

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20405044

研究課題名（和文） 統合モデルによるメコンデルタ運河網における畜産廃棄物汚染
メカニズムの解明と対策研究課題名（英文） Investigation and countermeasures against husbandry waste pollution
in the Mekong Delta canal network using integrated model

研究代表者

久保 成隆（KUBO NARITAKA）

東京農工大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：40134506

研究成果の概要（和文）：

ベトナムメコンデルタに展開する運河網の水環境を研究対象として、家畜由来の糞便・抗生物質汚染、人的由来の糞便汚染、硫酸塩や重金属汚染、運河の水の動態などに関する個別的な研究を総合化することを試みた。3グループで達成目標を立て、その成果を持ち寄り統合モデルの作成を目指した。各グループで、各汚染項目の由来と拡散メカニズムに関する定性的な解析に概ね成功した。ただし、それらを数式化する段階には至らなかった。一方、統合モデルのプラットフォームとして、数式化された4水質項目に関しては、追跡可能なボックス生態系モデルを構成要素とする運河網モデルを完成させた。

研究成果の概要（英文）：

In this research, water pollution problems are analyzed and investigated for canal networks in the Vietnam Mekong Delta. The pollutions are mainly originated from husbandry feces and antibiotics, human feces, and sulfate or heavy metals. Individual researches dealing with above pollutions are attempted to be integrated with a research dealing with water and pollutant movement in canal networks. Three groups have set their own goals and their research results were to be collected to establish an integrated model. Three groups have successfully accomplished their own goals, on the whole, analyzing pollutants origins and diffusion mechanism. Although their behaviors were not formulated using mathematical equations, a platform was completed for the research integration. This platform is a canal network model consists of numerous box ecosystem models, which can now trace four substances, movements of which have already been formulated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：メコンデルタ、サルモネラ、大腸菌、指標微生物、抗生物質、マーカー物質、重金属汚染、種特異蓄積

1. 研究開始当初の背景

ベトナムメコンデルタは、「ベトナムの米櫃」と言われるように農業生産の盛んな地域である。面積はベトナム全土の 1/10 であるが、人口は 1/5 の 1,700 万人が住んでいる。豚の飼育頭数も 400 万頭にのぼり、人と家畜の密度は高い。これまで我々は、家畜由来の糞便・抗生物質汚染と人的由来の尿尿汚染、硫酸塩や重金属汚染、運河の水の動態など、ベトナムメコンデルタを研究対象地としつつも、どちらかと言えば、個別的・局所的な研究を行ってきた。しかし現在それぞれの研究を総合化し、お互いの研究を補完して、流域レベルの総合化された研究を行う必要性が出てきた。総合的研究が必要な理由は、メコンデルタの地理的特性と開発の歴史による。デルタにはその開発のため水路網が密に整備され、舟運、灌漑、生活用水のほか、畜産用水、養魚用水の供給源としても利用されている。しかし、運河網はその構造上、用水と排水・廃水とを分離して流すことができず汚染に対して脆弱である。一旦、運河内の水が汚染されると、汚染はデルタ内に拡散し、容易に浄化できない。個々の汚染の発生メカニズムを解明することは重要ではあるが、また発生した汚染の拡散を如何にして抑えるかも、同様に重要である。個々の汚染の発生メカニズムとその拡散メカニズムを明らかにし、それを水理モデルに組み込んで、デルタにおける水質汚染を再現できれば、学問的な独創性を有した研究となり、社会への貢献度も大きいと考えられるのである。

2. 研究の目的

メコン川は東南アジア最大の河川で、近年、沿岸諸国の発展が著しく、それに伴う水質汚染の問題が深刻化している。特に、最下流部に位置するベトナムメコンデルタでは、従来からの塩水遡上、硫酸塩土壌の問題に加え、最近では尿尿汚染や抗生物質汚染が進んでいる。そこで、これらの汚染の発生メカニズムと拡散メカニズムを解明することが本研究の目的である。

そのため、従来、メコンデルタの水環境問題を研究対象としながらも、生物学的・化学的・物理学的アプローチで個別に研究してきた者が協力し、お互いが補完しあって総合的に研究目的を達成することも大きな目的である。

