 (全 17 名, 2 番目, 10 番目), 2013. Ubiquitous occurrence of sulfonamides in tropical Asian waters. *Science of The Total Environment*, 査読有, p.452-453, 108-115, DOI : j.scitotenv.2013.02.027

Suzuki, S., Takada, H. 他 (全 6 名, 1 番目, 5 番目), 2013. Who Possesses Drug Resistance Genes in the Aquatic Environment? : Sulfamethoxazole (SMX) Resistance Genes among the Bacterial Community in Water Environment of Metro-Manila, Philippines. *Frontiers in Microbiology*, 査読有, 4, 10.3389/fmicb.2013.00102

Rinawati, Takada, H. 他 (全 10 名, 10 番目) 2012. Distribution, source identification, and historical trends of organic micropollutants in coastal sediment in Jakarta Bay, Indonesia. *J.*

Hazardous Materials, 査読有, 217-218, p.208-216, DOI : j.jhazmat.2012.03.023
Ryan, P.G., Takada, H. 他 (全 5 名, 5 番目) 2012. Long-term decreases in persistent organic pollutants in South African coastal waters detected from beached polyethylene pellets. *Marine Pollution Bulletin*, 査読有, 64, p.2756-2760, DOI : j.marpolbul.2012.09.013
Saha, M., Takada, H., and Bhattacharya, B., 2012. Establishing Criteria of Relative Abundance of Alkyl Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) for Differentiation of Pyrogenic and Petrogenic PAHs: An Application to Indian Sediment. *Environmental Forensics*, 査読有, 13, p. 312-331. DOI: 10.1080/15275922.2012.729005

Suzuki, S. and Hoa, P.T.P., 2012. Distribution of quinolones, sulfonamides, tetracyclines in aquatic environment and antibiotic resistance in Indochina. *Frontiers in Microbiology*, 査読有, 3, 10.3389/fmicb.2012.00067

Hoa, P.T.P., Takada, H., Suzuki, S. 他 (全 8 名, 4 番目, 8 番目) 2011. Antibiotic contamination and occurrence of antibiotic-resistant bacteria in aquatic environments of northern Vietnam. *Science of The Total Environment*, 査読有, 409, p. 2894-2901, DOI : j.scitotenv.2011.04.030

Murata, A., Takada, H. 他 (全 6 名, 2 番目) 2011. Nationwide monitoring of selected antibiotics: Distribution and sources of sulfonamides, trimethoprim, and macrolides in Japanese rivers. *Science of The Total Environment*, 査読有, 409, p.5305-5312, DOI : j.scitotenv.2011.09.014

Takasu, H., Suzuki, S. 他 (全 6 名, 2 番目), 2011. Fluoroquinolone (FQ) Contamination Does Not Correlate with Occurrence of FQ-Resistant Bacteria in Aquatic Environments of Vietnam and Thailand. *Microbes Environ.* 査読有, 26, p. 135-143. DOI: 10.1264/jsme2.ME10204

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 秀重 (TAKADA, Hideshige)
東京農工大学・農学研究院・教授
研究者番号 : 7 0 1 8 7 9 7 0

(2) 研究分担者

多羅尾 光徳 (TARAO, Mitsunori)
東京農工大学・農学研究院・准教授
研究者番号 : 6 0 2 8 2 8 0 2

渡邊 泉 (WATANABE, Izumi)
東京農工大学・農学研究院・准教授
研究者番号 : 3 0 3 0 2 9 1 2

オンウェナ アジマンスイアウ (Onwona, Agyeman Siaw)
東京農工大学・農学研究院・准教授
研究者番号 : 1 0 2 9 3 5 4 9

鈴木 聡 (SUZUKI, Satoru)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授
研究者番号 : 9 0 1 9 6 8 1 6