3. 研究の方法

課題別に 3 つのグループに分けて、それぞれが各課題を担当する。第 1 のグループは家畜由来の抗生物質と耐性菌汚染の発生メカニズムと抑制対策を担当する。抗生物質汚染に関しては、カントー市にある養豚経営を対

象に、市の獣医部門の畜産統計情報を調査すると同時に、管理獣医を通じて選定された畜舎で聞き取り調査を行う。また飼料とラグーンの水を採取しその組成を測定する。耐性菌汚染に関しては、1 6 ヶ月の間、カントー市内の 9 地点を調査地点とし、各月の河川水位の最高、最低時期に採水し、検水中の総生菌数、大腸菌（群）数、サルモネラ菌数を測定する。総生菌数は寒天への直接塗沫により、大腸菌（群）数、サルモネラ菌数は MPN 法により計測する。

第 2 のグループは汚染マーカーによる測定と、重金属・微量元素測定を担当する。

汚染マーカーとしては、大腸菌・糞便腸球菌や、人間と家畜に特異的に使われる抗生物質を用いる。採水はメコン川本流、本流に流入する運河、本流と運河の合流点において潮汐の影響を考慮して定点・経時サンプリングする。また、同時期に、ホーチミン、ハノイでも下水を採取する。豚糞採取はカントー市周辺の 15 ヶ所の飼育場で行う。大腸菌・糞便腸球菌等の指標微生物は、存在量のみならず汚染源の特定 (MST) が必要で、そのために rep-PCR (repetitive element palindromic PCR) 法を用いる。また、分析対象とする抗生物質は、サルファール剤 7 成分、マクロライド系抗生物質 5 成分、サイクリン系抗生物質 3 成分の合計 17 成分である。

重金属・微量元素測定に関しては、水試料は、カントー市周辺のメコン川本流、市内の運河、郊外の運河で、家畜由来排水も郊外の運河で採取し、魚類試料はカントー市の市場で、9 種 3 検体購入する。試料溶液は、誘導結合プラズマ質量分析計で 26 の元素濃度を測定する。

第 3 のグループは水理モデルの開発を担当する。水理モデルは、支配方程式を数値積分することで、メコンデルタの運河網内の水の移動とそれに伴う汚染物質の移流、拡散、発生、消滅のシミュレーションを行うものである。このモデルには、運河網データと支配方程式に関する情報が不可欠である。運河網データに関しては、主要運河に関するデータは入手可能であるが、無数の毛細管状運河網のデータは不可能である。そのため、人工的な運河網を生成する方法を開発する。一方、支配方程式に関しては、第 1、第 2 グループからの定式化された分析結果（因果情報）の提供が不可欠で、これを元に、支配方程式を構築し数値モデルに組み込む。

3 つのグループの研究手法は、生物学的・化学的・物理的と分けることができるかも知れない。この様な場合、各グループの研究成果を互いに提供しあっても、それらに関して深くコメントするのは、専門性の違いから難しいのが通例である。しかしながら、今回は、

常に、その時点で最良と考えられる研究成果を提供し、各グループ間で活発に議論できる環境を作り、最終目標に向かって研究を収斂させることを目指す。

4. 研究成果

課題別に3グループの研究成果を概述しながら統合化に向けての研究成果を示す

第1グループ：家畜由来の抗生物質汚染に関しては、カントー市での養豚と抗生物質調査の結果、豚の飼育頭数はここ数年伸び悩み、都市部では減少の一方、北部では飼育頭数が多いことが明らかとなった。また投与可能な抗生物質の種類は厳しく管理され、カントー地方では計70種類が使用であった。これらより、ベトナムの養豚産業は自然環境を利用した循環型であり、生産量も減少傾向にあることから、抗生物質使用とそれに伴う汚染は世界水準と比べて問題がないレベルであることが判明した。耐性菌汚染に関しては、検水中の総生菌数は3.0~8.9log CFU/ml、大腸菌群数は $10^3\sim 10^7$ CFU/100ml、大腸菌数は $10^3\sim 10^7$ CFU/100mlで、メコン川に近く流水量の多い河川やクリークほど低く、最低水位時は最高水位時の10倍程度高いことが判明した。しかし、雨季と乾季では差は認められなかった。サルモネラ菌は検体中5.6%から分離されたが、メコン川本流や大きな支川から分離されず養豚場や畜場近くのクリークのみで分離された。分離された血清型は、*S. Wertevreden* や *S. Typhimurium* など人、家畜、野生動物等と関連の深い血清型が多く、また分離された菌の50%が薬剤耐性菌であった。これらから、サルモネラの分布は高密度ではなく、由来は保菌動物由来と推測される。

第2グループ：汚染マーカーとしての大腸菌・糞便腸球菌に関しては、まず、大腸菌密度(CFU/100ml)は、本流で $4.5\sim 7.0\times 10^2$ 、合流部で $1.8\sim 3.7\times 10^2$ と変動が小さく、運河で $1.5\sim 7.1\times 10^2$ と変動はやや大きかった。また分離株の由来(下水 or 豚糞便)に関しては、本流では採水時刻によって、下水由来菌株と豚糞由来菌株の一致数は、各、20株中(0.6~11)と(2~16)株と大きく変化し、合流部では(3.5~11)と(3~13.3)、運河では(4~6.5)と(7.5~9.6)とあまり変化がなかった。これより本流・合流部においては、大腸菌密度はほぼ一定で、下水や豚糞便からの寄与は時刻によって変わるが、運河では逆に大腸菌密度は時刻によって変動するものの、下水や豚糞便からの寄与は一定であると考えられる。

抗生物質に関しては、都市排水では、検出頻度と濃度において抗生物質 SMX (sulfamethoxazole) が最も高く、家畜排水では、STM (sulfamethazine) が高濃度で検出された。メコン本流では、SMX、TRI

(trimethoprim)、SMT、LIN (lincomycin) が18~91 ng/Lで検出されたが、季節、潮汐に関らずほぼ一定のレベルであった。SMXは他の抗生物質に比べて安価で、熱帯感染症に対してヒトに多用される。そこで、SMXを下水の指標、SMTを家畜排水の指標と考え、SMT/SMX比を、家畜型~都市型の抗生物質の起源推定に用いた。その結果、メコン川と運河のSMT/SMX比は、家畜型と都市型の中間に位置し、双方の影響を受けていることが示唆された。

重金属・微量元素の測定に関しては、メコン川および市内運河での水の微量元素濃度は、元素ごとに特徴的な変動を示し、雨季と乾季でもそのパターンは異なっていた。雨季では4種の変動パターン(第2族元素、重金属1、重金属2、それ以外)に、乾季では3種の変動パターン(第2族、重金属、それ以外)に分類された。下水の微量元素濃度は、牛、豚、鶏、カモの発生源に応じて元素組成が異なり、メコン水系の下水の挙動解析に有効な手法と成り得ると考えられる。魚類の分析では、顕著な種特異蓄積(Li: マナガツオ、V: アカメ類、Mn: マツダイ類、Fe: ミストゥス類、CoとNi: マスタケンベルス類、等)が認められた。

特に、メコンデルタ産魚種はRbとAsで他水域と比較して高レベルであった。Asは多くの検体でPTWI値を上回り、ヒトへの健康影響を含め、注目すべきと考えられる。

第3グループ：水理モデルの開発に関しては、先ず、毛細管状運河網の人工生成に関しては、元の(現地の)毛細管状運河網と同等(長さ、断面積、容積など)の物理特性を持つ人工的な運河網を自動発生させるプログラムを開発した。また、運河網内での流水解析、Salinity、Water ageなどの物理的解析モデルに生化学的解析能力を付加したモデルを開発した。湖沼などでのボックス生態系モデルを運河網に適用し、多数のボックス結合体として、ボックス内とボックス間での汚染物質の動態解析を可能とした。解析対象は、植物プランクトン濃度、デトリタス濃度、栄養塩濃度、溶存酸素濃度の4項目である。

以上の様に、第1、第2グループは汚染項目の由来と拡散メカニズムなどに関する定性的な解析に成功し、また、第3グループは、統合モデルのためのプラットフォームを完成させた。ただし、汚染メカニズムを定式化する段階には至らなかった。

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7件)

- ① Ly T.L.K., Duong T.T.T., Nguyen T.T., Tran T.T.D., Nakadai A., Iwara T., Taniguchi T., Ha T.T., Hayashidani H., Prevalence of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157 from acute diarrheic children in the Mekong Delta, Vietnam, *J. Vet. Epidemiol.* 14, 55-61, 2010 査読有
- ② Ozaki H., Segawa S., Hasebe Y., Takada H., Nakata H., Amano A., Inouchi Y., Tanabe S., Nakajima F., Fukushi K., Kuno K., Watanabe I., Heavy metal pollution and its long-term trends in Southeast Asian sediments, In *Southeast Asian Water Environment* 4, ed. Fukushi K., Kurisu F., Oguma K., Furumai H., Fontanos P., IWA Publishing, London, 199-206, 2010 著書、査読有
- ③ Quang Huy Hoang, Naritaka KUBO, Ngan Giang Hoang, Hajime TANJI, Operation of the Ba Lai Irrigation system in the Mekong Delta, Vietnam, *Paddy and Water Environment*, Vol 7, No.2: pp123-133, 2009 査読有
- ④ Ly T.L.K., Tran T.P., Nguyen T.T., Iwata T., Kobayashi H., Okatani A.T., Taniguchi T., Ha T.T., Hayashidani H., Prevalence of *Escherichia coli* O157 from cattle and foods in the Mekong Delta, Vietnam, *J. Vet. Epidemiol.* 13, 107-113, 2009 査読有
- ⑤ Watanabe I., Trace element monitoring in sediment and fish, In *Chemical Pollution in Indochina-Contamination status, ecosystem impacts and remediation technology*, ed. Suzuki S., Takada H., Tokai University Press, Kanagawa, 36-43, 2009 著書、査読有
- ⑥ Sato K., Takahashi K., Tohno M., Miura Y., Kamada T., Ikegami S., Kitazawa H., Immunomodulation in gut-associated lymphoid tissue of neonatal chicks by immunobiotic diets., *Poultry Science*, 88, 2532-2538, 2009 査読有
- ⑦ Ogasawara N., Tran T.P., Ly T.L.K., Nguyen T.T., Iwata T., Watanabe M., Taniguchi T., Hirota Y., Hayashidani H., Antimicrobial susceptibilities of *Salmonella* from domestic animals, food and human in the Mekong Delta, Vietnam, *J. Vet. Med. Sci.* 70, 1159-1164, 2008 査読有

[学会発表] (計3件)

- ① 竹上舞、清水亜希子、高田秀重、多羅尾光徳、Rep-PCR 法を用いた大腸菌由来特定のメコン・デルタにおける有用性の評価、第45回日本水環境学会年会、札幌、2011、ポスター発表
- ② 清水亜希子、村田綾子、竹下綾子、村松祐紀、高田秀重、鈴木聡、田中典秀、真

名垣聡、家畜排水由来抗生物質による熱帯アジア水域の汚染実態解明、第19回環境化学討論会、名古屋、2010、ポスター発表

- ③ 鎌田壽彦、佐藤幹、田邊誠、ベトナムメコンデルタ地域における養豚の経営形態と排泄物利用、日本養豚学会、2010、東京農工大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 成隆 (KUBO NARITAKA)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：40134506

(2) 研究分担者

高田 秀重 (TAKADA HIDEHIGE)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：70187970

(3) 研究分担者

林谷 秀樹 (HAYASHIDANI HIDEKI)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：30180988

(4) 研究分担者

多羅尾 光徳 (TARAO MITSUNORI)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：60282802

(5) 研究分担者

渡邊 泉 (WATANABE IZUMI)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：30302912

(6) 研究分担者

佐藤 幹 (SATO KAN)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：20250730

(7) 研究分担者

鎌田 壽彦 (KAMADA TOSHIHIKO)

東京農工大学名誉教授
ヤマザキ学園大学・動物看護学部動物看護
学科・教授
研究者番号：70015121